

WANDA GALICKA, ANDRZEJ KRUK, GRZEGORZ ZIĘBA

Katedra Ekologii i Zoologii Kręgowców
Uniwersytet Łódzki

BILANS AZOTU I FOSFORU W ZBIORNIKU JEZIORSKO

Streszczenie. W latach 2002-2004 oceniono zewnętrzne obciążenie zbiornika Jeziorsko azotem i fosforem całkowitym. Uwzględniono dopływ ze zlewni pośredniej (wodami rzeki Warty), ze zlewni bezpośredniej (źródła przestrzenne, rozproszone) oraz na powierzchnię zbiornika (opad atmosferyczny, kapiący się). W przeliczeniu na 1 m² lustra wody zewnętrzne obciążenie zbiornika Jeziorsko azotem całkowitym wahało się od 161,0 (2000 r.) do 238,0 (1998 r.) g m⁻² rok⁻¹, a fosforem całkowitym od 8,9 (2000 r.) do 10,1 (1999 r.) g m⁻² rok⁻¹. Największy udział w dopływie biogenów do zbiornika miały wody Warty, które wprowadzały od 87,4 do 91,4% azotu i od 77,9 do 80,9% fosforu. Udział pozostałych źródeł w obciążeniu zbiorników nutrientami był znacznie niższy i nie przekraczał 17% całkowitego ich dopływu. Bilans biogenów wykazał, że znaczne ich ilości były kumulowane w zbiornikach, przy czym wyższe odnotowano dla zbiornika Jeziorsko w porównaniu ze Zbiornikiem Sulejowskim.

Słowa kluczowe: zbiorniki, biogeny, nutrieny, bilanse

Wstęp

Każda rzeka z punktu widzenia ekologii jest ekosystemem otwartym, będącym w stanie równowagi dynamicznej (ALLAN 1998, KAJAK 1998). Przerwanie kontinuum rzeki stopniem wodnym zmienia warunki hydrologiczne, które w istotny sposób mogą wpływać na procesy fizyczne, chemiczne i biologiczne kształtujące jakość wód zarówno w odcinkach rzek przyległych do zbiornika, jak i w samym zbiorniku (WOYCIECHOWSKA i DOJLIDO 1982, WARD i STANFORD 1983, KAJAK 1984, WRÓBEL i SZCZĘSNY 1983, GIZIŃSKI i IN. 1989, PENCZAK i IN. 1994, GALICKA 1999 a, b, GALICKA i LESIAK 1996, GALICKA i KRUK 1999). Charakter oraz wielkość tych zmian zależy od cech zbiornika (powierzchnia, kształt, głębokość, rozwój strefy litoralnej, wahania poziomu wody) oraz wielkości i jakości wód rzeki, na której został utworzony (WOYCIECHOWSKA i DOJLIDO 1982, KAJAK 1998).

Ze względu na funkcje pełnione przez zbiorniki zaporowe, takie jak zaopatrzenie w wodę aglomeracji miejskich czy zapewnienie obszaru rekreacji ich mieszkańcom, jakość wód zbiorników jest istotnym problemem nie tylko ekologicznym, ale także społecznym i ekonomicznym (RYDING i RAST 1989, ROSENSTEEL i STROM 1991, HARPER 1992). Stąd ważne jest określenie pochodzenia związków eutrofizujących i oceny obciążenia nimi zbiorników wodnych oraz wyjaśnienia zależności między dopływem związków biogenych a rozwojem glonów (KAJAK 1984, COOKE i IN. 1986, SOMMER 1989, RYDING i RAST 1989, GIERCUSZKIEWICZ-BAJTLIK 1990, SHARPLEY i IN. 1995).

Praca jest kontynuacją badań rozpoczętych w 1995 roku, a jej celem jest ocena zewnętrznego obciążenia zbiornika Jeziorsko azotem całkowitym i fosforem całkowitym z uwzględnieniem różnych źródeł ich dopływu.

Teren badań, materiał i metody

Zbiornik Jeziorsko powstał w 1986 roku przez spiętrzenie wód rzeki Warty na 504 km jej biegu. Przy maksymalnym piętrzeniu wynoszącym 121,5 m n.p.m. jego powierzchnia wynosi 42,3 km², pojemność całkowita 202,8 mln m³, maksymalna długość 16,3 km, maksymalna szerokość 3,5 km, a średnia głębokość 4,8 m. Przy minimalnym piętrzeniu wynoszącym 116,0 m n.p.m. jego pojemność całkowita wynosi 30,2 mln m³, a powierzchnia zalewu 42,3 km² (tab. 1). Zbiornik jest akwenem wielozadaniowym, lecz główna jego funkcja to nawadnianie gruntów i użytków zielonych, ochrona przed powodzią doliny Warty oraz energetyka (ORŁOWSKI 1994). Powierzchnia zlewni bezpośredniej zbiornika wynosi 538 km², w tym grunty orne stanowią 71,1%, lasy 16,4%, a nieużytki 12,5%.

Tabela 1. Dane morfometryczne i hydrologiczne zbiornika Jeziorsko w latach 2002-2004

Table 1. Selected morphometric and hydrologic data on the Jeziorsko Reservoir in the years 2002-2004

	2002	2003	2004
Powierzchnia (km ²)	31,7	26,3	30,4
Objętość (10 ⁶ m ³)	106,7	73,2	96,8
Dopływ (10 ⁶ m ³)	1 949,0	1 245,9	1 483,4
Odływ (10 ⁶ m ³)	1 937,0	1 202,5	1 452,2
Rzędna piętrzenia (m n.p.m.)	118,8	117,7	118,5
Wymiana wody (rok ⁻¹) ^a	18,3	17,3	15,3
Czas zatrzymania (dni) ^b	20	21	24
Ładunek wody (m ³ rok ⁻¹) ^c	61,4	47,4	48,8

^a Stosunek rocznego dopływu do objętości zbiornika.

^b Stosunek objętości zbiornika do rocznego przepływu.

^c Stosunek rocznego przepływu do powierzchni zbiornika.

Oceniając zewnętrzne obciążenie zbiornika azotem całkowitym i fosforem całkowitym wyrażone wielkością rocznego ładunku przypadającego na jednostkę powierzchni zbiornika ($\text{g m}^2 \text{rok}^{-1}$), uwzględniono dopływ: 1) ze zlewni pośredniej (wodami rzeki Warty), 2) ze zlewni bezpośredniej (źródła punktowe, przestrzenne, rozproszone), 3) wprowadzany bezpośrednio do zbiornika (opad atmosferyczny, kąpiący się).

Na podstawie informacji o rejestrowanych punktowych źródłach zanieczyszczeń, danych o stężeniu ścieków oraz istniejących oczyszczalniach w zlewni bezpośredniej obliczono ładunek nutrientów ze źródeł punktowych. Obliczenia wielkości dopływu biogenów ze źródeł przestrzennych przeprowadzono na podstawie znajomości zagospodarowania zlewni bezpośredniej oraz współczynników spływu z obszarów użytkowanych rolniczo ($\text{N} - 8,4 \text{ kg ha}^{-1} \text{rok}^{-1}$ i $\text{P} - 0,31 \text{ kg ha}^{-1} \text{rok}^{-1}$), zalesionych ($\text{P} - 4,7 \text{ kg ha}^{-1} \text{rok}^{-1}$ i $\text{P} - 0,29 \text{ kg ha}^{-1} \text{rok}^{-1}$) i z terenów zabudowanych miejskich ($\text{N} - 6,0 \text{ kg ha}^{-1} \text{rok}^{-1}$ i $\text{P} - 0,9 \text{ kg ha}^{-1} \text{rok}^{-1}$; GIERCUSZKIEWICZ-BAJTLIK 1990). Jako rozproszone źródła zanieczyszczeń określono miejscowości zlokalizowane na obszarach nieskanalizowanych oraz obiekty turystyczne (ośrodki wczasowe, kempingi, pola namiotowe) o nieuporządkowanej gospodarce ściekowej. Założono, że ilość azotu i fosforu wydalana przez człowieka wynosi odpowiednio $4380 \text{ g os.}^{-1} \text{rok}^{-1}$ i $1095 \text{ g os.}^{-1} \text{rok}^{-1}$ (GIERCUSZKIEWICZ-BAJTLIK 1990). Dopływ azotu i fosforu na powierzchnię zbiornika z opadem atmosferycznym określono na podstawie współczynników obliczonych dla obszaru Polski przez GIERCUSZKIEWICZ-BAJTLIK (1990; $\text{N} - 27,5 \text{ kg ha}^{-1} \text{rok}^{-1}$ i $\text{P} - 0,68 \text{ kg ha}^{-1} \text{rok}^{-1}$).

Dopływ biogenów do zbiorników oraz odpływ poza tamę obliczono, biorąc pod uwagę ilość wody i stężenie w niej biogenów. Próby wody do oznaczeń fosforu i azotu całkowitego pobierano na dopływie do zbiornika Jeziorsko, tj. na rzece Warcie (stanowisko 1), i na odpływie, poniżej tamy (stanowisko 2) raz w miesiącu w latach 2002-2004 i oznaczono według HERMANOWICZA i IN. (1976) w laboratorium Wojewódzkiego Inspektoratu Ochrony Środowiska w Sieradzu. Dane dotyczące przepływów Warty i zbiornika Jeziorsko otrzymano z Okręgowej Dyrekcji Wodnej w Poznaniu.

Oszacowany ładunek azotu i fosforu całkowitego obciążający zbiornik Jeziorsko porównano z proponowanym przez VOLLENWEIDERA (1976) dopuszczalnym i niebezpiecznym obciążeniem zbiorników wodnych tymi biogenami. Uwzględniając średnią głębokość zbiornika, która dla Jeziorska nie przekraczała 5 m, dopuszczalne i niebezpieczne obciążenie azotem nie powinno przekraczać odpowiednio $1,0$ i $2,0 \text{ g m}^2 \text{rok}^{-1}$, a fosforem $0,07$ i $0,13 \text{ g m}^2 \text{rok}^{-1}$.

Wyniki

W latach 2002-2004 odnotowano znaczne różnice w dopływie wód do zbiornika Jeziorsko, i to zarówno w skali lat, jak i miesięcy. Największy dopływ wody do zbiornika odnotowano w 2002 roku, a najniższy w 2003 roku. Zmiany dopływów i odpływów następowały zwykle w tym samym rytmie. Różnice dopływów i odpływów powodowały wahania lustra wody i napełnienia zbiornika (tab. 1).

Maksymalne przepływy wód rzeki Warty w 2002 roku notowano w miesiącach zimowych i wczesnowiosennych (styczeń-marzec), natomiast w latach 2003-2004 od lutego do kwietnia. Wysokie i krótkotrwałe przybory wód odnotowano w czerwcu 2002 roku. Najniższe przepływy notowano w miesiącach letnich.

Głównym źródłem obciążenia biogenami zbiornika Jeziorsko była Warta, która wprowadzała w kolejnych latach od 84,8 do 89,5% (3462,6-5440,0 t) rocznego dopływu azotu i od 89,2 do 94,1% (447,4-874,2 t) rocznego dopływu fosforu (tab. 2). Udział pozostałych źródeł w dopływie biogenów do zbiornika był znacznie niższy i nie przekraczał w wypadku azotu 15,2%, a w wypadku fosforu 10,8%. W przeliczeniu na jednostkę powierzchni lustra wody zewnętrzne obciążenie zbiornika azotem wprowadzanym wodami Warty wahało się od 148,9 do 191,7 g m⁻², a fosforem od 19,1 do 29,3 g m⁻².

Tabela 2. Bilans azotu całkowitego (N) i fosforu całkowitego (P) w zbiorniku Jeziorsko w latach 2002-2004

Table 2. Budget of total nitrogen (N) and total phosphorus (P) for the Jeziorsko Reservoir in the years 2002-2004

Źródła	2002		2003		2004	
	TN	TP	TN	TP	TN	TP
Dopływ całkowity (t)	6 078,3	928,9	4 083,0	501,7	4 528,9	606,8
zlewnia pośrednia ^a	5 440,0	874,2	3 462,6	447,4	3 895,1	552,2
zlewnia bezpośrednia ^b	532,4	51,7	532,4	51,7	532,4	51,7
atmosfera, kąpiący się ^c	105,8	3,0	87,9	2,6	101,3	2,9
Odływ całkowity (t) Wartą	4 503,4	819,9	2 932,3	369,7	3 785,5	470,4
Kumulacja (t)	1 142,2	109,0	602,4	132,0	366,9	136,4
Kumulacja (g·m ⁻² ·rok ⁻¹)	36,6	3,5	22,9	5,0	12,1	4,4
Zewnętrzne obciążenie zbiornika (g·m ⁻² ·rok ⁻¹)	191,7	29,3	155,2	19,1	148,9	19,9

^a Ładunek wprowadzony do zbiornika z wodami Warty.

^b Ładunek wprowadzony do zbiornika ze źródeł punktowych, przestrzennych i rozproszonych.

^c Ładunek wprowadzony bezpośrednio do zbiornika.

W dopływie biogenów do zbiornika ze źródeł rozproszonych w jego bezpośredniej zlewni uwzględniono ich dopływ ze źródeł rozproszonych oraz przestrzennych. Ładunek azotu i fosforu ze źródeł rozproszonych wynosił odpowiednio 122,6 i 30,8 t (3,8-4,7 i 1,0-1,2 g m⁻²). Obciążenie zbiornika biogenami ze źródeł przestrzennych z jego bezpośredniej zlewni oceniono na 409,8 t azotu i 20,9 t fosforu, co w ogólnym ich dopływie nie przekraczało 10,0% dla azotu (13,1-15,6 g m⁻²) i 4,6% dla fosforu (0,67-0,79 g m⁻²; tab. 2).

Z opadem atmosferycznym do zbiornika zostało wprowadzonych od 86,8 do 104,7 t azotu (3,3 g m⁻²) i od 1,9 do 2,3 t fosforu (0,07 g m⁻²), co nie przekraczało 2,2% dla azotu i 0,38% dla fosforu w całkowitym ich dopływie (tab. 2).

Ładunek biogenów wnoszony do zbiornika przez kąpiących się w sezonie letnim oceniono na 1,1 t azotu i 0,7 t fosforu, co w całkowitym ładunku azotu stanowiło 0,02%, a fosforu 0,08%.

Krytyczne obciążenie tymi biogenami według kryteriów VOLLENWEIDERA (1976) zostało przekroczone 98 razy w 2002 roku, 66 razy w 2003 roku i 77 razy w 2004 roku

dla azotu i 233 razy w 2002 roku, 122 razy w 2003 roku i 157 razy w 2004 roku dla fosforu.

Ilość substancji biogenych wnoszonych wodami Warty była zróżnicowana w poszczególnych latach. W wypadku azotu ilości te były zbliżone w 2002 i 2003 roku, wynosząc odpowiednio 72 i 74%. Natomiast w 2004 roku odpływ azotu wynosił prawie 84%. Pod względem ilości fosforu wnoszonego ze zbiornika podobny był 2003 i 2004 rok. W 2002 roku odnotowano największy odpływ fosforu ze zbiornika, przez co kumulacja była najmniejsza (tab. 2).

Istotną cechą zbiornika Jeziorsko była znaczna zmienność czasowa wielkości wnoszonych i kumulowanych ładunków biogenów, w tym także występowania okresów przewagi ich wnoszenia nad dopływem. Wiązało się to ze zmieniającymi się w miesiącach i latach stężeniami azotu i fosforu w wodzie, ale przede wszystkim z ilością mas wody niesionych przez Wartę. Duży ładunek biogenów dopływał do zbiornika w miesiącach wiosennych, natomiast w miesiącach letnich był mniejszy ze względu na znacznie zmniejszony dopływ wód.

Jak wynika z bilansów biogenów, w zbiorniku Jeziorsko pozostawały różne ilości wnoszonego azotu i fosforu. Ilości zatrzymanego azotu oszacowano od 16,4% (366,9 t) w 2004 roku do 28,2% (1142,2 t) w 2003 roku. Najmniejszą ilość zatrzymanego fosforu w zbiorniku odnotowano w 2002 roku (2,9% – 109,0 t), a największą w 2004 roku (27,2% – 136,4 t; tab. 2). Trzeba zauważyć, iż w niektórych miesiącach notowano ujemną kumulację biogenów, głównie fosforu w zbiorniku.

Dyskusja

W badaniach prowadzonych w latach 2002-2004 oraz w latach wcześniejszych (GALICKA 1999 a, GALICKA i IN. 2002, 2003) wykazano poważne obciążenie zbiornika Jeziorsko azotem i fosforem całkowitym. Głównym źródłem zasilania zewnętrznego zbiornika były wody Warty. W latach 1995-2001 rzeka wprowadziła od 87,4% do 91,4% azotu i od 77,9% do 80,9% fosforu, pomimo dającego się zauważyć ograniczenia zanieczyszczeń przemysłowych (recesja przemysłu oraz działania inwestycyjne na rzecz ochrony środowiska) oraz zanieczyszczeń pochodzenia rolniczego. Udział pozostałych źródeł stanowił od ułamka procent do kilkunastu procent. Podobne zależności dla innych polskich zbiorników odnotowali: GALICKA (1996, 1999 b, 2000), KAJAK (1990), PŁUŻAŃSKI i IN. (1990), ŻYTKOWICZ i IN. (1990), KASZA (1993). Pomimo iż pozostałe źródła obciążenia azotem i fosforem zbiornika Jeziorsko stanowiły nieznaczny odsetek w ogólnym dopływie w porównaniu z rzeką zasilającą zbiornik, mogą one wpływać w znacznym stopniu na postępującą eutrofizację.

Zewnętrzne obciążenie zbiornika związkami biogenymi na jednostkę powierzchni jest ważną wskazówką określającą trofię zbiornika. Istotne są próby oceny dopuszczalnych i niebezpiecznych wpływów biogenów do zbiorników wodnych (VOLLENWEIDER 1976). Według kryteriów VOLLENWEIDERA w badanych latach niebezpieczne obciążenie azotem i fosforem zbiornika Jeziorsko zostało przekroczone bardzo mocno, co potwierdzili w badaniach SZYPER i MASTYŃSKI (1997). Należy zwrócić uwagę, że w badanych latach, w porównaniu z wynikami wcześniejszymi (GALICKA 1999 a, GALICKA i IN. 2002, 2003), ilość zatrzymanego fosforu w zbiorniku Jeziorsko była mała ze

względu na wysoki jego odpływ ze zbiornika, pomimo bardzo wysokiego zewnętrznego obciążenia tym biogenem.

Wysoki stopień trofii zbiornika Jeziorsko jest wywołany między innymi dużymi ładunkami biogenów ze zlewni, która w ponad 70% jest zlewnią rolniczą, oraz brakiem lub słabym rozwojem strefy litoralnej zbiornika.

Nizinne zbiorniki zaporowe, zlokalizowane w najniższych punktach krajobrazu, funkcjonują jako odbiorniki materii i zanieczyszczeń z rozległych obszarów zlewni dopływów i są tym samym ekosystemami szczególnie narażonymi na negatywne skutki presji antropogenicznej (KAJAK 1998, THORNTON i IN. 1990). Przerwanie kontinuum rzeki stopniem wodnym przyczynia się do obniżenia siły nośnej wody, nasilając procesy sedymentacji materii i retencjonowania nawet do 90% jej ładunku (STRASKRABA 1999). Zatrzymywana jest również znaczna część biogenów w postaci związków rozpuszczonych, głównie na drodze ich biologicznej konwersji w biomasę fitoplanktonu, co zostało potwierdzone w badaniach zbiornika Jeziorsko (GALICKA i KRUK 1999, TARCZYŃSKA i IN. 1997, 2001).

Obszary teras zalewowych i dolin rzecznych są miejscami intensywnej sedymentacji materiału transportowanego przez rzeki (WALLING i IN. 1996). Mają one szczególne znaczenie w okresie wezbrań, gdy rzeka w krótkim czasie niesie duże ładunki biogenów (WAGNER i ZALEWSKI 2000). Ekotonowe strefy buforowe redukują ładunek nutrientów dostających się do rzeki z erozji zlewni rolniczej, zatrzymując mechanicznie frakcje mineralne, a następnie wbudowując w tkanki roślin nabrzeżnych. Redukcja ta może sięgać aż 80% (ZALEWSKI 1995). HILLBRICHT-ILKOWSKA i PIECZYŃSKA (1993) odnotowały w okresie roztopów wiosennych prawie trzykrotne zmniejszenie stężenia azotu azotanowego po przejściu wód gruntowych przez strefę nabrzeżną jeziora. Ponadto zostało stwierdzone, że w strefach ekotonowych w procesie denitryfikacji jest usuwane od 68 do 89% azotu dostającego się do zlewni (ZALEWSKI 1995).

Ulegające eutrofizacji ekosystemy zmuszają do stosowania różnych, często bardzo kosztownych metod rekultywacji i ochrony, które nie zawsze przynoszą oczekiwane wyniki (KAJAK 1981, ZALEWSKI 1997). Aby zwiększyć skuteczność podejmowanych działań, powinny one uwzględniać specyfikę ekosystemu, w tym procesy warunkujące jego eutrofizację.

Podsumowanie

Wieloletnie badania prowadzone na zbiorniku Jeziorsko wskazują, że jest on akwenem podlegającym silnej eutrofizacji. Wymaga to podjęcia odpowiednich działań ochronnych jego wód. Priorytetowym działaniem dla ograniczenia dopływu związków biogennych do zbiornika Jeziorsko powinno być zarówno ulepszenie klasycznych rozwiązań technicznych (oczyszczanie ścieków z usuwaniem fosforu), jak i budowa nowych oczyszczalni, rozbudowa strefy litoralnej zbiornika i redukcja zanieczyszczeń obszarowych, np. przez zalesienie. Działania te powinny obejmować zlewnię pośrednią oraz bezpośrednio zbiornika.

Literatura

- ALLAN J.D., 1998. *Ekologia wód płynących*. PWN, Warszawa.
- COOKE G.D., WELCH E.B., PETERSON S.A., NEWROTH P.R., 1986. *Lake and reservoir restoration*. Butterworth, Boston, London.
- GALICKA W., 1996. Limnologiczna charakterystyka nizinnego zbiornika zaporowego na Pilicy w latach 1981-1983. *Wyd. Uniw. Łódź, Łódź*.
- GALICKA W., 1999 a. Obciążenie nutrientami nizinnego zbiornika zaporowego Jeziorsko. W: *Konferencja Naukowo-Techniczna pt. Eksploatacja i oddziaływanie dużych zbiorników nizinnych na przykładzie zbiornika wodnego Jeziorsko*. Uniejów: 357-368.
- GALICKA W., 1999 b. Present and perspective feeding of the Sulejów Reservoir (central Poland) with nutrients. *Acta Hydrobiol. Suppl.* 41: 83-90.
- GALICKA W., 2000. Nutrient loading of the Sulejów dam reservoir. *Acta Univ. Lodz.* 7: 181-191.
- GALICKA W., LESIAK T., 1996. Composition of phytoplankton in a middle course section of the River Warta, including the Jeziorsko Reservoir. *Acta Hydrol.* 38: 25-33.
- GALICKA W., KRUK A., 1999. Structure of phytoplankton of the Jeziorsko Reservoir (central Poland) in spring – autumn period of 1996. *Acta Hydrobiol.* 41: 17-35.
- GALICKA W., PENCZAK T., DROZDZYK A., DEMBIŃSKI Z., 2002. Obciążenie biogenami nizinnych zbiorników zaporowych: Sulejów i Jeziorsko. W: *Stan i antropogeniczne zmiany jakości wód w Polsce. T. 2*. Red. L. Burchard. *Wyd. Uniw. Łódź, Łódź*: 153-163.
- GALICKA W., KRUK A., ZIĘBA G., 2003. Dopływ związków biogenych do zbiornika zaporowego Jeziorsko. W: *Bory Tucholskie II. Zasoby i ich ochrona*. Red. K. Gwoździński. *Wyd. Uniw. Łódź, Łódź*: 153-163.
- GIZIŃSKI A., BŁĘCKI L.A., KENTZER A., WIŚNIEWSKI R., ŻYTKOWICZ R., 1989. Hydrobiological characteristic of the lowland rheolimnic Włocławek reservoir on the Vistula river. *Eco. Pol.* 37: 359-403.
- GIERCUSZKIEWICZ-BAJTLIK M., 1990. Prognozowanie zmian jakości wód stojących. *Inst. Ochr. Środ., Warszawa*: 1-74.
- HARPER D., 1992. *Eutrophication of freshwaters*. Chapman, Hall, London.
- HERMANOWICZ W., DOŻAŃSKA W., DOJLIDO J., KOZIOROWSKA B., 1976. *Physico-chemical investigations of water and sewage*. Arkady, Warszawa.
- HILLBRICHT-ILKOWSKA A., PIECZYŃSKA E., 1993. Nutrient dynamics and retention in land/water ecotones of lowland, temperate lakes and rivers. *Kluwer Acad. Publ. Hydrobiologia* 251, 361.
- KAJAK Z., 1981. Skuteczność różnych metod rekultywacji jezior w celu poprawy czystości ich wód. *Wiad. Ekol.* 27: 331-357.
- KAJAK Z., 1984. Changes in river water quality in reservoirs, exemplified by studies in Poland. W: *Regulated rivers*. Red. A. Lillehammer, S.J. Saltveit. *Universitetsforlanget AS, Oslo*: 521-531.
- KAJAK Z., 1990. Ecology of Lowland Zegrzyński reservoir near Warsaw. *Arch. Hydrobiol. Beih.* 33: 841-850.
- KAJAK Z., 1998. *Hydrobiologia – limnologia. Ekosystemy wód śródlądowych*. PWN, Warszawa.
- KASZA H., 1993. Loads of biogens into and out of the Goczałkowice Reservoir (southern Poland). *Acta Hydrobiol.* 35: 97-107.
- MASTYŃSKI J., ANDRZEJEWSKI W., KULIGOWSKI A., 1999. Gospodarka rybacko-wędkarska w zbiorniku Jeziorsko – założenia projektowe a praktyka – efekty i problemy: 301-312.
- ORŁOWSKI W., 1994. Zadania gospodarcze i dane techniczne zbiornika retencyjnego „Jeziorsko”. W: *Mat. Konf. Nauk. w Łodzi*. *Wyd. PZW, Warszawa*.
- PENCZAK T., GALICKA W., GRZYBKOWSKA M., KOSZALIŃSKI H., JANISZEWSKA M., TEMECH A., ZACZYŃSKI A., GŁOWACKI L., MARSZAŁ L., 1994. Wpływ Zbiornika Jeziorsko na jakość wody w Warcie, populacje ryb i ich bazę pokarmową (1985-1992). *Rocz. Nauk. PZW* 6: 79-114.
- PLUZAŃSKI A., PÓLTORAK T., GRANOPS M., ŻUREK M., DUMNICKA E., 1990. Charakterystyka limnologiczna zbiorników kaskady górnego Sanu (Solina, Nyczkowce). W: *Funkcjonowanie*

- ekosystemów wodnych, ich ochrona i rekultywacja. Cz. 1. Ekologia zbiorników zaporowych i rzek. Red. Z. Kajak. Wyd. SGGW AR, Warszawa: 264-281.
- ROSENSTEEL B.A., STROM P.F., 1991. River phosphorus dynamics and reservoir eutrophication potential. *Water Res. Bull.* 27: 957-965.
- RYDING S.O., RAST W., 1989. The control of eutrophication of lakes and reservoirs. UNESCO-MAB Ser. 1.
- SHARPLEY A.N., HEDLEY M.J., SIBBESEN E., HILLBRICHT-ILKOWSKA A., HOUSE W.A., RYSZKOWSKI L., 1995. Phosphorus transfers from terrestrial to aquatic ecosystem. W: Phosphorus in the global environment; transfers, cycles and management. Red. H. Tiessen. SCOPE 54, J. Wiley: 171-199.
- SOMMER U., 1989. Nutrient status and nutrient competition of phytoplankton in a shallow, hypertrophic lake. *Limnol. Oceanogr.* 34: 1162-1173.
- STRASKRABA M., 1999. Retention time as a key variable of reservoir limnology. W: Theoretical reservoir limnology and its applications. Red. J.G. Tundisi, M. Straskraba: 385-410.
- SZYPER H., MASTYŃSKI J., 1997. Nizinny zbiornik zaporowy Jeziorsko. *Aura. Ochr. Środ., Kraków* 8: 19-21.
- TARCZYŃSKA M., IZDORCZYK K., ZALEWSKI M., 1997. Zakwity sinic w Zbiorniku Jeziorsko – przyczyny i konsekwencje. W: Raport o stanie środowiska w województwie sieradzkim w latach 1995/1996. Red. G. Glinkowska. PIOŚ, Bibl. Monit. Środ., Warszawa: 145-152.
- TARCZYŃSKA M., NAŁĘCZ-JAWECKI G., ROMANOWSKA-DUDA Z., RAWICKI J., KENETH B., GEOFF C., ZALEWSKI M., 2001. Test for the toxicity assesment of cyanovacterial bloom samples. *Environ. Toxicol.* 16, 5: 385-390.
- THORNTON K.W., KIMMEL B.L., PAYNE F.E., 1990. Reservoir limnology: Ecological perspectives. Willey.
- VOLLENWEIDER R.A., 1976. Advances in defining critical loading levels for phosphorus in lake eutrophication. *Mem. Ist. Ital. Idrobiol.* 33: 53-83.
- WAGNER I., ZALEWSKI M., 2000. Effect of hydrobiological patterns of tributaries on biotic processes in lowland reservoirs – consequences for restoration. *Ecol. Eng.* 16: 79-90.
- WALLING D.E., HE Q., NICHOLAS A.P., 1996. Foodplains as suspended sediment sinks. W: Floodplain processes. Red. M.G. Anderson, D.E. Walling, P. Bates. Wiley: 399-440.
- WARD J.S., STANFORD J.A., 1983. The intermediate-disturbance hypothesis: an explanation for biotic diversity patterns in lotic ecosystems. W: Dynamics of lotic ecosystems. Red. T.D. Fontaine, S.M. Bartell. Ann. Arbor Sci. Publ., The Butterworth Group, Michigan: 347-356.
- WOJTAŁ A., 1999. Porównawcza analiza zależności troficznych związanych z efektem kaskadowym w litoralu i pelagialu Sulejowskiego zbiornika zaporowego. Maszyn. Pr. dokt. Uniw. Łódź, Łódź.
- WOYCIECHOWSKA J., DOJLIDO J., 1982. Zmiany jakości wód powierzchniowych pod wpływem zabudowy hydrotechnicznej. *Gosp. Wodn.* 5: 47-51.
- WRÓBEL S., SZCZĘSNY B., 1983. Zabudowa hydrotechniczna rzek a cechy jakościowe wód. W: Ekologiczne podstawy zagospodarowania Wisły i jej dorzecza. Red. Z. Kajak. PWN, Warszawa: 393-425.
- ZALEWSKI M., 1991. The ecotone concept in conservation and fisheries management of riverine ecosystem. W: Future research trends in MAB (FRTM). Red. Y. Aruga. Proceedings of UNESCO MAB International Seminar, August 20-22, 1990, Tokyo, Japan.
- ZALEWSKI M., 1995. Procesy biologiczne w ochronie i rekultywacji nizinnych zbiorników zaporowych. *Bibl. Monitor. Środ., Łódź.*
- ZALEWSKI M., 1997. Biotechnologie ekosystemowi – wykorzystanie procesów hydrologicznych, biogeochemicznych i biologicznych do poprawy jakości zasobów wodnych. W: Zastosowanie biotechnologii ekosystemalnych do poprawy jakości wód. Red. M. Zalewski, R.J. Wiśniewski. Ofic. Wyd. Inst. Ekol. PAN 18: 5-22.
- ŻYTKOWICZ R., BŁĘDSKI L. A., GIZIŃSKI A., KENTZER A., WIŚNIEWSKI R., ŻBIKOWSKI J., 1990. Zbiornik Włocławski. Ekologiczna charakterystyka pierwszego zbiornika zaporowego plano-

wanej kaskady dolnej Wisły. W: *Funkcjonowanie ekosystemów wodnych, ich ochrona i rekultywacja*. Cz. 1. Ekologia zbiorników zaporowych i rzek. Red. Z. Kajak. Wyd. SGGW AR, Warszawa: 201-225.

BUDGET OF NITROGEN AND PHOSPHORUS IN THE JEZIORSKO RESERVOIR

Summary. In 2002-2004 the external loading of the Jeziorsko Reservoir with total nitrogen and phosphorus was assessed. Inflow from the indirect catchment (with the water of the Warta River), from the direct catchment (areal sources, dispersed sources) and onto the surface of the reservoir (atmospheric precipitation, bathers) was estimated. The external loading of the Jeziorsko Reservoir with total nitrogen from external sources per 1 m² of the reservoir surface area ranged from 161.0 (year 2000) to 238.0 (year 1998) g N m⁻² y⁻¹, and with the total phosphorus from 8.9 (year 2000) to 10.1 (year 1999) g P m⁻² y⁻¹. The highest percentage of nutrient inflow to the reservoir was that with the Warta River water, which input from 87.4 to 91.4% of nitrogen and from 77.9 to 80.9% of phosphorus. The contribution of other sources to the total nutrient load of the reservoir was much lower and did not exceed 19.1% of their total input.

Key words: reservoirs, biogens, nutrients, budgets

Adres do korespondencji – Corresponding address:

Wanda Galicka, Katedra Ekologii i Zoologii Kregowców, Uniwersytet Łódzki, ul. S. Banacha 12/16, 90-237 Łódź, Poland, e-mail: waga@biol.uni.lodz.pl

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 10.05.2007

*Do cytowania – For citation: Galicka W., Kruk A., Zięba G., 2007. Bilans azotu i fosforu w zbiorniku Jeziorsko. *Nauka Przyr. Technol.* 1, 2, #17.*