

Leszek HEJDUK, Kazimierz BANASIK

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

Zmienność stężenia fosforu w górnej części zlewni rzeki Zagożdżonki

Changeability of phosphorus concentration in upper part of Zagożdżonka River watershed

Słowa kluczowe: mała rzeka nizinna, fosforany rozpuszczone, fosfor ogólny

Key words: small lowland river, dissolved phosphorus, total phosphorus

Wprowadzenie

Transport fosforu w zlewniach i w rzekach zależy od rodzaju źródła zanieczyszczenia jak również od wielu innych czynników. Pośród istotnych źródeł fosforu w rzekach wyróżnia się źródła punktowe, które zwykle dostarczają łatwo dostępną do wykorzystania formę fosforu (Mainstone i Parr 2002). Drugim istotnym źródłem fosforu są źródła rozproszone, charakteryzujące się sezonowością i transportem fosforu głównie w formie związanej z cząstkami zmywanej z powierzchni zlewni gleby (Oenema i Roest 1998, Mainstone i Parr 2002). Czynniki wpływające na transport fosforu z obszaru zlewni do rzeki można generalnie podzielić na dwa typy: natu-

ralne (klimat, ukształtowanie terenu, warunki hydrologiczne i gleby) oraz związane z gospodarowaniem rolniczym gdzie najważniejszymi są: użytkowanie terenu, płodozmian, stosowanie nawozów sztucznych i/lub naturalnych, erozja i melioracje (Oenema i Roest 1998). Dopiero rozpoznanie wszystkich tych czynników pozwala na pełny opis transportu fosforu z obszaru zlewni do rzeki. W artykule przedstawiono wyniki analiz stężenia fosforanów rozpuszczonych i fosforu ogólnego prowadzonych na przestrzeni lat 1991–2008 w małej zlewni nizinnej rzeki Zagożdżonki dla dwóch profili pomiarowych.

Materiały i metody

Rzeka Zagożdżonka jest lewobrzeżnym dopływem Wisły mającym ujście w okolicach Kozienic. W zlewni zlokalizowane są profile badawcze, w których od lat sześćdziesiątych XX wieku prowa-

dzony są badania głównie hydro-meteorologiczne. Szczególnie dobrze rozpoznane są dwie zlewnie cząstkowe: do profilu Czarna oraz Płachty Stare. Profil pomiarowy Czarna zamyka zlewnie cząstkową o powierzchni 23,4 km², a profil pomiarowy Płachty Stare zlewnię o powierzchni 82,4 km² (Banasik 1994). Zlewnia jest zlewnią niziną gdzie spadki głównych cieków wynoszą od 2,5 do 3,5%. Grunty orne zajmują około 70 i 47,5% powierzchni hydrologicznej aktywnej, a lasy odpowiednio 20 i 40,5% (Banasik 1994, 1996). Profil pomiarowy Czarna znajduje się w odległości około 1,9 km powyżej profilu Płachty Stare. Analizy jakości wody rzeki Zagożdżonki przeprowadzane są przez Katedrę Inżynierii Wodnej i Rekultywacji Środowiska SGGW od 1991 roku do chwili obecnej. W zakres tych badań wchodzi między innymi analiza stężeń wybranych form fosforu tj. fosforanów rozpuszczonych i fosforu ogólnego. W okresie tym występują jednak przerwy w pomiarach, które powodują podzielenie ciągu danych na poszczególne okresy badawcze. Pierwszy okres badawczy rozpoczyna się z końcem marca 1991 i trwa do końca roku hydrologicznego 1995 (tj. do 30.10.1995 r.). W okresie tym pobierano próby i określano z tygodniowym krokiem czasowym stężenia fosforanów rozpuszczonych w obu przekrojach. Od lipca 1993 roku do końca roku hydrologicznego 1995 roku zbiór danych uzupełniono o wartości stężeń fosforu ogólnego. Wyniki dotyczące tego okresu przedstawiono w publikacji Banasika i innych (1996). Drugi okres obejmuje dwa lata hydrologiczne 1999 i 2000 (listopad 1998 – październik 2000). W okresie tym wykonywano analizy zarówno stężeń zarówno

fosforanów jak i fosforu ogólnego ale tylko dla profilu pomiarowego w Czarnej. Trzeci okres pomiarowy rozpoczął się w marcu 2008 roku i obecnie wykonywane są pomiary zarówno fosforanów rozpuszczonych jak i fosforu ogólnego w obu profilach pomiarowych.

Stężenia fosforanów rozpuszczonych i fosforu ogólnego w pierwszym okresie badawczym określano zgodnie z procedurami według Hermanowicza (Hermanowicz 1984). Analogiczną procedurę zastosowano w drugim okresie pomiarowym (Gajkowska-Stefańska i in. 1990). W trzecim okresie zastosowano procedurę oznaczania dla fosforanów rozpuszczonych według PN-EN ISO 6878:2006 pkt 4 oraz dla fosforu ogólnego według PN-EN ISO 6878:2006 pkt 7,8.

W pierwszym i drugim okresie pomiarowym analizy wykonywane były przez Laboratorium Jakości Wody i Ścieków ZTS "Pronit" w Pionkach. Analizy dla trzeciego okresu wykonywane są przez Laboratorium WIOŚ w Warszawie oddział w Radomiu.

Wynik badań i dyskusja

Zmiany stężenia w okresie wielolecia

Stężenia fosforanów rozpuszczonych w rozpatrywanym okresie zmieniały się w dużym zakresie. Największe stężenia fosforu rozpuszczonego w profilu pomiarowym Czarna zaobserwowano w marcu 1992 roku i wyniosło ono 1,95 mg PO₄³⁻·l⁻¹, w profilu zaś Płachty Stare w maju 1995 i wyniosło 1,25 mg PO₄³⁻·l⁻¹. Najniższe stężenia w obu profilach wyniosły 0,05 mg PO₄³⁻·l⁻¹ i wystąpiły w kwietniu 1994 roku. Stężenia fosforu ogólnego wykazywały jeszcze więk-

szą zmienność. Najwyższe zanotowane w profilu w Czarnej wyniosło 5,78 mg P·l⁻¹ zaś w Płachtach Starych 4,43 mg P·l⁻¹. W tabeli 1 i 2 przedstawiono zestawienie wartości średnich stężeń fosforanów rozpuszczonych oraz fosforu ogólnego dla rozpatrywanych okresów badawczych.

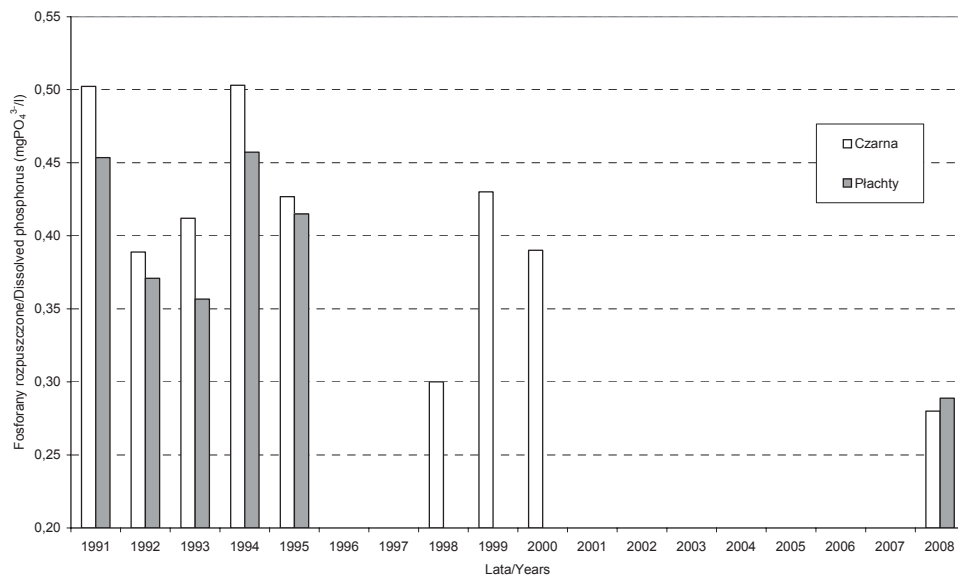
Analiza wyników wartości stężeń w poszczególnych okresach wskazuje na tendencję spadkową średnich stężeń fosforu rozpuszczonego i fosforu ogólnego w rozpatrywanym okresie zarówno w profilu pomiarowym Czarna jak i Płachty Stare (rys. 1 i 2). Spadek stężenia fosforu może spowodowany

TABELA 1. Średnie roczne stężenia fosforu rozpuszczonego i fosforu ogólnego w profilu Czarna
TABLE 1. Annual average dissolved phosphorus and total phosphorus concentrations at Czarna gauge

Rok Years	Liczba prób Number of samples	Fosforany rozpuszczone PO ₄ ³⁻ Dissolved phosphorus PO ₄ ³⁻	Odchylenie standardowe Standard deviation	Maksymale/Minimalne stężenie Maximum/Minimum concentration	Fosfor ogólny (Pog) Total phosphorus mgP/l	Odchylenie standardowe Standard deviation	Maksymale/Minimalne stężenie Maximum/Minimum concentration
1991	31	0,50	0,33	1,52/0,05	–	–	–
1992	52	0,39	0,27	1,95/0,09	–	–	–
1993	52 (PO ₄ ³⁻) 26 (Pog)	0,41	0,18	1,16/0,13	1,96	1,32	5,78/0,76
1994	49	0,50	0,28	1,29/0,14	1,26	0,43	2,06/0,56
1995	41	0,43	0,17	0,82/0,17	1,07	0,35	1,84/0,58
1998	7	0,30	0,17	0,45/0,18	0,30	0,44	0,68/0,09
1999	52	0,43	0,24	1,39/0,10	0,70	0,59	2,64/0,07
2000	43	0,39	0,09	0,69/0,20	0,69	0,49	1,68/0,18
2008	35	0,28	0,08	0,62/0,11	0,19	0,09	0,42/0,09

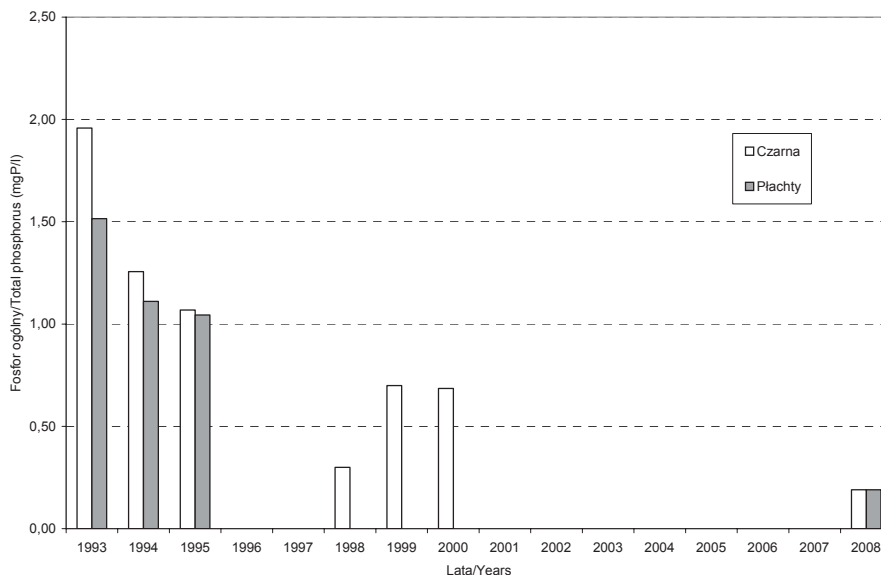
TABELA 2. Średnie roczne stężenia fosforu rozpuszczonego i fosforu ogólnego w Płachtach Starych
TABLE 2. Annual average dissolved phosphorus and total phosphorus concentrations at Płachty Stare Gauge

Rok Years	Liczba prób Number of samples	Fosforany rozpuszczone PO ₄ ³⁻ Dissolved phosphorus PO ₄ ³⁻	Odchylenie standardowe Standard deviation	Maksymale/Minimalne stężenie Maximum/Minimum concentration	Fosfor ogólny (Pog) Total phosphorus mgP/l	Odchylenie standardowe Standard deviation	Maksymale/Minimalne stężenie Maximum/Minimum concentration
1991	31	0,45	0,24	1,10/0,05	–	–	–
1992	52	0,37	0,18	0,88/0,07	–	–	–
1993	52 (PO ₄ ³⁻) 26 (Pog)	0,36	0,17	1,22/0,11	1,52	1,02	4,43/0,71
1994	49	0,46	0,24	1,25/0,12	1,11	0,46	2,3/0,57
1995	41	0,42	0,14	0,71/0,16	1,04	0,33	1,84/0,52
2008	35	0,29	0,09	0,47/0,09	0,19	0,10	0,48/0,08



RYSUNEK 1. Średnie roczne stężenia fosforanów rozpuszczonych dla profili pomiarowych Czarna i Plachty Stare

FIGURE 1. Annual average dissolved phosphorus concentration at Czarna and Plachty Stare gauges



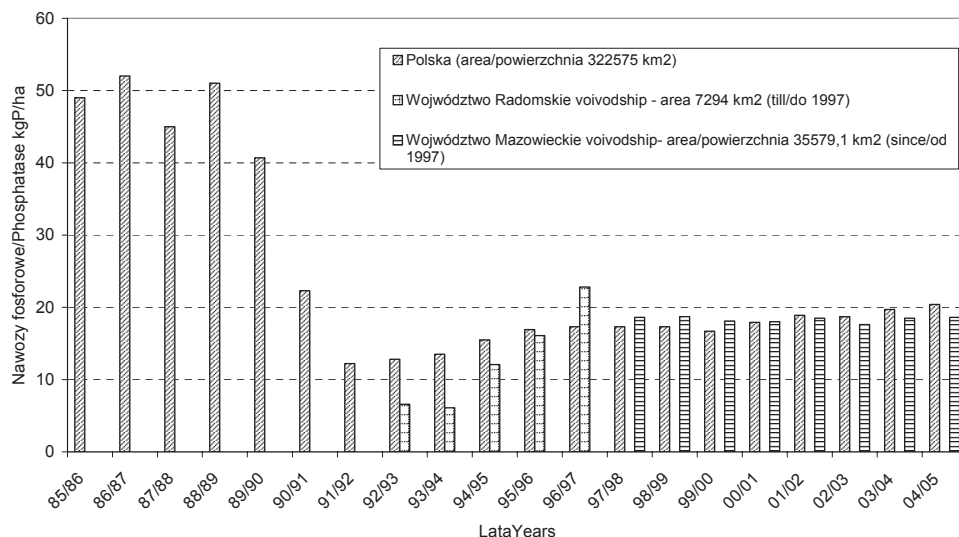
RYSUNEK 2. Średnie roczne stężenia fosforu ogólnego dla profilu pomiarowego Czarna i Plachty Stare

FIGURE 2. Annual average total phosphorus concentration at Czarna and Plachty Stare gauges

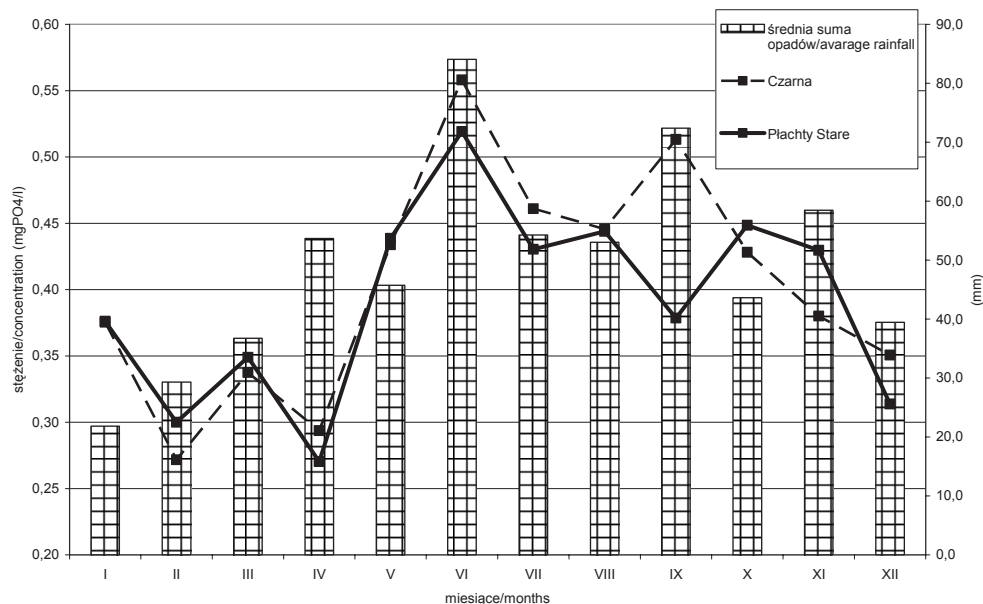
być zmianą sposobu gospodarowania w zlewni rzeki Zagożdżonki. Mogą o tym świadczyć dane statystyczne dotyczące stosowania nawozów fosforowych w Polsce oraz obszaru badawczego w okresie przeprowadzania badań (rys. 3). W latach 1988–1993 nastąpił gwałtowny spadek ilości używania nawozów fosforowych zarówno w całej Polsce, jak i w województwie, na terenie którego położona jest zlewnia Zagożdżonki. Spadek stężeń fosforu w rzece wydaje się być opóźniony w stosunku do spadku ilości używanych nawozów fosforowych. Podobne zjawisko notowane było w badaniach prowadzonych w innych krajach, np. spadek zawartości stężenia fosforu w zlewni rolniczej w Szwecji po zaprzestaniu nawożenia obserwowano przez 10 lat (Ulen i Jacobsson 2005).

Sezonowe zmiany stężeń

Na podstawie zebranych danych obliczono wartości średnie miesięczne stężeń fosforanów rozpuszczonych i fosforu ogólnego dla obu profili pomiarowych. Analizując zmienność stężenia fosforu rozpuszczonego, można zauważyć, że najwyższe średnie stężenia występują w czerwcu i wrześniu natomiast najniższe w miesiącach zimowych grudzień, styczeń, luty (rys. 4). Zjawisko to występuje zarówno dla profilu Czarna jak Płachty Stare. Podobne zmienności obserwowano w innych rzekach. Muscutt i Withers (1996), analizując stężenia w 20 angielskich rzekach, zaobserwowali większe stężenia fosforanów rozpuszczonych w okresach letnich z wartościami maksymalnymi pomiędzy lipcem a listopadem i najniższymi wartościami



RYSUNEK 3. Ilość nawozów fosforowych w kg/ha czystego P używana w rolnictwie (GUS, 85-05)
 FIGURE 3. Consumption of mineral or chemical fertilizers in terms of pure ingredient kg/ha (GUS 05-05)



RYSUNEK 4. Średnie stężenia fosforanów rozpuszczonych na tle miesięcznej średniej sumy opadów w miesiącach dla profilu Czarna i Płachty Stare

FIGURE 4. Monthly averages of dissolved phosphorus concentration and monthly rainfall average at Czarna and Płachty Stare

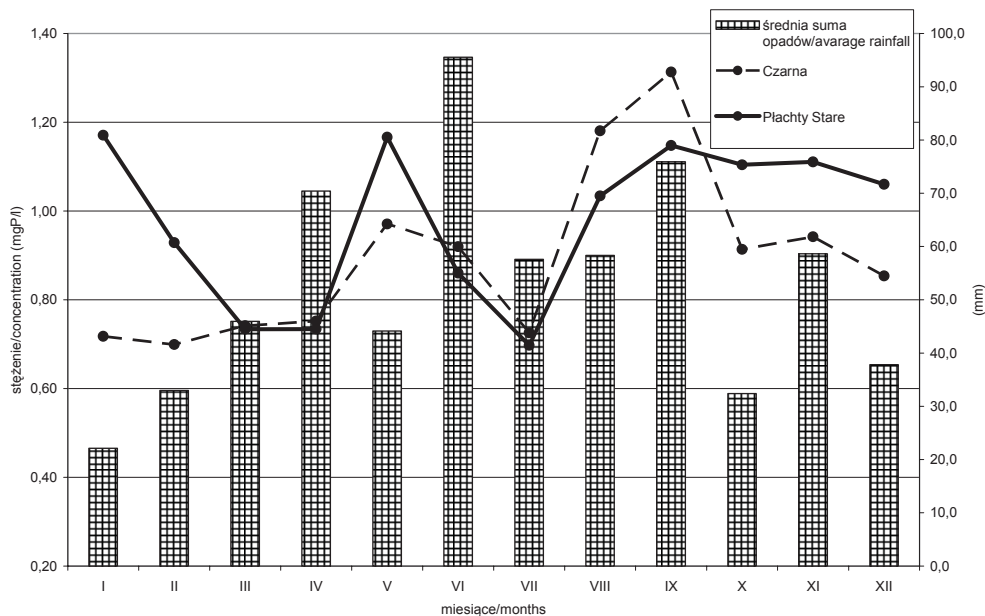
w zimie (styczeń – kwiecień). Young i inni (1999) dla Tamizy w Anglii zaobserwowali najwyższe stężenia w miesiącach letnio – jesiennych (lipiec – październik). Żelazny (2005) w analizach zmienności sezonowej min. fosforanów rozpuszczonych dla 4 cieków na Pogórze Wiślickim zaobserwował najniższe stężenia jonów PO_4^{4-} w miesiącach zimowych i wiosennych natomiast najwyższe w miesiącach letnich i jesiennych.

Inaczej wygląda zmienność fosforu ogólnego. Najwyższe średnie miesięczne stężenia zaobserwowane zostały w maju oraz miesiącach jesienno zimowych, najniższe zaś w marcu, kwietniu oraz lipcu i sierpniu (rys. 5). Mainstone i Parr (2002) przedstawiają jako typową sytuację, kiedy najwyższe stężenia fosforu ogólnego dostającego się do rzeki ze źródeł rozproszonych, obserwowane

są w miesiącach jesiennych i zimowych (wrzesień – grudzień), najniższe zaś w miesiącach letnich (maj – sierpień). Podobnie Boves i inni (2003) dla rzeki w północnej Anglii zaobserwowali najniższe stężenia fosforu w miesiącach letnich zastrzegając, że zmienność sezonowa jest bardzo duża.

Podsumowanie

Średnie wartości stężeń fosforanów rozpuszczonych i fosforu ogólnego wykazują tendencję malejącą w okresie 1991–2008. Zjawisko to widoczne jest w obu rozpatrywanych przekrojach pomiarowych. Wytlumaczeniem tej zmienności może być zmiana zagospodarowania terenu zlewni, lecz ostateczną odpowiedź można sformułować po



RYSUNEK 5. Średnie stężenia fosforu ogólnego na tle miesięcznej średniej sumy opadów w miesiącach dla profilu Czarna i Płachty Stare

FIGURE 5. Monthly averages of total phosphorus concentration and monthly rainfall average at Czarna and Płachty Stare

szczegółowej analizie zmian rolniczego użytkowania terenu oraz wpływu innych czynników.

Zebrane dane pomiarowe wskazują, że największe średnie miesięczne stężenia fosforanów rozpuszczonych notowane są w okresach letnio-jesiennych, zaś najniższe w okresach zimowych. W przypadku fosforu ogólnego najwyższe średnie miesięczne stężenia notowane są w okresach zimowych, najniższe zaś wczesną wiosną i w środku lata.

Uzyskane wyniki traktować należy jako wstępne z uwagi na krótkie okresy pomiarowe niektórych wielkości. Kontynuacja badań w przyszłości pozwoli zweryfikować zaobserwowane tendencje.



Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2007–2010 jako projekt międzynarodowy niewspółfinansowany w ramach akcji COST 869. 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. Do analizy wykorzystano również dane archiwalne.

Literatura

BANASIK K. 1994: Model sedymentogramu wzebrania opadowego w małej zlewni rolniczej. Wydaw. SGGW, Warszawa.

- BANASIK K., RUDZKA E., ŚMIETANKA A. 1996: Eutroficzne wskaźniki zanieczyszczeń w odpływie rzeczonym z małej zlewni rolniczej. *Przegląd Naukowy Wydziału Melioracji i Inżynierii Środowiska* 11: 23–29.
- BOWES J.M., HOUSE W.A., HODGKINSON R.A. 2003: Phosphorus dynamics along a river continuum. *The Science of the Total Environment* 313:199–212.
- GUS (1985–2005). Roczniki Statystyczne.
- GAJKOWSKA-STEFANŃSKA L., GUBERSKI S., GUTOWSKI W., MAMAK Z., SZPERLIŃSKI Z. 1990: Laboratoryjne badania wody ścieków i osadów ściekowych. Wydaw. Politechniki Warszawskiej, Warszawa.
- HERMANOWICZ W. 1984: Chemia sanitarna. Arkady, Warszawa.
- MAINSTONE C.P., PARR W. 2002: *The Science of the Total Environment* 282–283, 25–47.
- MUSCUTT A.D., WITHERS P.J.A. 1996: The phosphorus content of rivers in England and Wales. *Wat. Res.* 30, 5: 1258–1268.
- OENEMA O., ROEST C.W.J. 1998: Nitrogen and phosphorus losses from agriculture into surface waters; the effect of policies and measures in the Netherlands. *Wat. Sci.Tech.* 37: 19–30.
- ULENB., JAKOBSSON T.C. 2005: Critical evaluation of measures to mitigate phosphorus losses from agricultural land to surface waters in Sweden. *Science of the Total Environment* 344: 37–50.
- YOUNG K., MORSE G.K., SCRIMSHAW M.D., KINNIBURGH J.H., MACLEOD C.L., LESTER J.N. 1999: The relation between phosphorus and eutrophication in the Thames catchment, UK. *The Science of the Total Environment* 228: 157–183.
- ŻELAZNY M. 2005: Dynamika związków biogennych w wodach opadowych, powierzchniowych i podziemnych w zlewniach o różnym użytkowaniu na Pogórzu Wiślickim. Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków.

Summary

Changeability of phosphorus concentration in upper part of Zagożdżonka River watershed. In this paper, the results of dissolved phosphorus and total phosphorus concentration during three research period of year 1991–2008 in upper part of Zagożdżonka River has been presented. The results concern two gauging: Czarna and Płachty Stare. The maximum observed concentration of dissolved phosphorus reached 1.95 mg PO⁴/l and total phosphorus 5.78 mg P/l. The decrease of concentration has been between researches periods has been noticed. Based on month average concentrations, the maximum and minimum concentrations periods have been described.

Author's address:

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