

Bioremediacja mikrobiologiczna jeziora Jeziorko Wdzydzkie we Wdzydzach



Projekt „Poprawa jakości ekologicznej jeziora Jeziorko we Wdzydzach Kiszewskich poprzez wykorzystanie metod probiotycznych z monitoringiem indukowanych zmian i opracowaniem służącym propagowaniu metody“, współfinansowany ze środków Wojewódzkiego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w Gdańsku



Tekst:

prof. nadzw. dr hab. inż. Przemysław Śmietana, Uniwersytet Szczeciński

Koordinacja:

dr inż. Jakub Skorupski, Federacja Zielonych „GAJA”

Zespół naukowy:

prof. ndzw. dr hab. inż. Przemysław Śmietana
prof. ndzw. dr hab. Andrzej Zawal
prof. ndzw. dr hab. Agnieszka Szlauer-Łukaszewska
prof. ndzw. dr hab. inż. Robert Czerniawski
prof. zw. dr hab. Gorzysław Poleszczuk
prof. zw. dr hab. Wiesław Deptuła
dr Łukasz Sługocki
dr Izabella Rząd
mgr Grzegorz Michoński
mgr Aleksandra Bańkowska
mgr Magdalena Klosowska
mgr inż. Marek Budniak

Skład, projekt okładki i druk:**Zdjęcia:**

Przemysław Śmietana

Wydawca:

Federacja Zielonych „GAJA”,
ul. 5 Lipca 45, 70-374 Szczecin, KRS 0000200941, www.gajonet.pl

Kopiowanie dozwolone pod warunkiem wskazania źródła.

Publikacja wydana w ramach projektu „Poprawa jakości ekologicznej jeziora Jeziorko we Wdzydżach Kiszewskich poprzez wykorzystanie metod probiotycznych z monitoringiem indukowanych zmian i opracowaniem służącym propagowaniu metody”, realizowanego przez Federację Zielonych „GAJA”, przy współpracy z Instytutem Badań nad Bioróżnorodnością Uniwersytetu Szczecińskiego i współfinansowanego ze środków Wojewódzkiego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w Gdańsku.





Wstęp

Z inicjatywy władz Wdzydzkiego Parku Krajobrazowego w 2015 roku podjęto prace nad projektem strategii działań mających na celu określenie skali problemu i działań zaradczych związanych z złym stanem środowiska jeziora Jeziorko znajdującego się w granicach miejscowości Wdzydze.

Degradacja środowiska tego jeziora wiąże się z utratą walorów przyrodniczych tego akwenu, a to z kolei spowodowało praktycznie całkowitą redukcję jego walorów użytkowych. Wody jeziora są obecnie niemal całkowicie wyłączone z rekreacyjnego wykorzystania oraz użytkowania rybackiego.

W świetle niezaprzeczalnego faktu, że o wysokiej atrakcyjności turystycznej miejscowości Wdzydze decyduje w olbrzymim stopniu położenie pośród jezior, jezioro Jeziorko nieposiadające atrakcyjnych atrybutów estetycznych i użytkowych można postrzegać, jako czynnik obniżający, jakość wizerunkową Wdzydz.

Wychodząc naprzeciw tym problemom od 2016 roku Federacja Zielonych „GAJA” (www.gajonet.pl), we współpracy z Instytutem Badań nad Bioróżnorodnością Uniwersytetu Szczecińskiego (www.wb.usz.edu.pl), rozpoczęła realizację projektu:

„Poprawa jakości ekologicznej jeziora Jeziorko we Wdzydzach Kiszewskich poprzez wykorzystanie metod probiotycznych z monitoringiem indukowanych zmian i opracowaniem służącym propagowaniu metody“

Działania w ramach projektu koordynowane i współfinansowane są przez Federację Zielonych „GAJA”, a prowadzone przez zespół naukowy Instytutu Badań nad Bioróżnorodnością Wydziału Biologii Uniwersytetu Szczecińskiego, we współpracy z Zespołem Pomorskich Parków Krajobrazowych i Przedsiębiorstwem „Aquamar” z Miastka.

Zasadnicze finansowanie projektu pochodzi ze środków Wojewódzkiego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w Gdańsku (www.wfos.gdansk.pl). Niniejsze opracowanie przedstawia zarys uwarunkowań, przebiegu realizacji oraz dotychczasowych wyników realizacji projektu.

Problem jakości wód - eutrofizacja

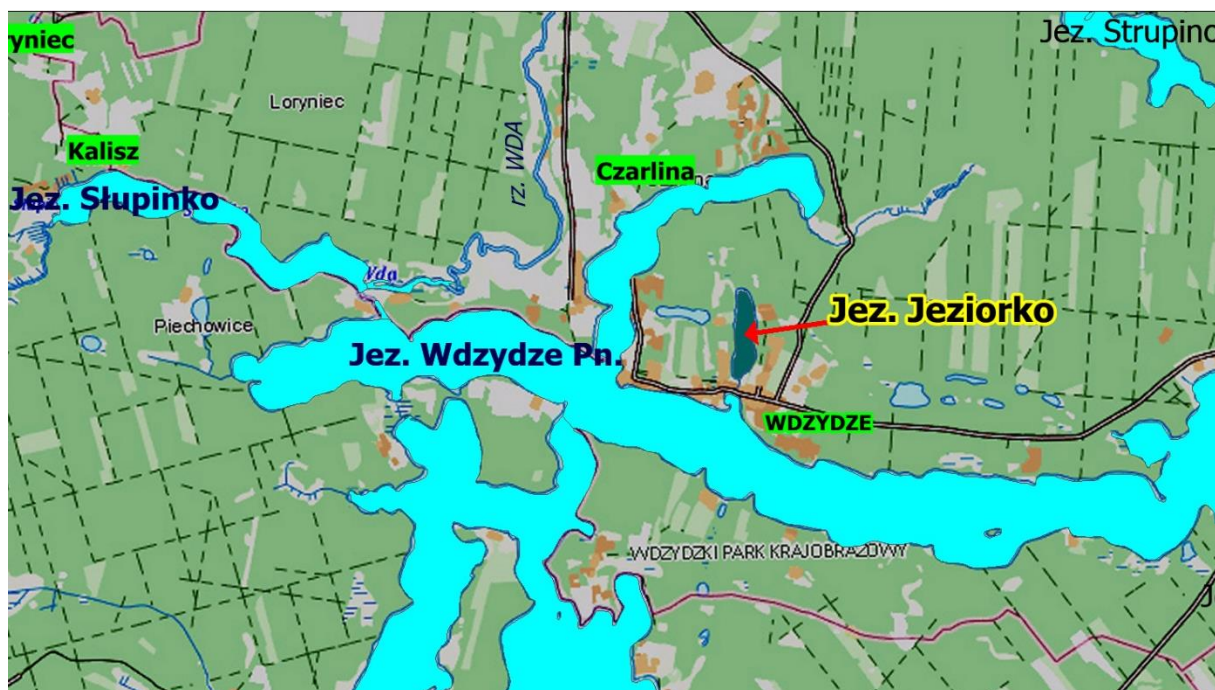
Problemem ekologicznym praktycznie wszystkich polskich jezior, a także Bałtyku jest nadmiar substancji użyźniających, rozpuszczonych w ich wodach. Pochodzą one (substancje) od materii i związków organicznych zawartych w między innymi w ściekach komunalnych. Ścieki wprowadzone do wody ulegają rozkładowi do prostych związków mineralnych takich jak fosforany czy azotany, które to z kolei stanowią doskonały nawóz dla roślin żyjących w wodach, głównie glonów i sinic. Organizmy te zaś, po krótkim, trwającym do kilku dni życiu, stają się martwą materią organiczną, która do rozkładu potrzebuje tlenu. Zamyka się w ten sposób pewien bardzo niekorzystny dla życia w tych wodach cykl.

Skutkami eutrofizacji, bo tak nazywa się to zjawisko, jest degradacja biologiczna zbiorników wodnych, co wiąże się również ze spadkiem ich produktywności rybackiej oraz atrakcyjności rekreacyjnej.



Ryc. 1. Fotografia ilustrująca stopień zeutrofizowania wód jeziora Jeziorko we Wdzydzach. Intensywne zielone zabarwienie i praktyczny brak przejrzystości wody związany jest z masowym występowaniem glonów i sinic (tzw. „zakwit wody) utrzymującym się przez cały rok.

Duża masa glonów w wodach powierzchniowych sprawia, bowiem, że wody tracą przejrzystość przybierając barwę od brunatnej po intensywnie zieloną (Ryc. 1). Udział w tej masie glonowej sinic (organizmów pomiędzy bakteriami, a glonami) wiąże się dodatkowo z obecnością tak zwanych substancji allelopatycznych niebezpiecznych dla ludzi i zwierząt. Dobowe wahania koncentracji tlenu w wodach powierzchniowych (nadmiar tlenu w dzień, brak tlenu w nocy) oraz odczynu pH (wysokie zasadowe w dzień, bardzo kwaśny w nocy) powodują niekorzystne warunki bytowania dla organizmów wodnych takich jak ryby. Jeszcze bardziej niekorzystne zjawiska koncentrują się w strefie przydennej i na dnie zbiorników porażonych eutrofizacją.



Ryc. 2. Lokalizacja jeziora Jeziorko we Wdzydzech (strzałka czerwona). Niżej fotografia tego regionu, zielona barwa wód jeziora Jeziorko wyraźnie odbiega do ciemnoniebieskiej barwy wód sąsiednich jezior np. Wdzydze Północne. Różnica barw powodowana jest silnym odbiciem zielonej frakcji światła słonecznego przez olbrzymie koncentracje glonów i sinic w wodach Jezioraka. Koncentracja chlorofilu w jego wodach jest porównywalna do tej występującej na łąkach położonych na północny wschód od tego akwenu (strzałka żółta). Zdjęcie wykonano przed rozpoczęciem realizacji projektu, ilustruje ono poziom degradacji środowiska jeziora Jeziorko.

W tej strefie następuje nagromadzenie się martwej materii organicznej, która ulega rozkładowi. Rozkład ten zachodzi przy udziale mikroorganizmów i przebiega najefektywniej, gdy w wodzie znajdują się wystarczające zapasy tlenu. Niestety w jednym litrze wody jest w stanie rozpuścić się zaledwie około 10 mg tlenu, a to jest za mało (1 miligram = jedna tysięczna grama). Wystarczy sobie uzmysłowić fakt, że do rozkładu materii organicznej zawartej w dziennej dawce ścieków pochodzących od jednej osoby, w ciągu pięciu dni mikroorganizmy zużywają około 60 gram tlenu. To oznacza, że konsumują tlen

rozpuszczony w 5 tonach natlenionej w 100% wody. Co zatem dzieje się na dnie zbiorników, gdy zapasy tlenu ulegają wyczerpaniu (a ulegają bardzo szybko)? Rozkład materii organicznej w takich warunkach postępuje dalej niestety dużo wolniej i przy udziale niebezpiecznej i szkodliwej grupy mikroorganizmów zwanych beztlenowcami bezwzględny. Organizmy te rozkładając materię organiczną w warunkach beztlenowych są odpowiedzialne za wprowadzanie do wody związków, które są szkodliwe i trujące dla wszelkich organizmów wodnych. I tak przykładowo, gdy mikroorganizmy - tlenowce zmineralizują związki azotowe zawarte w materii organicznej, produktami są azotany NO_3 , a związków siarki – siarczany SO_4 , podczas gdy beztlenowce bezwzględne doprowadzają do powstania związków toksycznych, którymi odpowiednio są amoniak (NH_3) i siarkowodór (H_2S). W związkach tych jak widać w miejsce tlenu wbudowany jest wodór, a ich obecność jest łatwa do zdiagnozowania ze względu na silny i nieprzyjemny zapach.

W zbiornikach, w których nagromadzenie materii organicznej na dnie prowadzi do rozkładu beztlenowego posiadają całe obszary dna, które są martwe przez prawie cały rok z krótkimi przerwami wiosną i jesienią. Dno takie pozbawione życia nie oferuje żadnego pokarmu ani miejsc schronienia rydom stąd produktywność rybactwa takich jezior jest znacznie niższa niż mogłaby być. Im wyższy poziom eutrofizmu, czyli nasilenia wyżej opisanych zjawisk tym mniej gatunków roślin i zwierząt zasiedla takie wody, a te, które są w stanie wytrzymać niekorzystne warunki reprezentowane są masowo.

Niestety te masowo występujące gatunki nie są atrakcyjne dla człowieka i zwykle zmieniają na niekorzyść walory estetyczne zbiorników wodnych. W krańcowych przypadkach tak zwanych hipertroficznymi jedynymi organizmami, które są w stanie w nich bytować są glony i sinice z przewagą tych drugich.

Co można zrobić?

Najskuteczniejszy środek zaradczy to postępowanie zgodne z podstawową zasadą medyczną: „lepiej zapobiegać niż leczyć”. I tak w przypadku eutrofizacji najskuteczniejszym sposobem jest nie doprowadzanie do tego stanu. Wszelkie ścieki komunalne, wody spływające z pól niosące ze sobą duże ilości substancji zawierających azot i fosfor to najpoważniejsze przyczyny eutrofizacji. Nawet bezpośrednio używanie z wód jezior do mycia naczyń czy kąpeli z wykorzystaniem środków myjących mogą znacząco wpłynąć, na jakość wody w jeziorach. Gdy weźmie się pod uwagę, że 1 gram fosforu wprowadzony do wody może zasilić około 1000 kg suchej masy glonów, wtedy można sobie zdać sprawę, że w przypadku małych jezior, nawet relatywnie niewielkie ilości ścieków czy detergentów są w stanie znacząco pogorszyć, jakość ich środowiska.

Niestety większość jezior w Polsce jest już zeutrofizowana w nadmiernym stopniu i wymagałyby zastosowania środków zaradczych, które zredukowałyby skutki przeżyźnienia celem poprawy, jakości wód chociażby z rekreacyjnego punktu widzenia ich wykorzystania.

Niestety eutrofizacja jest procesem praktycznie niemożliwym do zatrzymania czy odwrócenia kierunku zmian środowiskowych z nią związanych. Współcześnie znane metody walki ze skutkami eutrofizacji koncentrują się jedynie na niektórych elementach niekorzystnych zmian środowiskowych.

Metody te zwane są ogólnie metodami rekultywacji jezior. Zasadniczo wszystkie znane można podzielić i scharakteryzować w poniższy sposób:

- **Selektywne usuwanie wód hypolimnionu** - metoda polegająca na usuwaniu wód przydennych zawierających duże ilości związków azotu i fosforu.
- **Sztuczne napowietrzanie jezior** – metoda polegająca na dostarczaniu do strefy przydennej wód powietrza i likwidacja deficytów tlenowych w tej strefie.
- **Usuwanie osadów dennych (bagrowanie)** – metoda polegająca na usuwaniu osadów dennych, a wraz z nim zakumulowanych związków azotu i fosforu.
- **Inaktywacja fosforu** – metoda polegająca na chemicznym związaniu fosforu w osadach dennych w formie uniemożliwiającej wykorzystanie go przez organizmy żywe (np. glony).

I wreszcie metody biologiczne, które można podzielić na następujące grupy:

- **Bio-manipulacja ichtiofauną** – metoda polegająca na zarybianiu gatunkami drapieżnymi, które redukują występowanie ryb tzw. spokojnego żeru odpowiedzialnych za nasilanie się niekorzystnych skutków eutrofizacji.
- **Biofiltracja** – metoda polegająca na wykorzystywaniu filtracyjnych właściwości organizmów zwierzęcych na przykład małży racicznicy zmiennej.
- **Fitoremediacja** – zespół metod polegających między innymi na wykorzystywaniu zdolności filtracyjnych roślin wyższych np. oczyszczalnie trzcinowe.
- **Bioremediacja mikrobiologiczna** - metody wykorzystujące zespoły mikroorganizmów do optymalizacji naturalnych procesów rozkładu materii organicznej.

Spośród wszystkich wyżej wymienionych metod ta ostatnia charakteryzuje się niezaprzeczalnymi zaletami, z których do najważniejszych i wyróżniających należą:

- relatywnie niskie koszty stosowania,
- nieinwazyjność i wysoki poziom bezpieczeństwa w środowisku,
- redukcja szkodliwości zanieczyszczeń zarówno w wodzie jak i w osadach dennych,
- mechanizm działania polegający na inicjowaniu i wspomaganiu naturalnych procesów rozkładu mikrobiologicznego w ekosystemie, przez co zapewnione jest długotrwałe działanie przy niskich nakładach pracy i środków.

Metody remediacji mikrobiologicznej nazywane także probiotycznymi metodami oczyszczania są stosowane z dużym powodzeniem od kilkunastu lat na całym świecie. Szczególnie popularne są w Japonii gdzie, zostały opracowane. W naszym kraju metody te wykorzystywane są zaledwie od paru lat. I pomimo, że rezultaty stosowania biologicznej remediacji w Polsce są bardzo obiecujące występuje niedostatek wiedzy na temat optymalizacji metod i wyników badań dynamiki procesów oczyszczania w zbiornikach naturalnych.

Dysponując wynikami stosowania preparatu probiotycznego „Aquamar Water Purification” warunkach hodowli stawowej ryb i metodą aplikacji opatentowaną przez mgr inż. Andrzeja Marczyńskiego z P.P.H.AQUAMAR Sp. z o. o., oraz analizując wyniki stosowania bioremediacji w naszym kraju, opracowano program procesu rekultywacji jeziora Jeziorko. Wykorzystanie tego probiotyku i

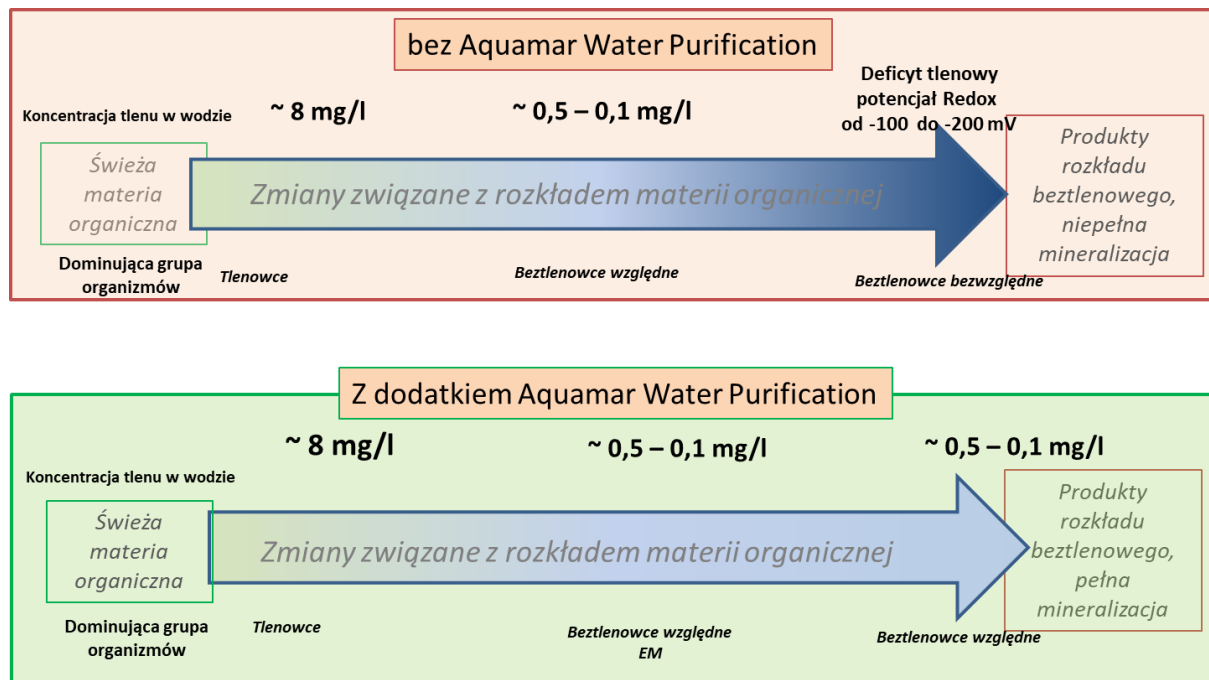
zastosowanie przetestowanej metody aplikacji dały uzasadnione podstawy do założenia skutecznego zainicjowania zespołu działań rekultywacyjnych przekładających się na relatywnie szybkie odtwarzanie walorów użytkowych tego akwenu. Dodatkowo korzystnym aspektem realizacji projektu jest możliwość prowadzenia szczegółowych badań naukowych nad przebiegiem i efektami realizacji projektu. Znaczenie podnoszenia poziomu naszej wiedzy o potencjale metod biologicznej remediacji jest trudne do przecenienia w aspekcie popularyzacji tych efektywnych (tj. tanich, trwałych i bezpiecznych) metod rekultywacji jezior.

Efektywne mikroorganizmy – probiotyk – Aquamar Water Purification

Aktywnym czynnikiem w przewidzianym do stosowania w biologicznej remediacji jeziora Jeziorko czyli probiotyku Aquamar Water Purifikation jest zespół zestawionych mikroorganizmów zwany pierwotnie efektywnymi mikroorganizmami w skrócie EM.

W skład mieszanki EM wchodzi około 80 gatunków mikroorganizmów, m.in. bakterie kwasu mlekowego, bakterie propionowe, bakterie fotosyntetyzujące, bakterie azotowe, drożdże oraz promieniowce, wyselekcjonowanych ze środowiska naturalnego, a także pośród szczepów bakteryjnych wykorzystywanych w przemyśle mleczarskim i serowarskim.

Zasadniczo mikroorganizmy te stymulują i przyspieszają naturalne procesy obiegu materii organicznej i mineralnej w środowisku. Jednak dokładny mechanizm tego działania nie jest do końca poznany.



Ryc. 3. Schematyczny i uproszczony diagram ilustrujący różnice w procesie rozkładu materii organicznej w naturalnych zbiornikach bez (górny diagram) , oraz z zastosowaniem preparatu probiotycznego Aquamar Water Purification (dolny diagram).

Mikroorganizmy praktycznie wszystkie te należą do grupy tzw. beztlenowców względnych to znaczy, że mogą występować zarówno w obecności jak i braku tlenu w środowisku. Procesy rozkładu przy ich współdziałaniu nie wiążą się z powstawaniem szkodliwych czy trujących związków takich jak np. amoniak czy siarkowodór. Wprowadzenie do środowiska wodnego efektywnych organizmów powoduje, że wspomagają one aktywność naturalnie występujących mikroorganizmów z tej grupy i nie pozwalają na dominację procesów rozkładu przez beztlenowce bezwzględne. Teoretyczny schemat działania preparatu Aquamar Water Purification przedstawia rycina (Ryc. 3).

Zapewniają tym samym obecność tlenu w strefie przydennej co przywraca jej funkcjonowanie w ekosystemie jeziora przekładając się między innymi na zwiększenie produktywności rybackiej.



Ryc. 4. Zabieg aplikacji preparatu probiotycznego Aquamar Water Purification we wrześniu 2016 roku. Uwagę zwraca zabarwiona na zielony kolor woda jeziora Jeziorko – efekt permanentnego zakwitnięcia glonowego w tym akwenie.

Realizacja projektu

Projekt jest realizowany według schematu grupującego zespoły kompleksowych działań w obrębie zaplanowanych etapów:

Etap I – Badania stanu środowiska przyrodniczego i jakości hydrochemicznej wód i osadów oraz morfologii jeziora Jeziorko. Określenie uwarunkowań środowiskowych oraz poziomu i charakteru oddziaływań człowieka, na jakość wód jeziora (np. pochodzenie i wielkość zanieczyszczeń).

Etap II – Zapoczątkowanie remediacji biologicznej przez odpowiednio dobraną i zrealizowaną aplikację czynnika probiotycznego „Aquamar Water Purification” (Ryc. 4).

Etap III – Badanie, jakości tempa i nasilenia zmian związanych z procesem remediacji biologicznej wód jeziora Jeziorko przy wykorzystaniu porównawczych analiz hydrochemicznych i metod bioindykacyjnych.

Etap IV – Bieżąca analiza naukowa wyników badań i ich popularyzacja.

Etap V – Opracowanie zespołu działań służących trwałości efektów realizacji projektu i zalecanych działań celem optymalnej restytucji walorów przyrodniczych i użytkowych środowiska jeziora Jeziorko.

Wyniki

Dane zebrane w trakcie realizacji projektu są gromadzone i w miarę możliwości na bieżąco analizowane. Obiektywna wartość uzyskanych wyników będzie możliwa po ich weryfikacji przez środowisko naukowe na podstawie planowanych publikacji naukowych. Tym niemniej częściowe analizy porównawcze pozwalają na pozytywną ocenę efektów bioremediacji w aspekcie zarówno, jakości jak i szybkości osiągniętych do tej pory rezultatów. Zaobserwowane efekty przeprowadzonych działań, na potrzeby niniejszego opracowania zostały podzielone na poszczególne grupy i przedstawione w formie skróconej.

Efekt mikrobiologiczny

Ze względu na wykorzystanie czynnika mikrobiologicznego w procesie rekultywacji, środowisko jeziora Jeziorko od początku realizacji projektu jest monitorowane pod tym kątem. Uzyskane wyniki potwierdzają brak jakiegokolwiek negatywnego wpływu remediacji mikrobiologicznej przy pewnych oznakach pozytywnych oddziaływań wyrażonych zmianami poziomu koncentracji bakterii uważanych za niepożądane w wodach otwartych. Porównując stan bakteriologiczny wód Jeziorka przed i po aplikacji probiotyku stwierdzono spadek koncentracji paciorkowców kałowych z poziomu 1000-45000 w 2016 roku do poziomu 60-200 komórek bakteryjnych w 100 ml próby. Podobnie zanotowano spadek koncentracji w przypadku bakterii mezofilnych i psychrofilnych.

Miano coli wód Jeziorka z poziomu 17 nieznacznie wzrosło do poziomu ponad 20. Miano coli zwane też mianem pałeczek okrężnicy to najmniejsza objętość wody (w cm^3), z której w hodowli powstanie przynajmniej jedna kolonia *Escherichia coli*, bakterii z rodzaju *Enterobacter*, *Citrobacter*, lub *Klebsiella*. Określanie miano coli jest podstawową metodą oceny, czy woda miała kontakt z odchodami. Według obowiązujących norm, jakość wody w Jeziorku plasuje się pomiędzy wartością dla wody stosunkowo czystej (tj. możliwej do użycia – miano coli 10), a dostatecznie czystej (miano coli 100).

Ciekawym i dość spektakularnym wynikiem wskazującym na zapoczątkowanie procesu efektywniejszej mikrobiologicznej mineralizacji osadów jest wyraźny spadek ich miąższości przejawiający się między innym wzrostem głębokości jeziora Jeziorko na obszarze całej jego misy. Ryciny (Ryc. 7) przedstawiają wyniki mapowania batymetrycznego wykonane w kolejnych latach badań tj. przed i po aplikacji probiotyku. Wzrost głębokości misy jeziornej w powiązaniu z wynikami badań organizmów bentosowych wskazuje na oczekiwany mechanizm mineralizacji przedstawiony schematycznie na rycinie (Ryc. 3) tego opracowania. Wzrost głębokości i zmiana charakteru sedimentów stworzyły

korzystne warunki siedliskowe. Potwierdza również fakt pojawienia się zwartych agregacji („podwodnych dywanów”) roślinności wodnej, konkretnie rogotka sztywnego na 1/3 powierzchni dna jeziora Jeziorko w jego północnej części. W roku poprzedzającym zabieg remediacji dno tego obszaru było całkowicie pozbawione roślinności.

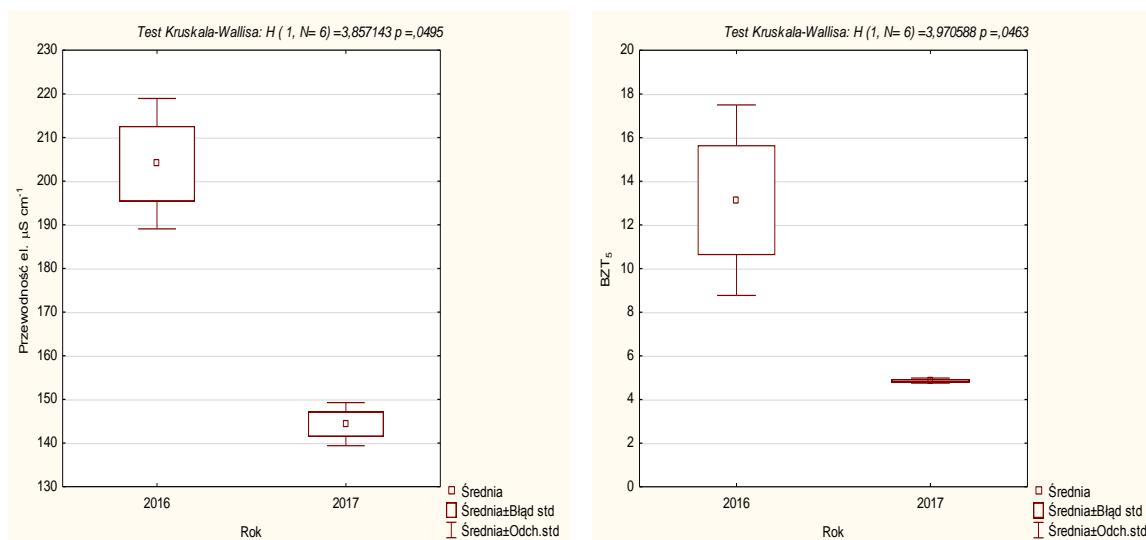
Efekt hydrochemiczny

Wyniki analiz systematycznie badanych, 31 wskaźników fizyko-chemicznych jakości wód zbiornika (Ryc. 5) wykazały wystąpienie zmian ich jakości po dokonaniu zabiegu aplikacji probiotyku. Kompleksowa ocena tych zmian i określenie znaczenia dla efektywności procesu rekultywacji, jak wspomniano wyżej jest kwestią szczegółowej analizy naukowej oraz uzupełnienia danych z roku 2018. Zakłada się dodatkowo, że oczekiwane zmiany jakości wód będą postępowały w perspektywie wieloletniej. Trudno jest, bowiem oczekiwać, że środowisko, które przez dziesięciolecia było doprowadzone do zastanego stanu (Ryc. 1, 2 oraz 9) zareaguje na działania rekultywacyjne nagłą i silną reakcją w postaci wyraźnych zmian wartości badanych wskaźników. Zwłaszcza, gdy stan wyjściowy charakteryzował się bardzo wysoką hipertrofią z wartościami większości wskaźników znacznie powyżej wartości granicznych. Tym niemniej na szczególną uwagę zasługują pewne zaobserwowane już teraz, istotne zmiany wartości parametrów wskazujące na pożądany kierunek zainicjowanych remediacją biologiczną zmian środowiskowych.

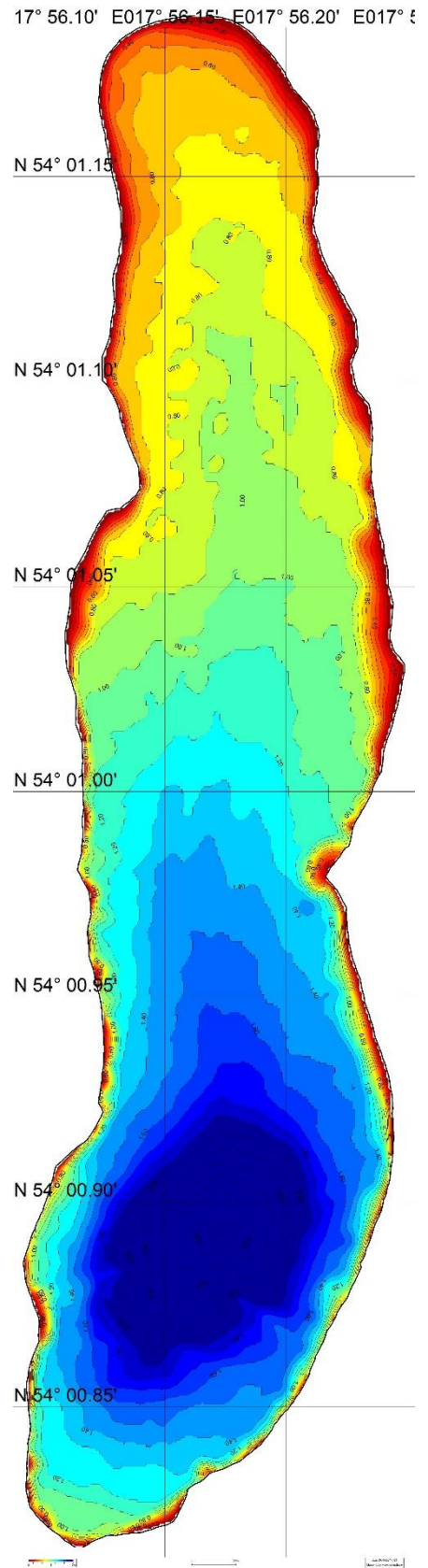
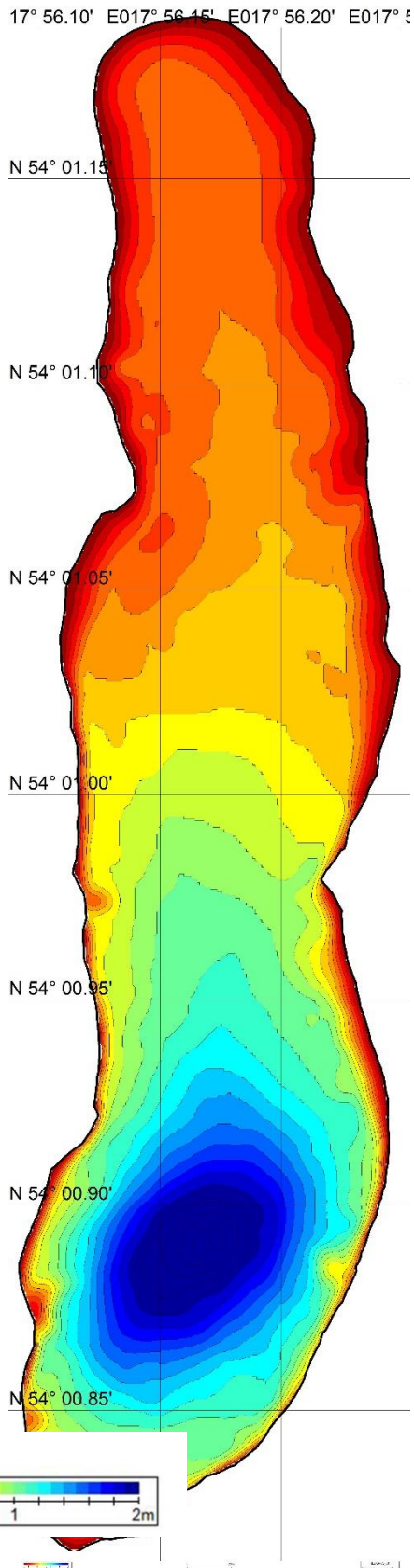
Do takich zmian uchwytnych w pierwszej kolejności należy zaliczyć zdecydowany wzrost przejrzystości wody powierzchniowej jeziora Jeziorko. Poziom przejrzystości w pierwszej ocenie tj. lipcu 2016 roku nie przekraczał 35 cm (!) (Ryc. 1). Po roku ten sam wskaźnik kształtował się na poziomie 65-70 cm. Wartość ta co prawda nadal była odległa od wartości granicznej (powyżej 140 cm), tym niemniej ten prawie 100% wzrost przejrzystości spowodowany był mniejszą koncentracją glonów planktonowych w warstwie powierzchniowej wód. Potwierdzeniem tego może być stwierdzony spadek koncentracji chlorofilu a (barwnik występujący w komórkach glonów) z poziomu ponad 138 μg (2016 rok) do 67 μg w litrze wody. Stwierdzono istotny spadek koncentracji materii organicznej ulegającej rozkładowi biologicznemu mierzony za pomocą wskaźnika BZT₅. Wielkość tej zmiany z wynikami analizy statystycznej prezentuje rycina (Ryc. 6). Podobny istotny spadek zanotowano w przypadku przewodności elektrycznej (Ryc. 6) i chemicznym zapotrzebowaniu tlenu (ChZT-Mn i ChZT-Cr). Spadkom wartości tych wskaźników towarzyszył brak zmian, a nawet niewielki wzrost koncentracji związków biogenicznych tj. azotu i fosforu co można tłumaczyć zintensyfikowaniem procesów mineralizacji materii organicznej w wodach i osadach Jeziorka.



Ryc. 5. Pomiary hydrochemicznej jakości i pobór prób wody jeziora Jeziorko w styczniu 2016 roku.



Ryc. 6. Wybrane wyniki badań i porównań jakości hydrochemicznej wód jeziora Jeziorko wskazujące na efekt samooczyszczania związany z remediacją biologiczną. Prezentowane zmiany poziomu przewodności elektrycznej (wykres lewy) i biochemicznego zapotrzebowania tlenu BZT₅ (wykres prawy) były istotne statystycznie.



A.
B.

Ryc. 7. Porównanie echogramów ilustrujących zmiany głębokości w obrębie misy jeziornej Jezioraka. Batymetria jeziora przed aplikacją probiotyku – wrzesień 2016 (A) i po aplikacji wrzesień 2017 (B)

Efekt hydrobiologiczny

Tak jak wspomniano na wstępie jeszcze za wcześnie, aby w pełni obiektywnie ocenić wagę stwierdzonych zmian i przewidzieć ich tempo. Podstawą do wstępnie pozytywnej ich oceny może być tło w postaci wyników badań hydrobiologicznych. Zmiany składu gatunkowego i liczebności organizmów zasiedlających wody jeziora Jeziorko stanowią najbardziej miarodajne potwierdzenie wystąpienia zmian oraz ich kierunku. W tym wypadku odwrócenie niekorzystnego stanu środowiska przejawiać się będzie wzrostem zróżnicowania gatunkowego. Takich zmian, biorąc pod uwagę niewielką przestrzeń czasową jaką dysponowano, należy poszukiwać wśród organizmów posiadających krótki cykl życiowy, szybkie tempo wzrostu oraz dużą mobilność środowiskową. Takimi organizmami są między innymi bezkręgowce zasiedlające strefę dna zwane makrozoobentosem.

W wyniku badań przeprowadzonych przed i po aplikacji bakterii probiotycznych stwierdzono łącznie w próbach pobieranych cyklicznie w 26 punktach jeziora, 34 rodzin bezkręgowców należących o łącznej liczebności 1109 osobników w roku 2016 i w 31 rodzin o łącznej liczebności 1360 osobników roku 2017. Porównaniem obiektywnie podsumowującym uzyskane wyniki jest zmiana wartości wskaźnika bioróżnorodności Shannona-Wienera, która to dla roku 2016 wynosiła 0.98 bitu na osobnika; a w roku 2017 wzrosła do poziomu aż 2.16 bitu na osobnika. Różnica ta była istotna statystycznie co oznacza, że nie była ona spowodowana czynnikami losowymi, a zmianami środowiskowymi.

Oprócz wskaźnika bioróżnorodności wyniki badań bentosu porównano za pomocą wartości indeksu LMI (Lake Macroinvertebrate Index), wskaźnika zalecanego przez Główny Inspektorat Ochrony Środowiska. Wartość LMI dla jeziora Jeziorko po aplikacji wyraźnie wzrósł z poziomu 0.21 do 0.37. Pomimo faktu, że stwierdzono wzrost o ponad 56% przyrost wartości tego wskaźnika to przyrównując jego wartości do danych granicznych przedstawionych w Tabeli 1 widać wyraźnie, że nadal stan środowiska jeziora Jeziorko należy określić „stan słaby”.

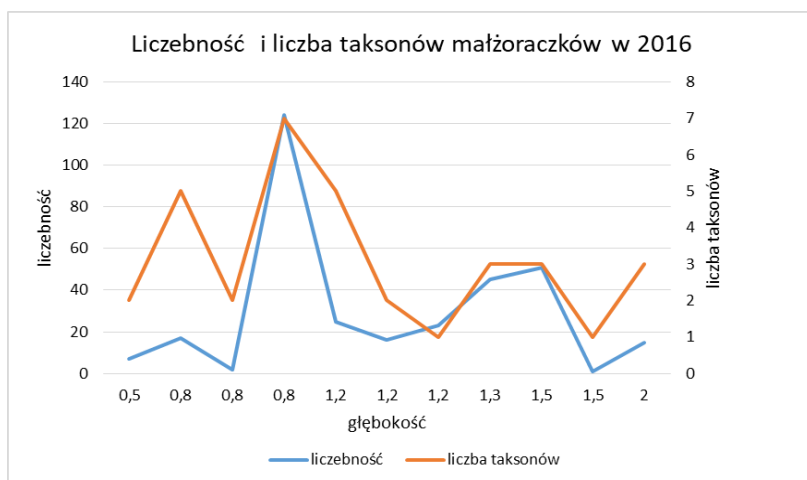
Można zatem przyjąć, że jest to kolejne potwierdzenie wzmiankowanej wcześniej opinii o zdegradowanym stanie „wyjściowym” środowiska jeziora Jeziorko tj. przed aplikacją i zapoczątkowanym korzystnym kierunkiem zmian po dokonaniu zabiegu bioremediacji.

Stan bardzo dobry	>0,764
Stan dobry	0,763-0,573
Stan umiarkowany	0,572-0,382
Stan słaby	0,381-0,191
Stan zły	<0,191

Tabela 1. Zestawienie wartości wskaźnika LMI z określonymi stanami ekologicznymi zbiornika, z zaznaczeniem stanu jeziora Jeziorko przed rekultywacją.

Grupą organizmów bentosowych w obrębie, których kierunek korzystnych zmian można było zaobserwować szczególnie wyraźnie były małżoraczki. Zwierzęta te to niewielkie skorupiaki, osiągające najczęściej rozmiary od 0,5 do 2 mm. Ich ciało okryte jest wapiennym pancerzykiem, składającym się z dwóch skorupki. Skorupki złączone są zawiasem, a ich zamykanie jest możliwe dzięki mięśniowi zwieraczowi, co upodabnia je do małży - stąd ich nazwa.

I tak, wyniki badań wskazują, że liczebność małżoraczek w próbach w 2016 była bardzo niska, wynosiła od 1 do 124 osobników w zależności od pobranej próby, średnia osiągnęła 30 osobników. W 2017 sytuacja znacznie się poprawiła, średnia liczebność wzrosła trzykrotnie osiągając 95 osobników, przy maksymalnej liczebności sięgającej 567 osobników. Różnice w składzie gatunkowym i liczebności przedstawiają ryciny (Ryc. 8).



Ryc. 8. Zmiany jakościowe i ilościowe małżoraczek zasiedlających wody jeziora Jeziorko przed (rok 2016) i po (rok 2017) zabiegu remediacji biologicznej.

Uwaga: skala dla wartości liczebności tych organizmów w roku 2017 obejmuje na wykresie czterokrotnie większy zakres niż na wykresie dla roku 2016.

W 2017 wzrosła liczba odnotowanych gatunków z 9 do 15. W przypadku czterech wskaźników różnorodności gatunkowej dla tej grupy organizmów odnotowano wzrost w 2017, w stosunku do 2016. Stwierdzono, że różnice te są istotne statystycznie dla współczynników: Dominancji_D, Simpsona, Shannona-Wienera oraz równocенności. Wskazuje to na zdecydowane polepszenie się warunków bytowania organizmów bentosowych w analizowanym okresie.

Wskaźnik zróżnicowania gatunkowego	2016 r	2017 r
Dominacja_D	0,655	0,465
Wsk. Simpsona	0,345	0,535
Wsk. Shannona -Wienera	0,608	1,006
Równocенność	0,740	0,736

Tabela 2. Zestawienie wartości wskaźników zróżnicowania gatunkowego fauny małżoraczków jeziora Jezioro dla okresu przed rekultywacją (rok) i po rekultywacji (2017 rok), wskazujące na poprawę stanu ekologicznego siedlisk tego akwenu.

Powyższe wyniki wskazują, że ta grupa organizmów najszybciej pozytywnie zareagowała na zmiany jakościowe środowiska jeziora Jezioro w kolejnych latach badań tj. przed i po aplikacji probiotyku.

Podsumowując wyżej opisane wyniki działań należy stwierdzić zdecydowaną przewagę korzystnych zmian, jakości środowiska obszaru jeziora Jezioro we Wdzydzech. Implikuje to konsekwentną realizację zaplanowanych w ramach projektu działań, a także przewidzieć kierunek aktywności przyszłych służących trwałości uzyskanych rezultatów.

Co dalej?

Jak stwierdzono wyżej, dotychczasowe wyniki realizacji projektu wskazują na celowość kontynuacji podjętych działań. Zebrana wiedza i doświadczenie wskazują także, że koniecznymi dla zwiększenia efektywności procesu rekultywacji jeziora Jezioro jest zaplanowanie działań wspierających. Do tego typu działań, bezwzględnie koniecznych, należy zaliczyć te ograniczające lub nawet eliminujące występujący stale wpływ dużej ilości związków użyźniających (biogenów) do tego jeziora. Bez tego zabiegu nie możliwym jest, bowiem osiągnięcie oczekiwanego poziomu rekultywacji jeziora, czyli przywrócenia mu szeroko rozumianej użytkowości.

Działaniami wspierającymi, które znacznie przyspieszą spodziewany rezultat rekultywacji, a wartymi rozważenia są te oparte na biomanipulacji. Istnieją, bowiem przesłanki wskazujące, że zainteresowanie społeczności lokalnej tego typu działaniami przy relatywnie niskich nakładach przełożą się na korzystne zmiany środowiskowe przekładające się na wymierne korzyści dla środowiska naturalnego i mieszkańców Wdzydz.



Ryc. 9. Wody jeziora Jeziorko o poranku (wrzesień, 2016). Na powierzchni wody widoczny kożuch glonowosinicowy, wskaźnik hipertrofii tego zbiornika