

Maciej KOSTECKI, Witold NOCOŃ

Instytut Podstaw Inżynierii Środowiska PAN, ul. M. Skłodowskiej-Curie 34, 41-819 Zabrze

Rola płytkiego nizinnego zbiornika zaporowego w układzie „rzeka-zbiornik-rzeka”

Część II. Przemiany i bilans związków fosforu w zbiorniku Słupsko

Przedstawiono wpływ płytkiego nizinnego zbiornika zaporowego Słupsko (Górny Śląsk) na zmiany stężeń i ładunków związków fosforu w Potoku Toszeckim. Zbiornik Słupsko funkcjonuje w warunkach wysokiego obciążenia zewnętrznego fosforem, co stwarza warunki dla degradacji tego ekosystemu. Bilans fosforu wykazał, że zbiornik nie zmniejsza dopływającego ładunku fosforu, zatem z punktu widzenia ochrony zbiornika Pławniowice jego rola jest niewielka. Zbiornik Słupsko na obecnym etapie swojego funkcjonowania i w aktualnych uwarunkowaniach zmienia mineralne formy fosforu na organiczne. Odwrotna zależność wielkości ładunków fosforu od wielkości przepływu na dopływie do zbiornika oraz widoczny efekt rozcieńczenia wskazują na równomierne w czasie wprowadzanie do wód związków fosforu na terenie zlewni. Ustalenie źródeł pochodzenia fosforu na terenie zlewni zbiornika oraz ich eliminacja wydatnie poprawi jakość wody zarówno w Potoku Toszeckim, jak i w zbiornikach Słupsko i Pławniowice.

Słowa kluczowe: płytki zbiornik zaporowy, fosfor, bilans

Wprowadzenie

Głównym powodem pogorszenia się jakości wody oraz biologicznej degradacji ekosystemów limnicznych jest gwałtownie postępująca eutrofizacja. Mineralne formy fosforu są czynnikiem inicjującym procesy przemiany materii w środowisku wodnym [1-3]. Z tego względu istotne jest poszukiwanie metod usuwających fosfor z ekosystemu lub metod jego immobilizowania w osadach dennych [4-7].

Na terenie województwa śląskiego brak jest jezior naturalnych [8-10]. Występujące tutaj wyłącznie zbiorniki antropogeniczne spełniają bardzo ważną rolę przyrodno- i krajobrazotwórczą, stanowią także rezerwuary wody o różnej jakości [1, 11]. Z uwagi na deficyt wody oraz deficyt tego rodzaju ekosystemów zbiorniki te powinny być objęte właściwą ochroną [1, 12, 13].

W sytuacji kiedy w wyniku przegrodzenia zaporą ziemną doliny rzecznej powstaje nowy zbiornik zaporowy, zmienia się dotychczasowy reżim hydrologiczny. Pojawia się zjawisko retencji, a czas retencji stanowi czynnik wpływający na procesy wewnątrzbiornikowe, w wyniku których może zmieniać się jakość wody [1, 11, 12].

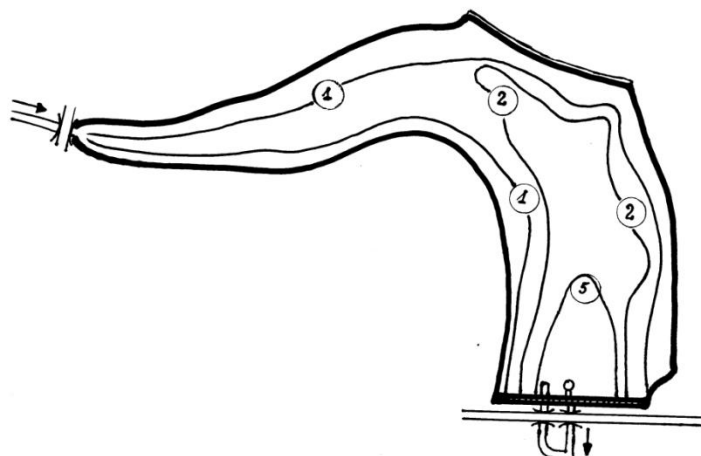


Celem pracy było określenie roli powstałego w 2003 roku nizinnego zbiornika zaporowego Słupsko w kształtowaniu jakości wody pod względem przemian związków fosforu oraz bilansu tego pierwiastka z punktu widzenia ochrony zbiornika Pławniowice [14-17].

Prowadząc badania, oparto się na koncepcji mówiącej, że rolę zbiornika w procesie kształtowania jakości wody najlepiej wykazuje bilans zanieczyszczeń, w tym przypadku bilans związków fosforu [3, 4, 18]. Porównując stężenia oraz udziały poszczególnych form fosforu w jego całkowitej ilości, w wodzie zasilającej zbiornik z tymi wartościami poniżej zbiornika, otrzymuje się obraz przemian spowodowanych procesami zachodzącymi wewnątrz zbiornika [1, 7, 11]. Z kolei sporządzając bilans i porównując ładunki poszczególnych związków fosforu w wodzie powyżej i poniżej zbiornika, uzyskuje się informacje o tym: jak zbiornik wpływa na wielkość ładunków odprowadzanych ze zbiornika, czy i jakie ładunki są zatrzymywane i kumulowane w zbiorniku oraz jak wpływa zbiornik na zmianę ładunków poszczególnych form fosforu. Zatem, czy rolę zbiornika pośredniego w odniesieniu do zbiornika głównego można określić jako pozytywną.

1. Obiekt badań

Obiektem badań był nizinny zbiornik zaporowy Słupsko położony w gminie Toszek w woj. śląskim (rys. 1). Zbiornik o powierzchni 35,2 ha, głębokości maks. 5 m, pojemności 695 tys. m³ - 1,1 mln m³ zasilany jest wodami Potoku Toszeckiego. Potok Toszecki zasila następnie zbiornik Pławniowice. Zbiornik Słupsko dzieli na pół zlewnię zbiornika Pławniowice [19-21]. Lokalizację, dane morfometryczne, batymetrię zbiornika oraz charakterystykę zlewni zbiornika Słupsko przedstawiono w pierwszej części niniejszej pracy [22].



Rys. 1. Batymetria zbiornika Słupsko (badania własne)



2. Metodyka

2.1. Punkty pobierania próbek

Pobieranie próbek wody wykonywano na dwóch stanowiskach; pierwsze stanowisko zlokalizowano przy kładce w rejonie cofki zbiornika, drugie stanowisko pobierania próbek znajdowało się ok. 30 m poniżej zapory czołowej zbiornika Słupsko. W 2007 roku próbki pobierano 24 razy, a w 2008 roku - 27. W pobranych próbkach oznaczono stężenia związków fosforu: ortofosforanów, polifosforanów, fosforu organicznego oraz fosforu ogólnego.

2.2. Pomiary hydrologiczne

W 2008 roku w wyznaczonych punktach pobierania próbek każdorazowo wykonywano pomiar wielkości przepływu wody. Pomiary wielkości przepływu wykonywano w profilach stałych, wyznaczonych na dopływie do zbiornika oraz na odpływie, poniżej zbiornika. Były to betonowe urządzenia hydrotechniczne, zapewniające stałość warunków pomiarów powierzchni przekroju. Pomiary te stanowiły podstawę sporządzenia bilansu, czyli obliczenia wielkości ładunków związków fosforu wprowadzanych i odprowadzanych ze zbiornika.

2.3. Metodyka oznaczania wskaźników hydrochemicznych

1. Ortofosforany oznaczano metodą kolorymetryczną molibdenianową z chlorkiem cynawym jako reduktorem - PN-89/C-04537/02.
2. Polifosforany oznaczano metodą hydrolizy w środowisku kwaśnym - PN-91/C-04537/06.
3. Fosfor organiczny wyliczono po odjęciu od fosforu ogólnego ortofosforanów i polifosforanów.
4. Fosfor ogólny oznaczono metodą kolorymetryczną po mineralizacji do ortofosforanów - PN-91/C-04537/07.

2.4. Bilans związków fosforu

Najwięcej na temat obciążenia zbiornika substancjami biogennymi mogą powiedzieć ładunki tych związków do niego wprowadzane i wyprowadzane. Stąd też w 2008 roku pomiary terenowe zostały uzupełnione o pomiary wielkości przepływu chwilowego w Potoku Toszeckim powyżej i poniżej zbiornika Słupsko. Ze względu na to, że pomiary przepływu chwilowego rozpoczęto w 2008 roku, nie można było wykonać porównania zmian średniodobowych ładunków związków fosforu w latach 2007-2008. Z uwagi na brak możliwości ciągłego monitoringu tego parametru w obliczeniach wprowadzono uproszczenie. Jako średniodobowy przepływ Potoku Toszeckiego przyjmowano wartość średnią



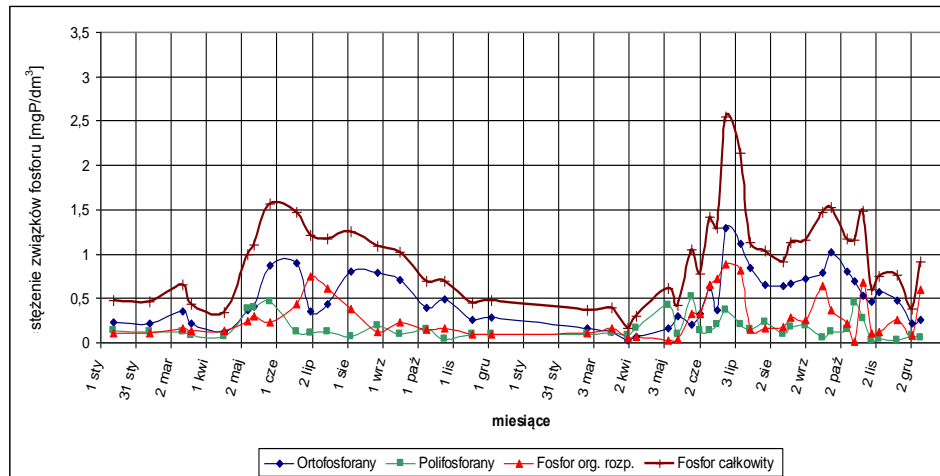
wyznaczoną w trakcie pięciu serii pomiarów prędkości przepływu wody. Mierzono również każdorazowo głębokość koryta rzeki.

3. Wyniki

3.1. Związki fosforu w wodzie dopływającej do zbiornika

Od stycznia do kwietnia 2007 roku stężenie fosforu ogólnego w wodzie Potoku Toszeckiego na dopływie do zbiornika Słupsko wynosiło około $0,4 \text{ mgP/dm}^3$. W maju i czerwcu nastąpił gwałtowny wzrost stężenia, które pod koniec czerwca osiągnęło wartość $1,6 \text{ mgP/dm}^3$. Powodem wzrostu omawianego wskaźnika był wzrost stężenia ortofosforanów. Od końca czerwca aż do grudnia obserwowano tendencję spadkową stężenia całkowitej ilości fosforu do wartości zanotowanej na początku roku, tj. $0,4 \text{ mgP/dm}^3$ (rys. 2). Wzrost stężenia fosforu ogólnego na początku maja obserwowano również w 2008 r. Najwyższe stężenia fosforu ogólnego występowały w czerwcu ($1,6$ i $2,6 \text{ mgP/dm}^3$ odpowiednio w latach 2007 i 2008). W okresie lata stężenie fosforu ogólnego stopniowo spadało. Tendencja spadkowa utrzymywała się do późnej jesieni.

Najniższe stężenia ortofosforanów zaobserwowano w 2008 r. (ok. $0,03 \text{ mgP-PO}_4/\text{dm}^3$). Stężenia ortofosforanów w wodzie Potoku Toszeckiego powyżej zbiornika Słupsko wykazywały podobną zmienność jak stężenia fosforu całkowitego - niskie stężenia w okresie zimowym i wiosennym oraz wyższe w okresie letnim, przy czym w 2008 roku dynamika zmian zawartości ortofosforanów była wyraźnie większa w porównaniu z rokiem 2007.



Rys. 2. Stężenia związków fosforu w wodzie Potoku Toszeckiego - dopływ do zb. Słupsko w latach 2007 i 2008

Stężenia fosforu organicznego zmieniały się od wartości niewykrywalnych do ok. $0,9 \text{ mgP/dm}^3$. Wyższe stężenia tej formy fosforu notowano w 2008 r. Charak-



terystyczna była cykliczna zmienność stężeń fosforu organicznego. Na początku zarówno 2007, jak i 2008 r. stężenia fosforu organicznego były niskie, po czym od maja do lipca obserwowany był wzrost zawartości tej formy fosforu. Z biegiem roku następował spadek stężenia fosforu organicznego i ustabilizowanie się stężeń na poziomie ok. $0,1 \text{ mgP/dm}^3$ do końca 2007 roku oraz istotne wahania stężeń w III i IV kwartale 2008 roku.

Minimalne i maksymalne stężenia polifosforanów (od ok. $0,03$ do ok. $0,5 \text{ mgP/dm}^3$) były podobne zarówno w 2007, jak i 2008 roku. Można również zauważyć, że wyższą zawartość polifosforanów wykazywano w okresie wiosennym.

Zmiany stężeń związków fosforu wskazują na pewną cykliczność. Najbardziej widoczne jest to w przypadku fosforu ogólnego. Najniższe stężenia, wynoszące od $0,2$ do $0,5 \text{ mgP/dm}^3$, notowano zimą i wiosną 2007 r., następnie na przełomie lat 2007/2008 i ponownie późną jesienią 2008 r.

3.2. Związki fosforu w wodzie Potoku Toszeckiego poniżej zbiornika

W wodzie Potoku Toszeckiego poniżej zbiornika Słupsko obserwowano bardzo dużą zmienność stężeń fosforu ogólnego (rys. 3). Najniższą zawartość fosforu ogólnego notowano na przełomie maja i czerwca oraz w listopadzie 2007 r., natomiast najwyższe stężenia, dochodzące do $3,3 \text{ mgP/dm}^3$, obserwowano w trzeciej dekadzie maja 2007 r.

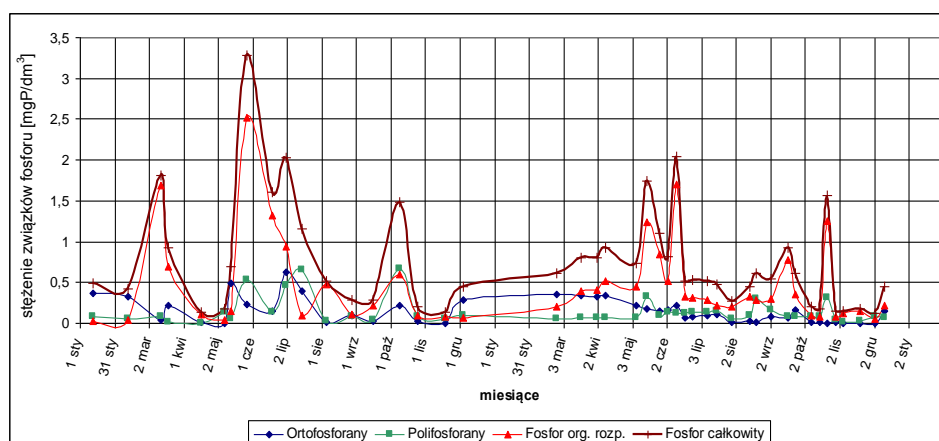
Stężenia ortofosforanów wykazywały w 2007 roku znacznie większą zmienność niż w 2008 roku. Stężenia polifosforanów również charakteryzowała duża zmienność, jednakże w porównaniu do próbek pobranych powyżej zbiornika Słupsko stężenia tej formy fosforu były wyraźnie niższe (maksymalnie ok. $0,6 \text{ mgP-PO}_4/\text{dm}^3$ w lipcu 2007 r.). Najniższe wartości - nieprzekraczające poziomu oznaczalności - oznaczano w kwietniu, maju i listopadzie 2007 r. oraz bardzo często w II połowie 2008 r.

Wyraźnie mniejszą zmienność stężenia polifosforanów wykazywały próbki wody pobrane w 2008 r. W 2007 roku obserwowano skokowe zmiany (wzrosty i spadki stężeń) w zakresie od $0,05$ do $0,6 \text{ mgP-PO}_4/\text{dm}^3$. W 2008 roku zakres zmian wynosił od ilości śladowych ($0,001$) do $0,35 \text{ mgP-PO}_4/\text{dm}^3$.

Dominującą formą fosforu w wodzie Potoku Toszeckiego poniżej zbiornika Słupsko był w latach 2007 oraz 2008 fosfor organiczny. Zmiany stężeń tej formy fosforu cechowała bardzo silna zmienność. Stężenia fosforu organicznego zmieniły się w 2007 roku od $0,05$ do $2,55 \text{ mgP/dm}^3$, natomiast w 2008 roku od $0,05$ do $1,7 \text{ mgP/dm}^3$. Najwyższe wartości zanotowano w 2007 roku w marcu i w połowie maja, a w 2008 roku w maju, w czerwcu, a następnie w październiku.

W wodzie poniżej zbiornika kilkakrotnie notowano stężenia fosforu ogólnego znacznie wyższe aniżeli powyżej zbiornika. W marcu zanotowano $1,8 \text{ mgP/dm}^3$, a pod koniec maja $3,3 \text{ mgP/dm}^3$. Stężenia ortofosforanów występowały w granicach od $0,05$ do $0,5 \text{ mgP-PO}_4/\text{dm}^3$. Formą fosforu dominującą w wodzie poniżej zbiornika był fosfor organiczny, którego stężenia kilkakrotnie przekraczały wartość $1,0 \text{ mgP/dm}^3$.





Rys. 3. Stężenia związków fosforu w wodzie Potoku Toszeckiego - odpływ ze zb. Słupsko w latach 2007 i 2008

Mimo tego, że zmienność stężeń związków fosforu poniżej zbiornika Słupsko jest zdecydowanie większa niż powyżej tego zbiornika, również można mówić o pewnej cykliczności zmian stężeń tych związków - najwyższe stężenia obserwowano w okresie letnim, ponadto wzrost stężeń fosforu ogólnego obserwowano wiosną i jesienią.

Na rysunku 4 przedstawiono średnioroczny udział poszczególnych form fosforu w wodzie Potoku Toszeckiego powyżej i poniżej zbiornika Słupsko. Dominującą formą fosforu w wodzie dopływającej do zbiornika były ortofosforany. Powyżej zbiornika zaporowego udział ortofosforanów w latach 2007 i 2008 wynosił odpowiednio 53 i 51%, procentowy udział polifosforanów wynosił 19 i 21%, natomiast fosforu organicznego 28 i 29%.

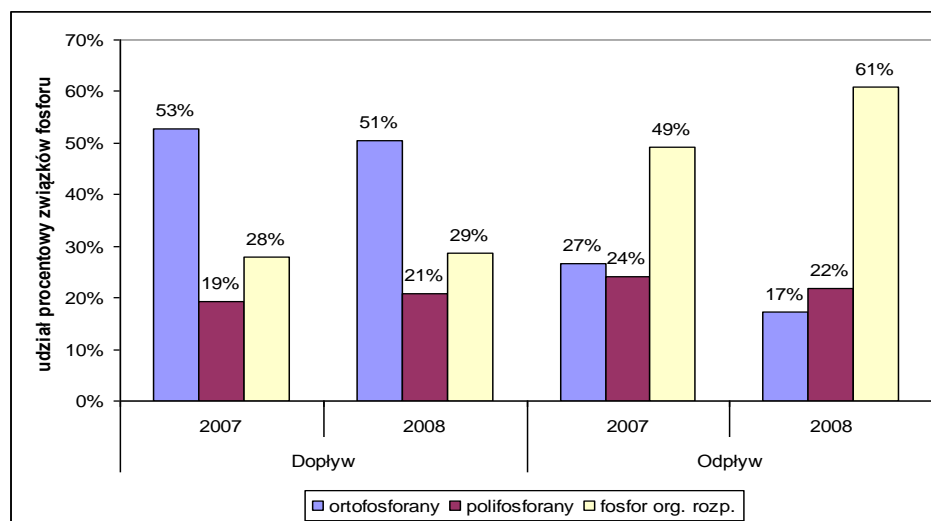
Udział fosforu organicznego w całkowitej ilości fosforu wynosił w 2007 roku od 11 do 61%, a w 2008 roku od 1 do 65%. Średnioroczne wartości wynosiły odpowiednio 28 i 29%. Tak więc w obu okresach badawczych (2007 i 2008) zanotowano duże podobieństwo udziałów poszczególnych form fosforu.

Udział ortofosforanów poniżej zbiornika zaporowego w ogólnej ilości fosforu wynosił w 2007 roku od 1 do 78% (średnio 27%), w 2008 roku od 0,4 do 64% (średnio 17%). Zarówno zakres zmian stężeń, jak i dynamika zmian polifosforanów była bardzo podobna do zmian ortofosforanów. Udział tej formy fosforu wynosił w 2007 roku od 1 do 76% (średnio 24%), w 2008 roku od 6 do 62% (średnio 22%). Poniżej zbiornika Słupsko zaobserwowano istotny wzrost udziału fosforu organicznego w całkowitej ilości fosforu. W 2007 roku udział ten wynosił średnio 49%, natomiast w 2008 roku już 61%.

W wyniku procesów zachodzących w zbiorniku obserwowano spadek stężenia ortofosforanów z około $0,46 \text{ mgP-PO}_4/\text{dm}^3$ na dopływie do około $0,20 \text{ mgP-PO}_4/\text{dm}^3$ poniżej zbiornika w 2007 roku oraz z $0,52$ do $0,12 \text{ mgP-PO}_4/\text{dm}^3$ w 2008 roku. Stężenie polifosforanów praktycznie nie ulegało zmianie, natomiast wzrastało bardzo wyraźnie stężenie fosforu organicznego z $0,25 \text{ mgP}/\text{dm}^3$

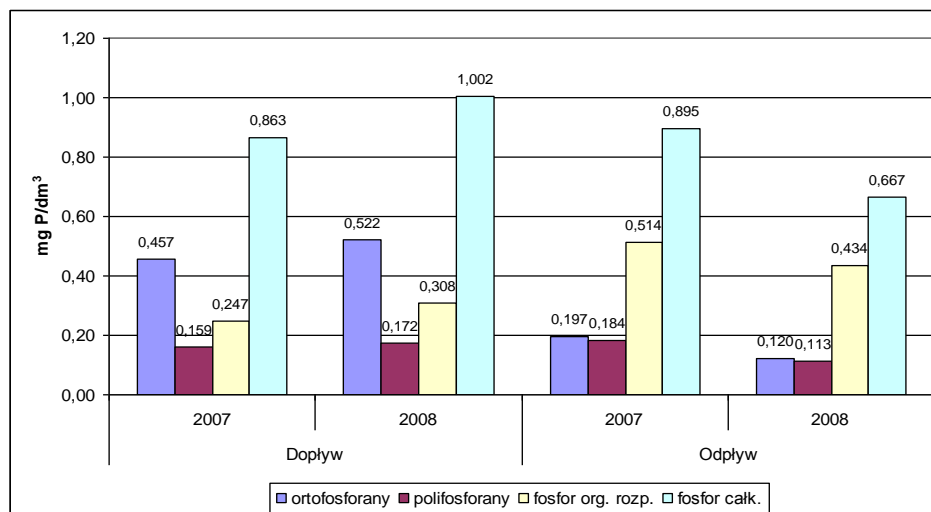


w 2007 r. oraz 0,31 w 2008 r. na dopływie do około 0,51 mgP/dm³ w 2007 r. i 0,43 mgP/dm³ w 2008 r. na odpływie ze zbiornika Słupsko (rys. 5).



Rys. 4. Średnioroczne wartości udziału związków fosforu na dopływie i odpływie ze zbiornika Słupsko w latach 2007 i 2008

W wodzie poniżej zbiornika nastąpił spadek średniego stężenia ortofosforanów o ok. 60%, natomiast zwiększyło się średnie stężenie fosforu organicznego ok. 2,5-krotnie. Średnie stężenie fosforu ogólnego w 2007 roku nie uległo zmianie, natomiast w 2008 roku średnie stężenie fosforu zmniejszyło się o 33%.



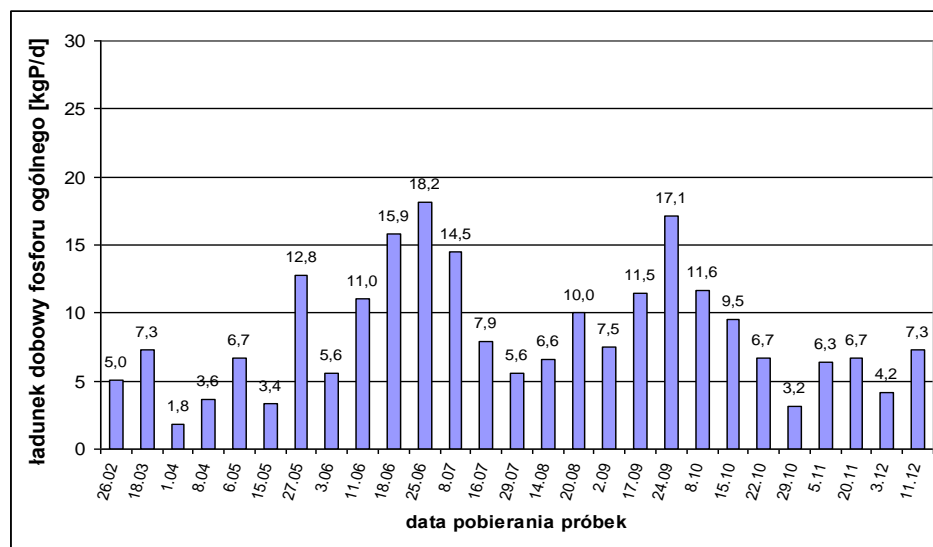
Rys. 5. Średnioroczne stężenia związków fosforu powyżej i poniżej zbiornika Słupsko w latach 2007 i 2008



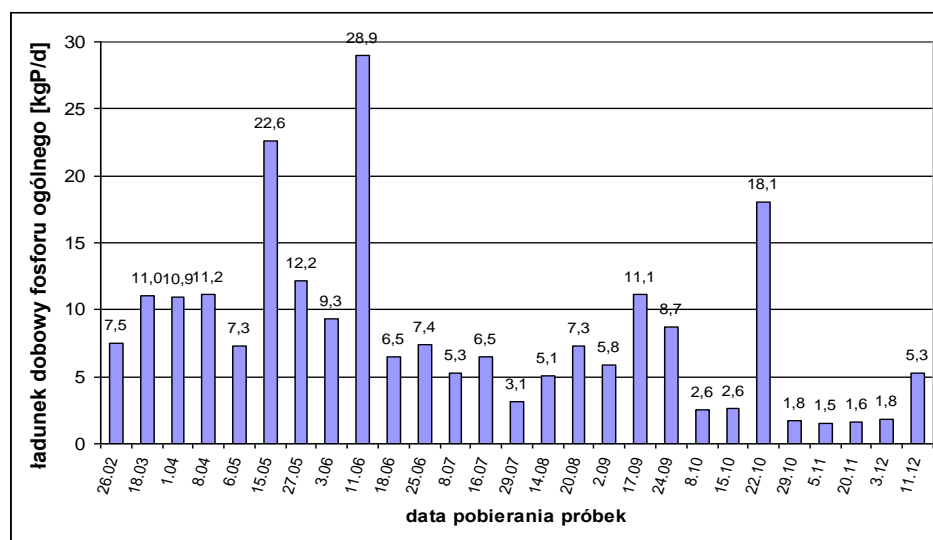
4. Bilans związków fosforu

4.1. Dobowe ładunki fosforu ogólnego

W wodzie dopływającej do zbiornika ładunki dobowe zmieniały się od 1,8 do 18,2 kgP/d (rys. 6), w wodzie odpływającej od 1,5 do 28,9 kgP/d (rys. 7). W skali rocznej wielkości te wyrównywały się. Średniodobowe ładunki fosforu ogólnego wyniosły dla 2008 roku odpowiednio 8,4 i 8,1 kgP/d.



Rys. 6. Dobowe ładunki fosforu ogólnego dopływające do zbiornika Słupsko w 2008 roku



Rys. 7. Dobowe ładunki fosforu ogólnego odpływające ze zbiornika Słupsko w 2008 roku



4.2. Ogólny bilans fosforu

Roczne bilanse związków fosforu sporządzono w oparciu o średnioroczne wartości stężeń oraz średnioroczne przepływy w latach 2007 i 2008 (tabele 1 i 2). Bilans związków fosforu dla 2007 roku sporządzono na podstawie wartości przepływów wody w Potoku Toszeckim.

Tabela 1

Bilans fosforu w zbiorniku Słupsko w 2007 roku

Wskaźnik	Ładunek wprowadzony Mg/rok	Ładunek odprowadzony Mg/rok	Różnica MgP/rok	% ładunku wprowadzonego
ortofosforany	6	2,5	3,5	60
polifosforany	2,5	2,5	0	0
fosfor organiczny	2,5	6	-3,5	240
fosfor ogólny	11	11	0	0

Tabela 2

Bilans fosforu w zbiorniku Słupsko w 2008 roku

Wskaźnik	Ładunek wprowadzony Mg/rok	Ładunek odprowadzony Mg/rok	Różnica MgP/rok	% ładunku wprowadzonego
ortofosforany	1,7	0,5	1,2	71
polifosforany	0,6	0,5	0,1	10
fosfor organiczny	1,0	2,0	-1	100
fosfor ogólny	3,4	3,1	0,3	9

Z przedstawionego bilansu fosforu wynika, że formą najintensywniej wykorzystywaną w procesach wewnątrzbiornikowych były ortofosforany. Ładunek zatrzymany wynosił w obu latach badań od 60 do 70% ładunku wprowadzonego. Ładunek fosforu organicznego wyprowadzony ze zbiornika był zdecydowanie większy od wprowadzonego, w 2007 roku prawie 2,5-krotnie, a w 2008 roku 2-krotnie większy.

Całkowity ładunek fosforu doprowadzonego do zbiornika w 2007 r., obliczony w oparciu o dane projektowe dla zbiornika Słupsko, w zasadzie równoważył się z ładunkiem odprowadzonym. W 2008 roku zaobserwowano natomiast 9% obniżenie całkowitego ładunku fosforu poniżej zbiornika. Można jednak zaobserwować, że w zbiorniku tym następują intensywne przemiany form fosforu. W wyniku zachodzących w zbiorniku procesów produkcji biomasy nastąpiła zmiana mineralnych form fosforu na formę organiczną.



5. Podsumowanie

W wyniku procesów zachodzących w zbiorniku następują charakterystyczne zmiany jakości wody pod względem stężeń związków fosforu. W stosunku do całkowitej ilości fosforu udział ortofosforanów zmniejsza się. Natomiast udział fosforu organicznego wyraźnie wzrasta. Zaobserwowano również, że w 2008 roku średnie stężenie fosforu ogólnego było ponad 30% niższe w wodzie odpływającej ze zbiornika. Wynikać to może z pewnych zdolności zbiornika Słupsko do kumulowania związków fosforu. Potwierdzają to obliczenia dobowych ładunków fosforu ogólnego, zauważalnie niższe poniżej korony zapory. Wyraźna jest również transformacja związków fosforu z postaci mineralnej do organicznej.

Wskaźnikiem informującym o zagrożeniu eutrofizacją jest zewnętrzne obciążenie powierzchniowe. Wskaźnik ten określa ilość azotu lub fosforu, wprowadzaną na powierzchnię 1 m² lustra wody w ciągu roku (g/m²/rok). Po uwzględnieniu czasu zatrzymania wody w zbiorniku, a dokładniej po uwzględnieniu krotności wymiany w ciągu roku otrzymujemy tzw. obciążenie hydrauliczne. Ze względu na różnice w bilansie wodnym zbiornika w poszczególnych latach obciążenie hydrauliczne precyzyjniej oddaje zagrożenie zbiornika eutrofizacją.

W tabeli 3 przedstawiono wartości zewnętrznego obciążenia powierzchniowego zbiornika Słupsko fosforem w 2008 roku.

Tabela 3

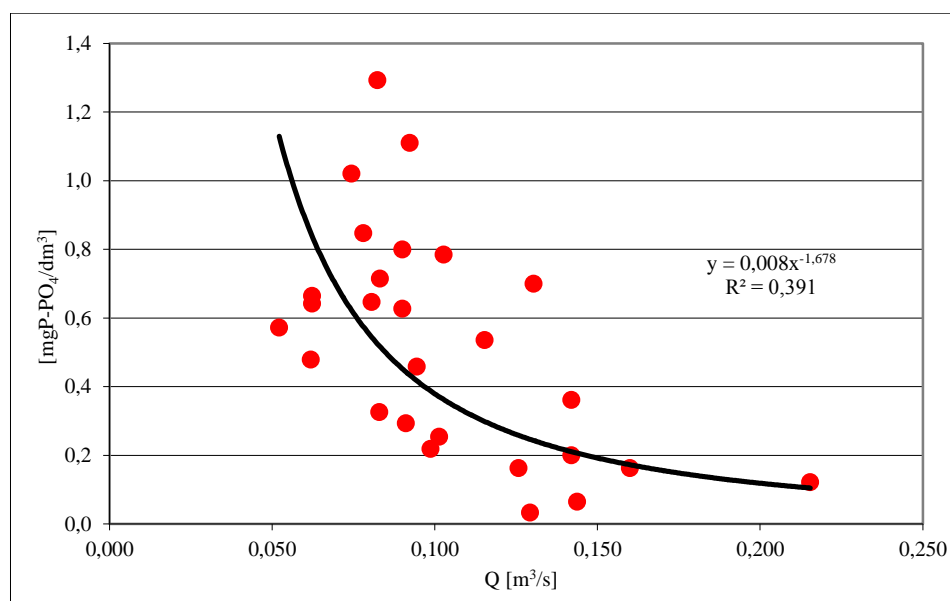
Obciążenie powierzchniowe fosforem - zbiornik Słupsko, 2008 r.

Wskaźnik	gP/m ² /rok
Zewnętrzne obciążenie powierzchniowe	0,01
Obciążenie hydrauliczne dla 17-krotnej wymiany wody	0,0006
Obciążenie hydrauliczne dla 4,8-krotnej wymiany wody	0,0020

Zewnętrzne, tzw. niebezpieczne obciążenie powierzchniowe zbiornika (wg Vollenweidera) Słupsko o średniej głębokości 2 m wynosi dla fosforu 0,01 gP/m²/rok [23, 24]. Zatem współczynnik nieuwzględniający wielokrotności wymiany wody w przypadku fosforu odpowiada wartości niebezpiecznej. Skłania to do wysnuć tezy, że czynnikiem ryzyka dla eutrofizacji zbiornika Słupsko jest fosfor. W związku z powyższym istotnym elementem ochrony zbiornika przed zakwitami glonów jest wymiana wody.

W 2008 roku obserwowano zależność pomiędzy wielkością stężeń ortofosforanów a wielkością przepływów w wodzie Potoku Toszeckiego powyżej zbiornika. Wraz ze wzrostem wielkości przepływu zmniejsza się stężenie ortofosforanów w wodzie tego cieku (rys. 8). Zależność ta wskazuje na obecność w zlewni zbiornika Słupsko stałych źródeł ortofosforanów. Widoczny na rysunku efekt rozcieńczania wskazuje na stały roczny ładunek tej formy fosforu powstający w zlewni zbiornika. Zależność ta wymaga zweryfikowania z uwagi na znaczenie tego zjawiska.





Rys. 8. Zależność stężenia ortofosforanów od wielkości przepływu wody w Potoku Toszeckim - dopływ do zbiornika Słupsko, 2008 r.

Wyższe stężenia ortofosforanów występują przy niższych wielkościach przepływów w okresie letnio-jesiennym. Większym przepływowi w Potoku Toszeckim odpowiadają niższe wartości stężeń. Zależność ta wskazuje na zjawisko rozcieńczania ładunku fosforu powstającego na terenie zlewni.

Całkowity ładunek fosforu doprowadzonego do zbiornika praktycznie równoważył się w latach 2007 i 2008 z ładunkiem odprowadzonym. Zatem zbiornik nie posiada możliwości redukcji ładunku fosforu doprowadzanego przez Potok Toszecki. Tak więc z punktu widzenia ochrony zbiornika Pławniowice przed nadmiernymi ładunkami związków fosforu zbiornik Słupsko ma znaczenie ograniczone.

Zbiornik Słupsko już od pierwszych lat istnienia posiada cechy wysokiej trofii. Wskazują na to podwyższone wartości pH wody w okresie letnim [22]. Stężenia węgla organicznego w wodzie Potoku Toszeckiego [22] świadczą o obecności w zlewni zbiornika źródeł zanieczyszczeń organicznych w postaci ścieków bytowo-gospodarczych lub niedostatecznie oczyszczonych ścieków komunalnych [17]. Wysokie obciążenie zewnętrznymi związkami fosforu zapewnia warunki dla intensywnych procesów przemiany materii i produkcji biomasy [23, 24].

Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań sformułowano następujące wnioski:

1. Zbiornik Słupsko funkcjonuje w warunkach dużego obciążenia zewnętrznego fosforem, co stwarza warunki dla szybkiej degradacji tego ekosystemu.



2. Bilans fosforu wykazał, że zbiornik redukuje dopływające ładunki fosforu w niewielkim stopniu, zatem z punktu widzenia ochrony zbiornika Pławniowice jego rola jest niewielka.
3. Zbiornik Słupsko na obecnym etapie swojego funkcjonowania i w aktualnych uwarunkowaniach zmienia mineralne formy fosforu na organiczne.
4. Odwrotna zależność wielkości ładunków fosforu od wielkości przepływu na dopływie do zbiornika oraz widoczny efekt rozcieńczenia wskazują na zrównoważone w czasie wprowadzanie do wód ilości tego pierwiastka z terenu zlewni.
5. Możliwe jest ustalenie, przez wykonanie profilu hydrochemicznego ciek, źródeł pochodzenia fosforu na terenie zlewni zbiornika, a następnie ich eliminacja. Wydatnie poprawi to jakość wody zarówno w Potoku Toszeckim, jak i w zbiornikach Słupsko i Pławniowice.

Literatura

- [1] Kostecki M., Alokacja i przemiany wybranych zanieczyszczeń w zbiornikach zaporowych hydrowężła rzeki Kłodnicy i Kanale Gliwickim, *Prace i Studia IPIŚ-PAN w Zabrzu* 2003, nr 57, 1-124.
- [2] Kostecki M., Opad atmosferyczny jako element bilansu zanieczyszczeń zbiorników zaporowych hydrowężła Kłodnicy, *Arch. Ochr. Środow.* 2002, 28, 2, 45-59.
- [3] Lossow K., Gawrońska H., Łopata M., Teodorowicz M., Role of lasek phosphorus and nitrogen transfer In the river-lake syste, of the Mrózka and the upper Łyna rivers, *Limnological Review* 2006, 6, 171-178.
- [4] Dunalska J., Wiśniewski G., Mientki C., Water balance as a factor determining the Lake Kortowskie restoration, *Limnological Review* 2001, 1, 65-72.
- [5] Lossow K., Gawrońska H., Ochrona zbiorników wodnych, *Przegląd Komunalny* 2000, 9, 92-106.
- [6] Mientki C., Chemical properties of Kortowskie Lake waters after 18 years experiment on its restoration, Part II, Dynamics of nitrogen compounds, *Pol. Arch. Hydrobiol.* 1977, 24(1), 13-24.
- [7] Mientki C., Dunalska J., Phosphorus balance at various water flows in a lake restored by hypolimnetic withdrawal, *Ecohydrology - Hydrobiology* 2001, 4, 417-422.
- [8] Jankowski A.T., Rzętała M., Wyżyna Śląska i jej obrzeża - stan i antropogeniczne zmiany jakości wód powierzchniowych, [w:] *Stan i antropogeniczne zmiany jakości wód w Polsce*, pod red. J. Burcharda, Uniwersytet Łódzki - Komisja Hydrologiczna Polskiego Towarzystwa Geograficznego, Wyd. Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź 2000, 143-155.
- [9] Kondracki J., *Geografia Polski - mezoregiony fizyczno-geograficzne*, WN PWN, Warszawa 1994.
- [10] Kondracki J., *Geografia regionalna Polski*, WN PWN, Warszawa 2000.
- [11] Krzanowski S., Wpływ retencji zbiornikowej na wybrane elementy środowiska, ze szczególnym uwzględnieniem zmian reżymu przepływów w rzece poniżej zbiornika (na przykładzie dorzecza Sanu), *Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej w Krakowie* 2000, Rozprawy 259.
- [12] Wiatkowski M., Czamara W., Kuczewski K., Wpływ zbiorników wstępnych na zmiany jakości wód retencjonowanych w zbiornikach głównych, *Works and Studies (Prace i Studia) - IPIŚ PAN* 2006, nr 67.
- [13] Wrona A., Wpływ uprzemysłowienia na zmiany środowiska geograficznego i użytkowanie powierzchni ziemi w zachodniej części Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego, *Praca doktorska (niepublikowana)*, Zabrze 1975.



- [14] Kostecki M., Chemizm wody oraz podstawowe wskaźniki określające intensywność krążenia materii w zbiorniku zaporowy w Pławniowicach, Arch. Ochr. Środow. 1977, 3-4, 163-182.
- [15] Kostecki M., Dynamika przemian oraz wstępny bilans podstawowych form azotu i fosforu w zbiorniku zaporowym w Pławniowicach, Arch. Ochr. Środow. 1978, 1.
- [16] Kostecki M., Kozłowski J., Domurad A., Zych B., Charakterystyka hydrochemiczna Potoku Toszeckiego w aspekcie oddziaływania na zbiornika zaporowy Pławniowice, Arch. Ochr. Środow. 2001, 2, 125-140.
- [17] Kostecki M., Kozłowski J., Nocoń W., Wpływ zmian jakości wody w Potoku Toszeckim w latach 1976-2004 na stopień zanieczyszczenia wody w zbiorniku zaporowym Pławniowice, Ochr. Środow. 2006, 4, 25-30.
- [18] Dunalska J., Influence of limited water flow in a pipeline on the nutrients budget in a lake restored by hypolimnetic withdrawal method, Polish Journal of Environmental Studies 2002, 11, 6, 631-637.
- [19] Ocena stanu zagrożenia doliny cieku Toszeckiego w wypadku awarii zapory czołowej zbiornika wodnego Słupsko w m. Słupsko, woj. śląskie. Część I. Charakterystyka Potoku Toszeckiego oraz zbiorników Słupsko i Pławniowice. Dokumentacja projektowa: Hydroprojekt Warszawa sp. z o.o. Oddział we Wrocławiu, Oddział w Sosnowcu 2003.
- [20] Ocena oddziaływania na środowisko zbiornika retencyjnego Słupsko, Dokumentacja projektowa: Hydroprojekt Wrocław 2003.
- [21] Wagner S., Łukaszek R., Jakubowski R., Stasiewicz M., Górnicki J., Madej Z., Instrukcja dotycząca napełnienia oraz wstępnej eksploatacji retencyjnego zbiornika wodnego Słupsko, Katowice 2003.
- [22] Kostecki M., Nocoń W., Rola płytkiego nizinnego zbiornika zaporowego w układzie „rzeka-zbiornik-rzeka”, Część I. Wybrane wskaźniki hydrochemiczne oraz bilans związków azotowych w zbiorniku Słupsko, Inż. Ochr. Środow. 2009, 12, 4, 249-269.
- [23] Vollenweider R.A., Scientific fundamentals of the eutrofication to nitrogen and phosphorus as factor in eutrofication, Wat. Manag. Research EPA, Paris 1969, 1-112.
- [24] Vollenweider R.A., Input-output models with special reference to the phosphorus loading concept in limnology, Schweiz. Zeit. Hydrol. 1975, 37, 88-113.

The Role of Shallow, Lowland Dam Reservoir in the River-Lake-River System. Part II. The Phosphorus Changes and Budget in the Słupsko Dam-Reservoir

The influence of a shallow, lowland dam-reservoir (the Słupsko reservoir in Upper Silesia) on the changes of concentration and loads of phosphorus in the Potok Toszecki is presented. The Słupsko reservoir functions in the high phosphorus external load conditions, what causes its degradation. The phosphorus budget showed that only small amount of the phosphorus load inflowed to the reservoir is reduced. In this case the role of reservoir for protection of the Pławniowice reservoir is not important.

At the present phase of the reservoir functioning and in the current environmental conditions, in the Słupsko dam-reservoir mineral forms of phosphorus change to the organic forms. The inverse function relationship between phosphorus loads and velocity of flow as well as the dilution effect show that the regular load of phosphorus is introduced from the catchment area. Location of phosphorus sources in the Słupsko dam-reservoir basin and their elimination could improve the water quality in the Potok Toszecki as well as in the Słupsko and the Pławniowice dam-reservoirs.

Keywords: phosphorus, budget, shallow dam-reservoir

