

Leszek Trząski, Adam Hamerla*, Katarzyna Kopel**

ZANIECZYSZCZENIE FOSFOREM: BARIERA DLA POPRAWY STANU EKOLOGICZNEGO RZEK NA GÓRNYM ŚLĄSKU

Streszczenie

W artykule przeanalizowano problem zanieczyszczenia fosforem rzek w wysoko zurbanizowanej części województwa śląskiego. Stwierdzono, że pomimo znacznej rozbudowy i modernizacji komunalnych systemów oczyszczania ścieków, w ostatnim dziesięcioleciu nie nastąpiła znacząca poprawa jakości wód, a stężenie fosforu ogólnego kilkukrotnie przewyższa progowe wartości limitujące możliwość osiągnięcia dobrego stanu ekologicznego w rozumieniu Ramowej Dyrektywy Wodnej. Wysłano hipotezę, w myśl której, osiągnięcie znaczącej poprawy jest możliwe pod warunkiem wprowadzenia systemów doczyszczania ścieków oraz wprowadzenia w poszczególnych zlewniach lokalnych rozwiązań technicznych i przestrzennych ograniczających zanieczyszczenie fosforem przez spływ powierzchniowy z terenów zurbanizowanych.

The pollution with phosphorus: a barrier for the improvement of an ecological state of the rivers in the Upper Silesia

Abstract

In the paper, the problem of pollution of rivers with phosphorus in highly urbanised part of the Silesia Voivodeship has been analysed. There has been stated that despite the considerable development and modernisation of the municipal sewage treatment systems, significant improvement of the water quality has not occurred in the last ten years and the total phosphorus concentration exceeds several times the threshold values that limit the possibility of achieving a good ecological state, as defined by the Framework Water Directive. There has been formulated a hypothesis according to which considerable improvement is likely to be achieved, on condition that there would be introduced the sewage additional cleaning systems as well as technical and spatial solutions in particular local drainage areas that limit the pollution with phosphorus through the surface run-off from the urbanised areas.

WPROWADZENIE

Fosfor jest kluczowym pierwiastkiem biogennym dla wszystkich form życia i występuje w naturalnych ekosystemach wodnych i glebowych. Stężenie fosforu jest jednym z najważniejszych parametrów opisujących żyzność (trofię) ekosystemów wodnych, gdyż limituje ono produkcję biomasy. W warunkach naturalnych stężenie związków fosforu rozpuszczonych w wodzie rzecznej na ogół nie przekracza 0,02–0,03 g P/l (Jarvie et al. 2006).

Do oceny stanu ekologicznego (lub potencjału ekologicznego) jednolitych części wód w rozumieniu Ramowej Dyrektywy Wodnej (Directive 2000/60/EC) bierze się pod uwagę odstępstwa od naturalnego stanu – morfologicznego, fizykochemicznego, troficznego i biologicznego przypisanego danemu typowi wód (np. rzek). Stężenie

* Główny Instytut Górnictwa

fosforu jest jednym z kluczowych parametrów oceny, dlatego, że nadmiar fosforu powoduje daleko idące zmiany zarówno w parametrach fizykochemicznych, jak i w ożywionej części ekosystemu, określane jako eutrofizacja lub jako eutrofizacja antropogeniczna (dla odróżnienia od naturalnych procesów limnologicznych). Proces ten, wynikający z braku ograniczenia dla przyrostu biomasy, w wymiarze biologicznym objawia się postępującym zachwianiem składu gatunkowego i relacji liczebnościowych między różnymi grupami ekologicznymi organizmów, a zarazem do negatywnych, nieraz drastycznych, zmian w środowisku fizykochemicznym. Jednym z najprostszych i najbardziej znanych rodzajów negatywnych zjawisk, szczególnie często obserwowanych w niewielkich ciekach na terenach zurbanizowanych lub rolniczych, jest zakwit glonów, powodujący zarówno utratę walorów estetycznych i rekreacyjnych, jak i utratę tlenu niezbędnego dla ryb i innych zwierząt (The Federal... 2001; Zheng, Paul 2009). W niewielkim uproszczeniu można przyjąć, że przekroczenie stężenia fosforu o rząd wielkości w porównaniu z naturalnym tłem, uniemożliwia osiągnięcie bardzo dobrego lub dobrego stanu ekologicznego (lub potencjału ekologicznego) wód powierzchniowych w rozumieniu Ramowej Dyrektywy Wodnej.

Niniejszy artykuł jest próbą odpowiedzi na pytanie: czy rozwój systemów oczyszczania ścieków oparty na dużych oczyszczalniach wystarczy, aby obniżyć stężenie fosforu w rzekach województwa śląskiego do poziomu akceptowalnego, tj. umożliwiającego osiągnięcie dobrego stanu ekologicznego?

PRZEGLĄD PROGOWYCH WARTOŚCI AKCEPTOWALNYCH STĘŻEŃ FOSFORU OGÓLNEGO

Zgodnie z obowiązującym w Polsce Rozporządzeniem określającym sposób klasyfikacji jednolitych części wód powierzchniowych, graniczną wartością dla pierwszej klasy czystości pod względem stężenia fosforu ogólnego (TP) jest 0,2 mg P/l, natomiast dla drugiej klasy 0,4 mg P/l (Rozporządzenie 2008). Takie rozwiązanie odbiega od norm, rozporządzeń i zaleceń przyjętych w innych państwach, np. zgodnie z klasyfikacją zawartości fosforu w rzekach przyjętą przez Environment Agency w Wielkiej Brytanii w związku z wdrażaniem Ramowej Dyrektywy Wodnej, poniżej wartości 0,2 mg P/l, mówi się o bardzo niskiej zawartości fosforu, do 0,06 mg P/l – o niskiej zawartości fosforu, do 0,1 mg P/l – o umiarkowanej zawartości. Powyżej tej wartości progowej mówi się o wysokim stężeniu, a od 0,2 mg P/l – o bardzo wysokim stężeniu (UK Environmental... 2008). W pracach tej samej instytucji, dla potrzeb monitoringu rzek angielskich i walijskich, wartość progowa dobrego stanu ekologicznego wynosi 0,1 mg P/l w rzekach krzemianowych i 0,04 mg P/l; stężenia średnioroczne fosforu ogólnego limitują także możliwość występowania bardzo dobrej lub dobrej wartości indeksu okrzemkowego; w zależności od typu rzeki progowa wartość stężenia fosforu dla wody „wysokiej jakości” wynosi 0,04–0,12 mg P/l. W ślad za zaleceniami Dyrektywy Siedliskowej (Council Directive 92/43/EEC) dla obszarów wrażliwych, 0,1 mg P/l jest najwyższą wartością progową dla zalecanego (*guideline*) stężenia fosforu dla większości rzek (w zależności od wielkości i typu rzeki zalecana wartość progowa wynosi 0,02–0,1 mg P/l); powyżej tej wartości mówi się o znaczącym niekorzystnym oddziaływaniu antropogenicznym na ekosystem rzeczny (Environment

Agency 2002). Zgodnie z zaleceniami amerykańskiej EPA dla cieków płynących przez tereny zurbanizowane, 0,1 mg P/l jest wartością progową, której nie należy przekraczać, m.in. z uwagi na ryzyko zakwitów glonów (zob. heinzctr.org/ecosystems/pdf_files/urb_phos_strms.pdf). Według irlandzkiej normy S.I. No. 258/1998, stosowanej w związku z wdrażaniem Ramowej Dyrektywy Wodnej, już średnioroczne stężenie powyżej 0,07 mg P/l charakteryzuje rzekę „poważnie zanieczyszczoną”. Zgodnie z czeskim prawodawstwem, docelową dopuszczalną progową wartością stężenia fosforu w rzekach jest 0,15 mg P/l gwarantowane w 95% pomiarów lub dla przepływu Q355 (Government... 2003).

W brytyjskiej terminologii opisującej trofię rzek, przyjmuje się, że stężenie fosforu ogólnego 0,02 mg P/l jest graniczne dla rzek oligotroficznych, 0,06 – dla rzek mezotroficznych, 0,1 mg P/l – dla rzek mezoeutroficznych i 0,2 mg P/l dla rzek eutroficznych; powyżej tej ostatniej wartości rzekę określa się jako hipereutroficzną. Do porównywania zanieczyszczenia rzek fosforem w państwach europejskich European Environmental Agency stosuje sześć przedziałów stężeń fosforu ortofosforanowego: poniżej 0,02 mg P/l, od 0,02 < 0,05 mg P/l, od 0,05 < 0,1 mg P/l, od 0,1 < 0,2 mg P/l, od 0,2 < 0,4 mg P/l, od 0,4 mg P/l. W zestawieniu z powyższymi wartościami, stężenia fosforu ogólnego określające w Polsce I i II klasę czystości wody rzecznej w rozumieniu Ramowej Dyrektywy Wodnej, tj. spełnianie warunków odpowiednio dla bardzo dobrego (I klasa) i dobrego (II klasa) stanu ekologicznego:

- nie przystają do współczesnej wiedzy o wpływie stężenia fosforu na stan ekologiczny rzek,
- nie przystają do rozwiązań obowiązujących w innych państwach o zbliżonych warunkowaniach naturalnych, w tym do rozwiązań związanych z wdrażaniem Ramowej Dyrektywy Wodnej,
- nie przystają do zaleceń Dyrektywy Siedliskowej.

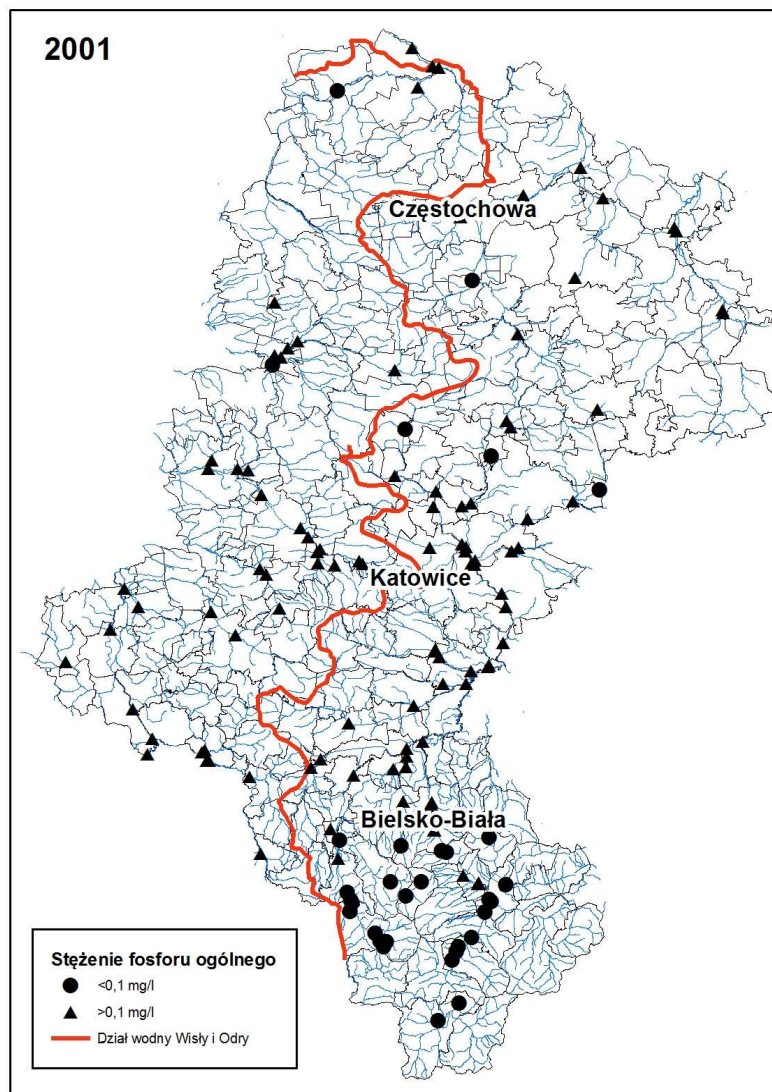
W niniejszym opracowaniu przyjęto, że o zadowalającej czystości rzek pod względem zawartości fosforu można mówić, gdy średnioroczne stężenie fosforu ogólnego (gwarantowane w 95% pomiarów) nie przekracza 0,1 mg P/l.

ZANIECZYSZCZENIE FOSFOREM W ŚWIETLE WYNIKÓW PAŃSTWOWEGO MONITORINGU WÓD W WOJEWÓDZTWIE ŚLĄSKIM

Zgodnie z publicznie dostępnymi danymi monitoringu Wojewódzkiego Inspektoratu Ochrony Środowiska (WIOŚ) w Katowicach za 2009 rok, ogółem w 61 spośród 121 punktów monitoringowych zlewni Wisły średnioroczne TP przekraczało 0,1 mg P/l, natomiast w 60 punktach monitoringowych było poniżej tej wartości. W zlewni Odry TP powyżej 0,1 mg P/l stwierdzono w 73 punktach, natomiast w 21 było ono niższe od tej wartości. Zadowalająco czyste są: w dorzeczu Wisły – źródłowe odcinki Wisły i jej dopływów, a także niektóre źródłowe odcinki rzek zlewni Przemszy i Pilicy, natomiast w dorzeczu Odry – niektóre odcinki Olzy i jej dopływów, niektóre bezpośrednie dopływy Odry oraz niektóre odcinki Warty i jej zlewni oraz źródłowa część zlewni Małej Panwi. Żaden z wymienionych odcinków rzek nie jest odbiornikiem ścieków z komunalnych lub przemysłowych oczyszczalni. Zgoła od-

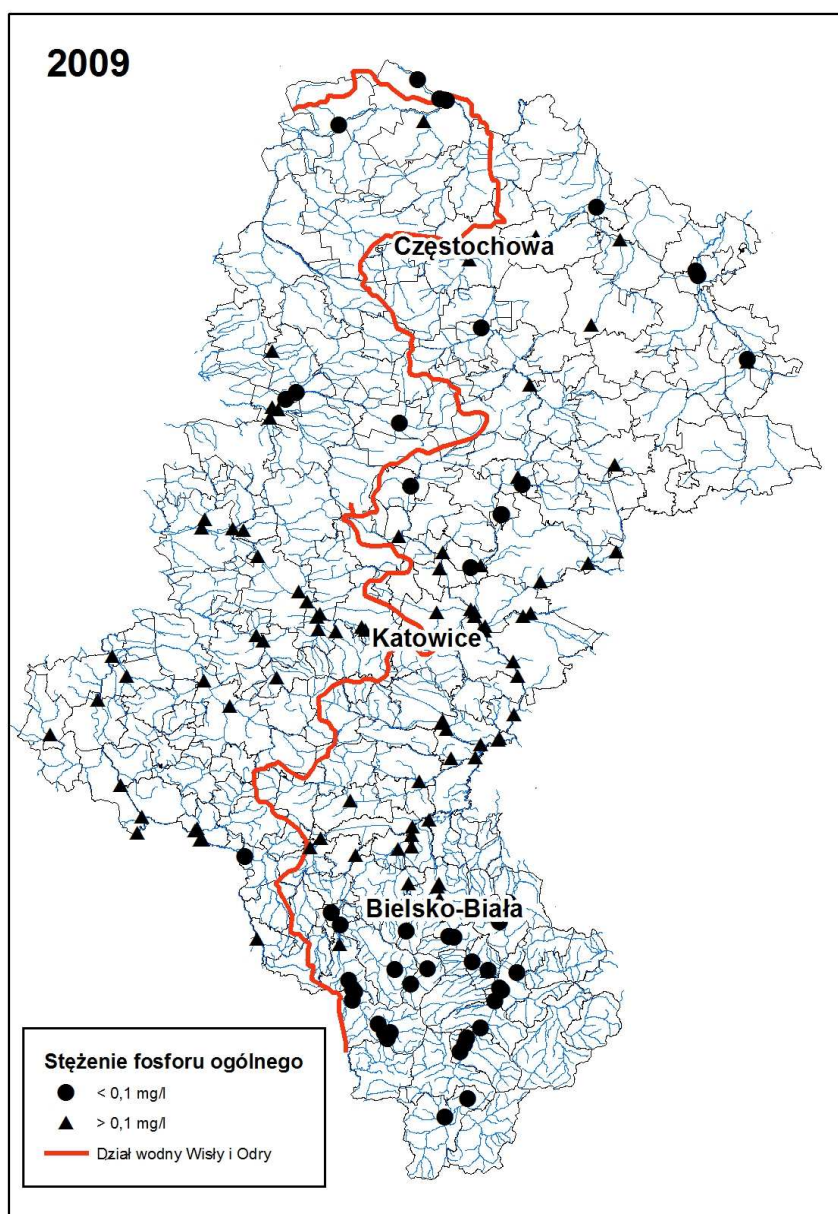
mienna sytuacja panuje w centralnej, wysoko zurbanizowanej części województwa. Wszystkie monitorowane rzeki i potoki płynące przez tereny o znacznej urbanizacji są w istotnym stopniu zanieczyszczone fosforem.

Na rysunkach 1–2 pokazano lokalizację punktów monitoringowych, w których wartość TP nie przekraczała progu 0,1 mg P/l z tymi, w których ta wartość została przekroczone.



Rys. 1. Rozmieszczenie punktów monitoringowych jakości wód rzecznych w województwie śląskim, w których w 2001 roku nastąpiło przekroczenie średniorocznej wartości 0,1 mg P/l

Fig. 1. The arrangement of monitoring points of fluvial waters quality in the Silesia Voivodeship in which, in the year 2001, an annual average value of 0.1 mg P/l has been exceeded

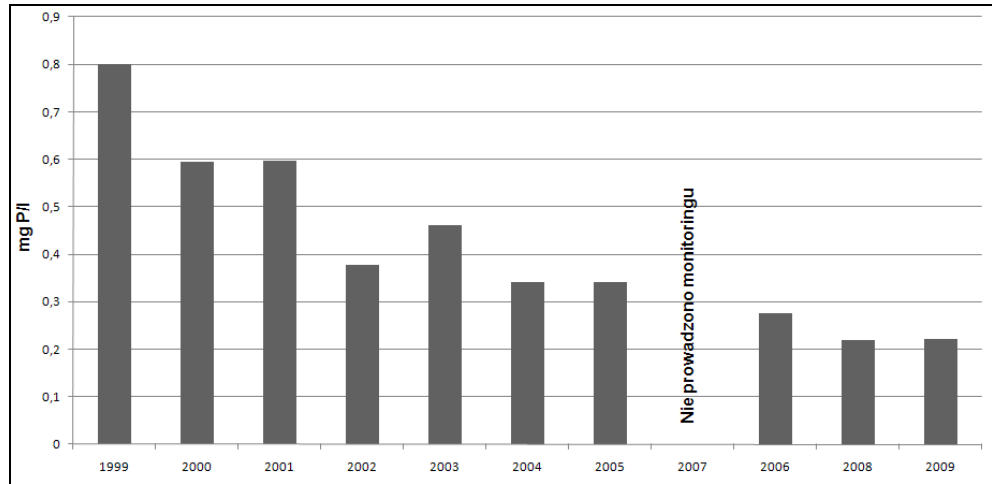


Rys. 2. Rozmieszczenie punktów monitoringowych jakości wód rzecznych w województwie śląskim, w których w 2009 roku nastąpiło przekroczenie średniorocznej wartości 0,1 mg P/l

Fig. 2. The arrangement of monitoring points of fluvial waters quality in the Silesia Voivodeship in which, in the year 2009, an annual average value of 0.1 mg P/l has been exceeded

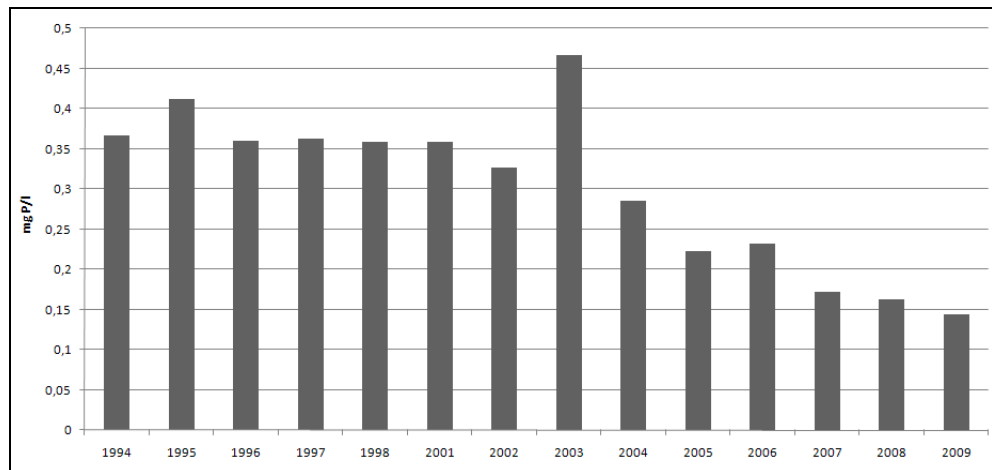
Jak wynika z rysunków 1 i 2, między 2001 a 2009 rokiem sytuacja nie uległa znaczącej zmianie. Oczekiwany postęp w usuwaniu fosforu, wynikający z rozbudowy zbiorczych systemów kanalizacyjnych z odprowadzaniem oczyszczonych ścieków do większych rzek i z coraz powszechniejszego instalowania indywidualnych systemów

ujmowania ścieków na terenach wiejskich, nie przełożył się na jakość wód w rzekach centralnej części województwa. O stopniowym zmniejszaniu obciążenia górnośląskich rzek fosforem świadczą natomiast zestawienia dla najniższej położonych punktów monitoringowych na Wiśle (rys. 3) i Odrze (rys. 4), w których obie rzeki przyjęły już największe ładunki pochodzące z terenów wysoko zurbanizowanych województwa śląskiego.



Rys. 3. Stężenie fosforu ogólnego w Wiśle w Nowym Bieruniu w latach 1999–2009; wartości średnioroczne z 95% prawdopodobieństwem nieprzekroczenia

Fig. 3. A total phosphorus concentration in the Vistula (Wiśla) river in Nowy Bieruń location, with the years 1999–2009, the annual average values with 95% probability of not exceeding



Rys. 4. Stężenie fosforu ogólnego w Odrze 55,5 km w latach 1994–2009; wartości średnioroczne z 95% prawdopodobieństwem nieprzekroczenia

Fig. 4. A total phosphorus concentration in the Odra river 55.5 km within the years 1994–2009, an average-year values with 95% non-overflow probability

Znaczący postęp w zmniejszaniu obciążenia fosforem obu zlewni rzecznych wynika z uruchomienia nowych lub modernizacji już istniejących oczyszczalni ścieków. W skali największych skupisk miast regionu: metropolii Silesia oraz Rybnika i Żor, w 2001 roku około 68% ogółu mieszkańców było obsługiwanych przez biologiczne oczyszczalnie ścieków lub oczyszczalnie ze zwiększonym usuwaniem miogenów – ten stopień oczyszczania dotyczył tylko około 33% ogółu mieszkańców. W 2009 roku wartości te wynosiły już odpowiednio ponad 85% i prawie 71% ogółu mieszkańców.

Najważniejsze inwestycje ostatnich lat zestawiono w tablicach 1 i 2. Pogrubioną czcionką zaznaczono oczyszczalnie powyżej 100 000 RLM.

Tablica 1. Oczyszczalnie wybudowane/zmodernizowane w zlewni Wisły w latach 2000–2009

Miasto	Oczyszczalnia	Typ inwestycji	Rok	Odbiornik	Przynależność do zlewni II rzędu
Sosnowiec	Zagórze	modernizacja	2003	Rów Mortimerowski	Przemsza
Katowice	Siemianowice-Centrum	modernizacja	2005	Brynica	Przemsza
Katowice	Gigablok	budowa	2006	Rawa	Przemsza
Sosnowiec	Radocha II	modernizacja	2008	Czarna Przemsza	Przemsza
Imielin	Imielin	budowa	2008	Imielinka	Przemsza
Tychy	Urbanowice	modernizacja	2009	Gostynia	Gostynia

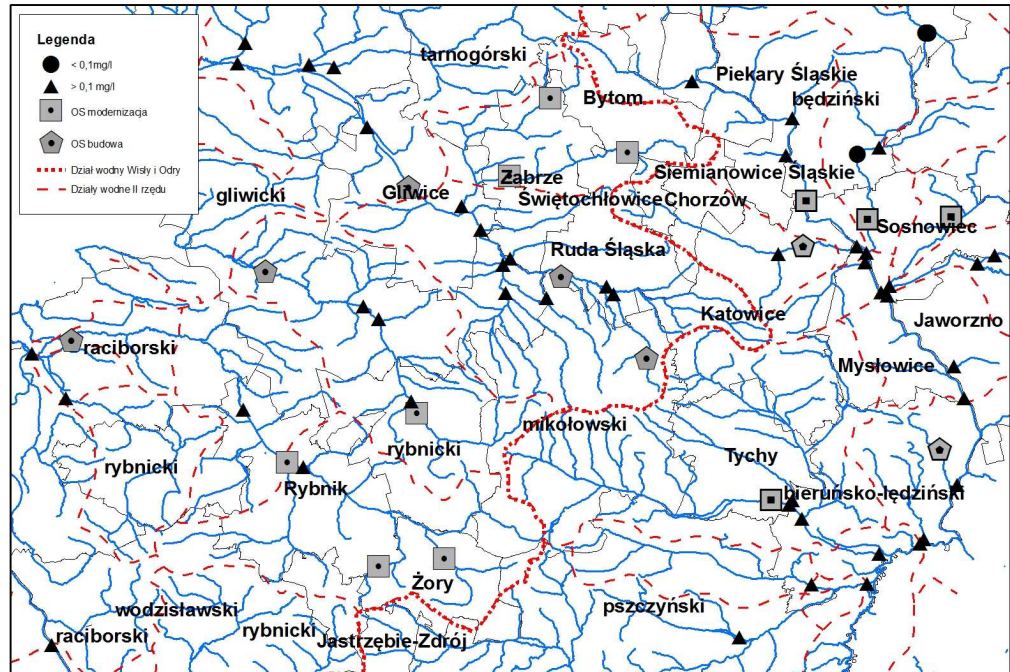
Tablica 2. Oczyszczalnie wybudowane/zmodernizowane w zlewni Odry w latach 2000–2009

Miasto	Oczyszczalnia	Typ inwestycji	Rok	Odbiornik	Przynależność do zlewni II rzędu
Rybnik	OS Orzepowice	modernizacja	2000	Nacyna	Ruda
Żory	Miejska OS	modernizacja	2001–2003	Ruda	Ruda
Żory	OS Boguszowice	modernizacja	2005	Potok Kłokocinka	Ruda
Kuźnia Raciborska	Gminna OS	budowa	2009	Ruda	Ruda
Sośnicowice	OS Sośnicowice	budowa	2000	Potok Sośnicowicki	Bierawka
Czerwionka-Leszczyny	Miejska OS	modernizacja	2003–2004	Bierawka	Bierawka
Gliwice	Centralna OS	budowa	2002	Kłodnica	Kłodnica
Zabrze	OS Mikulczyce	modernizacja	2001–2003	Potok Żemicki	Kłodnica
Mikołów	OS Centrum	budowa	2005	Jamna (dopływ Kłodnicy)	Kłodnica
Ruda Śląska	OS Halemba-Centrum	budowa	2007	Kłodnica	Kłodnica
Ruda Śląska	OS Orzegów	modernizacja	2008	Bytomka	Kłodnica
Zabrze	OS Śródmieście	modernizacja	2008	Bytomka	Kłodnica

Lokalizację oczyszczalni wymienionych w tablicach 1 i 2 przedstawiono na rysunku 5, na którym zaznaczono najbliższe położone punkty monitoringu jakości wód.

Na rysunku 5 widać, że zarówno modernizowane, jak i nowo wybudowane oczyszczalnie są położone głównie w górnym i środkowym biegu rzek i potoków. Oczyszczalnie, zwłaszcza w zlewni Przemszy, ale także w zlewniach Kłodnicy i Rudy są skoncentrowane na niewielkiej przestrzeni. Odbierają one ścieki z terenu dużych miast metropolii Silesia i regionu rybnickiego. Należy pamiętać, że oczyszczalnie obsługujące więcej niż 100 000 mieszkańców (lub RLM – równoważną liczbę miesz-

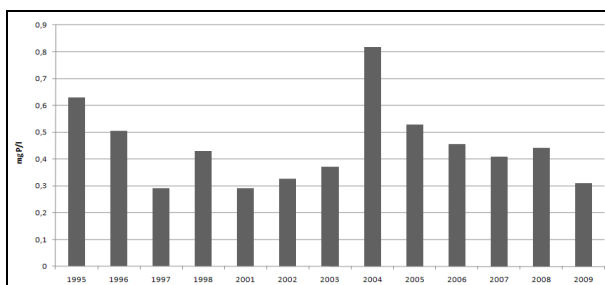
kańców) mają prawo do odprowadzania ścieków o stężeniu do 1 mg P/l (lub jest wymagana 90% redukcja ładunku fosforu), natomiast oczyszczalnie obsługujące 15 000–100 000 mieszkańców (RLM) – do 2 mg P/l (lub jest wymagana 85% redukcja ładunku fosforu) (Rozporządzenie 2006). Opisane uwarunkowania oznaczają, że do rzek centralnej części województwa, z natury niewielkich, gdyż płynących w sąsiedztwie głównego działu wodnego Wisły i Odry, z oczyszczalni ścieków trafiają ładunki fosforanów niewspółmiernie duże do naturalnych przepływów w rzekach. Ilościowa ocena wpływu punktowych źródeł zanieczyszczenia fosforem, jakimi są duże oczyszczalnie ścieków, jest w województwie śląskim niemożliwa wobec braku adekwatnych danych o wielkości rzeczywistych przepływów w poszczególnych punktach monitoringu jakości wód.



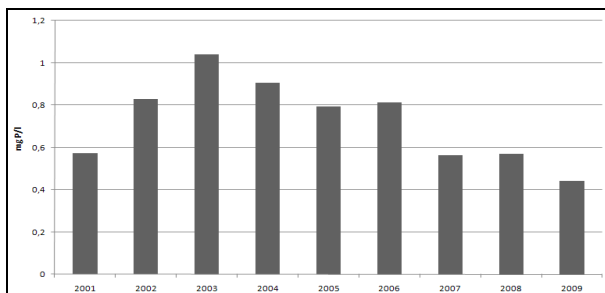
Rys. 5. Oczyszczalnie wybudowane lub zmodernizowane w latach 2000–2009 na tle mapy hydrograficznej i sieci monitoringowej; symbole oznaczające stężenie fosforu w wodzie rzecznej dotyczą 2009 roku

Fig. 5. The sewage treatment plants either constructed or modernised within the years 2000–2009 against a background of hydrographic map and monitoring network; the symbols denoting the phosphorus concentration in the fluvial water relate to the year 2009

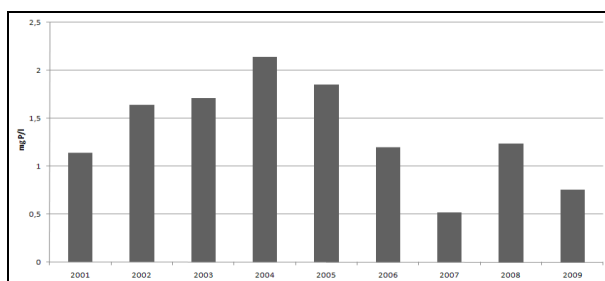
O tym, że zrzuty oczyszczonych ścieków mogą być ważnym źródłem zanieczyszczenia fosforem świadczą zestawienia wieloletnich danych monitoringowych dla wybranych zlewni rzek: Przemszy, Kłodnicy, Rudy i Bierawki (rys. 6).



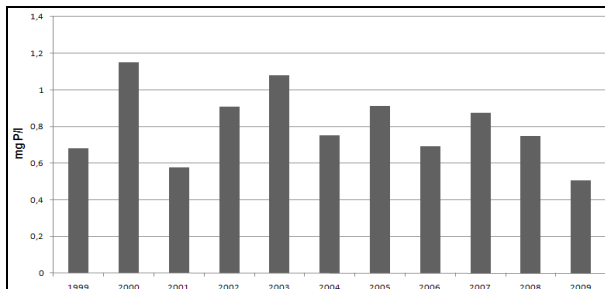
Stężenia fosforu ogólnego w Rudzie 0,1 km w latach 1995–2009



Stężenie fosforu ogólnego w Bierawce 32 km w latach 2001–2009



Stężenie fosforu ogólnego w Kłodnicy 64,5 km w latach 2001–2009



Stężenie fosforu ogólnego w Przemszy 13 km w latach 1999–2009

Rys. 6. Stężenia fosforu ogólnego [mg P/l] w dolnym biegu wybranych rzek województwa śląskiego; podano wartości średnioroczne z 95-procentowym prawdopodobieństwem nieprzekroczenia

Fig. 6. A total phosphorus concentration [mg P/l] in the lower course of the selected rivers of the Silesia Voivodeship; there have been quoted average-year values with 95% non-overflow probability of not exceeding: total phosphorus concentration in the Ruda river 0.1 km within the years 1995–2009; total phosphorus concentration in the Bierawka river 32 km within the years 2001–2009; total phosphorus concentration in the Kłodnica river 64.5 km within the years 2001–2009; total phosphorus concentration in the Przemsza river 13 km within the years 1999–2009

Do sporządzenia wykresów wykorzystano dane z punktów monitoringowych położonych poniżej oczyszczalni budowanych lub modernizowanych w latach 2000–2009. W żadnym z przypadków nie można mówić o znaczącym postępie jakości wód, a nawet o jednoznacznym trendzie zmniejszania obciążenia rzeki fosforem! Pomimo, że w zlewni Przemszy w latach 2003–2008 wybudowano dwie i zmodernizowano trzy dalsze oczyszczalnie ścieków, stężenie fosforu w 2009 roku było tylko nieznacznie niższe niż na początku wieku i w dalszym ciągu przekraczało 0,5 mg P/l. Stężenie fosforu w wodach rzeki Ruda było w 2009 roku nawet wyższe niż w latach 1997 i 2001, pomimo że w latach 2000–2009 w jej zlewni zmodernizowano trzy oczyszczalnie ścieków i oddano jedną nową. Stężenie fosforu w Kłodnicy było w 2009 roku charakterystyczne bardziej dla oczyszczonych ścieków niż dla wody rzecznej; w latach 2001–2008 w zlewni Kłodnicy zmodernizowano trzy duże oczyszczalnie ścieków i wybudowano trzy nowe. Wody Bierawki były w 2009 roku w dalszym ciągu nadmiernie obciążone fosforem; podobnie jak w przypadku Przemszy stężenie fosforu było wówczas najniższe od 2000 roku, ale różnica w porównaniu z początkiem wieku była niewielka; w analizowanym okresie zlewnia Bierawki wzbogaciła się o jedną nową i jedną zmodernizowaną oczyszczalnię ścieków.

Jakość wody scharakteryzowana na rysunku 6 jest determinowana przez zrzuty ścieków z obszaru, którego – jak podano wyżej – około 84% ogółu mieszkańców jest obsługiwanych przez biologiczne oczyszczalnie ścieków, a prawie 73% ogółu mieszkańców – przez oczyszczalnie ze zwiększonym usuwaniem biogenów. Stopień usuwania fosforu w tych ostatnich oczyszczalniach wynosi około 85% (stopień usuwania w zwykłej oczyszczalni biologicznej to około 50–60%). Nawet, jeśli przyjąć, że wszystkie ścieki z terenów nieobsługiwanych przez oczyszczalnie trafiają do rzek, to dotyczy to zaledwie 16% mieszkańców dużych miast regionu centralnego i rybnickiego. Nie ma podstaw, aby zakładać, że uchwycenie tej brakującej ilości w systemy oczyszczania z podwyższonym usuwaniem biogenów wystarczyłoby do 3–4-krotnego obniżenia stężenia fosforu w wodach rzecznych. Na podstawie wykresów (rys. 6) można stwierdzić, że nawet obsługa 100% mieszkańców dużych miast oczyszczalniami z podwyższonym usuwaniem biogenów nie wystarczy do tego, aby w analizowanych rzekach poziom fosforu zbliżył się do wartości średniorocznej 0,1 mg P/l.

DYSKUSJA

W Polsce prowadzono niewiele badań na temat przyczyn lub źródeł zanieczyszczenia fosforem wód powierzchniowych na terenach zurbanizowanych. Województwo śląskie nie jest jednak pierwszym europejskim regionem, w którym rozwojowi systemów oczyszczania ścieków komunalnych nie towarzyszył postęp w uwalnianiu lokalnych rzek i potoków od zanieczyszczeń. Szczególnie pouczające są doświadczenia Wielkiej Brytanii, gdzie gospodarka ściekami bytowymi była już w latach 90. uporządkowana w stopniu nie mniejszym niż ma to miejsce obecnie w województwie śląskim. W regionie wodnym rzeki Tamiza od końca lat 80. do 2004 roku nie nastąpiła poprawa stanu pod względem zawartości fosforu w rzekach. W latach 1988–1990 zawartość fosforu w około 19% badanych odcinków cieków przekraczała 1 mg P/l, natomiast w 50% – 0,2 mg P/l. W latach 2002–2004 wartości te wyniosły odpowied-

nio około 21% i 57%. W tym samym czasie udział cieków o zawartości fosforu poniżej 0,1 mg P/l zmniejszył się z około 23% do 18% (Wales Environmental Agency).

Obecne działania naprawcze dla Tamizy i innych brytyjskich rzek polegają zarówno na doczyszczaniu ścieków odprowadzanych z oczyszczalni, jak i na prowadzeniu odpowiedniej gospodarki zlewniowej uwzględniającej retencję i podczyszczanie wód deszczowych. Takie podejście do ograniczania eutrofizacji rzek jest wyrazem ogólnych tendencji, jakie z górną 20 lat temu zaczęły upowszechniać się w USA, a następnie m.in. w Wielkiej Brytanii i na kontynencie europejskim. Coraz większą popularność zyskują systemy mokradłowe przeznaczone do doczyszczania ścieków, umożliwiające depozycję nadmiaru fosforu w postaci osadów dennych i biomasy roślinnej. Zaletą systemów mokradłowych jest możliwość kreowania siedlisk przyrodniczych i walorów krajobrazowych, natomiast wadą – dość znaczne zapotrzebowanie terenowe rzędu kilku hektarów na każde 10 000 RLM (Rousseau et al. 2008). Zagadnienie to nie jest zupełnie nieznane w Polsce: pierwsze próby stosowania systemów mokradłowych do doczyszczania ścieków podjęto u nas w latach 90. (Obarska-Pempkowiak, Klimkowska 1999), lecz pomimo zachęcających wyników systemy takie nie zostały dotąd wdrożone do praktyki.

Znaczenie odpowiedniej gospodarki wodami deszczowymi dla ochrony przed powierzchniowym spływem fosforu z terenów zurbanizowanych pokazuje przykład amerykańskich miast, gdzie na podstawie próby liczącej 2800 pomiarów określono przeciętne stężenie fosforu w wodach deszczowych odpływających z różnego typu terenów miejskich (Pitt, Maestre, Morquecho 2004). Największe stężenia są w wodach odpływających z zabudowy rezydencjalnej (średnio około 0,3 mg P/l), natomiast mniejsze z zabudowy przemysłowej (0,26 mg P/l), autostrad (0,25 mg P/l) i terenów komercyjnych (0,22 mg P/l). Taka wartość może wydawać się zaskakująco wysoka, szczególnie w przypadku zabudowy rezydencjalnej. Dla wyjaśnienia tej prawidłowości Schueler (2006) przytoczył dane zgromadzone przez Center for Watershed Protection (CWP), zgodnie z którymi odpływ deszczowy z urządzonej, nawożonych trawników zawiera średnio 1,9 mg P/l (odpływy z ulic zawierają średnio 0,5 mg P/l, z parkingów – 0,16 mg P/l, z dachów – 0,12 mg P/l). Jak wysokie są to wartości świadczy porównanie ze stężeniem fosforu w wodach deszczowych odpływających z obszarów intensywnych upraw rolnych, zawierających przeciętnie 0,25 mg P/l (Caraco, Brown 2001). Tereny zurbanizowane charakteryzują się zwiększonym jednostkowym odpływem, dlatego przyrost ładunku fosforu w wodach deszczowych, postępujący wraz z urbanizacją, jest większy niż przyrost średnich stężeń. Z wymienionych względów jest ważne, aby gospodarka wodami deszczowymi była zintegrowana z planowaniem przestrzennym i zagospodarowaniem miasta (Cappiella, Schueler, Wright 2005).

Zgodnie z danymi zawartymi w podręczniku Schuelera (2007) w National Pollutant Removal Performance Database (2007) do najskuteczniejszych urządzeń zatrzymujących fosfor, należą:

- mokre stawy retencjonujące,
- systemy mokradłowe,
- systemy filtracyjne ze złożem organicznym,
- urządzenia gruntowe infiltracyjne.

Wszystkie te systemy najłatwiej jest planować na etapie przygotowywania terenu pod zabudowę. Możliwe jest także instalowanie ich jako systemy retrofitowe, tzn. ulepszające systemy odprowadzania wód deszczowych z terenów już zabudowanych.

Opisane podejście do gospodarki wodami deszczowymi jest w Polsce w stadium początkowym i niemal nieznanie na terenie województwa śląskiego. Stawy zaprojektowane specjalnie dla retencji i podczyszczania nadmiaru wód deszczowych funkcjonują w niektórych dużych polskich miastach, np. w Poznaniu (przy kilku dopływach Warty), w Łodzi (przy rzece Sokołówka) i w Warszawie (niektóre fragmenty starorzeczy Wisły). Jeden staw retencjonujący funkcjonuje w Katowicach (przy potoku Ślepiotka).

Z obszernej literatury przedmiotu wynika, że duże znaczenie dla samooczyszczania się wód rzecznych z fosforu ma depozycja tego pierwiastka w osadach rzecznych (Jarvie, Neal, Withers 2006; The Federal... 2000). Sieć hydrograficzna województwa śląskiego ulegała przez długi czas, zwłaszcza w XX wieku, drastycznym przekształceniom skierowanym na możliwie szybkie odprowadzanie wody (Trzaski i in. 2006). Obecnie większość rzek regionu centralnego i rybnickiego ma wyprostowane koryta, często przekształcone w odkryte kanały. Taka sytuacja nie sprzyja depozycji osadów.

W regionie górnośląskim wyjątkowo duże skupiska ludzi żyją w okolicy głównego działu wodnego, gdzie w naturalnych warunkach lokalne cieki były z natury niewielkie, a urbanizacja i górnictwo przyczyniły się do trwałego i radykalnego zmniejszenia przepływów. W takiej sytuacji czynnikiem decydującym o zawartości substancji biogenych w rzekach Górnego Śląska, w miarę porządkowania gospodarki ściekowej, stają się zrzuty z oczyszczalni ścieków. Nawet spełnienie najbardziej restrykcyjnych przepisów dla dużych oczyszczalni – dopuszczających 1 mg P/l w odprowadzanych ściekach – nie zapewni osiągnięcia wystarczająco niskich stężeń fosforu w rzekach. Dlatego już dziś trzeba myśleć o dalszych działaniach, dla których sytuacja po wybudowaniu i/lub modernizacjach oczyszczalni ścieków będzie dopiero punktem wyjścia. W przyszłości będzie konieczne zmierzenie się z problemem ograniczania przenikania fosforu do wód powierzchniowych zarówno z oczyszczalni ścieków, jak i wód deszczowych. Z uwagi na to, że zabudowa rezydencjalna, coraz powszechniejsza na obrzeżach naszych miast i na dawnych terenach rolnych, jest odpowiedzialna za największą podaż fosforu, pożądane byłoby, np. wprowadzenie zapisów w prawie miejscowym, tj. w miejscowych planach zagospodarowania przestrzennego, a być może także w regulaminach utrzymywania czystości i porządku w gminie, do rozwiązań na etapie projektu, i działań w codziennym funkcjonowaniu miasta, ograniczających emisję fosforu.

KONKLUZJA

W skali rozwoju dwóch regionów: centralnego i rybnickiego, obejmujących najbardziej zurbanizowany w skali całego kraju rejon wododziału Wisła-Odra nie należy spodziewać się w najbliższych latach zasadniczej poprawy jakości rzek pod względem obciążenia fosforem. Należy przewidywać, że dalsza rozbudowa systemów kanalizacyjnych oraz budowa/modernizacja oczyszczalni ścieków i ich funkcjonowanie zgodne z obowiązującym dziś prawem nie wystarczy do obniżenia poziomu średnio-

rocznego do wartości bliskich 0,1 mg P/l. Zła sytuacja będzie utrzymywać się szczególnie na odcinkach niewielkich rzek poniżej zrzutów z oczyszczalni. Oznacza to będzie niemożliwość osiągnięcia dobrego stanu (lub potencjału) ekologicznego w rozumieniu Ramowej dyrektywy wodnej ze względu na niespełnienie kryteriów związanych z substancjami biogennymi, a w konsekwencji – także kryterium biologicznego.

Niezbędnym warunkiem istotnej poprawy wydaje się być wprowadzenie nowych rozwiązań w gospodarce ściekowej w oparciu o nowe, ostrzejsze wymagania względem stopnia usuwania fosforu w procesie oczyszczania ścieków, a także względem dostosowania wielkości zrzutu do poziomu przepływu w rzece będącej odbiornikiem. Rozwiązania takie wiązałyby się z dodatkowymi kosztami inwestycyjnymi i eksploatacyjnymi (np. optymalizacja istniejących stopni oczyszczania, wygospodarowanie przestrzeni retencyjnej w oczyszczalni, dobudowanie dodatkowych stopni oczyszczania i/lub doczyszczania, większe zużycie koagulantów, systemy mokradłowe do doczyszczania ścieków oczyszczonych). Kwestia wykonalności (i sensowności) takich rozwiązań może być rozstrzygnięta dopiero w oparciu o szczegółowe analizy odniesione zarówno do całego regionu, jak i do poszczególnych zlewni.

Problemem dotychczas pomijanym w statystykach dotyczących gospodarki wodno-ściekowej jest obszarowe zanieczyszczenie rzek województwa śląskiego. W świetle danych zawartych w literaturze należy stwierdzić, że zanieczyszczenia fosforem pochodzące z terenów zabudowanych mogą być istotniejsze niż typowe zanieczyszczenia rolnicze. Szczególnie w przypadku niewielkich „miejskich” cieków, np. zlewni Kłodnicy i Przemszy, dla poprawy obecnego stanu konieczne może się okazać szerokie wdrażanie retencjonowania i podczyszczania wód deszczowych oraz wprowadzanie rozwiązań przestrzennych, ograniczających migrację fosforu z powierzchni zlewni do rzeki.

Literatura

1. Capiella K., Schueler T., Wright T. (2005): Urban Watershed Forestry Manual. Part 1: Methods for Increasing Forest Cover in a Watershed. U.S. Department of Agriculture. U.S. Forest Service. Newtown Square, PA.
2. Capiella K., Schueler T., Wright T. (2005): Urban watershed forestry manual. Part 1: Methods for increasing forest cover in a watershed. US. Forest Service Northeastern Area. Center for Watershed Protection. Newton Square, PA.
3. Caraco D., Brown T. (2001): Managing phosphorus inputs into lakes: estimating the impact of watershed treatment. *Watershed Protection Techniques* 3(4).
4. Council Directive 92/43/EEC of 21 May 1992 on the conservation of natural habitats and of wild fauna and flora. *Official Journal L* 206, 22/07/1992 P. 0007–0050.
5. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy. *Official Journal of the European Communities L* 327/1, 22.12.2000.
6. Environment Agency (2002): Guideline phosphorus standards for SAC Rivers. Water Quality Task Group for the Habitats Directive. WQTAG048b.
7. Government Order No. 61/2003 of January 29th, 2003, on the indicators and values of permissible pollution of surface water and wastewater, mandatory elements of the permits for discharge of wastewater into surface water and into sewerage systems, and on sensitive areas.

8. Jarvie H.P., Neal C., Withers P.J.A. (2006): Sewage-effluent phosphorus: A greater risk to river eutrophication than agricultural phosphorus. *Science of the Total Environment* 360 (1–3).
9. National Pollutant Removal Performance Database. Version 3, September 2007. Newton Square, PA, Center for Watershed Protection.
10. Obarska-Pempkowiak H., Klimkowska K. (1999): Distribution of nutrients and heavy metals in a constructed wetland system. *Chemosphere* Vol. 39, issue 2.
11. Pitt R., Maestre A., Morquecho R. (2004): The national stormwater quality database. (NSDQ). Version 2.0. University of Alabama and the Center for Watershed Protection. Ellicott City, MD.
12. Rousseau D.P.L., Lesage E., Story A., Vanrolleghem P.A., De Pauw N. (2008): Constructed wetlands for water reclamation. *Desalination* 218 (1–3).
13. Rozporządzenie (2006): Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 lipca 2006 r. w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi, oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego. Dz. U. nr 137, poz. 984.
14. Rozporządzenie (2008): Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 20 sierpnia 2008 r. w sprawie sposobu klasyfikacji stanu jednolitych części wód powierzchniowych. Dz. U. nr 162, poz. 1008.
15. S.I. No. 258/1998. Water Quality Standards for Phosphorus, Regulations. Dublin 1998.
16. Schueler T. (2006): Managing Watersheds for Pure Drinking Water. (cwp.org/RR_Photos/drinkingwater.pdf).
17. Schueler T. (2007): Urban Subwatershed Restoration Manual Series Manual 3: Urban Stormwater Retrofit Practices. Center for Watershed Protection.
18. The Federal Interagency Stream Restoration Working Group (FISRWG) (15 Federal agencies of the US gov't) (2001): Stream Corridor Restoration: Principles, Processes, and Practices GPO Item No. 0120-A; SuDocs No. A 57.6/2:EN 3/PT.653.
19. Trząski L., Korczak K., Bondaruk J., Łabaj P. (2006): Użytkowe funkcje zasobów wodnych oraz uszczelnienie zlewni – kryteria nowego podejścia do gospodarowania ciekami miejskimi. *Prace Naukowe GIG. Górnictwo i Środowisko* nr 1.
20. UK Environmental Standards and Conditions, Phase 1 (2008) Final report, April 2008, SR1 – 2006, WFD-UK_TAG.
21. Wales Environmental Agency (environment-agency.wales.gov.uk/regions/thames/1290330/1290442/1393103/1393225/1393915/?lang=_e).
22. Zheng L., Paul M.J. (2009): Effects of eutrophication on stream ecosystems. Tetrattech Inc. (n-steps.tetrattech-ffx.com/PDF&otherFiles/literature_review/Eutrophication%20effects%20on%20streams.pdf).

Recenzent: dr inż. Paweł Olszewski