

Jan Pawełek, Małgorzata Spytek

ŁADUNKI BIOGENÓW WNOSZONE PRZEZ RABĘ DO ZBIORNIKA DOBCZYCKIEGO W LATACH 2003–2005

Streszczenie

Zbiornik Dobczycki ma szczególne znaczenie, bowiem jest źródłem wody do spożycia dla mieszkańców Krakowa. Głównym źródłem zasilania zbiornika jest Raba, której zlewnia do chwili obecnej nie posiada w pełni uporządkowanej gospodarki ściekowej, dlatego woda wprowadzana do zbiornika zawiera zanieczyszczenia, które decydują o niezadowalającej jakości wody w zbiorniku, a także w znacznym stopniu o procesach w nim zachodzących, w tym eutrofizacji i jego zarastania. W pracy poddano analizie obciążenie Zbiornika Dobczyckiego ładunkami związków biogenych wnoszonymi wraz z wodą rzeki Raby. Podstawą do analizy były badania jakości wody Raby i objętość przepływu na dopływie do zbiornika w przekroju Osieczany. Obejmowały one okres od maja 2003 do października 2005 roku. Badania stężenia związków biogenych prowadzono przeciętnie z częstotliwością dwa razy w miesiącu. Oznaczano stężenie: NH_4 , NO_2 , NO_3 , PO_4 i P ogólny. Wielkość ładunków poszczególnych biogenów obliczono dla dni, miesięcy i lat analizowanego okresu. Uzyskane wyniki wskazują na duże zróżnicowanie w wielkościach średnich dobowych ładunków w analizowanych latach. Były one najwyższe w 2005 roku w przypadku NO_3 , NO_2 i P ogólnego, wynosząc odpowiednio 1394,51; 15,32; i 127,64 $\text{kg}\cdot\text{d}^{-1}$, natomiast w roku 2004 NH_4 i w 2003 PO_4 przyjmując wartości 835,08 i 355,50 $\text{kg}\cdot\text{d}^{-1}$. Maksymalne dobowe ładunki wszystkich badanych biogenów odnotowano w 2005 roku. W przypadku NO_3 , NH_4 i P ogólnego wystąpiły one 19 marca, natomiast NO_2 11 czerwca, a PO_4 10 sierpnia. Minimalne ładunki dobowe miały miejsce w 2003 i 2004 roku, w tym w 2003 roku NO_3 i P ogólny w dniach 1 i 2 września i NH_4 w dniach 27–30 listopada, natomiast w 2004 roku PO_4 w dniach 1, 2 i 12–14 listopada oraz NO_2 11 grudnia. Wielkość wnoszonego ładunku fosforu

ogólnego w ciągu roku odniesiono do powierzchni zwierciadła wody zbiornika i porównano z wielkością przyjmowanego ładunku dopuszczalnego ($0,10 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$) i niebezpiecznego ($0,20 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$) podawanych przez Kajaka. Dopływający do zbiornika ładunek przekracza ponad dwudziestokrotnie ładunek niebezpieczny i ponad 40 krotnie dopuszczalny.

Słowa kluczowe: Zbiornik Dobczycki, Raba, biogeny, ładunki, obciążenie

WSTĘP

Zbiornik Dobczycki, stanowiący sztuczny geokomponent krajobrazu, podlega szczególnej uwadze ze względu na przeznaczenie jako rezerwuuar wody do spożycia dla mieszkańców Krakowa [Mazurkiewicz-Boroń 2002]. Zainteresowanie Rabą ze względów wodociągowych miało miejsce znacznie wcześniej, bowiem jeszcze przed budową zbiornika [Bombówna 1969; Pasternak 1969; Wróbel 1980]. Zbiornik oddano do eksploatacji w styczniu 1987 roku. Od rozpoczęcia napełniania zbiornika zaczęto prowadzić w nim systematyczne badania parametrów fizykochemicznych i hydrobiologicznych gromadzonej wody. Głównym źródłem zasilania zbiornika jest Raba, której zlewnia do chwili obecnej nie posiada w pełni uporządkowanej gospodarki ściekowej, dlatego woda wprowadzana do zbiornika zawiera zanieczyszczenia, które decydują o niezadowalającej jakości wody w zbiorniku, a także w znacznym stopniu o procesach w nim zachodzących.

Źródłem zanieczyszczeń wody w zbiorniku, w tym w związku biogenne, są ścieki komunalne, nawozy mineralne oraz spływy powierzchniowe ze zlewni wnoszone z wodą Raby [Mazurkiewicz-Boroń 2000]. Znaczny dopływ biogenów do wód powierzchniowych powoduje nasilenie procesu eutrofizacji wód i jego zarastanie [Bajkiewicz-Grabowska 2002; Kajak 1998].

Celem pracy jest ocena obciążenia Zbiornika Dobczyckiego ładunkami związków biogenych wnoszonymi w wodą głównego dopływu do zbiornika, którym jest Raba. Obciążenie fosforem odniesiono do tzw. ładunku dopuszczalnego i niebezpiecznego, których wartości przyjęto według Kajaka [2001].

METODYKA

Podstawą do analizy były badania jakości wody Raby i objętość przepływu na dopływie do zbiornika w przekroju Osieczany. Badania obejmowały okres od maja 2003 do października 2005 roku. Badania stężenia związków biogennych w wodzie rzeki Raby prowadzono przeciętnie z częstotliwością dwa razy w miesiącu, pobierając próbki wody na dopływie do Zbiornika Dobczyckiego (rys. 1). Oznaczano w niej: NH_4 , NO_2 , NO_3 , PO_4 i P ogólny. Analizy wykonywano w laboratorium Zakładu Uzdatniania Wody (ZUW) „Raba” w Dobczycach za pomocą spektrofotometru Hach Dr 4000 wg Hermanowicza i in. [1999].

Rysunek 1. Raba w Osieczanach – miejsce poboru próbek wody
Figure 1. The Raba at Osieczany – water sampling point

Do określenia ładunku pierwiastków biogennych wnoszonych z wodą rzeki Raby wykorzystano codzienne przepływy w przekroju Osieczany. Objętość przepływów dobowych w tym przekroju określono przenosząc na drodze ekstrapolacji przepływy dobowe z przekroju

w Stróży [Ozga-Zielińska, Brzeziński 1997], udostępnione przez RZGW w Krakowie. Wielkość ładunków poszczególnych biogenów obliczono dla dni, miesięcy i lat analizowanego okresu. Ładunek dobowy obliczano jako iloczyn dobowej objętości przepływu i stężenia wskaźnika odpowiedniego dla danego dnia. Ponieważ oznaczenia stężeń związków biogenych były wykonywane z częstością przeciętnie co 2 tygodnie, stąd do obliczeń ładunków przyjmowano dla połowy tego czasu stężenie z oznaczenia poprzedzającego, a dla drugiej połowy z kolejnego oznaczenia.

Wyliczone roczne ładunki fosforu odniesiono do powierzchni zbiornika, a następnie porównano z wartościami ładunku dopuszczalnego i niebezpiecznego podawanych przez Kajaka [2001].

CHARAKTERYSTYKA OBIEKTU BADAŃ

Rzeka Raba to prawostronny karpacki dopływ Wisły. Dostarcza 88,6% wody do Zbiornika Dobczyckiego [Bochnia 2001]. Rzeka posiada górski charakter, świadczy o tym położenie w Karpatach Zachodnich, charakter dna (kamieniste, żwirowe) oraz nieregularność przepływów. Charakterystyczną cechą rzek górskich w klimacie Polski jest wyraźna dominanta ilościowa i jakościowa wezbrań letnich nad zimowymi. W Rabie około 70% maksimum rocznych występuje w półroczu letnim, a tylko 30% w półroczu zimowym [Punzet 1969].

W zlewni rzeki Raby tereny rolnicze stanowią około 50% całkowitej powierzchni. Struktura użytkowania rolniczego jest niedostosowana do warunków przyrodniczych regionu, polega na zbyt dużym udziale gruntów ornych i zbyt małym udziale trwałych użytków zielonych [Krzanowski i in. 2003]. Duże rozdrobnienie gospodarstw rolnych i wielodziałowe ich położenie, usytuowane na stokach o dużych spadkach i wysokim stopniu podatności na erozję, powoduje przyspieszenie transportu zanieczyszczeń ze zlewni. Obszar zlewni jest gęsto zaludniony, co stanowi poważne źródło ścieków komunalnych odprowadzanych wprost do rzeki [Mazurkiewicz-Boroń 2000].

Zbiornik Dobczycki ze względu na położenie geograficzne i ukształtowanie terenu należy do dolinowych zbiorników podgórskich strefy umiarkowanej. Zaliczany jest również do zbiorników dużych, głębokich o długim okresie retencji wody (>100 dni) ze stałym hypolimnicznym odpływem wody. W Zbiorniku Dobczyckim wyróżnia się trzy akweny: Basen Dobczycki o średniej głębokości 16,7 m, stanowiący około 40% powierzchni zbiornika, dwa razy płytszy Basen Myślenicki, który stanowi 57% powierzchni zbiornika oraz Zatoka Wolnicy stanowiąca 3% powierzchni [Bochnia 2001].

WYNIKI BADAŃ I ICH ANALIZA

Wyniki obliczeń obejmujących średnie, minimalne i maksymalne dobowe ładunki azotu azotanowego, azotu azotynowego i azotu amonowego oraz fosforanów i fosforu ogólnego dla poszczególnych lat hydrologicznych zestawiono w tabeli 1.

Uzyskane wyniki wskazują na duże zróżnicowanie w wielkościach średnich dobowych ładunków. W analizowanych latach były one najwyższe w 2005 roku w przypadku NO_3 , NO_2 i P ogólnego, natomiast w roku 2004 NH_4 i w 2003 PO_4 . Maksymalne dobowe ładunki wszystkich badanych biogenów odnotowano w 2005 roku. W przypadku NO_3 , NH_4 i P ogólnego wystąpiły one 19 marca, natomiast NO_2 11 czerwca, a PO_4 10 sierpnia. Minimalne ładunki dobowe miały miejsce w 2003 i 2004 roku, w tym w 2003 roku NO_3 i P ogólny w dniach 1 i 2 września i NH_4 w dniach 27–30 listopada, natomiast w 2004 roku PO_4 w dniach 1, 2 i 12–14 listopada oraz NO_2 11 grudnia.

Tabela 1. Charakterystyka ładunków biogenów wnoszonych do Zbiornika Dobczyckiego z wodą rzeki Raby

Table 1. Characteristics of biogenic loads carried into the Dobczyce Reservoir with the Raba water

Wskaźnik	Rok hydrologiczny	Ładunek [$\text{kg}\cdot\text{d}^{-1}$]		
		średni	minimalny	maksymalny
NO_3	2003*	489,57	18,31	16045,52
	2004	1110,76	49,45	18782,05
	2005	1394,51	76,93	30360,10
NO_2	2003*	12,47	2,09	127,36
	2004	12,75	0,52	266,07
	2005	15,32	1,13	1166,48
NH_4	2003*	126,75	2,85	1437,79
	2004	835,08	30,90	22329,10
	2005	666,88	15,24	25158,40
PO_4	2003*	355,50	39,06	1931,33
	2004	128,08	1,24	3318,16
	2005	125,11	7,18	3581,55
P ogólny	2003*	18,57	3,75	982,78
	2004	104,95	3,80	1799,94
	2005	127,64	11,20	3906,33

* – wyniki obejmujące okres maj–październik 2003 roku

Przedstawione wyniki pozwalają na ogólne stwierdzenie, że znacznie większe obciążenie ładunkami biogenów Zbiornika Dobczyckiego miało miejsce w 2005 roku w stosunku do lat poprzedzających. Na taki stan miały wpływ nie tylko ich stężenia w wodzie, ale także objętość dopływu, bowiem istotnym czynnikiem decydującym o wartości ładunków, oprócz stężenia zanieczyszczeń w wodzie dopływającej, jest także objętość dopływu [Pulikowski 2004]. W roku 2003 był on mniejszy, gdyż był to rok suchy.

Na rysunku 2 przedstawiono zależność wartości ładunku od objętości dopływu dla pięciu analizowanych substancji zawartych w wodzie. Zależności te opisano funkcją prostej. Jej równanie wraz z wartościami parametrów jej dopasowania i podstawowymi parametrami statystycznymi zamieszczono w tabeli 2. Uzyskane współczynniki korelacji są wysokie i wahają się od 0,67 do 0,93 na poziomie istotności $\alpha = 0,05$.

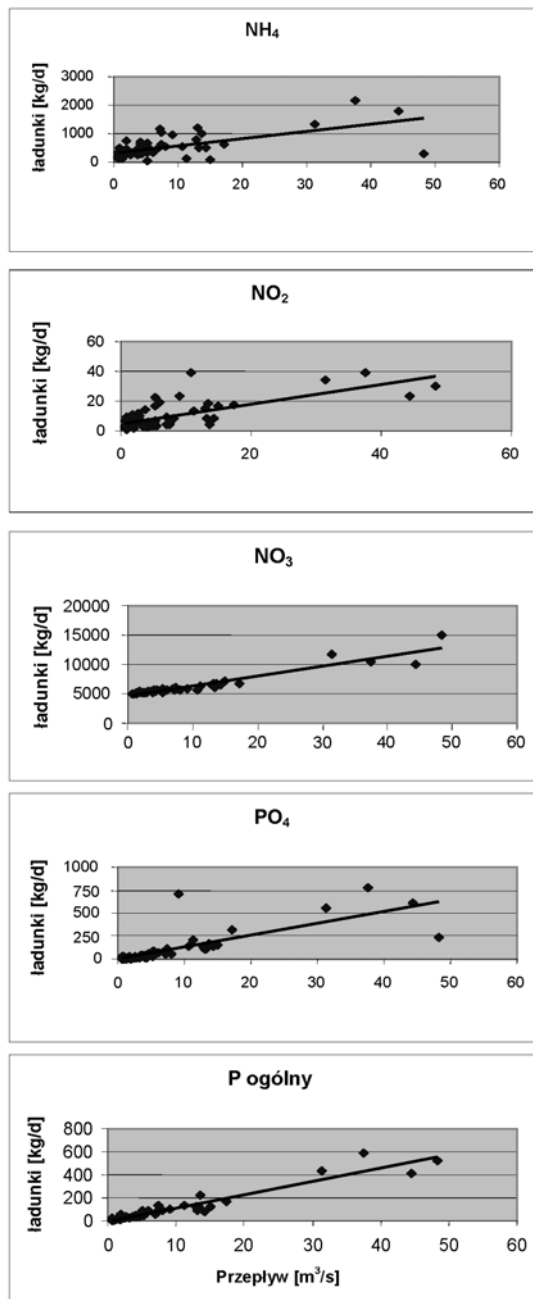
Tabela 2. Funkcja opisująca zależność ładunku biogenów od objętości dopływu w wodzie Raby dopływającej do Zbiornika Dobczyckiego w okresie od maja 2003 roku do października 2005

Table 2. Function describing dependence of biogenic load on inflow volume in the Raba water inflowing to the Dobczyce Reservoir from May 2003 to October 2005

Równanie regresji	R ²	R	R _{kr}	δ	średnia	C _v
$\bar{L}_{\text{NH}_4} = 24,738x + 329,92$	0,39	0,62	0,266	416,03	308,77	1,34
$\bar{L}_{\text{NO}_2} = 0,6523x + 4,9338$	0,51	0,71	0,266	76,07	10,15	7,49
$\bar{L}_{\text{NO}_3} = 166,18x - 296,68$	0,89	0,94	0,271	1855,82	1077,73	1,72
$\bar{L}_{\text{PO}_4} = 12,881x + 4,2968$	0,59	0,77	0,266	175,02	107,24	1,63
$\bar{L}_{\text{P og}} = 11,616x - 4,45$	0,91	0,95	0,273	130,04	89,915	1,45

Objaśnienia: x – objętość przepływu m³/s; R² – współczynnik determinacji; R – współczynnik korelacji; R_{kr} – krytyczny współczynnik korelacji ($\alpha = 0,05$); δ – odchylenie standardowe; C_v – współczynnik zmienności.

Głównym stymulatorem eutrofizacji wód zbiornika jest fosfor, stąd wielkość wnoszonego ładunku fosforu ogólnego w ciągu roku odniesiono do powierzchni zwierciadła wody zbiornika i porównano z wielkością przyjmowanego ładunku dopuszczalnego i niebezpiecznego. Taka ocena obciążenia wód zbiornikowych fosforem jest dość często stosowanym kryterium [Kajak 2001]. Wyniki obliczeń zestawiono w tabeli 3. Wskazują one, iż ładunek fosforu dopływający do zbiornika był wyższy w 2005 roku oraz że w obydwu uwzględnionych latach przekracza ponad dwudziestokrotnie ładunek niebezpieczny i ponad 40 krotnie dopuszczalny.



Rysunek 2. Zależność pomiędzy ładunkami analizowanych związków biogenych a przepływem w Rabie w przekroju Osieczany
Figure 1. The Raba at Osieczany – water sampling point

Tabela 3. Obciążenie Zbiornika Dobczyckiego ładunkiem fosforu ogólnego w okresie 2004–2005 na tle wartości ładunków dopuszczalnych i niebezpiecznych [gPm⁻² · rok⁻¹]

Table 3. The Dobczyce Reservoir loading with total phosphorus load in 2004–2005 against the background of permissible and dangerous loads [gPm⁻² · year⁻¹]

Rok hydrologiczny	Średni ładunek	Ł dop	Ł nieb
2004	4,03	0,10	0,20
2005	4,90		

WNIOSKI

1. Uzyskane wyniki badań obejmujące ładunki NH₄, NO₂, NO₃, PO₄ i P ogólnego wnoszonych do Zbiornika Dobczyckiego z wodą rzeki Raby wskazują na ich duże zróżnicowanie w wielkościach dobowych, w poszczególnych miesiącach, a także w analizowanych latach 2003–2005.

2. W analizowanych latach występuje także duże zróżnicowanie w wielkościach średnich dobowych ładunków. Były one najwyższe w 2005 roku w przypadku NO₃, NO₂ i P ogólnego, wynosząc odpowiednio 1394,51; 15,32; i 127,64 kg·d⁻¹, natomiast w przypadku NH₄ roku 2004, a PO₄ w 2003, przyjmując wartości 835,08 i 355,50 kg·d⁻¹.

3. Maksymalne dobowe ładunki wszystkich badanych biogenów wystąpiły w 2005 roku, natomiast minimalne NH₄, NO₃ i P ogólnego w 2003 roku, a PO₄ i NO₂ w 2004 roku.

4. Zależność wartości ładunku od objętości dopływu, dla pięciu analizowanych substancji zawartych w wodzie, opisano funkcją prostą. Parametry oceny jej dopasowania są wysokie, a uzyskany współczynnik korelacji waha się od 0,67 do 0,93 na poziomie istotności $\alpha = 0,05$.

5. Ładunek fosforu dopływający do zbiornika jest znacznie wyższy od ładunku dopuszczalnego, a także niebezpiecznego przekraczając je odpowiednio ponad 20-krotnie i 40-krotnie.

6. Ciągły dopływ do zbiornika biogenów z wodami rzeki Raby powoduje jego znaczne obciążenie sprzyjając procesom jego eutrofizacji, który powoduje określone skutki dla jakości wody ujmowanej dla potrzeb wodociągu krakowskiego.

BIBLIOGRAFIA

- Bajkiewicz-Grabowska E. *Obieg materii w systemach rzeczno-jeziornych*. Uniw. Warsz., Wydział Geografii i Studiów Regionalnych. Warszawa 2002.
- Bochnia T. *Ocena skażenia wody dla miasta Krakowa toksynami produkowanymi przez sinice*. Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska, AGH Kraków, 2001. Praca doktorska (maszynopis).
- Bombówna M. *Hydrochemiczna charakterystyka rzeki Raby i jej dopływów*. Acta Hydrobiol., 11, 1969, s. 479–504.
- Hermanowicz W., Dojlido J., Dożańska W., Koziorowski B., Zerbe J. Fizykochemiczne badania wody i ścieków. Wydawnictwo Arkady, Warszawa 1999.
- Kajak Z. *Hydrobiologia – limnologia*. Ekosystemy wód śródlądowych. PWN, Warszawa 1998.
- Kajak Z. *Hydrobiologia – limnologia*. Ekosystemy wód śródlądowych. PWN, Warszawa 2001.
- Krzanowski S., Spytek M., Wałęga A. *Ładunki wybranych związków biogenych wnoszone i wynoszone ze Zbiornika Dobczyckiego z wodami rzeki Raby w latach 1999–2002*. Inżynieria Rolnicza 3 (45), PAN Warszawa 2003, s. 207–219.
- Mazurkiewicz-Boroń G. 2000. *Charakterystyka zlewni zbiornika* [w:] Starmach J. i Mazurkiewicz-Boroń G. (red.) Zbiornik Dobczycki. Ekologia – eutrofizacja – ochrona. ZBW PAN, Kraków. s. 35–38.
- Mazurkiewicz-Boroń G. *Czynniki kształtujące procesy eutrofizacyjne w podgórskich zbiornikach zaporowych*. Supplementa ad Acta Hydrobiologia, 2 (2002), Kraków 2002, s. 1–68.
- Ozga-Zielińska M., Brzeziński J. *Hydrologia stosowana*. PWN, Warszawa 1997.
- Pasternak K. *Szkic geologiczno-gleboznawczy zlewni rzeki Raby*. Acta Hydrobiol., 11, 1969, s. 407–422.
- Pulikowski K. *Zanieczyszczenia obszarowe w małych zlewniach rolniczych*. ZN AR we Wrocławiu. Nr 479. Seria Rozprawy CCXI. Wrocław 2004.
- Punzet J. *Charakterystyka hydrologiczna rzeki Raby*. Acta Hydrobiol., 11, 1969, s. 423–513.
- Wróbel S. *Zbiornik zaporowy w Dobczycach i jego ochrona*. Zesz. Prob. Post. Nauk Roln., 235, 1980, s. 205–215.

Prof. dr hab. inż. Jan Pawełek
Akademia Rolnicza w Krakowie,
Katedra Zaopatrzenia Osiedli w Wodę i Kanalizacji,
30-059 Kraków, Al. Mickiewicza 24/28,
tel. (012) 632-57-88,
e-mail: rmpawele@cyf-kr.edu.pl

Recenzent: Prof. dr hab. Stanisław Węglarczyk

**BIOGENIC LOADS CARRIED BY THE RABA RIVER
INTO THE DOBCZYCE RESERVOIR IN 2002–2005**

SUMMARY

The Dobczyce Reservoir is especially important because it is a source of potable water for the inhabitants of Krakow. The source of the reservoir feeding is the Raba river, whose catchment still lacks properly managed sewage disposal, therefore the water inflowing to the reservoir contains pollutants which decide about the insufficient water quality in the reservoir and to a considerable degree also determine the processes occurring in it, including eutrophication and overgrowing. In the work analysed was the loading of the Dobczyce Reservoir with biogenic compound load carried by the waters of the Raba river. The analysis based on tests of the Raba water quality and the flow volume on the inflow to the reservoir in the Osieczany cross section. The tests covered the period from May 2003 until October 2005. Investigations of biogenic compounds concentrations were conducted with average frequency twice a month. Concentrations of NH_4 , NO_2 , NO_3 , PO_4 and total P were determined. The loads of individual biogens were computed for days, months and years of the analysed period. The obtained results point to a considerable diversification of mean daily values of loads in the analysed years. They were the highest in 2005 for NO_3 , NO_2 and total P, respectively: 1394.51, 15.32 and 127.64 $\text{kg} \cdot \text{d}^{-1}$, whereas in 2004 for NH_4 and in 2003 for PO_4 assuming values respectively 835.08 and 355.50 $\text{kg} \cdot \text{d}^{-1}$. The maximum daily loads of all researched biogens were registered in 2005, for NO_3 , NH_4 and total P on 19 March, whereas for NO_2 on 11 June and for PO_4 on 10 August. Minimum daily loads were noted in 2003 and 2004; in 2003 for NO_3 and total P on 1 and 2 September, and for NH_4 on 27–30 November. In 2004 the minimum daily loads of PO_4 were detected on 1, 2 and 12–14 November and NO_3 on 11 December. The amount of total phosphorus load carried in during the year was referred to the area of the reservoir water table and compared with the value of assumed permissible load ($01.0 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$) and dangerous load as stated by Kajak. The load inflowing to the reservoir exceeds the dangerous load more than twenty times and the permissible load over 40 times.

Key words: The Dobczyce Reservoir, the Raba river, biogens, loads, loading