

Wojciech Balcerzak  
Aleksandra Wisz

## ZAGROŻENIE EUTROFIZACJĄ WÓD ZBIORNIKA ZAPOROWEGO DOBCZYCE

Zbiornik zaporowy Dobczyce został wybudowany w latach 1984÷1987 jako główny rezerwuuar wody pitnej dla Krakowa i miejscowości położonych nad Rabą. Wielkość zlewni przylegającej bezpośrednio do zbiornika wynosi około 45 km<sup>2</sup>, natomiast powierzchnia całej zlewni do przekroju zapory wynosi 691 km<sup>2</sup>, w tym lasy stanowią 34%, zaś grunty orne 36%. Zbiornik w Dobczycach zasilany jest głównie wodami Raby wraz z jej dopływami, a także wodami dwóch większych potoków Wolnicy i Trzemeśnianki (łączącymi odpowiednio około 2% i 4% wód) oraz wodami pięciu małych cieków (ok. 2,5% wód). Czas wymiany całej objętości zbiornika przy przepływie średnim rocznym wynosi około 145 dni.

Głównymi źródłami zanieczyszczeń Raby zasilającej zbiornik są ścieki bytowo-gospodarcze i przemysłowe, ścieki z gospodarstw hodowlanych, spływy ze zlewni oraz substancje nawozowe wymywane i wypłukiwane z gleby. Raba jest niemal na całej swej długości odbiornikiem ścieków z okolicznych miast i wsi. W przeważającej części są to ścieki bytowo-gospodarcze, jedynie w przypadku większych miast, takich jak Mszana Dolna czy Myślenice, odprowadzane są do rzeki dodatkowo ścieki przemysłowe z małych zakładów i spółdzielni produkcyjnych.

### Ocena jakości wód dopływających do zbiornika

W okresie od marca do sierpnia 1988 r. przeprowadzono badania [1] składu fizyczno-chemicznego wód Raby w trzech profilach: Stróża, Osieczany i poniżej zbiornika w Dobczycach, a także wód potoków Wolnicy i Trzemeśnianki w pobliżu ujścia do zbiornika. Profile na Rabie ustalono powyżej (Stróża) i poniżej wylotu kolektora odprowadzającego ścieki oczyszczone z oczyszczalni w Myślenicach (Osieczany), aby określić wpływ ścieków na jakość wód Raby. Oczyszczalnia ta jest głównym elementem ochrony wód zbiornika w Dobczycach przed substancjami biogennymi. Ogółem poddano analizie fizyczno-chemicznej 110 próbek wody. Jako reprezentatywne wskaźniki w ocenie poziomu zanieczyszczenia przyjęto następujące oznaczenia:

**Zawiesina** — we wszystkich badanych przekrojach największy wzrost zawiesiny nastąpił w okresach opadów atmosferycznych, przy maksymalnych przepływach w rzece. Jest to zjawisko charakterystyczne dla fali powodziowej. W przekroju Osieczany największa jej wartość wynosiła 276 g/m<sup>3</sup>, a w Dobczycach 48 g/m<sup>3</sup>. Średnia wartość zawiesiny wahała się w zakresie od 7,0 w Dobczycach do 27,5 g/m<sup>3</sup> w Osieczanach. Poza okresami silnych wezbrań wody, ilości zawiesiny były niskie i z reguły bliskie zera.

**Utlenialność** — średnie wartości wynosiły od 4,0 w Osieczanach do 6,9 g O<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> w wodach Wolnicy. Wyższe były wartości zmian w zakresie stężeń maksymalnych: od 9,8 w Wolnicy do 16,5 g O<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> w Stróży.

**Azot azotanowy** — wykazywał nieznaczną zmienność w zakresie stężeń średnich od 1,6 w Wolnicy do 2,4 gN/m<sup>3</sup> w przekroju Stróży. Również wartości maksymalne nie wykazywały wyraźnego zróżnicowania i wahały się od 6,0 do 8,0 gN/m<sup>3</sup>. Najwięcej azotanów było w Rabie w okresie wiosennym (koniec marca, początek kwietnia).

**Azot amonowy** — występował w stężeniach poniżej 1,0 gN/m<sup>3</sup>, przy czym jego maksymalne stężenia wystąpiły w Osieczanach.

**Azot organiczny** — występował w stężeniach do 2,6 gN/m<sup>3</sup> w zakresie stężeń średnich. Maksymalne stężenia osiągane były w Osieczanach i wynosiły 5,18 gN/m<sup>3</sup>, a najniższe w Dobczycach poniżej zapory.

**Fosforany** — w zakresie wartości średnich ich zawartość w wodzie wahała się od 0,09 do 0,25 gPO<sub>4</sub><sup>3-</sup>/m<sup>3</sup>, przy czym niższe wartości notowano w Wolnicy. Maksymalne wartości fosforanów występowały poniżej wylotu ścieków z oczyszczalni w Myślenicach. Średnia wartość dla Stróży wynosiła 0,04 gPO<sub>4</sub><sup>3-</sup>/m<sup>3</sup>, a dla Osieczan 0,25 gPO<sub>4</sub><sup>3-</sup>/m<sup>3</sup>.

**Ogólny węgiel organiczny** — w zakresie wartości średnich wahał się od 6,1 do 9,0 gC/m<sup>3</sup> w Rabie i Trzemeśnianie, natomiast w Wolnicy wynosił 4,8 gC/m<sup>3</sup>. Zaobserwowano sporadyczne podwyższenie zawartości OWO w Rabie poniżej oczyszczalni w Myślenicach, maksymalnie do 28 gC/m<sup>3</sup>.

**Ekstrakt eterowy** — średnia zawartość w badanych próbkach wahała się od 0,4 g/m<sup>3</sup> w Trzemeśnianie do 2,0 g/m<sup>3</sup> w Rabie poniżej zapory w Dobczycach.

**Detergenty anionowe i niejonowe** — detergenty anionowe występowały w ilościach niewielkich; stężenie maksymalnie wynosiło 0,023 g/m<sup>3</sup>, a wartości średnie wahały się od 0,01 do 0,02 g/m<sup>3</sup>. Natomiast średnie stężenie detergentów niejonowych wynosiło około 2,5 g/m<sup>3</sup>, tak w Rabie jak i w Trzemeśnianie i Wolnicy.

Z badanych trzech profili na Rabie: Stróża, Osieczany i Dobczyce, największym zanieczyszczeniem charakteryzował się profil w Osieczanach, tj. poniżej wylotu ścieków z oczyszczalni w Myślenicach. Ani jedna badana próbka wody pobrana w tym przekroju nie mieściła się w I klasie czystości. Na podstawie badań wód Wolnicy i Trzemeśnianki można stwierdzić, że bardziej zanieczyszczone wody

proceedzi Trzemeśnianka. I w tym przypadku żadna z analizowanych próbek wody nie mieściła się w I klasie czystości, a tylko 5 na 21 mogły być zaliczone do II klasy.

W wyniku dokonanej oceny należy stwierdzić, że obniżenie klasy czystości wód było powodowane występowaniem ponadnormatywnych wartości stężeń przede wszystkim takich wskaźników zanieczyszczeń jak: azot organiczny, azot azotanowy, pH i zawiesina oraz w mniejszym stopniu mangan, utlenialność, fosforany i siarczany.

### Ocena jakości wody retencjonowanej w zbiorniku

Woda w zbiorniku badana była w cyklu rocznym z częstotliwością raz w miesiącu [1]. Badania obejmowały analizy próbek wody z różnych głębokości, z trzech stałych przekrojów zbiornika: w strefie zasilania (0,5÷1,0 m, 2÷3 m, 4÷7,5 m), w środkowej części zbiornika (1÷5 m, 4÷6 m, 7÷12 m) oraz w pobliżu zapory (0÷5 m, 7,5÷10 m, 15÷21 m).

W strefie zasilania zbiornika pH wody utrzymywało się na stałym poziomie (śr. 8,2÷8,4). Wartości utlenialności, BZT<sub>5</sub> i tlenu rozpuszczonego minimalnie obniżały się w miarę wzrostu głębokości wody. ChZT praktycznie nie zmieniało się. Przyrost stężeń w pionie od powierzchni wody do warstwy naddennej wykazywał azot azotanowy — wartość minimalna wzrastała z 0,5 do 1,2 gN/m<sup>3</sup>, maksymalna z 2,0 do 3,1 gN/m<sup>3</sup>, średnia z 1,4 do 2,3 gN/m<sup>3</sup>. Podobnie kształtowała się zawartość azotu amonowego. Stężenie minimalne wzrastało z 0 gN/m<sup>3</sup> pod powierzchnią do 0,07 gN/m<sup>3</sup> w warstwie nad dnem zbiornika, natomiast stężenie maksymalne z 0,15 gN/m<sup>3</sup> do 0,83 gN/m<sup>3</sup>, zaś średnie od 0,16 do 0,51 gN/m<sup>3</sup>. Zawartość fosforanów i fosforu ogólnego była zróżnicowana niezależnie od głębokości. Najwyższe stężenie OWO występowało w środkowej warstwie wody. W warstwie naddennej jego zawartość wyraźnie malała. Zawartość chlorofilu malała wraz ze wzrostem głębokości wody.

W części środkowej zbiornika zarówno pH wody jak i utlenialność pozostawały bez zmian w poszczególnych warstwach wody. Niewielkiemu obniżeniu w miarę wzrostu głębokości ulegały ChZT, BZT<sub>5</sub> i zawartość tlenu rozpuszczonego. Najniższe wartości stężeń azotu azotanowego, amonowego i organicznego oraz fosforanów i fosforu ogólnego występowały w środkowej części badanego profilu, na głębokości pomiędzy 4 a 6 m. W warstwie podpowierzchniowej i naddennej ich stężenia były nieco wyższe. Zawartość OWO była wyrównana na poszczególnych głębokościach zbiornika. Zawartość chlorofilu kształtowała się nietypowo: najwyższe stężenia występowały w środkowej warstwie wody, nieco niższe pod powierzchnią i nad dnem zbiornika.

W strefie zbiornika w pobliżu zapory pH wody, utlenialność i ChZT pozostawały na zbliżonym poziomie, niezależnie od głębokości wody. Malało nieznacznie średnie stężenie BZT<sub>5</sub> z 2,4 do 2,2 gO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> natomiast

maksymalne z 5,2 do 3,8 gO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>. Malała także zawartość tlenu rozpuszczonego ze stężenia średniego 10,2 gO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> w warstwie pod powierzchnią wody do 5,1 gO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> nad dnem. Nie zaznaczały się zmiany w stężeniu azotu azotanowego i organicznego na poszczególnych głębokościach. W przypadku azotu amonowego, fosforanów i fosforu ogólnego, stwierdzono pewien niewielki przyrost stężeń w głębszych warstwach wody. Podobnie, w bardzo niewielkim stopniu wzrastała zawartość OWO, zaś stężenie chlorofilu wyraźnie malało wraz z głębokością.

### Bilans ładunków związków biogennych

Ładunek związków biogennych jest sumą ładunków wprowadzanych do zbiornika wraz z wodami Raby, dwóch potoków Trzemeśnianki i Wolnicy oraz pięciu innych małych cieków. Ładunek fosforu ogólnego wynosił 220,4 tP<sub>og</sub>/a, natomiast ładunek azotu ogólnego wynosił 1511,9 tN<sub>og</sub>/a.

Ładunek związków biogennych odprowadzany ze zbiornika jest sumą ładunku odprowadzanego w wodzie odpływającej poniżej zapory (odpowiednio: 98 tP<sub>og</sub>/a i 1015,6 tN<sub>og</sub>/a) oraz ładunku odprowadzanego wraz z wodą ujmowaną przez zakład wodociagowy (odpowiednio: 23,7 tP<sub>og</sub>/a i 198,2 tN<sub>og</sub>/a).

Zatem sumaryczny ładunek fosforu ogólnego wynosił 121,7 tP<sub>og</sub>/a, zaś sumaryczny ładunek azotu ogólnego wynosił 1213,8 tN<sub>og</sub>/a. Wynika stąd, że ładunek związków biogennych zatrzymany w zbiorniku wynosi:

- dla fosforu ogólnego: 98,7 tP<sub>og</sub>/a,
- dla azotu ogólnego: 298,7 tN<sub>og</sub>/a,

zatem obciążenie powierzchni zbiornika związkami biogennymi wynosi:

- dla fosforu ogólnego: 11 gP<sub>og</sub>/m<sup>2</sup>a,
- dla azotu ogólnego: 32 gN<sub>og</sub>/m<sup>2</sup>a.

Krytyczne wartości obciążenia powierzchni zbiornika związkami biogennymi wynoszą wg [2, 4]:

- dla fosforu ogólnego: 0,2÷0,5 gP<sub>og</sub>/m<sup>2</sup>a,
- dla azotu ogólnego: 5÷10 gN<sub>og</sub>/m<sup>2</sup>a.

Można więc stwierdzić, że w zbiorniku zaporowym występuje wielokrotne przekroczenie wielkości krytycznych zarówno w przypadku fosforu ogólnego (20÷50 krotne) jak i azotu ogólnego (3÷5 krotne).

### Ochrona zbiornika przed eutrofizacją

Badania przeprowadzone przed powstaniem zbiornika Dobczyce jak i po jego włączeniu do eksploatacji potwierdziły obecność związków biogennych i zagrożenie silną eutrofizacją wód zbiornika. Obecne obciążenie zbiornika ładunkiem fosforu, który jest czynnikiem limitującym intensywny rozwój fitoplanktonu [2] i występowanie tzw. zakwitów, przekracza wielokrotnie dopuszczalne normy. Jedną z metod ograniczania dopływu fosforu jest budowa niewielkiego zbiornika, tzw. przedzbiornika wstępnego, o kilkudniowym okresie wymiany wody, w którym fosfor zużyty przez bakterie i fitoplankton

pozostawałby w nim lub też w górnej części zbiornika głównego. Rozwiązania tego typu dają w praktyce 50÷60% usuwania związków fosforu. Ze względu na trudności w budowie przedzbiornika z powodu podtapiania terenów zabudowanych, należałoby rozpatrzyć możliwość zagospodarowania górnej strefy zbiornika.

Badania wykazały, że podstawowym źródłem fosforanów są ośrodki miejskie. Ponieważ wody zbiornika chronione są praktycznie przez oczyszczalnię ścieków w Myślenicach, należy zatem rozbudować ją o procesy i urządzenia do III stopnia oczyszczania ścieków (usuwanie związków fosforu). Wskazana także jest budowa oczyszczalni ścieków dla pozostałych ośrodków miejskich zlokalizowanych w zlewni Raby oraz uporządkowanie gospodarki wodno-ściekowej w całej zlewni zbiornika. Dla wsi o zabudowie rozproszonej należy zaprojektować i wykonać krótkie odcinki kanalizacji zakończone np. osadnikami gnilnymi lub osadnikami Imhoffa.

W przypadku niemożności rozbudowy III stopnia oczyszczania ścieków najskuteczniejszą metodą ochrony zbiornika byłaby budowa kanałów lateralnych, którymi wody ze strumieni, potoków, sieci drenażowych oraz oczyszczone ścieki mogły być odprowadzane do Raby poniżej zbiornika. Należy także dążyć do zmiany struktury użytkowania ziemi w zlewni Raby, np. zmniejszyć powierzchnię gruntów ornych na korzyść użytków zielonych. Ponadto jakość wody bezpośrednio w zbiorniku można regulować poprzez odprowadzanie wody upustami dennymi w celu usunięcia wód odtlenionych i bogatych w związki fosforu oraz przez prowadzenie racjonalnej gospodarki rybackiej, odgrywającej bardzo ważną rolę w sieci troficznej ekosystemu zbiornika.

Bez podjęcia natychmiastowych kroków dla ratowania wód zbiornika Dobczyce istnieje niebezpieczeństwo, iż ten rezerwuuar wody pitnej dla Krakowa stanie się zbiornikiem ścieków, absolutnie nie nadających się do produkcji wody pitnej, a więc przestanie spełniać zadanie, które było głównym celem jego budowy.

## Wnioski

1. Wody Raby i jej dopływów powinny odpowiadać I klasie czystości. Obecnie jedynie 3% badanych wód spełniało to wymaganie, przy czym jedną z głównych przyczyn obniżenia jakości wody jest nadmiar substancji biogenych.
2. W badaniach stwierdzono, że czynnikiem limitującym rozwój glonów w zbiorniku jest fosfor. Jest to o tyle korzystne, że fosfor jest stosunkowo łatwy do usunięcia, a jego źródła są łatwe do wykrycia.
3. Ilość związków biogenych zatrzymywanych w zbiorniku pozwala na stwierdzenie, że jakość jego wód ulega katastrofalnemu pogorszeniu. Obciążenie powierzchni zbiornika ładunkiem związków biogenych wielokrotnie przekracza wartości normowane dla tego typu zbiorników.
4. W celu ograniczenia dopływu do zbiornika substancji biogenych, a zwłaszcza związków fosforu, należy uporządkować gospodarkę ściekową w zlewni zbiornika.

## LITERATURA

1. **Praca zbiorowa:** Zagrożenie i zasady ochrony wód zbiornika Dobczyce w zakresie związków biogenych azotu, fosforu i węgla. Inst. Inż. San. i Ochr. Środow. Pol. Krak., Kraków 1988 (maszynopis).
2. R. A. VOLLENWEIDER: Water management research. Scientific fundamentals of the eutrophication of lakes and flowing water, with particular reference to nitrogen and phosphorus as factors in eutrophication. DAS (CSI) Paris.
3. Z. KAJAK: Eutrofizacja jezior. PWN, Warszawa 1979.
4. **Praca zbiorowa:** Studium ochrony przed zanieczyszczeniem wód zbiornika Świnna Poręba. Hydroprojekt, Kraków 1977 (maszynopis).

## EXPOSURE OF THE DOBCZYCE IMPOUNDMENT LAKE TO EUTROPHICATION HAZARDS

The quality of the Raba River water upstream and downstream of the Dobczyce reservoir is characterized. Determined are also the pollution loads carried by a number of other streams entering the reservoir. The investigations also include water quality analysis of the impoundment

lake. Observations and measurements are carried out in three characteristic cross-sections — in the feeding zone, in the central part of the reservoir and in the vicinity of the dam (intake of municipal water supply for the city of Cracow). The balance of the nutrients retained in the reservoir substantiates the eutrophication hazards to which the impoundment lake is exposed. Measures of eutrophication control are proposed.