Opis obszaru zlewni bezpośredniej zbiornika wodnego w miejscowości Ożanna (stan istniejący)

1. Wstęp

Głównym zagrożeniem dla większości zbiorników wodnych, położonych na terenach pozbawionych szczególnie uciążliwych dla środowiska wielkich zakładów przemysłowych, kopalń, rafinerii czy elektrociepłowni jest eutrofizacja wód. Eutrofizacja jest procesem będącym następstwem gromadzenia się w nich różnorodnych substancji odżywczych (soli pierwiastków biogennych oraz materii organicznej) stanowiących źródła pokarmu i energii niezbędne dla wzrostu i rozwoju wszystkich organizmów wodnych. Stały dopływ tych substancji z otaczającej jezioro zlewni prowadzi w konsekwencji do wzrostu żyzności i produktywności biologicznej zbiornika.

Współcześnie wyróżniamy eutrofizacje naturalną będącą przejawem naturalnej ewolucji i starzenia się zbiorników wodnych, oraz eutrofizację antropogeniczną – wywołaną i stymulowaną działalnością gospodarczą człowieka. W chwili obecnej jednak wpływ człowieka na środowisko naturalne jest tak duży i różnorodny i wielokierun-kowy, że w praktyce przyczyn i skutków eutrofizacji naturalnej i antropogenicznej nie da się wyraźnie rozdzielić. Należy jednak podkreślić, że chociaż mechanizmy i skutki naturalnych i wywoływanych przez człowieka procesów eutrofizacyjnych są podobne – to tempo eutrofizacji antropogenicznej jest nieporównywalnie szybsze aniżeli procesów naturalnych. I tak np. o ile naturalna ewolucja zbiornika wodnego od ultra-oligotrofii do mezotrofii może trwać kilkadziesiąt tysięcy lat (wciąż przecież w woj. podkarpackim występują naturalne jeziora mezotroficzne) to przejście niektórych poddawanych silnej antropopresji zbiorników wodnych ze stanu mezotrofii do zaawansowanej eutrofii i hyper-eutrofii odbyło się w ciągu kilkunastu-kilkudziesięciu lat. „Życie każdego zbiornika wodnego" jest w pewnym sensie podobne do życia człowieka. Podobnie jak człowiek, zbiorniki wodne rodzą się, starzeją (eutrofizują) a w końcu „umierają" (zarastają) wypełniając się całkowicie wytworzonymi w nich osadami mineralnymi i organicznymi.

Zbiornikami wodnymi szczególnie podatnymi na eutrofizację są akweny wodne, wybudowane przez człowieka poprzez przegrodzenie odpowiednimi urządzeniami hydrotechnicznymi rzek i cieków, które dostarczają wodę do w ten sposób powstałych zbiorników zaporowych. Dostarczana woda przez rzeki i cieki (do spiętrzenia poziomu wody w zalewach) najczęściej zanim trafi do misy zalewu zbiera po drodze z otaczającej je zlewni bezpośredniej ogromną ilość substancji biogennych (odżywczych). Następuje to na skutek spływów powierzchniowych i podpowierzchniowych wód gruntowych, a także często do takich rzek i cieków odprowadzane są wody z systemów melioracyjnych oraz ścieki, które są szczególnie bogate w nutrienty i materię organiczną. Sztucznie uyworzony przez człowieka zalew wodny staje się więc odbiornikiem wszystkich składników organicznych i mineralnych rozpuszczonych w wodzie rzeki a także zawiesiny wnoszonej wraz znurtem rzeki. Największym niebezpieczeństwem dla prawidłowego, ekologicznego funkcjonowania ekosystemu wodnego każdego zbiornika zaporowego jest fakt ogromnego spowolnienia przemieszczania się mas wodnych w obrębie jego misy w porownaniu z nurtem rzecznym do niego docierającym. Skutkuje to przede wszystkim ogromnym spowolnieniem naturalnych procesów samooczyszczania się wód, a co z tym się wiąże bezpośrednio, wzmożonym tempem eutrofizacji wód i osadów dennych zalewów na skutek nagromadzania się w nich nadmiernej ilości substancji

biogennych i materii organicznej. Takie zbiorniki wodne podlegają niezywkle szybko degradacji ekologicznej a także na skutek ich hypereutrofizacji nie pełnią w sposób zadowalający określonych funkcji gospodarczych i/lub rekreacyjno-sportowych. Nader często wymownym skutkiem hypereutrofizacji takich zbiorników wodnych są masowe zakwity sinic (cyjanobakterii) wytwarzających silne cyjanotoksyny przez co wody takie stwarzają duże niebezpieczeństwo sanitarne i zdrowotne dla ludzi i zwierząt. Nic więc dziwnego, że w okresach masowych zakwitow sinicowych inspektorzy stacji sanitarno-epidemiologicznych nakazują zamknięcie kąpielisk oraz całkowity zakaz używania wody z zakwitem do wszelkich celów spożywczo-gospodarczych.

W ostatnich kilku dekadach na skutek intensywnego zagospodarowania zlewni bezpośrednich zbiorników wodnych przez człowieka (urbanizacja terenów → więcej ścieków komunalnych; zwiększona aktywność produkcyjna i przemysłowa → więcej ścieków przemysłowych; intensywna produkcja rolna → więcej nawozów fosforowych i azotowych spływających z pól; masowe hodowle zwierząt gospodarczych → większa ilość gnojowicy bogatej w fosfor, azot i materię organiczną; intensyfikacja turystyki lądowej i nawodnej → więcej zanieczyszczeń i ścieków; itp.) lawinowo wzrósł zwiększo-ny dopływ zewnętrzny fosforu ze zlewni, który wraz z dopływem wewnętrznym z osadów dennych i mikrobiologiczną regeneracją ortofosforanu z organicznych połączeń tego pierwiastka w wodzie zbiornika spowodował niekontrolowany rozrost produkcji biomasy fitoplanktonu. Większa biomasa po obumarciu wymagała do jej rozkładu i mineralizacji przez bakterie cudzożywne coraz większej ilości tlenu. Nasilające się procesy heterotroficzne przyspieszały tempo krążenia fosforu w strefie fotycznej zbiornika a coraz bardziej drastyczny niedobór tlenu w coraz większym stopniu uwalniał fosfor z osadów dennych. Procesy eutrofizacyjne ulegały eskalacji i coraz bardziej widoczniej zmieniały wygląd, sposób funkcjonowania jezior i zalewów oraz ich walory przyrodnicze, gospodarcze i rekreacyjne. W ten sposób zbiorniki wodne osiągały stan zaawansowanej eutrofii lub hyper-eutrofii. Pojawiały się w nich coraz częściej masowe zakwity glonów oraz cyjanobakterii (sinic), drastycznie spadała przezroczystość wody, pojawiały się poroślowe glony nitkowate, postępował szybki zanik m. in. roślinności zanurzonej w strefie brzegowej, w głębszych partiach zbiorników wymierała racicznica i inne bezkręgowce (istotne źródło pokarmu niektórych ryb karpiowatych), ulegały zniszczeniu miejsca tarła innych gospodarczo cennych gatunków ryb (sieja, sielawa). Coraz częstszemu odtlenieniu wód przydennych w silnie zeutrofizowanych zbiornikach wodnych towarzyszyło pojawianie się toksycznego dla wielu organizmów siarkowodoru. W efekcie tych procesów nastąpiło drastyczne zmniejszenie się bioróżnorodności gatunkowej i funkcjonalnej w ekosystemach wodnych co spowodowało drastyczne spowolnienie naturalnych procesów samooczyszczania się wód doprowadzających do znacznej utraty ich walorów ekologicznych i gospodarczych.

2. Ogólna charakterystyka Zalewu Ożanna

Zbiornik wodny, zwany także Zalewem Ożanna, położony jest w granicach gminy wiejskiej Kuryłówka w miejscowości Ożanna, w powiecie leżajskim. Jest to zbiornik zaporowy wybudowany w latach siedemdziesiątych ubiegłego wieku do celów rekreacyjno-wypoczynkowych i częściowo jako zbiornik retencyjny. Zalew Ożanna powstał na skutek przegrodzenia rzeki Złota, a jego odpływ wód znajduje się na obszarze północno-zachodnim zbiornika. Spiętrzenie wód Zalewu Ożanna powoduje śluza, która podwyższa poziom powierzchni wód zalewu, w stosunku do poziomu

odpływającej z niego rzeki Złota, o ok. 3,5 m. W klasyfikacji wód powierzchniowych zbiornik Ożanna (nr 47625839) jest zaliczony do kategorii wód stojących.
Kontrola retencjonowania wody w Zalewie Ożanna odbywa się poprzez odpływ jego wód przydennych (śluza otwarta jest od dołu), które kaskadowo opadają do rzeki Złota. Powoduje to stagnację wód powierzchniowych zalewu, a niewielki ruch powierzchniowych mas wody sprzyja rozwojowi sinic w zbiorniku w okresie letnio-jesiennym, albowiem sinice preferują środowiska o niewielkim przepływie wody.

Misa zbiornika jest słabo zagłębiona w podłoże, płaska o niewielkim zróżnicowaniu morfologiczno-batymetrycznym, ma kształt wydłużony w kierunku południowo-północno-wschodnim. Podstawowe dane morfometryczne Zalewu Ożanna przedstawiono w **Tabeli 1**.

Tabela 1. Zalew Ożanna

Powierzchnia (ha)	18
Maksymalna głębokość (m)	1,6
Średnia głębokość (m)	1,1
Położenie n.p.m. (m)	173,2
Długość maksymalna (m)	650
Szerokość maksymalna (m)	303
Średnia szerokość (m)	275
Współczynnik wydłużenia	2,36
Długość linii brzegowej (m)	2 560
Objętość wód (m^3)	19 800
Lokalizacja GPS (część centralna jeziora)	N 50°17'01'' E 22°30"52"

wg. http://mapy.geoportal.gov.pl

Strefa litoralu jest stosunkowo słabo rozwinięta, najlepiej w części północno-wschodniej zbiornika, porośnięta typową roślinnością wynurzoną: trzcina pospolita (*Phragmites communis*) i pałka wąskolistna (*Typha angustifolia*). Dno strefy litoralowej w części południowej jeziora najczęściej porasta rogatek sztywny (*Ceratophyllum demersum*).

Wody zbiornika Ożanna od kilkunastu lat są silnie zeutrofizowane (hyper-eutroficzne) z permanentnymi dużymi zakwitami fitoplanktonu występującymi w okresie późno-wiosennym do połowy jesieni. W okresie letnim w zakwitach fitoplanktonu dominują sinice (cyjanobakterie), z których większość szczepów posiada zdolność do wytwarzania toksyn (mikrocystyn z grupy hepatotoksyn i neurotoksyn). Główną przyczyną silnej eutrofizacji wód zbiornika Ożanna w przeszłości były zanieczyszczenia punktowe z odprowadzanych ścieków komunalnych, a po odcięciu ich dopływu do zalewu, w chwili obecnej jezioro jest zasilane biogenami przede wszystkim przez główny ciek (nr 47630480) o maksymalnej szerokości ok. 1,5 m odprowadzający biogeny i zawiesinę ze spływów powierzchniowych z gruntów rolnych i upraw trawiastych z wschodniej części zlewni bezpośredniej do rzeki Złota na odcinku ok. 700 m przed jej ujściem do zalewu. Dodatkowym źródłem zanieczyszczeń, aczkolwiek w znacznie mniejszym stopniu aniżeli ww. główny ciek śródpolny, jest rzeka Złota, która przepływając przez tereny intensywnych upraw rolniczych wnosi do zalewu Ożanna przede wszystkim związki biogenne azotowe i fosforowe. Nie bez znaczenia także ma spływ bezpośredni zanieczyszczeń ze zlewni, głównie w jej wschodniej części obszarowej obejmującej

tereny rolnicze, Część północno-zachodnia i południowa zlewni bezpośredniej zbiornika Ożanna ma charakter leśny co w dużej mierze chroni wody zalewu przed nadmiernym spływem zanieczyszczeń powierzchniowych.

3. Stanowiska badawcze i analizy

W Zalewie Ożanna można w wyróżnić część północną, do której wnoszone są wody rzeki Złota, oraz główne ploso zbiornika w części zachodniej wydłużone w kierunku północ-południe, w którego południowo-zachodnim krańcu znajduje się śluza spiętrzająca wodę i jej ujście ponowne do rzeki Złota. Na dopływach i odpływie rzeki Złota i dopływie cieku głównego do rzeki, oraz na powierzchni zbiornika Ożanna zlokalizowano stanowiska badawcze, z których pobierano próbki wody i osadów dennych do analiz laboratoryjnych, a także na tych stanowiskach wykonano bezpośrednio w wodzie pomiary podstawowych parametrów jakości wody i powierzchniowej warstwy osadów dennych (**Fot. 1**).

Fot. 1. Stanowiska poboru próbek wody i osadów dennych do badań Zalewu Ożanna.
0 – N 50°16'57", E 22°32'06"; 1 – N 50°17'08'', E 22°31'32''; 2 – N 50°17'05'', E 22°31'35''; 3 – N 50°17'03'', E 22°31'15''; 4 – N 50°17'04'', E 22°30'57''; 5 – N 50°16'54'', E 22°30'45''; 6 – N 50°16'54'', E 22°30'40''.
Głębokość maksymalna stanowisk: 0 = 0,3 m; 1 = 0,8 m; 2 = 1,1 m; 3 = 1,3 m; 4 = 1,5 m; 5 = 1,6 m; 6 = 0,6

Próbki wody i osadów dennych pobrano we wrześniu 2017 r. Na stanowiskach badawczych zmierzono przezroczystość wody przy pomocy krążka Secchie'go, do

badań laboratoryjnych pobrano próbki osadów dennych (warstwa 0-10 cm) oraz próbki wody z warstwy powierzchniowej (0-50 cm) i strefy przydennej (0,5 m nad dnem). Każdorazowo podczas poboru próbek do badań laboratoryjnych na stanowiskach w warstwie powierzchniowej i strefie przydennej wody oraz powierzchniowej warstwie osadów dennych zmierzono podstawowe parametry jakości wód przy pomocy sondy tlenowej. Dodatkowo podczas poboru próbek z zalewu (stanowiska nr 3, 4, 5) wykonano szereg pomiarów fizyko-chemicznych właściwości kolumny wody (od powierzchni do dna) bezpośrednio in situ w jeziorze przy pomocy sondy wieloparametrycznej (Yellow Springs Instruments, model ProDSS, USA). W profilu kolumny wody zmierzono: temperaturę, tlen rozpuszczony, tlen nasycenie, pH, potencjał redox, przewodnictwo właściwe, mętność, chlorofil$_a$. W laboratorium analitycznym należącym do Laboratorium Ochrony i Rekultywacji Wód Centrum Nauk Biologiczno-Chemicznych Uniwersytetu Warszawskiego w pobranych próbkach wody i osadów dokonano szeregu analiz właściwości chemicznych i biologicznych (**Tabela 2 i 3**).

Tabela 2. Analiza próbek wody powierzchniowej i ze strefy przydennej

Fosfor (mg P/L)	całkowity mineralny
Azot (mg N/L)	całkowity amonowy azotanowy
Rozpuszczona materia organiczna (mg C/L)	
CHZT (mg O_2/L)	
Ogólna liczebność bakterii (miliony/mL)	
Skład fitoplanktonu	
Mętność (NTU)	
Przewodnictwo (μs/cm)	
Chlorofil$_a$ (μg/L)	
Przezroczystość wody Secchi (m)	

Tabela 3. Analiza próbek osadów dennych

Fosfor (mg P/L)	całkowity
Zawartość frakcji (%)	mineralnej
	organicznej
EPC0 (mg P/L)	

Ocenę jakości wód i osadów przeprowadzono zgodnie z rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 9 listopada 2011 roku w sprawie sposobu klasyfikacji stanu

jednolitych części wód powierzchniowych oraz środowiskowych norm jakości dla substancji priorytetowych (Dz. U. z 2011 r. Nr 257, poz. 1545).

Metodyka analityczna

Analizy chemiczne

Analizy związków azotu i fosforu wykonano zgodnie z Polską Normą: Azot amonowy: PN-C-04578-01:1976P; Azot całkowity Kjeldahla: PN-C-04576-12:1973P; Azot azotanowy (elektroda jonoselektywna): PN-C-04576-10:1986P; Fosfor w wodzie PN-EN 1189:2000 oraz PN-EN ISO 6878:2006; Fosfor w osadach: PN-C-04537-14:1998P. Zawartość chlorofilu$_a$ w badanych próbkach wody oznaczano fluorymetrycznie wg. protokołu opracowanego przez Turner Design (USA). Oznaczenia BZT_5 i CHZT wykonano wg. procedur i z użyciem odczynników firmy Merck.

Analizy mikroskopowe

Skład i występowanie poszczególnych rodzajów glonów i sinic w zespołach fitoplanktonu Zalewu Ożanna zbadano w mikroskopie świetlnym Olympus CX21. Analiza ilościowa fitoplanktonu wykonana została w komorze Sedgwick-Raftera o pojemności 0,48 mL. W każdej próbce zliczano przynajmniej 300 jednostek fitoplanktonu. Liczebność fitoplanktonu wyrażono w komórkach na mililitr próbki.

Ogólną liczbę bakterii w badanych próbkach wody policzono metodą bezpośredniego liczenia komórek pod mikroskopem epifluorescencyjnym Nikon Eclipse (Japonia). Komórki bakterii odsączone z 1-2 mL próbki wody jeziornej i osadzone na powierzchni filtra membranowego (poliwęglanowe 0,2 µm średnica porów; Sartorius, Niemcy) wybarwiono barwnikiem fluorescencyjnym DAPI, który wybarwia DNA bakterii. Analizę liczebności wybarwionych komórek bakterii wodnych przeprowadzono w oparciu o system cyfrowej analizy obrazu mikroskopowego (Nikon, Japonia).

4. Aktualny stan jakości wody Zalewu Ożanna

4.1. Właściwości wody powierzchniowej

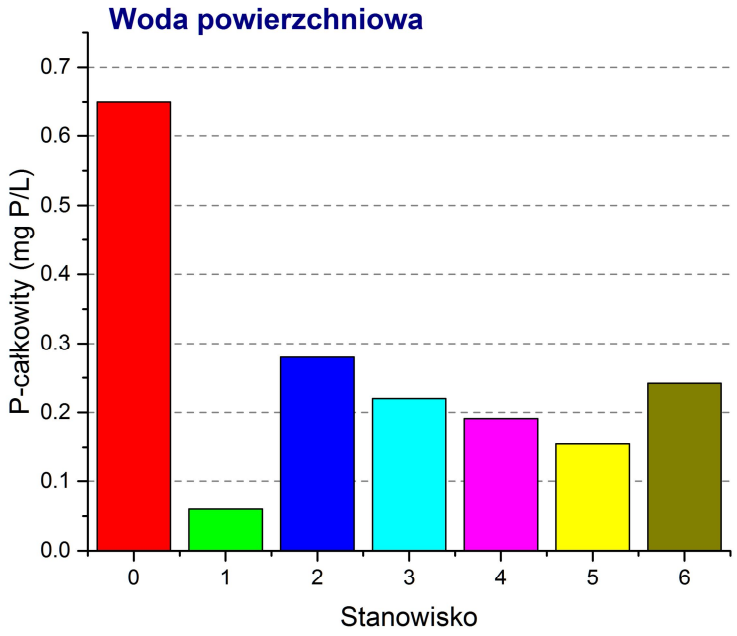
4.1.1. Zawartość biogenów

4.1.1.1. Fosfor

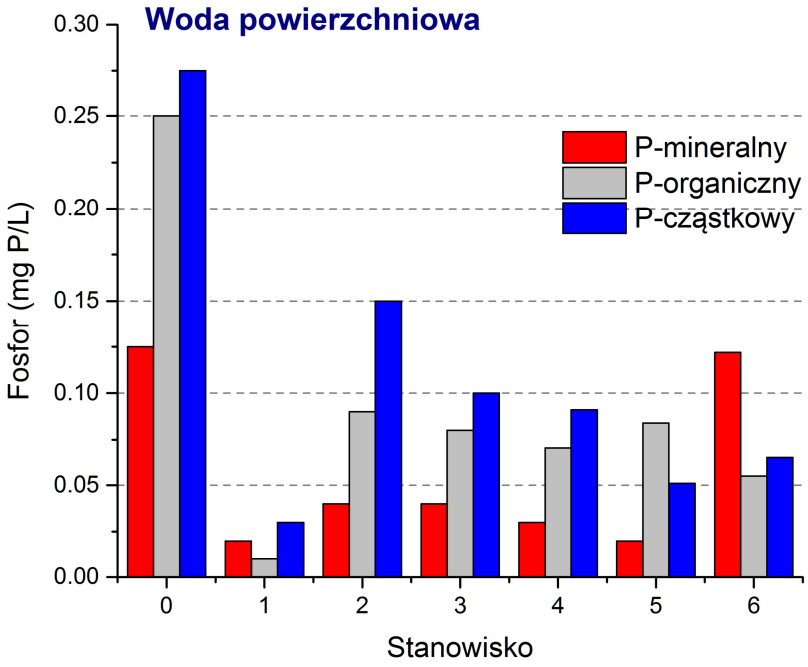
Fosfor (P) w większości jezior i śródlądowych zbiorników wodnych jest pierwiastkiem limitującym rozwój biomasy fitoplanktonu i każde zwiększenie jego stężenia, w szczególności jedynej biologicznie bezpośrednio przyswajalnej formy ortofosforanu – fosforu mineralnego, powoduje drastyczny wzrost biomasy fitoplanktonu i produktywności biologicznej ekosystemu (z 1 kg zasymilowanego fosforu powstaje ponad 500 kg biomasy fitoplanktonu). Fosfor całkowity jest sumą stężeń fosforu rozpuszczonego mineralnego i fosforu organicznego występującego w dwóch postaciach: rozpuszczonego oraz cząstkowego zawartego w biomasie i obumarłych cząstkach organicznych.

Na Rys. 1 przedstawiono zmiany stężeń fosforu całkowitego na stanowiskach badawczych w Zalewie Ożanna w okresach badań. Stwierdzono wyraźne różnice w stężeniu fosforu na poszczególnych stanowiskach badawczych. Najwyższe stężenia P całkowitego zmierzono na stanowisku 0 (0,65 mg P/L) w wodzie cieku zbierającego spływy powierzchniowe z gruntów rolnych w północno-wschodniej części gminy Kuryłówka. Wody tego cieku zasilają wody zalewu u ujścia rzeki Złota. Równie wysokie stężenia fosforu całkowitego zmierzono w próbkach wody na stanowisku 2 (u ujścia wód rzeki Złotej do zalewu) oraz na stanowisku 6 (w wodzie rzeki Złota ok. 150 m po spuszczeniu wody przydennej zalewu ze śluzy). W obrębie

właściwej misy morfometrycznej zbiornika Ożanna (stanowiska pomiarowe 3 – 5) zaobserwowano sukcesywny spadek stężeń fosforu całkowitego w wodzie powierzchniowej. Zakres stężeń P całkowitego jednoznacznie wskazuje na nadmiar tego pierwiastka w wodzie i charakterystyczny jest dla jezior o bardzo silnej hyper-eutrofii.



Rys. 1. Całkowita zawartość fosforu w wodzie powierzchniowej Zalewu Ożanna na 6 stanowiskach badawczych w okresie badań wrzesień 2017 r.



***Rys. 2.** Stężenie fosforu mineralnego, organicznego i cząstkowego w wodzie powierzchniowej Zalewu Ożanna w okresie badań, wrzesień 2017 r.*

Fosfor mineralny ortofosforanowy jest bezpośrednio asymilowaną formą tego pierwiastka przez wszystkie organizmy. Dlatego wzrost jego stężenia w wodzie bezpośrednio i gwałtownie wpływa stymulująco na rozwój biomasy fitoplanktonu i powstawanie zakwitów wody w przypadku dużych jego koncentracji w wodzie jeziora. **Rysunek 2** przedstawia dynamikę zmian stężeń fosforu mineralnego na stanowiskach badawczych. Najwyższe stężenia fosforu mineralnego w wodzie powierzchniowej Zalewu Ożanna zmierzono na stanowiskach 0 i 6. Niskie stężenia fosforu mineralnego, aczkolwiek duże stężenia eutrofogeniczne dla ekosystemów wodnych, zmierzono na stanowisku 1 (rzeka Ożanna) i 5 (przed śluzą). Pomimo dużej asymilacji P mineralnego do wytworzonej biomasy fitoplanktonu w Zalewie Ożanna, jednakże nadal w środowisku wodnym w wodach powierzchniowych zalewu utrzymywał się jego duży nadmiar (**Rys. 2**) w stosunku do zapotrzebowania fitoplanktonu na ten pierwiastek.

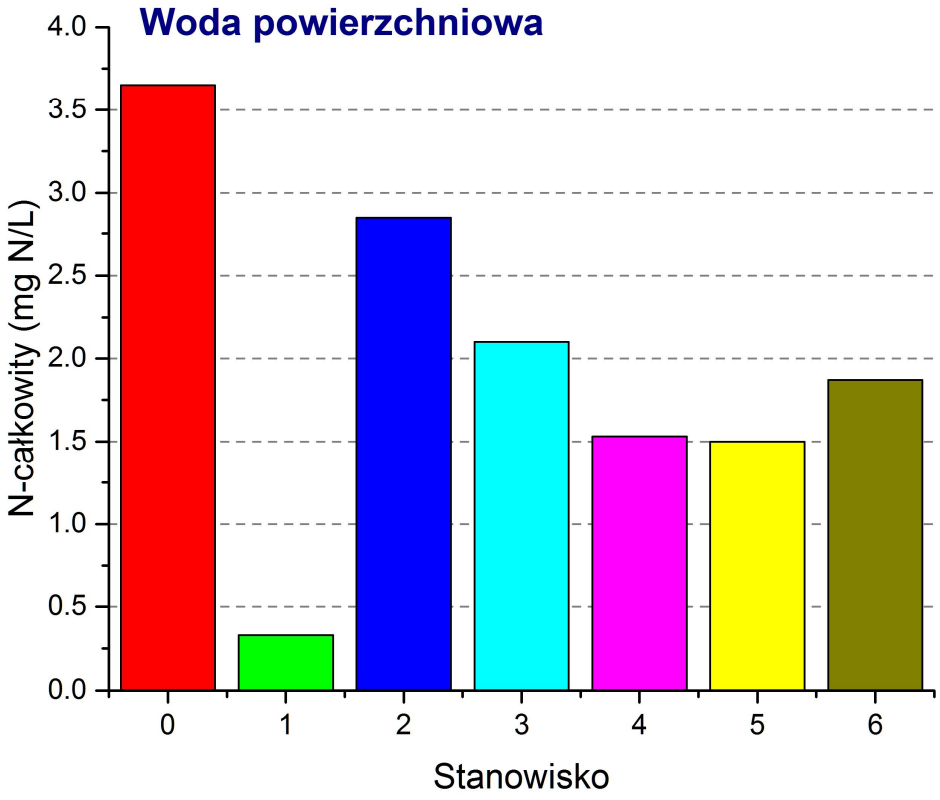
Fosfor zawarty w związkach organicznych pochodzi z asymilacji P mineralnego przez organizmy. Pula P organicznego stanowi także ważne źródło P mineralnego, który jest szybko i efektywnie uwalniany przez bakterie do wody podczas enzymatycznej defosforylacji i mineralizacji materii organicznej. W Zalewie Ożanna stężenia P organicznego bardzo dynamicznie się zmieniały w zależności od stanowiska pomiarowego (**Rys. 2**). Generalnie, najniższe stężenia tej formy P zmierzono na stanowisku 1 usytuowanym w końcowym biegu rzeki Złota przed ujściem do zalewu. Najwyższe stężenia P organicznego zanotowano w wodzie cieku (stanowisko 0) spływającego do ujścia rzeki Złota i ujścia wód do zalewu (**Fot. 2**). Zanieczyszczeniem zasobnym w organiczne połączenia fosforu są najczęściej ścieki komunalne oraz spływy z terenów rolnych nawożonych nawozami organicznymi. Wysokie stężenia fosforu organicznego zmierzono także na wszystkich stanowiskach badawczych w obrębie wód powierzchniowych zalewu co świadczy o dużym skażeniu całej powierzchni wód Zalewu Ożanna tą formą fosforu, której źródłem są najprawdopodobniej spływy powierzchniowe z nawożonych pól uprawnych zbierane przez ciek i odprowadzane do końcowego odcinka biegu rzeki Złota, przed jej ujściem do zalewu.

Fosfor cząstkowy zawarty jest w upostaciowanej materii organicznej, zawiesinie martwych i żywych organizmów wodnych, albowiem jest składnikiem budulcowym i funkcjonalnym każdego organizmu. Wody cieku zbierającego spływy powierzchniowe z pól uprawnych zawierały niezwykle duże stężenie fosforu cząstkowego (**Rys. 2**), który był wnoszony do wód zalewu. W obrębie misy zalewu największe stężenia fosforu cząstkowego zanotowano na stanowisku 2 oraz 5. Podwyższona zawartość fosforu zawiesinowego na stanowisku 2 spowodowana była dopływem zewnętrznym z cieku. Na stanowisku 5 fosfor cząstkowy w zawiesinie był zatrzymywany w wodzie przed śluzą, albowiem odpływ wody z zalewu następuje w dolnej części śluzy, gdzie odprowadzane są wody przydenne a nie powierzchniowe i tworzy się tam zastoisko. Wysoka zawartość fosforu cząstkowego w wodzie powierzchniowej Zalewu Ożanna świadczy o wysokiej zawartości upostaciowanej materii organicznej w zbiorniku.

4.1.1.2. Azot

Azot, oprócz fosforu, jest drugim najważniejszym pierwiastkiem limitującym rozwój fitoplanktonu i warunkującym stan troficzny i tempo eutrofizacji jezior. W odróżnieniu od P mineralnego jedynie biologicznego bezpośrednio przyswajalnego fosforu, azot może być asymilowany przez fitoplankton i inne mikroorganizmy wodne w postaci różnych jego połączeń, zarówno mineralnych utlenionych (np. azotany, azotyny) jak i zredukowanych (związki amonowe) a także i prostych organicznych związków azotu

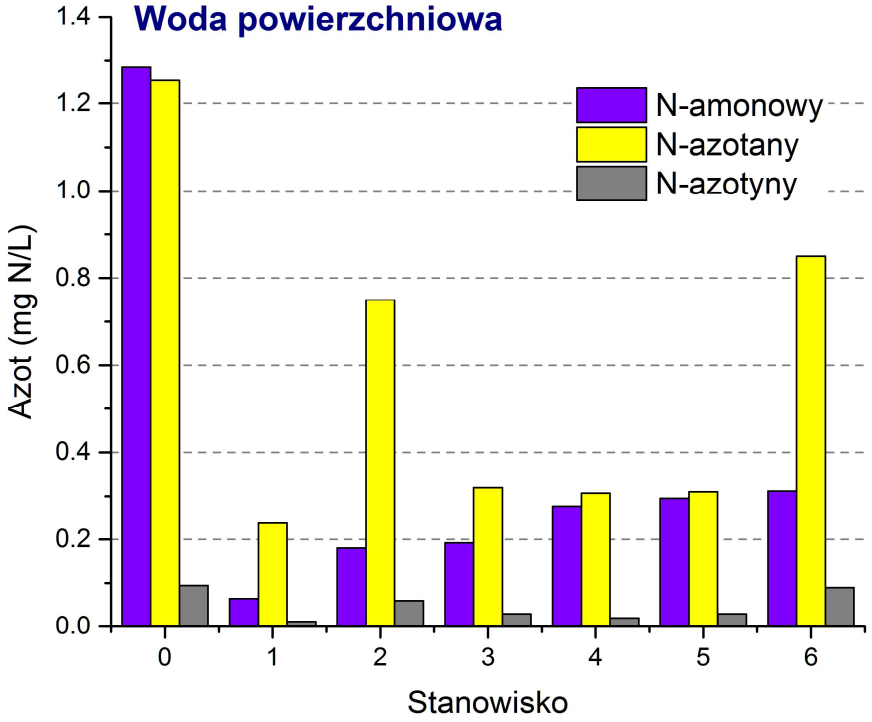
(np. aminokwasy, aminy). O tym, który pierwiastek fosfor czy azot są biogenami powodującymi przyspieszoną eutrofizację jeziora decyduje stosunek stężeń całkowitego N:P. Jeżeli stosunek N:P jest większy od 16 to fosfor jest pierwiastkiem eutrofogennnym, przy stosunku N:P mniejszym od 16 – azot jest biogenem, od którego ściśle zależy proces eutrofizacji.



Rys. 3. Stężenie azotu całkowitego w wodzie powierzchniowej Zalewu Ożanna na badanych stanowiskach w okresie badań 2017 r.

W Zalewie Ożanna najwyższe stężenia azotu całkowitego w wodzie powierzchniowej zmierzono na stanowisku 0 i 2 w (Rys. 3). Próbki wody pobrane z pozostałych stanowisk badawczych wykazywały bardzo wysokie stężenia N całkowitego (1,5 – 2,1 mg N/L) charakterystyczne dla zbiornika hyper-eutroficznego. Również wody przydenne odprowadzane poprzez śluzę do rzeki Złota charakteryzowały się niezmiernie wysokim ładunkiem azotu całkowitego (stanowisko 6 – 1,87 mg N/L). Stosunkowo mało azotu całkowitego dopływa do Zalewu Ożanna rzeką Złota (stanowisko 1 – 0,33 mg N/L), Rys. 4.
Z pośród różnych form azotu zmierzonych w próbkach wody powierzchniowej z Zalewu Ożanna, azot amonowy oraz azotany wykazywały najwyższe stężenia. Azot amonowy jest szczególnie eutrofogennym źródłem azotu ze względu na jego preferencyjne przyswajanie przez fitoplankton. Wysokie stężenia azotanów natomiast wskazują na rolnicze skązenie wód Zalewu Ożanna tą formą azotu wypłukiwaną z gleb. Ekstremalne wartości stężeń azotu amonowego i azotanowego zmierzono na stanowisku 0, natomiast na wszystkich stanowiskach badawczych w wodzie powierzchniowej Zalewu Ożanna przede wszystkim stwierdzono bardzo wysokie stężenia azotu azotanowego i amonowego (Rys. 4). Zarówno wysokie stężenia azotu

amonowego jak i azotanowego są bardzo niebezpieczne dla użytkowników wód Zalewu Ożanna, albowiem obydwie formy azotu, w zależności od przebiegających procesów mikrobiologicznych (tlenowych lub beztlenowych) ulegają przekształceniu do formy przemiany pośredniej – azotu azotynowego, które ma właściwości karcinogenne (stąd zalecenia bezwzględnego przestrzegania zapisów tzw. unijnej dyrektywy azotanowej).

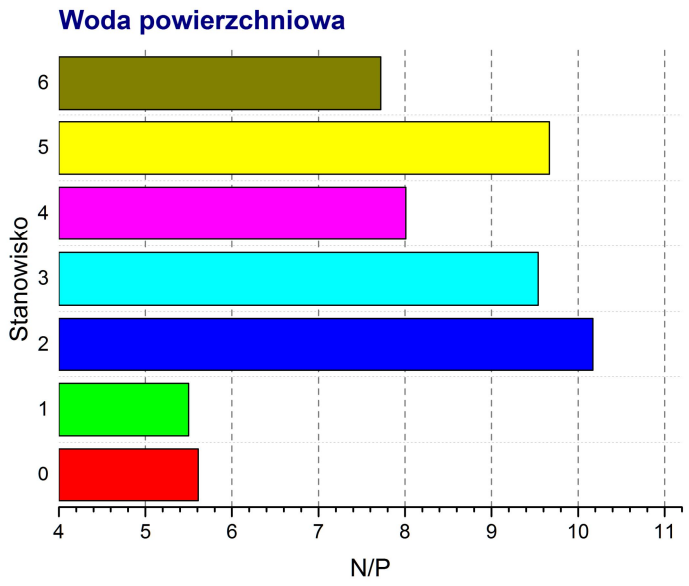


Rys. 4. Stężenie azotu amonowego, azotanów i azotynów w wodzie powierzchniowej Zalewu Ożanna na badanych stanowiskach w okresie badań 2017 r.

Azotany i azotyny powinny być rozpatrywane łącznie, ponieważ w przyrodzie następują przemiany jednych w drugie. Azotany są produktem utleniania azotu organicznego i azotu amonowego przez bakterie obecne w wodzie i w glebie nawożonej nawozami azotowymi, ze ścieków przemysłowych i bytowych lub dostawać się do niej z opadami atmosferycznymi. Azotany są produktem nietrwałym, łatwo przekształcającym się w azotyny w procesach mikrobiologicznych. Obydwie formy azotu bardzo dynamicznie zmieniały swoje stężenia w wodzie powierzchniowej Zalewu Ożanna (**Rys. 4**). **Wysokie stężenia azotanów oraz zbyt wysokie azotynów zaobserwowano na wszystkich stanowiskach badawczych w Zalewie**.

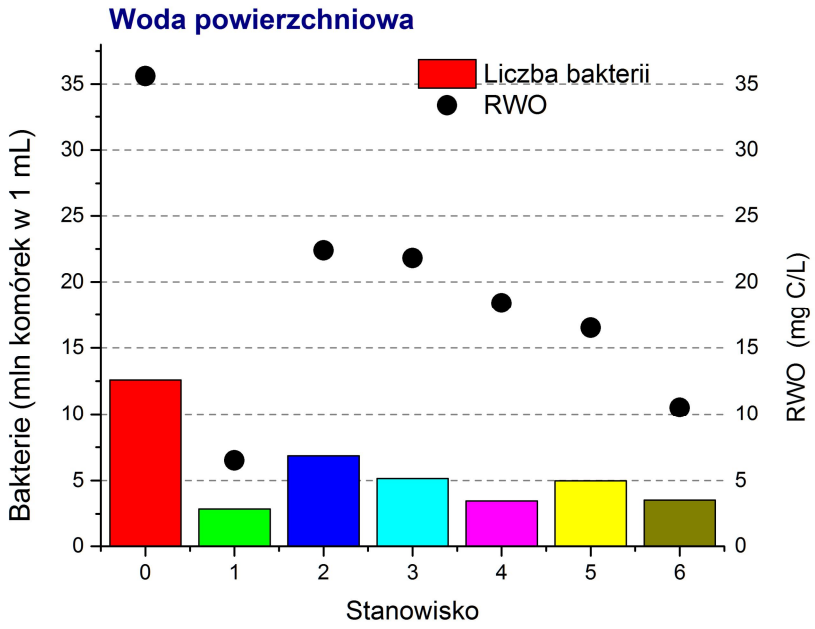
4.1.1.3. Stosunek Azotu do Fosforu (N/P)

Stosunek całkowitych stężeń azotu do fosforu w wodzie powierzchniowej zmieniał się bardzo dynamicznie podczas badań na różnych stanowiskach badawczych (Rys. 5) i wahał się od 5,4-5,6 na stanowisku 0 i 1 do maksymalnie 10,2 na stanowisku 2. Średnia wartość N/P ze wszystkich pomiarów w wodzie powierzchniowej Zalewu Ożanna (bez dopływu i odpływu) wynosiła 9,4. Oznacza to, że w Zalewie Ożanna jest ogromny nadmiar fosforu w stosunku do azotu, oraz, że każdy dodatkowy dopływ zanieczyszczeń zawierających azot doprowadza do niekontrolowanych zakwitów fitoplanktonu.



Rys. 5. *Stosunek całkowitych stężeń azotu do fosforu w wodzie powierzchniowej Zalewu Ożanna w 2017 r,*

4.1.1.4. Rozpuszczona materia organiczna, ogólna liczebność bakterii



Rys. 6. *Stężenie rozpuszczonego węgla organicznego (RWO – miara stężenia materii organicznej) oraz ogólnej liczebności bakterii w wodzie powierzchniowej Zalewu Ożanna w okresie badań 2017 r.*

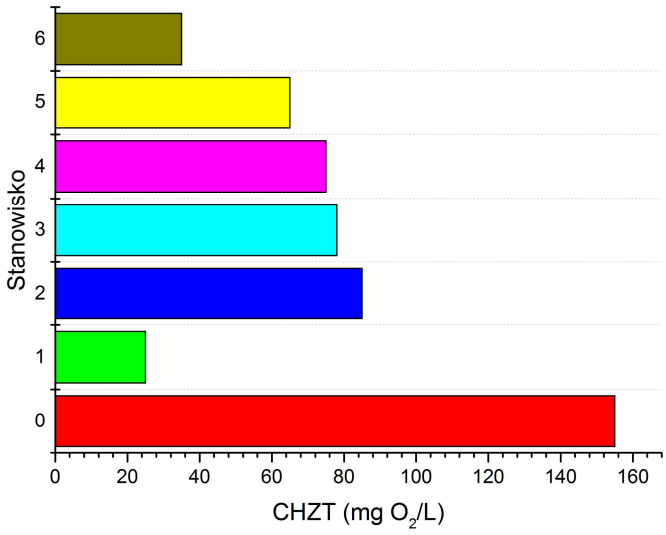
Jednym z bezpośrednich skutków i wskaźników stopnia eutrofizacji jest stężenie rozpuszczonej w wodzie materii organicznej. Ponieważ podwyższenie żyzności wody na skutek dopływu azotowych i fosforowych substancji biogennych wywołuje wzrost produkcji biomasy fitoplanktonu w ekosystemie wzrasta całkowita zawartość materii organicznej (cząstkowej i rozpuszczonej w wodzie). Dominującą pulą materii organicznej w jeziorach jest rozpuszczona materia organiczna, której miarą stężenia

jest ilość węgla organicznego (RWO) zawartego w tej formie materii organicznej. Heterotroficzne bakterie wodne jako jedyne mikroorganizmy mają zdolność do odżywiania się wyłącznie rozpuszczoną materią organiczną, dlatego też jej metabolizm w warunkach tlenowych pociąga za sobą szybkie zużywanie tlenu w wodzie doprowadzając przy nadmiarze materii organicznej w ekosystemie do szybkiego wyczerpywania tlenu i powstawania deficytów tlenowych i/lub beztlenowych części ekosystemu. Dlatego też pomiar stężenia RWO jest niezwykle przydatnym wskaźnikiem potencjału wyczerpywania tlenu przez bakterie w wodzie.

Wartości stężenia RWO w wodzie powierzchniowej Zalewu Ożanna były bardzo wysokie i charakterystyczne dla jezior hyper-eutroficznych (**Rys. 6**). Najwyższe stężenia rozpuszczonej materii organicznej (RWO) odnotowano na stanowisku 0 i 2, 3, stężenia przekraczające 20 mg C/L. Również na pozostałych stanowiskach pomiarowych w wodzie Zalewu Ożanna zawartość RWO była duża i wynosiła ok. 17-18 mg C/L.

Liczebność ogólna bakterii heterotroficznych w wodzie zalewu ściśle się korelowała z zawartością RWO i była ekstremalnie wysoka jak dla środowisk wodnych, nawet mocno zeutrofizowanych. Ponieważ RWO stanowi pożywkę dla bakterii, dlatego też w Zalewie Ożanna odnotowano bardzo dużą liczebność bakterii ze względu na duże zanieczyszczenie organiczne RWO (**Rys. 6**). Aktywny metabolizm przez bakterie RWO doprowadził do zmniejszenia stężenia tlenu w wodzie (**Rys. 12**).

4.1.1.5. Chemiczne Zapotrzebowanie Tlenu (CHZT)



***Rys. 7**. CHZT w wodzie powierzchniowej Zalewu Ożanna w okresie badań 2017 r.*

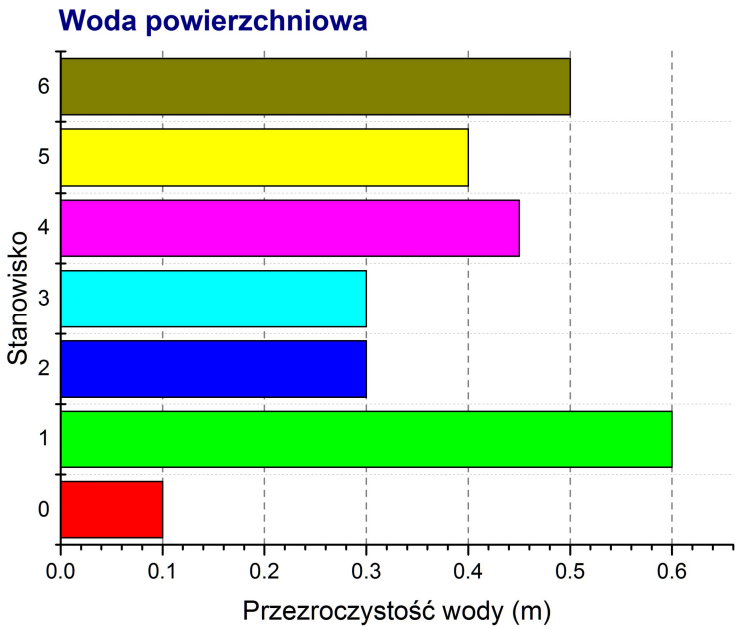
CHZT jest względną miarą ilości materii organicznej i świadczy o jej podatności na utlenienie chemiczne tlenem uwalnianym z dwuchromianu potasu. Wartości CHZT zmierzone w wodzie powierzchniowej Zalewu Ożanna (**Rys. 7**) były bardzo wysokie i nie tylko wskazywały na dużą ilość materii organicznej rozpuszczonej (o czym także bezpośrednio wykazała analiza RWO, **Rys. 6**) ale wykazały także różną jej podatność na utlenienie chemiczne. Najwyższe wartości CHZT (155 mg O_2/L) stwierdzono na stanowisku 0, również bardzo wysokie wartości CHZT zmierzono w

obrębie zalewu (70 – 80 mg O_2/L). Woda rzeki Złota dopływająca do zalewu charakteryzowała się najniższymi wartościami CHZT. Wydaje się, że **głównym źródłem zanieczyszczeń organicznych w Zalewie Ożanna jest ciek śródpolny** (stanowisko 0) odprowadzający wody do rzeki Złotej tuż przed jej ujściem do zalewu.

4.1.2. Właściwości fizyko-chemiczne i biologiczne wody powierzchniowej

4.1.2.1. Widzialność krążka Secchie'go

Widzialność krążka Secchie'go w wodzie jest miarą jej przezroczystości i jest bardzo dobrym, prostym wskaźnikiem stopnia troficznego wód. Na wartość widzialności krążka

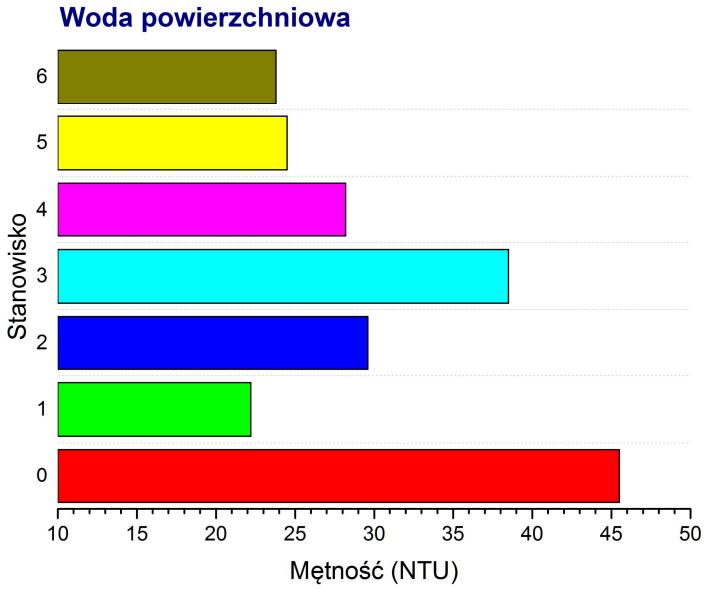


***Rys. 8**. Widzialność krążka Secchie'go w wodzie Zalewu Ożanna w okresie badań 2017 r.*

Secchie'go wpływają podstawowe parametry właściwości środowiska wodnego, tj. zawartość zawiesiny w wodzie (żywa biomasa mikroorganizmów fitoplanktonowych i bakterii, zawiesina martwa, cząstki mineralne), kolor wody, natężenie światła słonecznego, zawartość materii organicznej i mineralnej. Ponieważ wzrost eutrofizacji wód związany jest bezpośrednio ze zwiększeniem w środowisku zawartości uprzednio wymienionych parametrów jakości wód – dlatego pomiar widzialności krążka Secchie'go jest pośrednim, ale bardzo dobrym, wskaźnikiem stopnia eutrofii.

Generalnie **widzialność krążka Secchie'go w Zalewie Ożanna w okresie badań była bardzo niska** (**Rys. 8**), przybierając ekstremalnie niskie wartości na stanowisku 0, 2 i 3 (10 – 30 cm) **wykazując stan hyper-eutroficzny zbiornika wodnego**.

4.1.2.2. Mętność wody



***Rys. 9**. Mętność wody powierzchniowej w Zalewie Ożanna w okresie badań 2017 r.*

Mętność wody mierzona nefelometrycznie jest miarą całkowitej ilości zawiesiny (mineralnej i organicznej) w wodzie. Podobnie jak przezroczystość wody mierzona krążkiem Secchi'ego, mętność wody wskazuje na warunki świetlne w wodzie, przenikanie światła słonecznego w głąb zbiornika wodnego. Im mniejsza mętność wody, tym bardziej światło wnika głębiej pod powierzchnię wody umożliwiając zachodzenie fotosyntezy fitoplanktonu, której produktem jest m.in. tlen w wodzie.

Woda powierzchniowa Zalewu Ożanna charakteryzowała się bardzo wysoką mętnością (27 – 30 NTU), **Rys. 9**. Oznacza to, że fotosynteza zbiornika mogła zachodzić jedynie w cienkiej powierzchniowej warstwie wody, tym samym ograniczając produkcję tlenu w warstwach głębszych zbiornika.

4.1.2.3. Zawartość chlorofilua

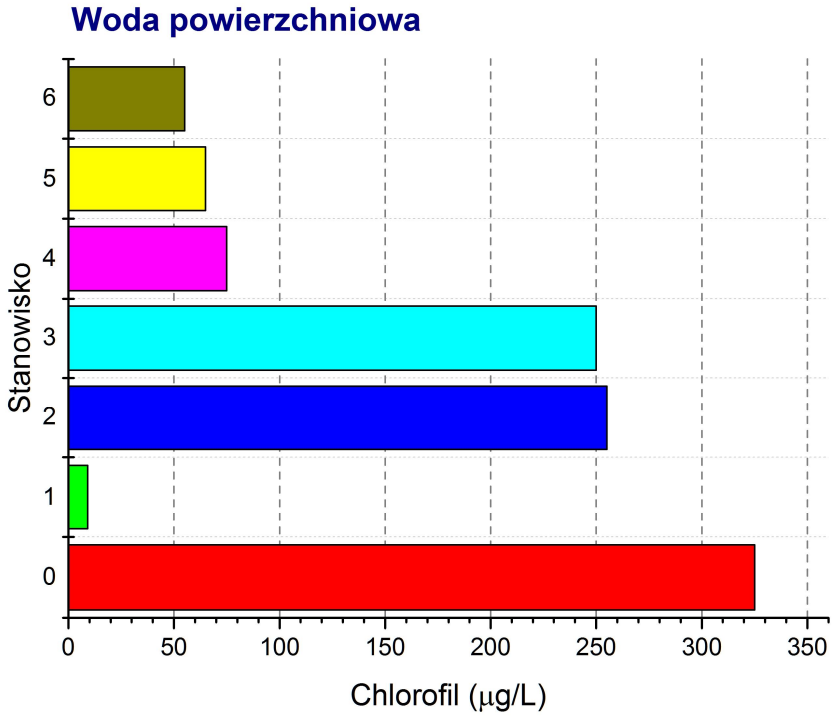
Stężenie chlorofilu$_a$ w wodzie jest ściśle zależne od ilości i aktywności fotosyntetycznej biomasy fitoplanktonu, albowiem chlorofil$_a$ jest podstawowym barwnikiem glonów i sinic wykorzystywanym w fotosyntezie. Bezpośredni pomiar zawartości chlorofilu$_a$ w wodzie oparty jest na jego zdolności do autofluorescencji pod wpływem promieniowania UV. Wykorzystywana w pomiarach właściwości kolumny wody sonda wieloparametryczna YSI ProDSS umożliwiała taki pomiar. Stężenie chlorofilu$_a$ w jeziorach zależy przede wszystkim od zasobności wody w biogeny mineralne, głównie źródeł fosforu i azotu, a jego ilość jest od dawna klasycznym bardzo dobrym wskaźnikiem stanu trofii i zaawansowania eutrofizacji jezior. W oparciu o stężenie chlorofilu$_a$ w wodzie jeziora o jego zawartości powyżej 25-30 µg/L traktowane są jako eutroficzne, a stężenie chlorofilu$_a$ większe aniżeli 75 µg/L charakteryzuje wody hyper-eutroficzne.

Stężenie chlorofilu$_a$ w wodzie powierzchniowej Zalewu Ożanna było charakterystyczne dla zbiorników silnie hyper-eutroficznych, w szczególności

na stanowiskach pomiarowych 2 i 3 (ok. 250 μg/L). Ekstremalnie wysokie stężenie

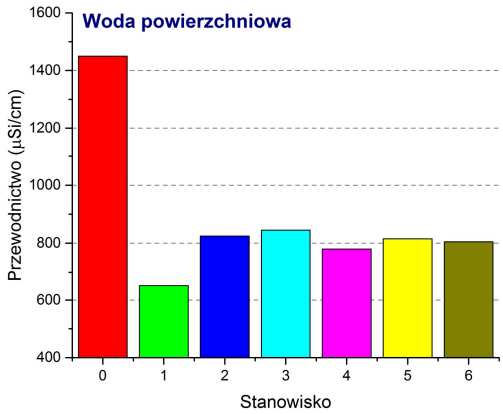
chlorofilu$_a$ (325 μg/L) zmierzono w wodzie cieku na stanowisku 0. W wodzie rzeki

Złota



Rys. 10. Stężenie chlorofilu$_a$ w wodzie powierzchniowej Zalewu Ożanna, wrzesień 2017 r. na jej dopływie do zalewu (stanowisko 1) zmierzono najniższe stężenie chlorofilu$_a$ (ok. 10 g/L). Odpływająca woda z zalewu przez śluzę ponownie do rzeki Złota była już zasobna w chlorofil$_a$ co świadczy o dużej zawartości w niej fitoplanktonu (chlorofil$_a$ jest dobrym biomarkerem biomasy fitoplanktonu),

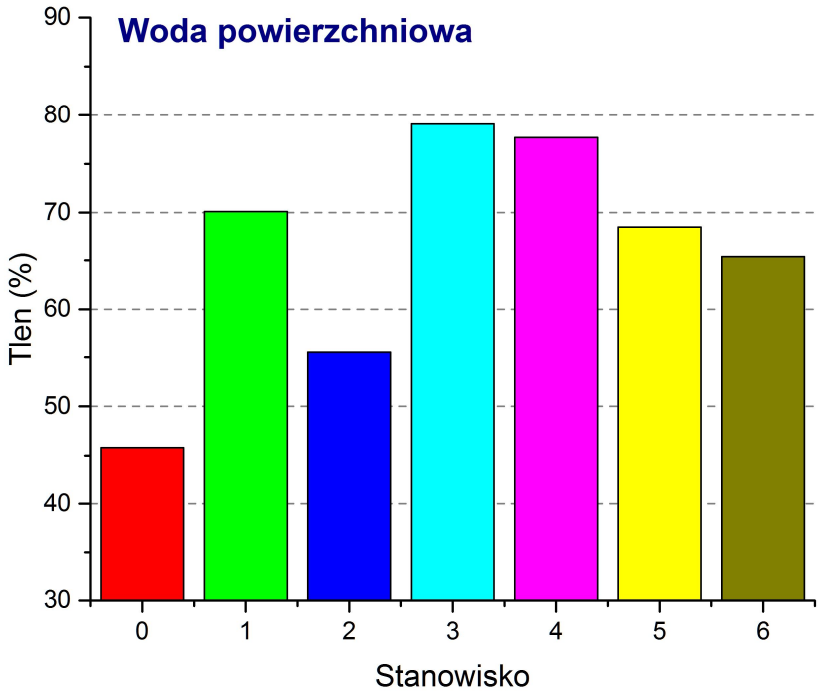
4.1.2.4. Przewodnictwo



***Rys. 11**. Przewodnictwo wody na stanowiskach badawczych w Zalewie Ożanna*

Przewodnictwo elektrochemiczne wody jest ogólną miarą ilości substancji mineralnych i organicznych, które mają właściwości elektrolityczne. Próbki wody pobrane zarówno z warstwy powierzchniowej Zalewu Ożanna jak i w wodzie do niego dopływającej wykazały bardzo duże wartości przewodnictwa wody (**Rys. 11**). Podobnie jak ww. parametry RWO i CHZT (**Rys. 1, 3, 6, 7**) potwierdza ten pomiar obecność silnego zanieczyszczenia w wodach zalewu.

4.1.2.5. Nasycenie wody tlenem



***Rys. 12**. Procent nasycenia wody powierzchniowej tlenem w Zalewie Ożanna w 2017 r.*

Wody powierzchniowe Zalewu Ożanna (stanowiska 2 – 5), a także woda na stanowisku 0 (ciek) oraz 1 i 6 (rzeka) charakteryzowały się brakiem 100% wysycenia tlenem, pomimo dużej zawartości chlorofilu$_a$ świadczącego o dużej biomasie fitoplanktonu wytwarzającego tlen w fotosyntezie. Przyczyną niedoboru tlenu w warstwie powierzchniowej wód na stanowiskach badawczych było duże obciążenie wód zawartością materii organicznej, która podlegała aktywnemu metabolizmowi bakterii heterotroficznych (**Rys. 6**).

4.1.2.6. Fitoplankton

Biomasa fitoplanktonu jest bardzo dobrym wyznacznikiem właściwości troficznych środowiska wodnego i jest dobrze skorelowana ze stężeniem podstawowych biogenów eutrofogennych azotu i fosforu. Rozwój dużej biomasy fitoplanktonu powoduje drastyczny wzrost produkcji pierwotnej ekosystemu. Duża produkcja biomasy fitoplanktonu oznacza duży dopływ materii organicznej z fotosyntezy fitoplanktonu do wód i osadów dennych (po obumarciu fitoplanktonu) szczególnie w płytkich jeziorach jakim jest Zalew Ożanna. Obumarła materia organiczna podlega mikrobiologicznym procesom rozkładu, które są znacznie szybsze w warunkach tlenowych i które jednocześnie zużywają w metabolizmie tlenowych bakterii

heterotroficznych duże ilości tlenu rozpuszczonego w wodzie. Procesy te często w jeziorach bardzo produktywnych, a takim jest Zalew Ożanna, doprowadzają do całkowitego wykorzystania tlenu z wody i powstawania stref beztlenowych w strefie wód przydennych i osadów dennych.

Aczkolwiek biomasa fitoplanktonu zależy głównie od warunków troficznych ekosystemu to skład zespołów fitoplanktonowych warunkowany jest zarówno jednocześnie stanem troficznym wody jak i zależy od: struktury zooplanktonu roślinożernego, temperatury środowiska, ilości i natężenia promieniowania słonecznego docierającego do zbiornika wodnego.

Tabela 4. Skład fitoplanktonu w Zalewie Ożanna
(próbka wody mieszana pobrana ze stanowisk 2 – 5), sinice

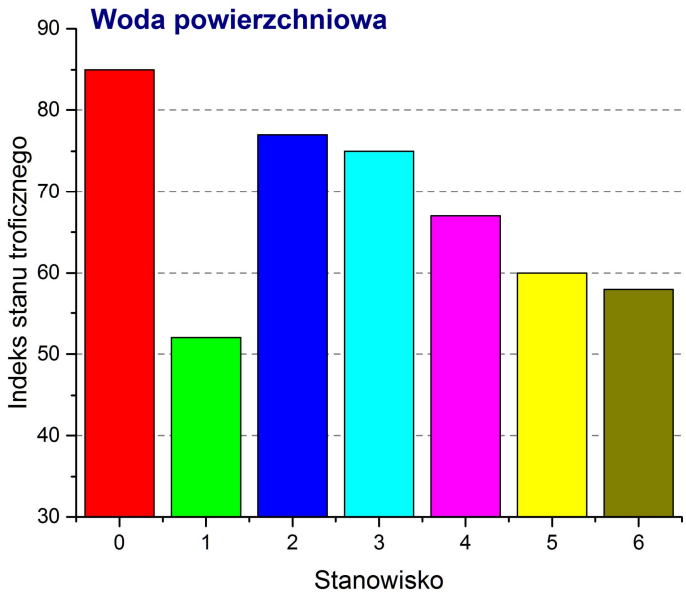
L.p.	Rodzaj, gatunek	% Biomasy
1.	*Microcystis aeruginosa*	93,1
2.	*Dolichospermum* sp.	2,8
3.	Scenedesmus quadricauda	1,2
4.	Fragilaria crotonensis	0,8
5.	*Pseudanabaena limnetica*	0,7
6.	*Planktolyngbya limnetica*	0,5
7.	Navicula sp.	0,3
8.	Peridinium sp.	0,2
9.	Cyclotella sp.	0,2
10.	Aphanothece sp.	0,1
11.	Chroococcus sp.	0,1

Skład fitoplanktonu w Zalewie Ożanna był charakterystyczny dla zbiorników hypereutroficznych, w których dochodzi do silnego zakwitu fitoplanktonu z dominacją sinic (**Tabela 4**). **W składzie fitoplanktonu w zalewie zdecydowanie przeważały sinice, z których najbardziej bujnie rozwinął się toksyczny *Microcystis aeruginosa*** (93,1% biomasy). Drugim gatunkiem dominującym w fitoplanktonie było *Dolichospermum* sp., również toksyczna sinica (2,8% biomasy).

4.2 Indeks stanu troficznego Zalewu Ożanna

Indeks stanu troficznego (TSI) wg. Carslon'a[1] wylicza się na podstawie zawartości fosforu całkowitego, stężenia chlorofilu$_a$ oraz widzialności krążka Secchi'ego. Wyliczona na podstawie algorytmów wartość liczbowa przedstawia zależność produktywności biologicznej od stopnia żyzności w biogeny środowiska wodnego. TSI przyjmuje wartości od 0 do 100. Wartości poniżej 30 oznaczają oligotrofię, 40-50 – mezotrofię, 50-60 – eutrofię, a powyżej 70 – hypereutrofię.

[1] Carslon R.E. 1977. A trophic state index for lakes. Limnol. Oceanogr., 22, 361— 369, DOI: 10.4319/lo.1977.22.2.0361



Rys. 13. Indeks stanu troficznego w wodzie powierzchniowej pobranej na stanowiskach badawczych w pelagialu Zalewu Ożanna (stanowiska 2 – 5) oraz w cieku dopływającym (stanowisko 0) i rzece Złotej (stanowisko 1 – dopływ, stanowisko 6 – odpływ)

Wyniki analizy wartości TSI na stanowiskach badawczych wykazują dużą dynamikę stanu troficznego badanych próbek wody (**Rys. 13**). Rzeka Złota dopływająca do Zalewu Ożanna ma charakter mezo/eutroficzny (TSI = 53) jednakże przy jej ujściu do zalewu jej wody są wzbogacane w biogeny z cieku (stanowisko 0), którego stan troficzny określono na wysoką hypereutrofię (TSI = 85). Zasilanie zalewu przez biogeny z cieku skutkuje bardzo silnym podwyższeniem jego trofii. Woda pobrana z pelagialu zalewu na stanowiskach 2 i 3 wykazała hypereutroficzny charakter (TSI = 75 – 77). Żyzność wód Zalewu Ożanna nieco malała na stanowiskach 4 i 5 a wartości TSI (60 – 68) wskazały na ich silną eutrofię. **Średni indeks stanu troficznego w pelagialu wód Zalewu Ożanna wynosił TSI ok. 70, co jednoznacznie klasyfikuje zbiornik jako hyper-eutroficzny** (**Rys. 13**).

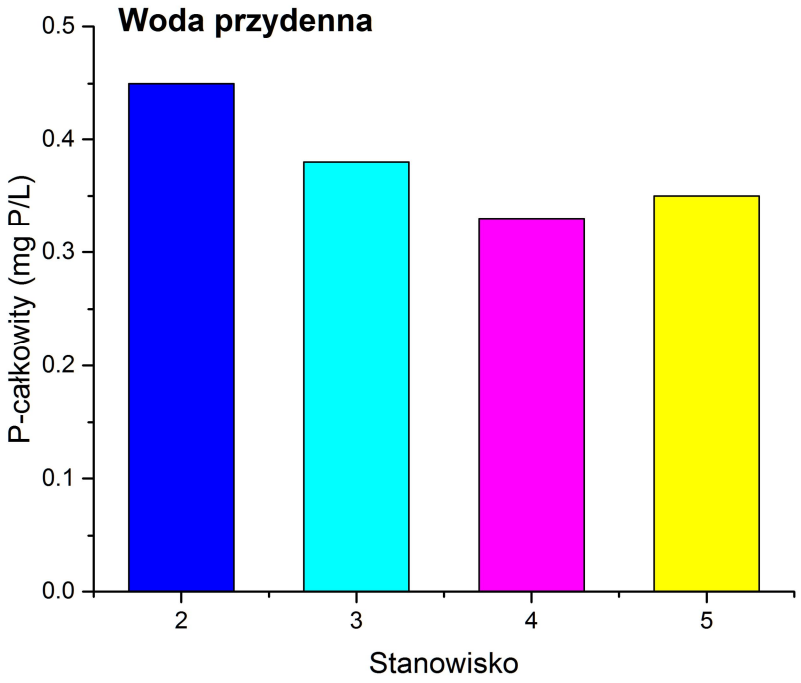
4.3. Właściwości wody strefy przydennej Zalewu Ożanna

4.3.1. Zawartość biogenów

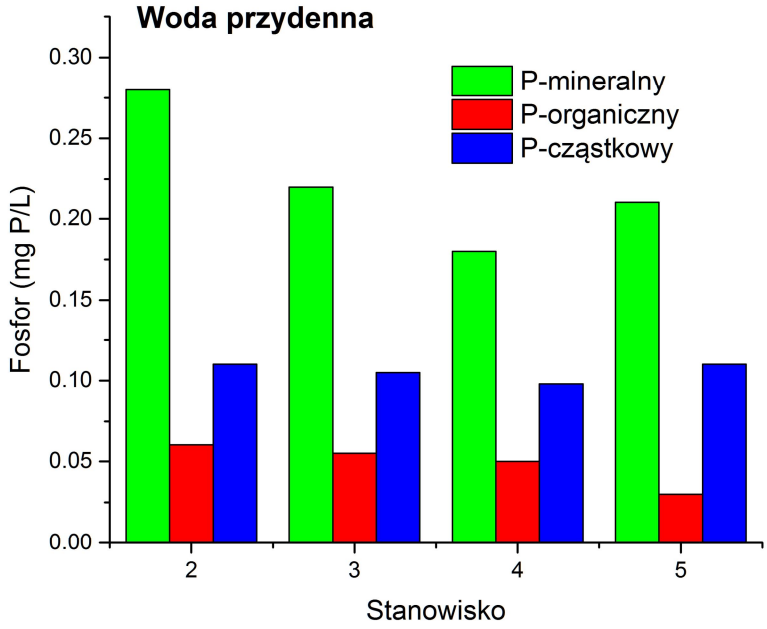
4.3.1.1. Fosfor

Stwierdzono wysokie stężenia fosforu całkowitego w wodach przydennych 20-30 cm nad dnem na stanowiskach badawczych w obrębie misy zbiornika (**Rys. 14**). Najbardziej zanieczyszczonymi fosforowo (0,45 mg P/L) były próbki wody pobrane ze stanowiska 2, za ujściem cieku i rzeki Złota do zalewu. Na pozostałych stanowiskach pomiarowych stężenie fosforu całkowitego wahało się pomiędzy 0,34 – 0,37 mg P/L.

Frakcją dominującą w puli fosforu całkowitego w strefie przydennej Zalewu Ożanna był fosfor mineralny oraz zawarty w zawiesinie organicznej P-cząstkowy (**Rys. 15**). Ze względu na to, że zalew jest bardzo płytki i zachodzi przy silnym wietrze mieszanie się jego wód co w rezultacie skutkuje wzbogacaniem i użyźnieniem strefy wód powierzchniowych w duże ilości łatwo i bezpośrednio przyswajalnego fosforu ze strefy przydennej dla fitoplanktonu.



Rys. 14. Stężenie fosforu całkowitego w wodzie strefy przydennej Zalewu Ożanna w 2017 r.

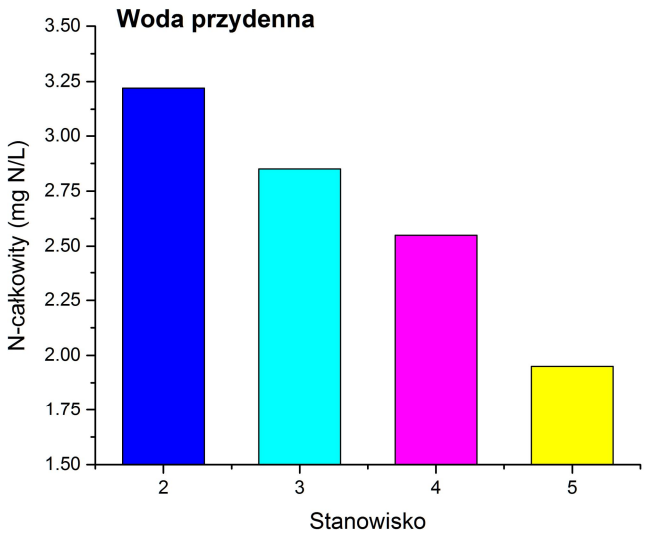


Rys. 15. Stężenie fosforu mineralnego, organicznego i cząstkowego w wodzie strefy przydennej Zalewu Ożanna w 2017 r.

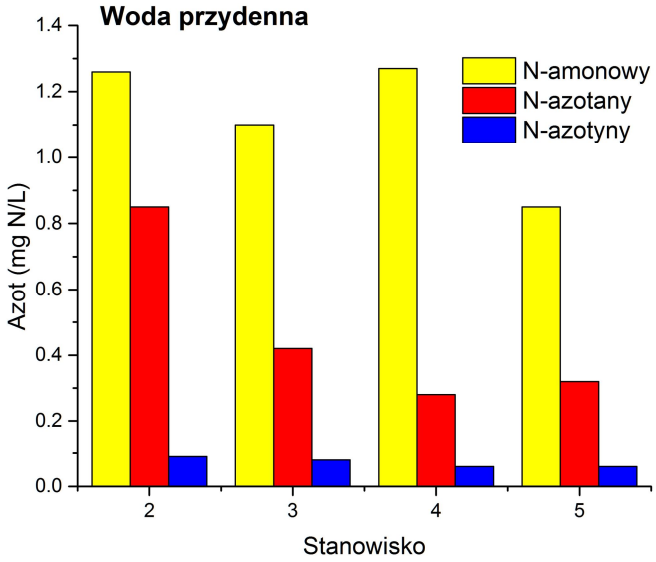
Użyźnianie wód powierzchniowych fosforem ze strefy przydennej zbiornika skutkuje dużymi zakwitami fitoplanktonu w strefie powierzchniowej, do której dociera światło. Pobrany z wody fosfor mineralny wbudowany następnie w biomasie fitoplanktonu jako fosfor cząstkowy opada na dno zbiornika, gdzie w wyniku procesów mikrobiologicznych z powrotem przekształcany jest w formę fosforu mineralnego. W ten sposób wyzwalane są kolejne, permanentne zakwity fitoplanktonu.

4.3.1.2. Azot

Podobnie jak i fosfor, stężenia analizowanych związków azotowych w wodzie strefy przydennej Zalewu Ożanna były znacznie wyższe w porównaniu z ich koncentracją zmierzoną w wodzie powierzchniowej (notabene także bardzo wysoką, charakterystyczną dla jezior hyper-eutroficznych), **Rys. 3**.



Rys. 16. Stężenie azotu całkowitego w wodzie strefy przydennej Zalewu Ożanna we wrześniu 2017 r.

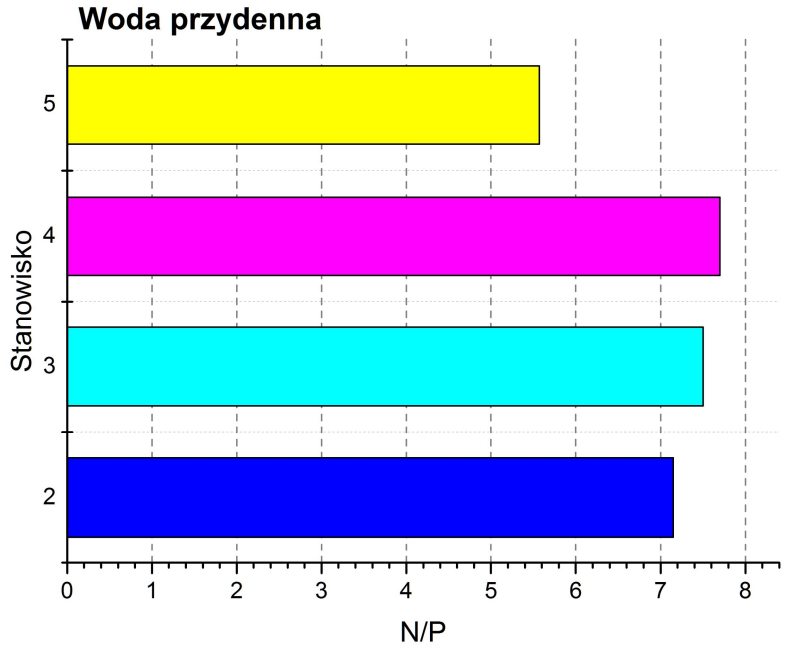


Rys. 17. Stężenie azotu amonowego, azotanów i azotynów w wodzie strefy przydennej Zalewu Ożanna w 2017 r.

Na obfitość puli związków azotowych wpływały przede wszystkim wysokie stężenia azotu amonowego i azotanów (znacznie wyższe od tych zmierzonych w warstwie wody powierzchniowej), **Rys. 17**. Prawdopodobną przyczyną wysokiej koncentracji mineralnych związków azotu, tj. związków amonowych, azotanów i azotynów, były mikrobiologiczne przemiany azotu organicznego z biomasy uwolnionego podczas obumierania zakwitów fitoplanktonu.

4.3.1.3. Stosunek Azotu do Fosforu (N/P)

W wodzie strefy przydennej Zalewu Ożanna stwierdzono znacznie większy nadmiar fosforu w stosunku do azotu (**Rys. 18**), podobnie jak i w wodzie powierzchniowej (**Rys. 5**). Stosunek N/P w jeziorze na różnych stanowiskach w strefie przydennej wahał się od 5,5 do 7,8 z czego wynika, że w porównaniu z optymalnym dla fitoplanktonu N/P ⍰ 16 aktualne stężenia fosforu w tej strefie są ok. 2 – 3 razy za wysokie.

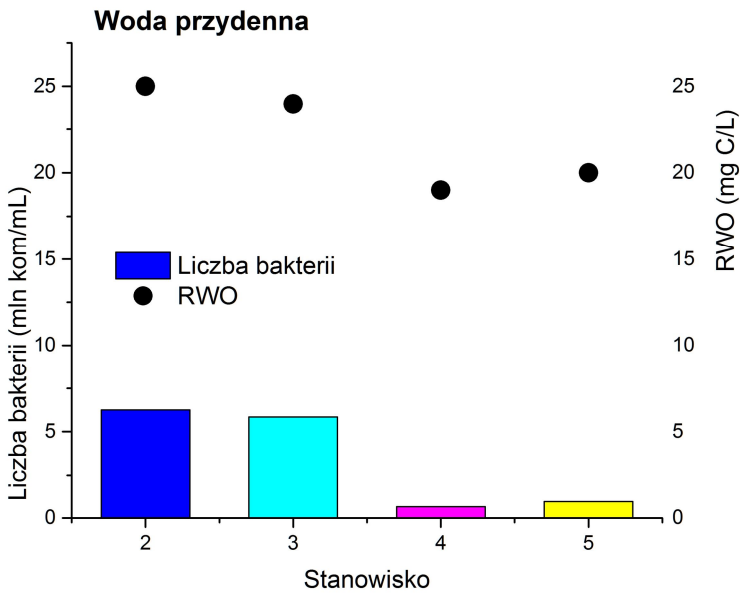


***Rys. 18**. Stosunek stężeń związków N/P w wodzie strefy przydennej Zalewu Ożanna we wrześniu 2017 r.*

4.3.1.4. Rozpuszczona materia organiczna, ogólna liczebność bakterii

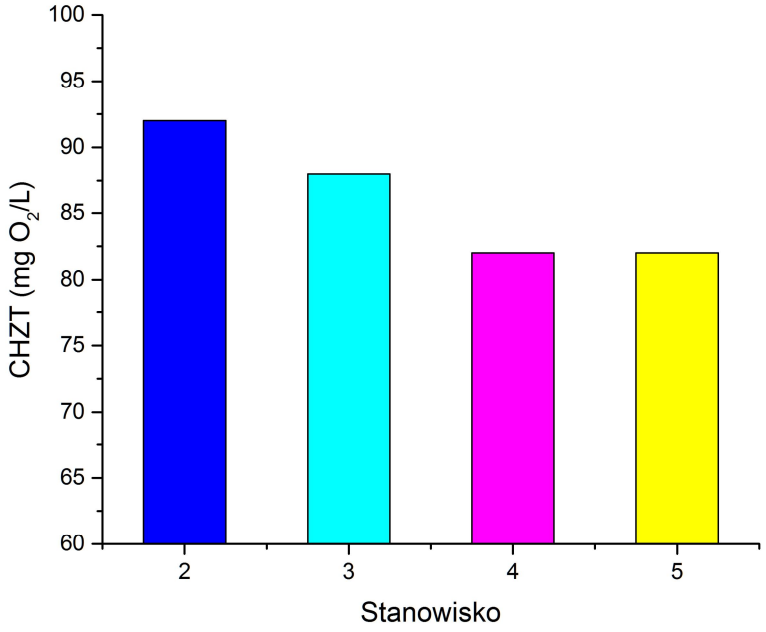
Stężenie rozpuszczonej materii organicznej, oznaczone jako ilość węgla organicznego (RWO), w wodzie strefy przydennej (18 – 25 mg C/L) było większe w porównaniu z wodą powierzchniową (15 – 20 mg C/L), odpowiednio **Rys. 19** i **Rys. 6**. Świadczy to o dużej kumulacji materii organicznej w strefie przydennej zalewu, której duża ilość opada na dno podczas zakwitów fitoplanktonu a jednocześnie procesy mikrobiologiczne jej mineralizacji przez bakterie są silnie spowolnione (zbyt mało tlenu w wodzie) lub wręcz zahamowane w warunkach beztlenowych w strefie przydennej i osadach.

Ogólna liczba bakterii w wodzie przydennej na stanowisku 2 i 3 była podobna jak i w strefie wód powierzchniowych. Niepokojącym zjawiskiem zaobserwowanym na stanowisku 4 i 5 był gwałtowny spadek ogólnej liczby bakterii, było ich ok. 5x mniej aniżeli na stanowiskach 2 i 3.



***Rys. 19**. Stężenie rozpuszczonej materii organicznej (RWO) oraz ogólna liczebność bakterii w wodzie strefy przydennej Zalewu Ożanna w 2017 r.*

4.3.1.5. Chemiczne Zapotrzebowanie Tlenu (CHZT)

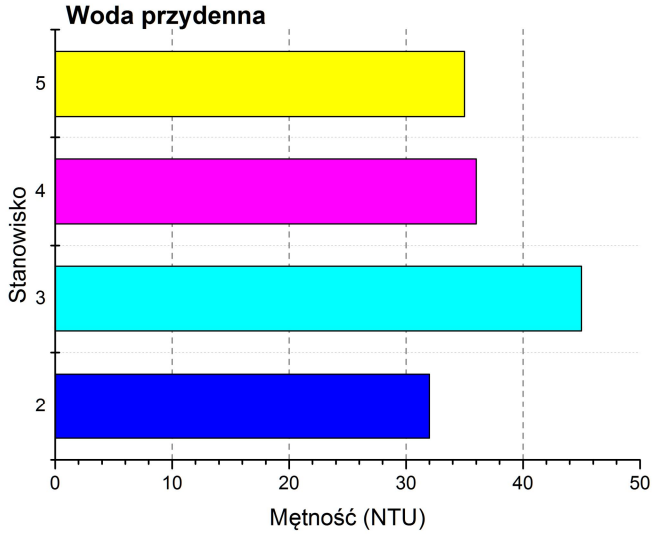


***Rys. 20**. Chemiczne zapotrzebowanie tlenu (CHZT) w wodzie strefy przydennej Zalewu Ożanna*

Wartości CHZT w próbkach wody przydennej Zalewu Ożanna były większe aniżeli w próbkach wody powierzchniowej (**Rys. 20**). Generalnie **CHZT w wodzie przydennej było bardzo wysokie co sugeruje ogromne zanieczyszczenie organiczne kumulowane w tej warstwie wody w zbiorniku.**

4.3.2. Właściwości fizyko-chemiczne i biologiczne wody przydennej

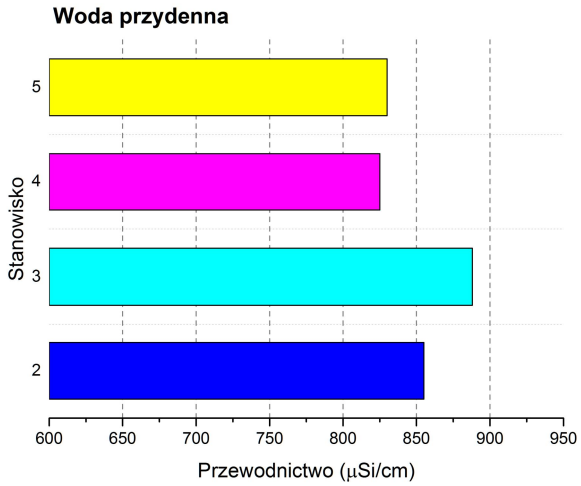
4.3.2.1. Mętność wody



Rys. 21. *Mętność wody przydennej w Zalewie Ożanna*

Mętność wody przydennej w Zalewie Ożanna była większa w porównaniu z wodami powierzchniowymi (Rys. 21). Oznacza to, że do wód przydennych ulega sedymentacji znaczna ilość zawiesiny z obumierających zakwitów fitoplanktonu w strefie powierzchniowej.

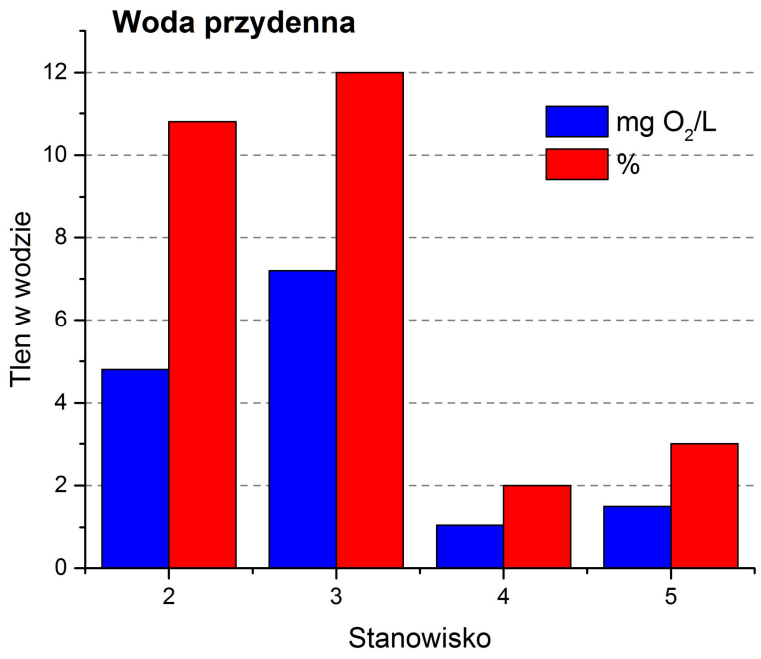
4.3.2.2. Przewodnictwo



Rys. 22. Przewodnictwo wody przydennej w Zalewie Ożanna

Zmierzone przewodnictwo wody przydennej w Zalewie Ożanna wykazało znacznie wyższe wartości w porównaniu z przewodnictwem wody powierzchniowej (**Rys. 22**). Świadczy to o dużej zawartości soli mineralnych i związków organicznych w tej strefie wód zalewu.

4.3.2.3. Stężenie i nasycenie tlenem wody



***Rys. 23**. Stężenie tlenu rozpuszczonego w wodzie oraz nasycenie tlenem wody przydennej w Zalewie Ożanna we wrześniu 2017 r.*

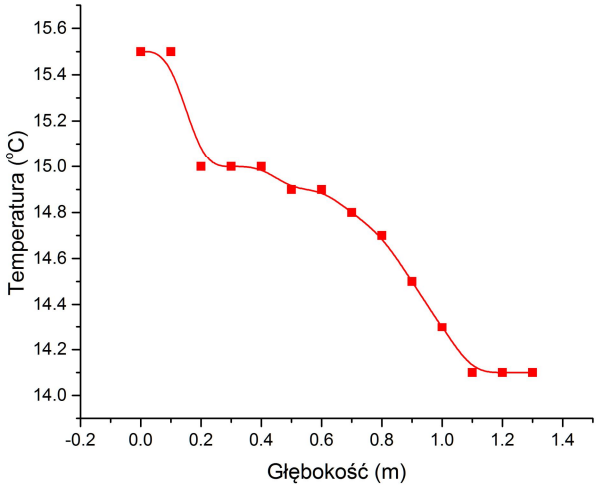
Stężenie tlenu rozpuszczonego w wodzie przydennej znacznie się różniło na badanych stanowiskach w obrębie misy zbiornika. Generalnie zmierzono niskie (stanowisko 2 i 3), lub bardzo niskie (stanowisko 4 i 5) koncentracje tlenu (**Rys. 23**). Wysycenie tlenem wody przydennej zawierało się pomiędzy 2% - 3% (stanowisko 4, 5) a 11% - 12% na stanowisku 2 i 3. **Niska zawartość tlenu w wodzie przydennej sprzyjała kumulacji materii organicznej,** albowiem tempo jej mikrobiologicznego rozkładu jest pochodną natlenienia środowiska i liczebności bakterii, które na stanowisku 4 i 5 były bardzo małe (odpowiednio, **Rys. 23** i **19**).

4.4. Właściwości kolumny wody

W Zalewie Ożanna zmierzono podstawowe właściwości kolumny wody na stanowisku 5, albowiem to stanowisko wybrano jako najbardziej reprezentatywne dla ogólnych parametrów wody zbiornika. Stanowisko 5 nie podlega bezpośrednio zanieczyszczeniom wnoszonym przez wody rzeki i cieku do zalewu, gdyż znajduje się w części zalewu, która oddaje wody przydenne przez śluzę ponownie do rzeki Złota.

4.4.1. Właściwości fizyko-chemiczne

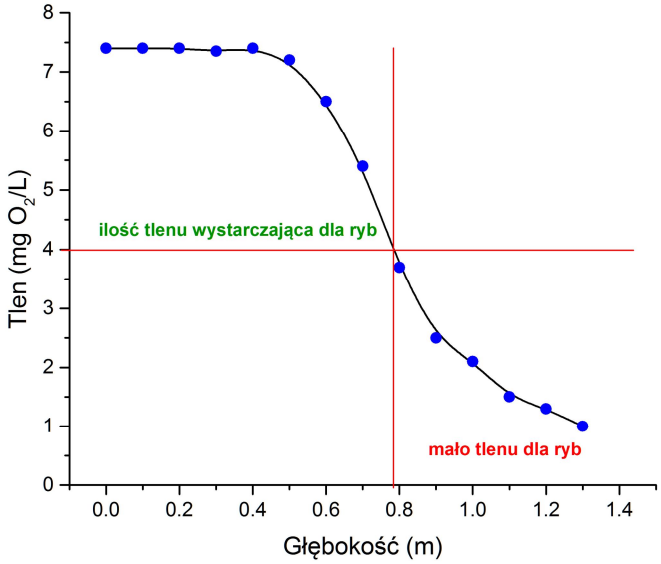
4.4.1.1. Temperatura wody



***Rys. 24**. Profil termiczny w kolumnie wody w Zalewie Ożanna we wrześniu 2017 r.*

Temperatura wody w kolumnie wody wahała się od 15,5 °C na powierzchni do 14,1 °C w strefie przydennej na głębokości 1,3 m (0,1 m nad powierzchnią osadów dennych), **Rys. 24**. Spadek temperatury wody o 1,4 °C był zbyt mały aby spowodować znaczną różnicę w gęstości wody na różnych głębokościach w zbiorniku, a co z tym się wiąże w kolumnie wody Zalewu Ożanna nie zaobserwowano żadnych symptomów stratyfikacji termicznej wód.

4.4.1.2. Stężenie tlenu

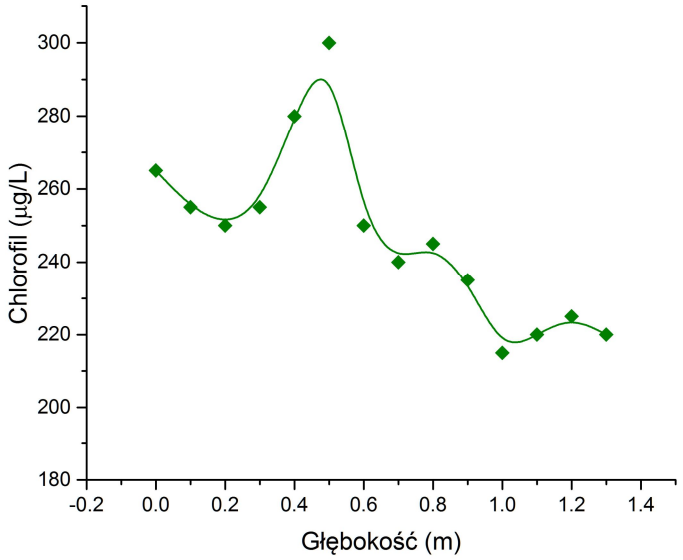


***Rys. 25**. Stężenie tlenu w kolumnie wody w Zalewie Ożanna we wrześniu 2017 r.*

Stężenie tlenu w wodzie powierzchniowej nie było zbyt wysokie (**Rys. 25**), czego by oczekiwano ze względu na silny zakwit sinic w tym czasie w zalewie (**Rys. 26**). Do głębokości ok. 0,5 m pod powierzchnią, stężenie tlenu było bardzo podobne i wynosiło 7,3 – 7,5 mg O_2/L. Poniżej głębokości 0,5 m stężenie tlenu rozpuszczonego w wodzie sukcesywnie gwałtownie malało i osiągnęło wartość ok. 1 mg O_2/L na głębokości 1,3 m (0,1 m nad dnem).

Zawartość tlenu rozpuszczonego w wodzie poniżej stężenia ok. 4 mg O_2/L jest krytyczną dla większości gatunków ryb zasiedlających wody śródlądowe. Aktywny metabolizm oraz warunki zapewniające procesy biologiczne ryb (rozród, pobieranie pokarmu, wzrost, unikanie presji drapieżników, itp.) wymagają w środowisku wodnym natlenienia powyżej 5-6 mg O_2/L. W przypadku wód Zalewu Ożanna warunki takie panują jedynie w cienkiej powierzchniowej warstwie wód do głębokości ok. 0,6 – 0,7 m. Tak więc **małe natlenienie wody oraz fakt, że Zalew Ożanna jest płytkim zbiornikiem wodnym ograniczają w znacznym stopniu intensywną gospodarkę rybacką**.

4.4.1.3. Chlorofila



***Rys. 26**. Stężenie chlorofilu$_a$ w kolumnie wody w Zalewie Ożanna we wrześniu 2017 r.*

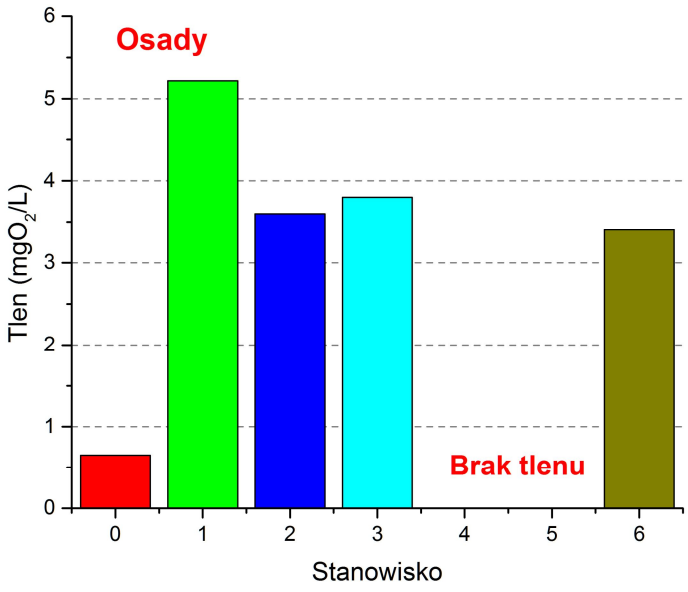
Stężenie chlorofilua w kolumnie wody Zalewu Ożanna było bardzo wysokie podczas badań i zmniejszało się wraz z głębokością zbiornika z 220 – 300 µg/L w warstwie fotycznej wody (0 – 0,5 m) do wartości stężeń 220 – 230 µg/L w warstwie przydennej wód (1,0 – 1,3 m), Rys. 26. Pomimo bardzo dużych stężeń chlorofilua (dużej biomasy fitoplanktonu) w kolumnie wody poniżej 0,8 m zmierzono tam bardzo niskie stężenia tlenu (Rys. 25). Oznacza to, że na skutek dużej mętności wody i małej jej przezroczystości fotosynteza fitoplanktonu (a więc wytwarzanie tlenu) była zahamowana.

4.5. Osady denne

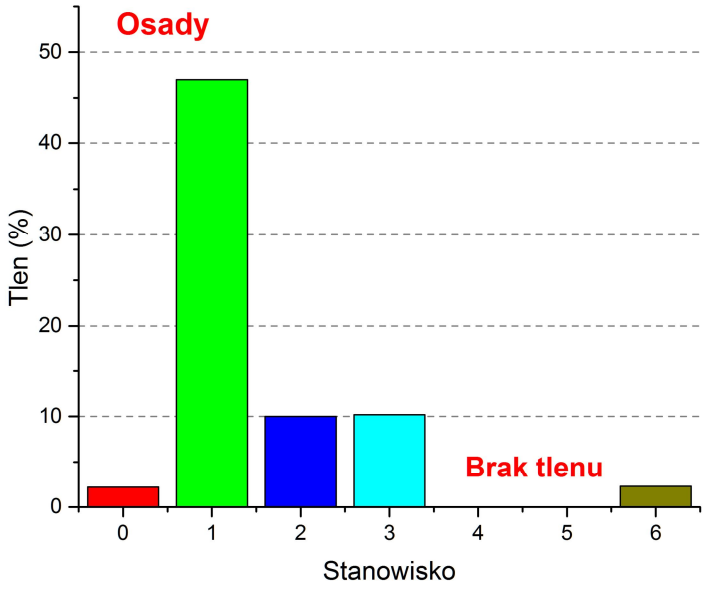
4.5.1. Właściwości fizyko-chemiczne

4.5.1.1. Natlenienie

Powierzchniowa warstwa osadów dennych (0-10 cm) w okresie badań we wrześniu 2017 r. na stanowiskach 4 i 5 była całkowicie odtleniona. Stężenie tlenu rozpuszczonego w wodzie interstycjalnej (między osadowej) zmierzono jedynie na stanowisku 2 i 3, tj. 3,5 i 3.7 mg O_2/L, odpowiednio, **Rys. 27**.



***Rys. 27**. Stężenie tlenu w osadach dennych w Zalewie Ożanna we wrześniu 2017 r.*

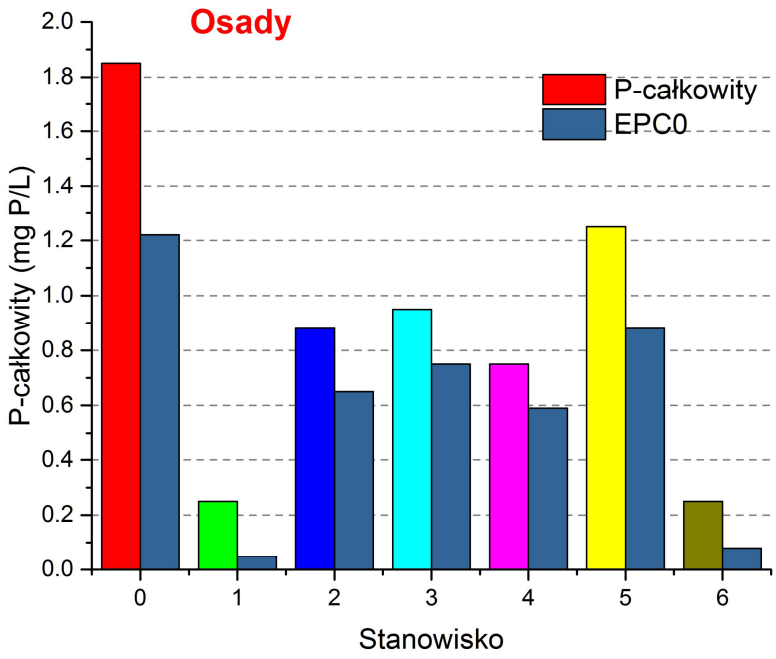


***Rys. 28**. Procent nasycenia tlenem osadów dennych w Zalewie Ożanna we wrześniu 2017 r.*

Osady denne w rzece Złota przed dopływem do zalewu były w ok. 45% natlenione (5,2 mg O_2/L, **Rys. 27**), natomiast na odcinku 150 m za śluzą na odpływie z zalewu stężenie tlenu w rzece było niewielkie, stanowisko 6 – ok. 4%, **Rys. 28**.

Niskie stężenie tlenu na stanowiskach 2 i 3, lub jego brak stanowiska 3, 4, w osadach dennych skutkował niskim lub ujemnym potencjałem redox (ORP). Wartości ORP na stanowiskach 2 – 5 w osadach dennych w obrębie misy zbiornika wahały się od 80-95 mV (stanowiska 2 i 3) do minus 420 mV na stanowiskach 4 i 5. Oznacza to, że osady denne zalewu posiadały silne właściwości redukujące.

4.5.1.2. Fosfor



Rys. 29. *Stężenie fosforu całkowitego oraz wartości EPC0 w osadach dennych w Zalewie Ożanna we wrześniu 2017 r.*

Osady denne Zalewu Ożanna były bardzo bogate w fosfor, **Rys. 29**. Stężenie fosforu całkowitego w osadach zalewu wahało się od 0,7 mg P/L do 1,2 mg P/L. Największą ilość fosforu całkowitego w osadach zmierzono w cieku dopływającym do rzeki Złota (stanowisko 0).

Współczynnik EPC0 jest miarą zdolności sorbcyjnej fosforu przez osady, tzn. zdolności do trwałego wiązania fosforu mineralnego w osadach. Wyznaczanie równowagowego stężenia fosforanów EPC-0 jest bardzo istotne przy określaniu pojemności buforowej (sorpcyjnej) osadów względem fosforanów. Wysoka wartość EPC-0 przedstawia wysoką zdolność buforową wydzielania fosforanów z osadów. Im wyższa wartość EPC-0 tym większe prawdopodobieństwo, że nawet po zupełnym wyeliminowaniu dopływu związków fosforu ze zlewni, osady te mogą być istotnym źródłem zasilania wewnętrznego w fosfor mineralny ortofosforanowy generując zakwity sinicowe.

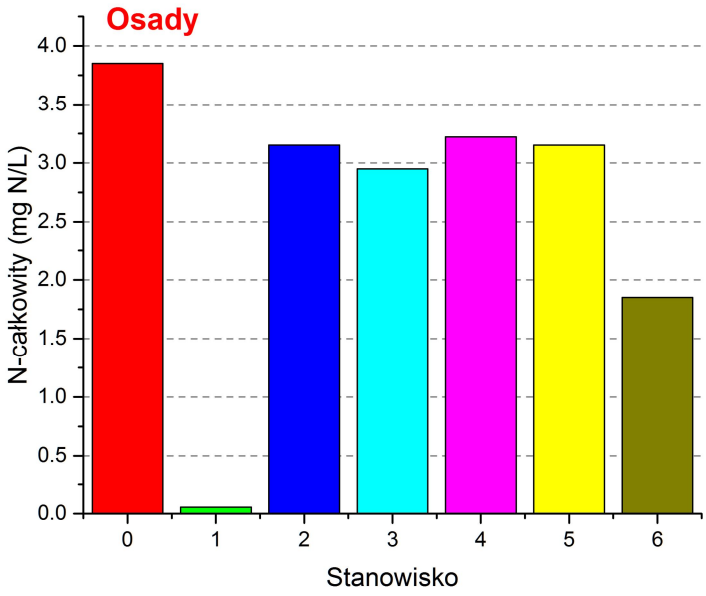
Uzyskana wartość EPC0 określa stężenie, przy którym fosforany rozpuszczone w wodzie naddennej i zawarte w osadzie (rozpuszczone w wodzie interstycjalnej, zawartej między cząstkami osadu) są w równowadze, czyli ani proces sorpcji, ani wydzielania nie będzie zachodził. Sorpcja fosforanów może być oczekiwana, gdy ich stężenie w wodzie naddennej przekroczy wartość EPC0. Jeżeli stężenie fosforu mineralnego w wodzie jest poniżej wartości EPC0), to można

spodziewać się wydzielania fosforanów z osadów do wody naddennej, tj. „wewnętrznego zasilania w fosfor" kolumny wody.

Z porównania znacznie niższych stężeń fosforu mineralnego w wodzie strefy przydennej (**Rys. 15**) z przewyższającymi je kilku-krotnie wartościami EPC0 zmierzonymi w osadach dennych **(Rys. 29**) wynika, że **osady denne Zalewu Ożanna mają małą zdolność sorbcyjną fosforu i dlatego duża ilość fosforu mineralnego przedostaje się z nich do kolumny wody** powodując duże zasilanie wewnętrze w fosfor mineralny.

4.5.1.3. Azot

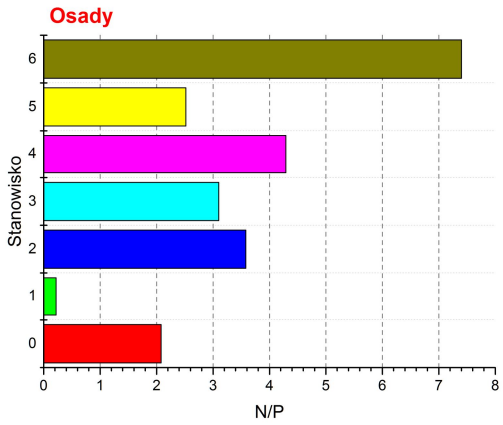
Osady denne Zalewu Ożanna są także silnie zanieczyszczone związkami azotu. Stężenie azotu całkowitego (**Rys. 30**) było bardzo podobne na wszystkich stanowiskach pomiarowych w obrębie misy zalewu (stanowiska 2 – 5) i średnio wahało się ok. 3 mg N/L.



Rys. 30. *Stężenie azotu całkowitego w osadach dennych w Zalewie Ożanna we wrześniu 2017 r.*

4.5.1.4. Stosunek całkowitych stężeń Azotu do Fosforu

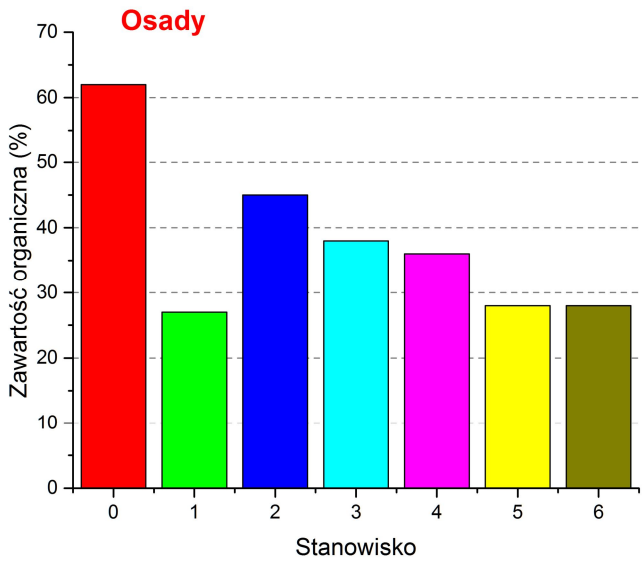
Na **Rys. 31** wykreślono stosunek całkowitych stężeń azotu do fosforu w osadach dennych w cieku, rzece Złota oraz na stanowiskach pomiarowych w obrębie misy zalewu.



Rys. 30. *Stosunek całkowitych stężeń azotu do fosforu w osadach dennych w Zalewie Ożanna we wrześniu 2017 r.*

Pomimo dużych stężeń azotu całkowitego w osadach dennych Zalewu Ożanna (**Rys. 29**), stosunek N/P wykazał, że w osadach dennych zalewu jest ok. pięciokrotnie za dużo fosforu (**Rys. 30**) w stosunku do azotu. Ogromny ładunek fosforu i azotu zdeponowany w osadach dennych jest bezpośrednią przyczyną pogarszającego się stanu ekologicznego i rekreacyjnego tego zbiornika wodnego.

4.5.1.5. Zawartość frakcji organicznej



Rys. 31. *Procentowa zawartość frakcji organicznej w powierzchniowej warstwie osadów dennych w Zalewie Ożanna we wrześniu 2017 r.*

Zawartość frakcji organicznej w składzie osadów dennych Zalewu Ożanna wahała się od 28 do 45% w zależności od stanowiska badań (**Rys. 31**). Najwyższą zawartość frakcji organicznej zmierzono w próbkach osadów pobranych na stanowisku 2 i 3, w północnej części zalewu zasilanej bezpośrednio wodą rzeki Złota i cieku śródpolnego.

5. Podsumowanie efektów przeprowadzonych badań.

5. 1. Kompleksowa ocena aktualnego stanu ekologicznego Zalewu Ożanna

Stan ekologiczny Zalewu Ożanna przeanalizowano w oparciu o ogólnie przyjęte zasady i standardy oceny jakości wód powierzchniowych: krajowe, wg. Państwowego Instytutu Ochrony Środowiska i międzynarodowe, wg. OECD (1982).

Tabela 5. Klasyfikacja stanu ekologicznego Zalewu Ożanna wg. wytycznych PIOŚ[2] na podstawie wartości wskaźników fizyko-chemicznych w roku 2017.

L.p.	Nazwa wskaźnika	Jednostka	Wartość			Klasa	Uwagi
			średnia	±	mediana		
1.	Przezroczystość wody (krążek Secchie'go)	m	0,37	0,07	0,4	V	Wartości średnie z pomiarów na stano-wiskach w pelagialu zbiornika
2.	Tlen rozpuszczony w warstwie nad dnem	mg O_2/L	1,57	0,16	1,6	V	
3.	Przewodnictwo	µSi/cm	813	32	815	V	
4.	Azot całkowity	mg N/L	2,08	0,34	2,12	V	
5.	Fosfor całkowity	mg P/L	0,27	0,07	0,28	IV	
6.	$Chlorofil_a$	µg/L	130	11	75	V	
7.	Indeks stanu troficznego		67	5	70	V	

Klasy jakości ekologicznej wód powierzchniowych:
I – b. dobra; II – dobra; III – zadowalająca; IV – zła; **V – bardzo zła**

Jak wynika z **Tabeli 5** wszystkie brane pod uwagę wskaźniki oceny stanu ekologicznego wód powierzchniowych obowiązujące w Polsce i od 2008 r. zgodne z zaleceniami Ramowej Dyrektywy Wodnej (RDW) Unii Europejskiej zaklasyfikowały **stan ekologiczny Zalewu Ożanna jako zły lub bardzo zły, tym samym nie spełniający wymogów Ramowej Dyrektywy Wodnej UE.**

Tabela 6. Wartości wskaźników dla rożnych kategorii troficznych wg. klasyfikacji OECD[3] na tle mierzonych wartości w Zalewie Ożanna w 2017 r.

Parametr	oligotrofia	mezotrofia	eutrofia	Hyper-eutrofia	Zalew Ożanna	Trofia
Secchi dysk (m)	>6	6 - 3	3 – 1,5	<1,5	**0,37**	**Hyper-eutrofia**
$Chlorofil_a$ (µg/L)	<2,5	2,5 – 8,0	8 - 25	>25	**130**	
Fosfor całkowity (mg P/L)	<0,010	0.010–0.035	0,035-0,100	>0,100	**0,27**	

Na podstawie klasyfikacji OECD wody Zalewu Ożanna spełniają kryteria stanu troficznego hyper-eutrofii, kilkukrotnie przekraczając wartości minimalne graniczne dla stany troficznego hyper-eutrofii, **Tabela 6**.

[2] Kudelska D., Cydzik D., Soszka H., 1994, *Wytyczne monitoringu podstawowego jezior*. Państwowa Inspekcja Ochrony Środowiska, Warszawa.

[3] OECD. 1982. *Eutrophication of water, monitoring, assessment and control*. Paris. ss. 150.

W związku z powyższymi **Tabelami 5** i **6** oraz na podstawie aktualnych wyników badań fizyko-chemicznych i biologicznych charakteryzujących wody powierzchniowe, wody strefy przydennej oraz osady denne jeziora we wrześniu 2017 r. stwierdzono jednoznacznie, że **Zalew Ożanna w chwili obecnej posiada charakter wód pozaklasowych, silnie hyper-eutroficznych. Stan ekologiczny wód i osadów dennych określono jako BARDZO ZŁY.**

Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 9 listopada 2011r. w sprawie sposobu klasyfikacji stanu jednolitych części wód powierzchniowych oraz środowiskowych norm jakości dla substancji priorytetowych parametry fizykochemiczne stosowane jako wspierające elementy biologiczne przy ocenie stanu ekologicz-nego wód powierzchniowych przekraczają znacznie II klasę, co **kwalifikuje wody Zalewu Ożanna do stanu poniżej dobrego (złego). Tym samym Zalew Ożanna nie spełnia wymogów Ramowej Dyrektywy Wodnej Unii Europejskiej.**

5.1.1. Główne symptomy złego stanu ekologicznego Zalewu Ożanna

Poniżej wymienione parametry i czynniki jakości wód i osadów dennych stwierdzone w toku aktualnych badań w 2017 r. zdecydowały o złym stanie ekologicznym Zalewu Ożanna:

1. Zbyt mała przezroczystość wody (zbiornik jest w permanentnym stanie tzw. „mętnej wody")
2. Duża biomasa fitoplanktonu;
3. Wysokie stężenia związków fosforu i azotu;
4. Wysoki nadmiar stężeń fosforu w stosunku do azotu w osadach;
5. Duży ładunek fosforu mineralnego zdeponowany w osadach dennych;
6. Bardzo duży dopływ wewnętrzny (internal-loading) fosforu mineralnego z osadów do kolumny wody;
7. Deficyty tlenowe w warstwie przydennej wody i osadach dennych;
8. Permanentne zakwity fitoplanktonu;
9. Dominacja sinic (ponad 90-97% biomasy) w zakwitach;
10. Występowanie gatunków sinic toksycznych (*Microcystis aeruginosa, Dolichospermum sp.*);
11. Akumulacja materii organicznej w wodzie i osadach dennych;
12. Niska liczebność i mała aktywność mikrobiologiczna naturalnych zespołów bakterii tlenowych w wodzie warstwy przydennej

5.1.2. Główne przyczyny, które doprowadziły do złego stanu ekologicznego Zalewu Ożanna

Zalew Ożanna jest płytkim zbiornikiem wodnym przepływowym o stosunkowo słabym przepływie hydraulicznym (długi czas retencji wody w zbiorniku), do którego przylega stosunkowo duża zlewnia bezpośrednia o charakterze rolniczym i zurbanizowanym a także częściowo leśnym w bezpośrednim sąsiedztwie zbiornika. W przeszłości nieuregulowane i niekontrolowane zanieczyszczenia punktowe w zlewni doprowadziły do kilkudziesięcioletniego zanieczyszczania zalewu ściekami komunalnymi i produktami rolniczej działalności człowieka. Pomimo wyeliminowania w ostatnich latach bezpośrednio wprowadzanych do zalewu zanieczyszczeń ściekowych, nadal w chwili obecnej ekosystem zalewu pozostaje pod silną presją

aktywności antropogenicznej docierającej do zalewu z obszernej zlewni rolniczej poprzez ciek odprowadzający silnie zanieczyszczone wody do ujścia rzeki Złotej do zalewu. Zanieczyszczenia docierają także z obszaru zlewni zurbanizowanej i rolniczej bezpośrednio kontaktującej się z wodami Zalewu Ożanna od strony wschodniej, a także znaczącym źródłem zanieczyszczeń jest aktywność wędkarsko-turystyczna w bezpośrednim kontakcie ze zbiornikiem wodnym.

Do głównych przyczyn złego stanu ekologicznego Zalewu Ożanna w chwili obecnej należą:

1. Ogromny ładunek materii organicznej, fosforu i azotu zdeponowany w osadach dennych na skutek złej gospodarki wodno-ściekowej w terenie zurbanizowanym i rolniczym w przeszłości skutkującej długoletnim odprowadzaniem nie oczyszczonych ścieków bezpośrednio do zalewu. Zachwiana dynamika i bioróżnorodność procesów mikrobiologicznych w zalewie, zarówno w wodzie jak i osadach dennych, w ogromnej mierze doprowadziła do zahamowania naturalnych procesów samooczyszczania się wód i dlatego ekosystem ten wymaga natychmiastowych zdecydowanych działań rekultywacyjnych.
2. Odprowadzanie wód przez ok. główny ciek z dużego obszaru rolniczego o intensywnej hodowli roślinnej i wysokim nawożeniu gleb. Stały dopływ ładunku zanieczyszczeń za pośrednictwem cieku w okresie wiosna-jesień szacowany na podstawie analizy stężeń fosforu, azotu i węgla organicznego w wodzie odprowadzanej do zalewu z uwzględnieniem średniorocznej objętości wód opadowych wynosi średnio: azot ok. 256,6 kg N/rok, fosfor ok. 104,2 kg P/rok, węgiel organiczny 572,4 kg C/rok (w tym ok. 3-5% stanowią węglowodory ropopochodne spłukiwane wodą deszczową z jezdni na terenie zlewni zurbanizowanej). Oszacowane w toku niniejszych badań ładunki azotu i fosforu wnoszone z ciekiem do Zalewu Ożanna są przyczyną kumulacji tych biogenów wodzie i osadach dennych zbiornika.
3. Użyźnianie jeziora poprzez stosowanie zanęt wędkarskich;
4. Niekontrolowane sporadyczne zanieczyszczanie jeziora odpadami organicznymi oraz dopływem zanieczyszczeń śmieciowych z terenów biwakowych i plaży (trudne do oszacowania, nie mniej duże ładunki biogenów i materii organicznej mogą być wnoszone do zbiornika szczególnie w sezonie turystycznym)
5. Niedostateczna nadal świadomość ekologiczna współużytkowników jeziora (mieszkańców, wędkarzy, turystów) w sprawach ochrony środowiska i przestrzegania prawidłowej gospodarki odpadami komunalnymi (zaśmiecanie terenu, wyrzucanie do wody śmieci, resztek pokarmowych, itp.)