

Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska nr 3 (49), 2010: 21–29  
(Prz. Nauk. Inż. Kszt. Środ. 3 (49), 2010)  
Scientific Review – Engineering and Environmental Sciences No 3 (49), 2010: 21–29  
(Sci. Rev. Eng. Env. Sci. 3 (49), 2010)

**Leszek HEJDUK**

Katedra Inżynierii Wodnej i Rekultywacji Środowiska SGGW  
Department of Hydraulic Engineering and Environmental Recultivation WULS – SGGW

## **Tendencje w zmianach stężeń form fosforu i azotu w sąsiadujących rzekach Zagożdżonca i Zwoleńce Tendencies in variability of phosphorus and nitrogen forms in neighbour Zagożdżonka and Zwoleńka Rivers**

**Słowa kluczowe:** jakość wody, zlewnie sąsiadujące, stężenia charakterystyczne  
**Key words:** water quality, neighbour catchments, characteristic concentrations

### **Wprowadzenie**

Osiągnięcie dobrego stanu wszystkich wód do 2015 roku jest podstawowym celem Ramowej Dyrektywy Wodnej (RDW). RDW do najważniejszych zanieczyszczeń zalicza „...substancje, które przyczyniają się do eutrofizacji (w szczególności azotany i fosforany” (RDW, zał. VIII, pkt 11). Przyspieszona eutrofizacja ma niekorzystny wpływ na parametry fizykochemiczne wód, co może mieć wpływ zarówno na gospodarcze, jak i rekreacyjne wykorzystanie wód.

W celu określenia zmian zachodzących w jakości wód zwykle wykonywana jest analiza zmienności czynników je wywołujących, takich jak obecność

i zmienność w czasie punktowych oraz rozproszonych źródeł zanieczyszczeń i czynników meteorologicznych (Shil’krot i Yasinskii 2002, Heejun 2005, Quadir i in. 2008, Pawełek i Spytek 2008, Houser i Richardson 2010). Najprostszą metodą w przypadku posiadania danych jest analiza historycznych danych o koncentracjach i ładunkach zanieczyszczeń wody. Analiza takich danych pozwala na wyznaczenie m.in. tendencji zmian danych wskaźników zanieczyszczenia, znalezienie zaś relacji między stężeniami w sąsiadujących rzekach umożliwiłoby uzupełnianie brakujących danych.

W ramach niniejszej pracy przeprowadzono analizę zmienności wybranych form fosforu i azotu w wodach sąsiadujących ze sobą rzek Zagożdżonki i Zwoleńki, istotne z gospodarczego i ekologicznego punktu widzenia. Do analiz wykorzystano własne dane pomiarowe dla rzeki Zagożdżonki (lata 1996–2008)

oraz archiwalne dane z monitoringu jakości wód prowadzonych przez Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Radomiu dla obu rzek.

### **Materialy i metodyka badań**

Zlewnie rzek Zagożdżonki i Zwoleńki są sąsiadującymi ze sobą zlewniami, położonymi na równinie Mazowieckiej. Rzeka Zagożdżonka jest prawym dopływem Wisły, mającym swe ujście w okolicach Kozienic. Całkowita powierzchnia zlewni rzeki wynosi 564,53 km<sup>2</sup> (Atlas podziału... 2005) przy długości 39,9 km (Atlas podziału... 1986). Zagożdżonka przyjmuje dwa prawe dopływy, tj. Mireńkę i Kanał Gniewiszowsko-Kozienicki (Jakość i zagrożenia... 2002). W zlewni Zagożdżonki znajduje się osiem oczyszczalni ścieków, przy czym dwie, tj. byłych zakładów ZTS Pronit S.A. oraz Zakładu Gospodarki Komunalnej w Kozienicach, dominujące w ilości odprowadzanych ścieków, zrzucają oczyszczone ścieki bezpośrednio do rzeki Zagożdżonki (Jakość... 2002).

Rzeka Zwoleńka jest prawym dopływem Wisły, mającym swe ujście w okolicach wsi Lucimia. Całkowita powierzchnia zlewni rzeki wynosi 230,1 km<sup>2</sup> (Atlas podziału... 2005) przy długości 34,1 km (Atlas podziału... 1984). W zlewni Zwoleńki znajdują się cztery oczyszczalnie ścieków, przy czym wszystkie odprowadzają oczyszczone ścieki bezpośrednio do rzeki Zwoleńki (Jakość i zagrożenia... 2002).

Obie rzeki są okresowo badane pod względem jakości wód w wybranych

przekrojach pomiarowych w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska. Dodatkowo w dwóch przekrojach rzeki Zagożdżonki prowadzone są badania wybranych wskaźników jakości wody w ramach monitoringu prowadzonego przez wydział Inżynierii i Kształtowania Środowiska SGGW. W przypadku analiz wykonywanych przez WIOŚ dane zbierane były z miesięcznym krokiem czasowym (z wyjątkiem fosforu ogólnego i azotu ogólnego do 1998 roku, kiedy próby pobierane były co 2 miesiące). W przypadku danych gromadzonych przez SGGW próby wody pobierane są w tygodniowych odstępach czasu. Wyniki analizowane dla poszczególnych przekrojów są wartościami stężeń charakterystycznych, tj. średniej z dwóch najbardziej niekorzystnych wartości w ciągu badanego okresu, przy odrzuceniu wyniku odbiegającego od drugiego o ponad 200%.

Do analiz wykorzystano dane z lat 1996–2008 dla pięciu punktów pomiarowych na rzece Zagożdżonce oraz trzech punktów pomiarowych na rzece Zwoleńce. Nie ma niestety ciągłych zbiorów danych dla całego okresu z wszystkich punktów pomiarowych na obu rzekach, dlatego do analiz wybrano punkty pomiarowe, dla których jest najwięcej dostępnych danych. Dla rzeki Zagożdżonki są to następujące punkty: ujście do Wisły (km 4), powyżej Kozienic (km 20), poniżej Pionek (km 28), powyżej Pionek (km 36), stacja Czarna (km 39), dla rzeki zaś Zwoleńki: ujście do Wisły (km 2,2), poniżej Zwolenia (km 15) oraz powyżej Zwolenia (km 21).

## **Wyniki i dyskusja**

### **Zmienność wskaźników w czasie i na długości rzeki Zagożdżonki**

Największe stężenia charakterystyczne w przypadku fosforu ogólnego i fosforanów uzyskano odpowiednio w 2000 roku w przekroju poniżej Pionek ( $1,09 \text{ mg P} \cdot \text{dm}^{-3}$ ) oraz w 2004 roku powyżej Kozienic ( $0,70 \text{ mg P} \cdot \text{dm}^{-3}$ ). W przypadku azotu ogólnego i azotanów największe stężenia charakterystyczne uzyskano w roku 1996 w przekroju poniżej Pionek odpowiednio ( $7,14$  oraz  $4,21 \text{ mg N} \cdot \text{dm}^{-3}$ ). Analizując dane przedstawione na rysunku 1, można zauważyć zwiększenie stężeń wszystkich analizowanych wskaźników w przekrojach pomiarowych, znajdujących się poniżej znaczących źródeł punktowych zanieczyszczeń, jakimi w przypadku Zagożdżonki są miasta Pionki i Kozienice. Pierwszy i ostatni punkt pomiarowy wykazuje znacznie mniejsze stężenia charakterystyczne w stosunku do punktów znajdujących się w środkowej części rzeki, w tym punktu powyżej Kozienic. W przypadku analizy zmian w czasie można zauważyć malejącą tendencję, szczególnie w przypadku stężeń charakterystycznych fosforu ogólnego oraz fosforanów w ostatnim punkcie pomiarowym – przy ujściu do Wisły. Wskazuje to na zdolności samooczyszczania się rzeki Zagożdżonki, zwłaszcza na ostatnim odcinku – między Kozienicami a ujściem do Wisły.

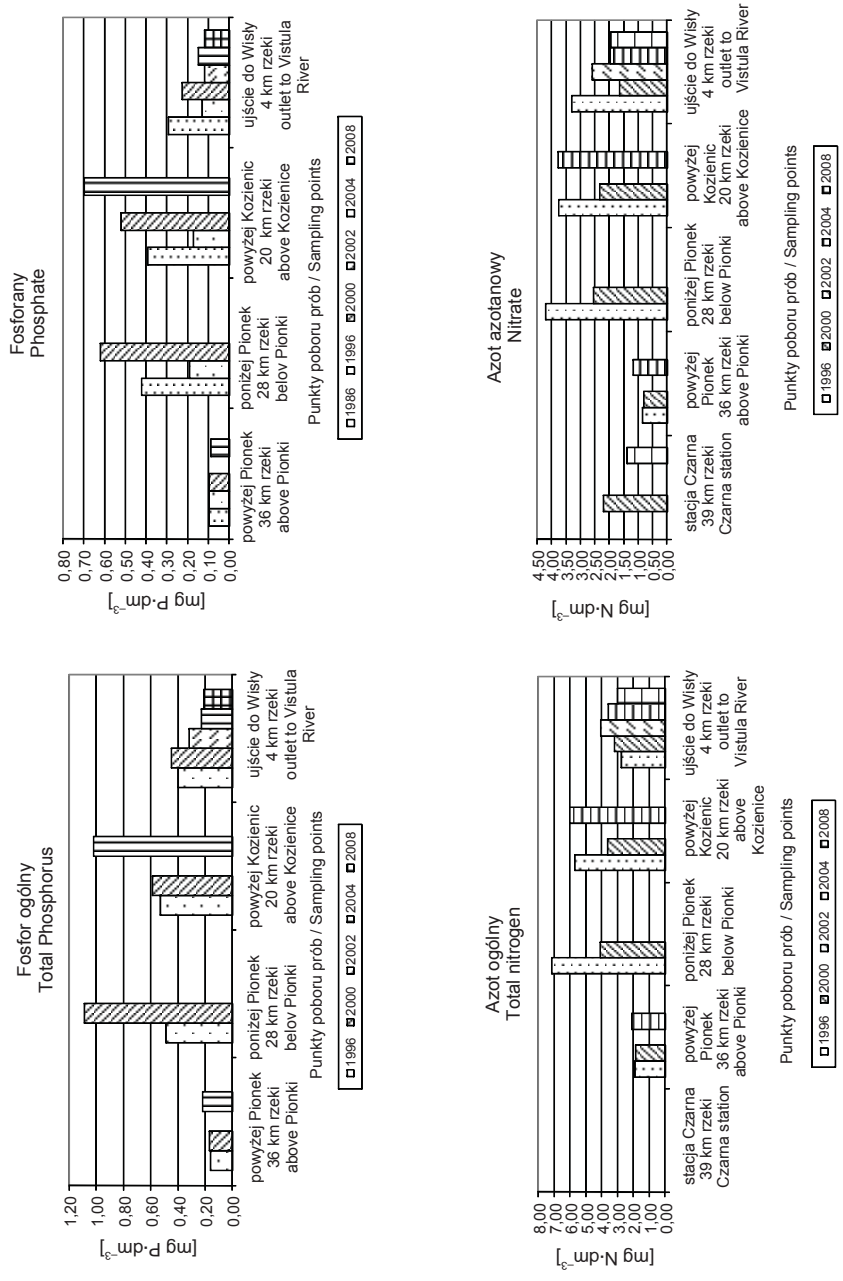
### **Zmienność wskaźników w czasie i na długości rzeki Zwoleńki**

Analizując dane przedstawione na rysunku 2, można zauważyć, że największe stężenia charakterystyczne

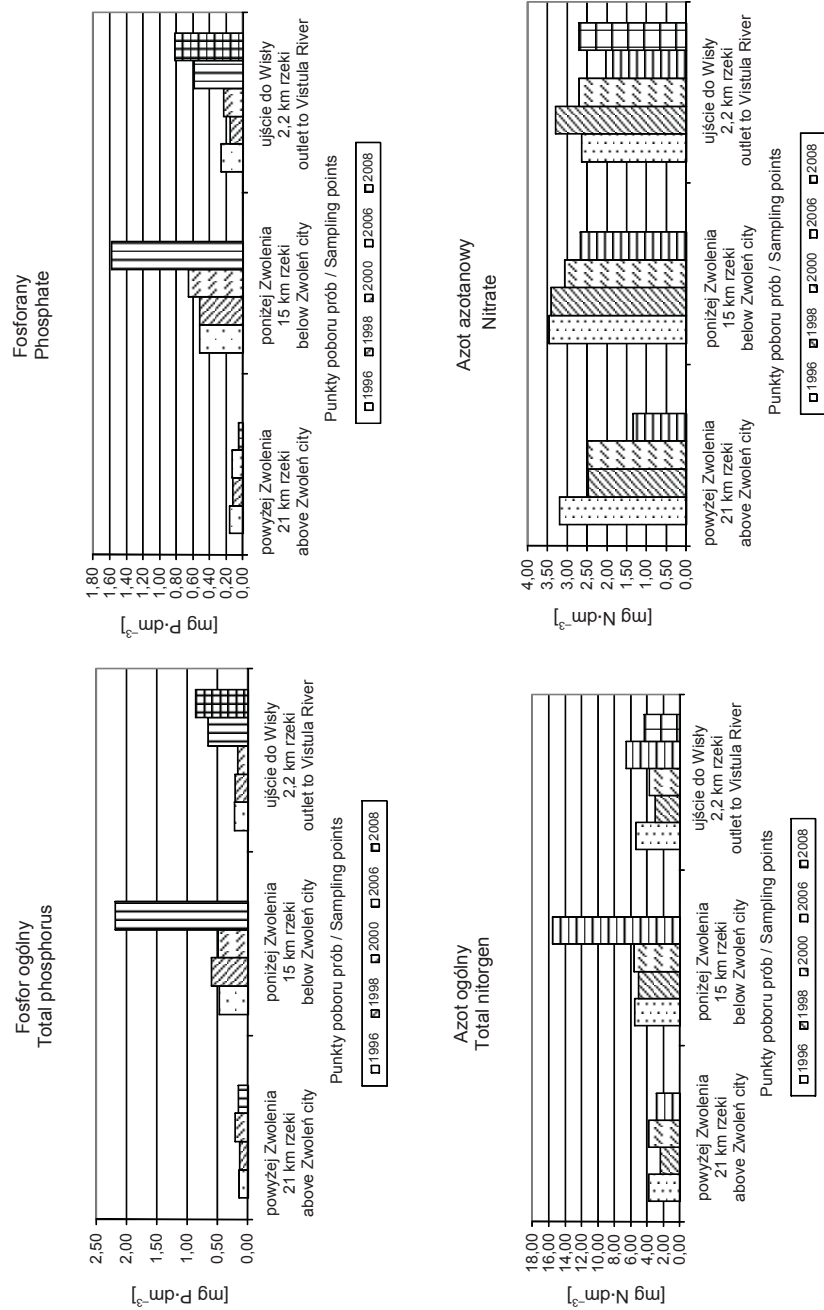
w przypadku fosforu ogólnego i fosforanów uzyskano w 2006 roku w przekroju poniżej Zwolenia (odpowiednio  $2,19$  oraz  $1,58 \text{ mg P} \cdot \text{dm}^{-3}$ ). W przypadku azotu ogólnego największe stężenia charakterystyczne uzyskano również w 2006 roku w przekroju poniżej Zwolenia ( $15,55 \text{ mg N} \cdot \text{dm}^{-3}$ ), natomiast w przypadku azotu azotanowego stężenia były wyrównane w poszczególnych latach oraz przekrojach (największe uzyskano w przekroju poniżej Zwolenia w 1996 roku –  $3,37 \text{ mg P} \cdot \text{dm}^{-3}$ ). Podobnie jak w przypadku rzeki Zagożdżonki największą koncentrację obserwowano w środkowej części rzeki w przekrojach poniżej miasta – tutaj Zwolenia. Inaczej niż w przypadku Zagożdżonki na ostatnim odcinku rzeki Zwoleńki stężenia charakterystyczne fosforu ogólnego i fosforanów zwiększają się w czasie. Możliwym wyjaśnieniem tego zjawiska jest znaczący wpływ zrzutów zanieczyszczeń w Zwoleniu i zbyt mała zdolność do samooczyszczania się na odcinku od Zwolenia do ujścia do Wisły.

### **Zależności między stężeniami zanieczyszczeń wody w rzekach Zagożdżonka i Zwoleńce**

W przypadku występowania źródeł punktowych zanieczyszczeń N i P porównywanie jakości wody do celów znajdowania zależności jest obciążone dużymi niepewnościami. Niepewności te związane są z dużą czasową zmiennością zanieczyszczeń, szczególnie gdy w analizowanym okresie powstały nowe oczyszczalnie redukujące zanieczyszczenia bądź powstały nowe źródła zanieczyszczeń. Inna sytuacja ma miejsce w przypadku występowania niepunktowych źródeł zanieczyszczeń.



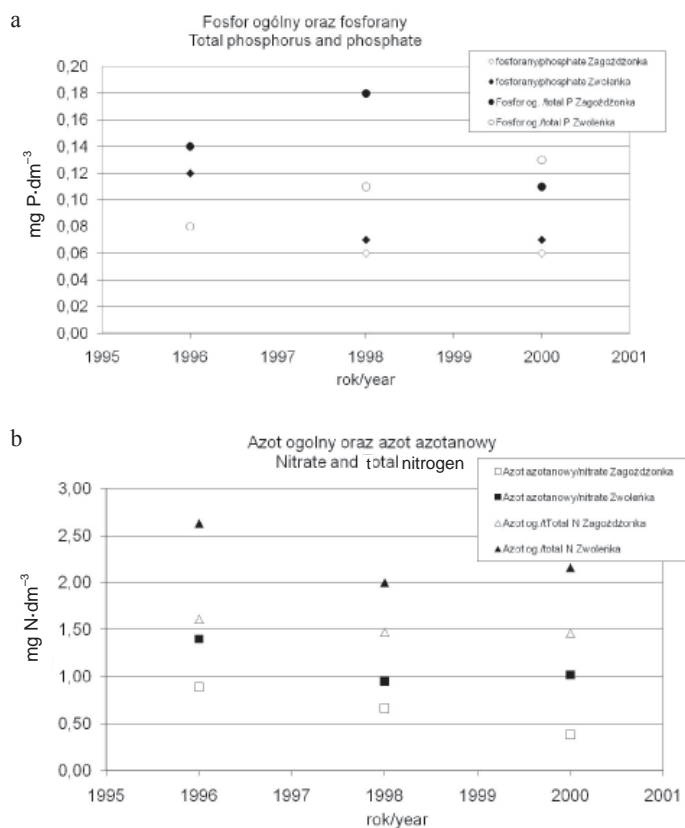
RYSUNEK 1. Porównanie zmienności stężeń charakterystycznych wybranych wskaźników biogenych dla rzeki Zagożdżonki  
 FIGURE 1. Comparison of chosen characteristic concentration of biogenic indicators for Zagożdżonka River



RYSUNEK 2. Porównanie zmienności stężeń charakterystycznych wybranych wskaźników biogennych dla rzeki Zwolenki  
 FIGURE 2. Comparison of chosen characteristic concentration of biogenic indicators for Zwolenka River

Zanieczyszczenia niepunktowe na obszarach rolniczych wynikają głównie ze stosowania nawozów zarówno naturalnych, jak i sztucznych. Przy założeniu, że w sąsiadujących zlewniach okresy stosowania nawozów są zbliżone, można orientacyjnie wyznaczyć zależności wskazujące na relacje między zanieczyszczeniami w obu rzekach. W przypadku Zagożdżonki i Zwoleńki jedynie górne części zlewni spełniają warunki braku istotnych punktowych źródeł zanieczyszczeń. Wykorzystując dane dla dwóch punktów poboru prób, tj. dla

rzeki Zwoleńki – km 21, oraz dla rzeki Zagożdżonki – km 39, w ciągu trzech lat, w których wykonywano pomiary jednocześnie dla obu rzek, porównano wartości średnie stężeń charakterystycznych dla fosforu ogólnego, fosforanów, azotu ogólnego oraz azotu azotanowego (rys. 3). W każdym z trzech okresów średnie wartości stężenia fosforanów wskazują większe wartości w rzece Zwoleńce niż w Zagożdżonce (rys 3a). W przypadku fosforu ogólnego średnie wartości stężeń w 1996 oraz 1998 roku były większe w rzece Zagożdżonce,

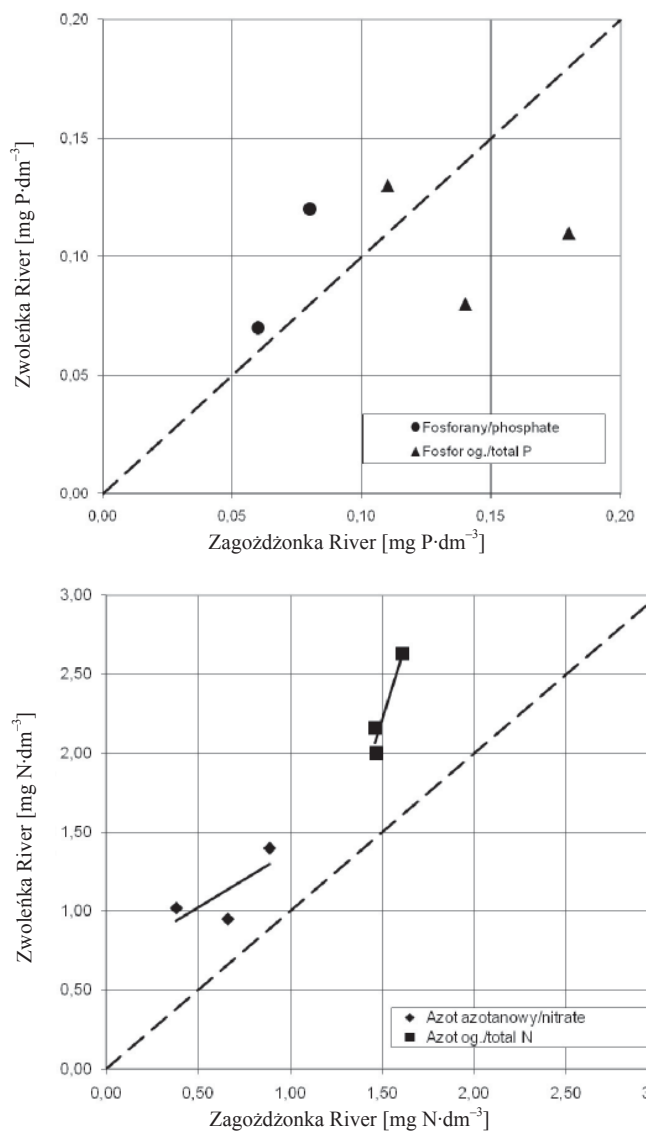


RYSUNEK. 3. Porównanie wartości średnich stężeń dla rzeki Zwoleńki (km 21) oraz Zagożdżonki (km 39): a – fosfor ogólny i fosforany, b – azot ogólny i azot azotanowy  
FIGURE 3. Comparison of characteristic concentration Zwolenka River (km 21) and Zagożdżonka river (km 39): a – total phosphorus and phosphate, b – total nitrogen and nitrate

a w 2000 roku – w rzece Zwolenie. Ta zmienność wartości powoduje, że nie można określić zależności między stężeniami charakterystycznymi anali-

zowanych wskaźników w obu rzekach (rys. 4a).

W przypadku średnich stężeń charakterystycznych dla azotu azotanowe-



RYSUNEK 4. Relacje między wybranymi przekrojami pomiarowymi: a – między formami fosforu, b – między formami azotu

RYSUNEK 4. Relation between chosen sampling points: a – between phosphorus forms, b – between nitrogen forms



go i azotu ogólnego wszystkie wartości we wszystkich analizowanych okresach w rzece Zwoleńce są większe niż w rzece Zagożdżonce (rys. 3b). Jednocześnie zestawienie uzyskanych danych pozwoliło na wyznaczenie relacji między średnimi stężeniami charakterystycznymi w rzece Zwoleńce i Zagożdżonce. W przypadku zarówno azotu ogólnego, jak i azotu azotanowego zestawienie trzech par danych sugeruje możliwość istnienia zależności liniowej (rys. 4b). Jednakże ze względu na zbyt małą liczbę par danych nie można tu mówić o zależnościach statystycznych. Jedynie większa liczba danych umożliwi w przyszłości potwierdzenie lub odrzucenie zaobserwowanych relacji.

### Podsumowanie

Z dostępnych danych wynika, że czynnikiem, który najbardziej wpływa na jakość wody w rzekach pod względem wskaźników biogennych, wydają się być zanieczyszczenia punktowe. W przypadku rzeki Zagożdżonki stężenia charakterystyczne w ujściowym punkcie poboru prób sugerują poprawianie się jakości wody w czasie w przypadku analizowanych form fosforu i relatywnie stałe wartości w przypadku azotu. W przypadku rzeki Zwoleńki zaobserwowano pogorszenie się jakości wody w przypadku analizowanych form fosforu i analogiczną tendencję w przypadku azotu. Relacje między Zwoleńką i Zagożdżonką dla stężeń charakterystycznych form azotu sugerują istnienie związku między tymi rzekami.



Praca naukowa napisana przy wykorzystaniu wsparcia udzielonego przez Islandię, Liechtenstein i Norwegię poprzez dofinansowanie ze środków Mechanizmu Finansowego Europejskiego Obszaru Gospodarczego oraz Norweskiego Mechanizmu Finansowego.

### Literatura

- Atlas podziału hydrograficznego 1986. T. II, z. 1. Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa.
- Atlas podziału hydrograficznego 2005. Seria „Atlasy”. IMGW, Warszawa.
- BOWES M.J., HOUSEA W.A., HODGKINSON B. R.A. 2003: Phosphorus dynamics along a river continuum. *The Science of the Total Environment* 313: 199–212.
- HEEJUN Ch. 2005: Spatial and temporal variations of water quality in the Han River and its tributaries, Seoul, Korea, 1993–2002. *Water, Air, and Soil Pollution* 161: 267–284.
- HOUSER J.N., RICHARDSON W.B. 2010: Nitrogen and phosphorus in the Upper Mississippi River: transport, processing, and effects on the river ecosystem. *Hydrobiologia* 640: 71–88.
- Jakość i zagrożenia wód powierzchniowych w województwie mazowieckim. Inspekcja ochrony środowiska 2002. Inspektorat Ochrony Środowiska, Warszawa.
- PAWEŁEK J., SPYTEK M. 2008: Stężenie związków biogennych w wodzie potoków dopływających do zbiornika Dobczyckiego. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich* 5: 179–190.
- Ramowa Dyrektywa Wodna 2000: 2000/60/WE z dnia 23 października 2000 roku. Dz.U. UE L z dnia 22 grudnia 2000 r.
- SHIL'KROT G.S., YASINSKII S.V. 2002: Spatial and Temporal Variability of Biogenic Elements Flow and Water Quality in a Small River. *Water Resources* 29, 3: 312–318.



QADIR A., MALIK R.N, HUSAIN S.Z. 2008:  
Spatio-temporal variations in water quality  
of Nullah Aik-tributary of the river Chenab,  
Pakistan. *Environ Monit Assess* 140: 43–59.

## Summary

**Tendencies in variability of phosphorus and nitrogen forms in neighbour Zagożdżonka and Zwoleńka Rivers.** The paper present the results of chosen water quality indicators in two neighbour catchments: Zagożdżonka and Zwoleńka Rivers. Despite of the agricultural as a main land manages, the point source pollution seems to play important rule in phosphorus and nitrogen concentration for both rivers. In case of Zagożdżonka River, the phosphorus

concentration in outlet to the tributary suggest increasing of water quality, however the concentration of nitrates remains at almost the same level during years. In case of Zwoleńka River, the opposite relation has been notice for phosphorus concentration and similar tendencies in case of nitrate. The comparison of characteristic concentration for chosen sampling points indicates the relation between upper part of Zwoleńka and Zagożdżonka River.

### Author's address:

Leszek Hejduk  
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego  
Katedra Inżynierii Wodnej i Rekultywacji Środowiska  
ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa  
Poland  
e-mail: leszek\_hejduk@sggw.pl