

Izabela Zimoch

Symulacja wpływu oczyszczalni ścieków w Myślenicach na eutrofizację wód zbiornika „Dobczyce”

Kraków ma pięć niezależnych układów zasilania w wodę, pracujących w oparciu o wody Raby, Rudawy, Dłubni i Sanki oraz wody gruntowe ujmowane w Mistrzejowicach. Zdecydowanie największym dostawcą wody do miasta jest ujęcie ze zbiornika „Dobczyce” na Rabisie, które zapewnia 52% średniego dobowego zapotrzebowania na wodę w mieście, przy czym w sytuacjach ekstremalnych ujęcie to może zaspokoić prawie 70% potrzeb miasta. Z przyczyn oczywistych układ zasilania w wodę ze zbiornika zaporowego w Dobczycach, ze względu na swoją funkcję, powinien być wysoce niezawodny. Niezawodność tę w dużym stopniu może zapewnić bezawaryjna praca zarówno ujęcia, jak i stacji uzdatniania wody w Dobczycach, uzależniona od jakości wody w zbiorniku. Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa (Dz. U. nr 116, poz. 503) wody w zbiorniku, ze względu na jego funkcję, powinny należeć do I klasy czystości. Ten podstawowy wymóg często nie jest jednak spełniony, ze względu na pojawiające się okresowo silne zakwity obniżające jakość ujmowanej wody.

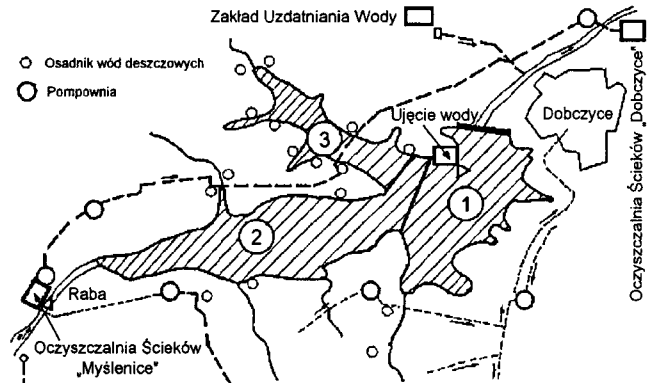
W niniejszej pracy podano charakterystykę głównych źródeł zanieczyszczeń oraz dokonano oceny obecnego stanu czystości wód zbiornika „Dobczyce”. Ponadto, w oparciu o amerykański program WASP4, przeprowadzono symulację przebiegu procesu eutrofizacji wód zbiornika dobczyckiego na skutek awarii oczyszczalni ścieków w Myślenicach.

Charakterystyka zlewni i zbiornika „Dobczyce”

Zbiornik w Dobczycach powstał w latach 1984–1987 w wyniku budowy zapory czołowej w 60,1 km biegu Raby. Zbiornik ten jest rezerwuarem wody dla Krakowa i pokrywa potrzeby wodne miasta w ilości $3,5 \text{ m}^3/\text{s}$ z gwarancją dostawy i dodatkowo $2,0 \text{ m}^3/\text{s}$ bez gwarancji. Ponadto zbiornik zapewnia:

- pobór wody przez użytkowników położonych poniżej zapory w ilości $0,55 \text{ m}^3/\text{s}$,
- przepływ biologiczny w Rabisie w ilości $1,25 \text{ m}^3/\text{s}$,
- pokrycie potrzeb gospodarki rybackiej, tj. zrzut wody przez przepławkę, w okresie od 15 marca do 30 listopada, w ilości $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$,
- wykorzystanie energetyczne wszelkich nadwyżek wody w elektrowni o mocy 2,5 MW (średnia produkcja roczna 6,78 GWh) w ilości $1,25+12,6 \text{ m}^3/\text{s}$,
- ochronę przeciwpowodziową, poprzez łagodzenie wzbrań przekraczających przepływ $300 \text{ m}^3/\text{s}$ [1].

Pod względem morfologicznym zbiornik „Dobczyce” składa się z trzech zasadniczych części (rys.1.):



Figs. 1. Zbiornik Dobczyce
(1 – Basen Dobczycki, 2 – Basen Myślenicki, 3 – Zatoka Wolnicy)

– Basenu Dobczyckiego (1), usytuowanego w pobliżu zapory, stanowiącego najgłębszą część zbiornika; pod względem hydrobiologicznym podobny jest on do jeziora; na lewym brzegu basenu usytuowane jest ujęcie wieżowe wody dla Krakowa oraz wybudowano tu sztolnię, u podnóża Góry Zamkowej w masywie skalnym prawego przyczółka zapory, która doprowadza wodę do elektrowni wodnej; do basenu dopływa potok Brzezówka,

– Basenu Myślenickiego (2) wraz z cofką, który stanowi najbardziej rozległą część zbiornika; uchodzą tu potoki Dębny, Ratanica, Bulinka i Trzemeśnianka,

– Zatoki Wolnicy (3), która ma charakter stawowy o niewielkiej głębokości; jest doskonałym miejscem zamieszkania ptactwa wodnego oraz tarła niektórych ryb; do zatoki tej dopływają potoki Wolnica i Zakliczanka [2].

Zbiornik dobczycki zasilany jest głównie wodami Raby (88,6% całkowitego dopływu) oraz wodami ośmiu mniejszych potoków (8,8% całkowitego dopływu), pozostała część (2,6%) całkowitego dopływu pochodzi z opadów atmosferycznych. Zlewnia zbiornika „Dobczyce” obejmuje górną i środkową część zlewni Raby o powierzchni około 770 km^2 , w tym zlewnia bezpośrednia stanowi 72 km^2 . Zlewnia Raby do przekroju w Dobczycach położona jest w obrębie województwa małopolskiego. Występuje tu 15 gmin skupiających 60 wsi. Do znaczących źródeł zanieczyszczeń zbiornika dobczyckiego należą:

- dopływy Raby, będącej niemal na całej długości odbiornikiem ścieków z okolicznych miast i wsi,
- ścieki komunalne z oczyszczalni ścieków w Myślenicach, Mszanie Dolnej i Rabce,
- dopływy większych potoków, jak Trzemeśnianka, Bulinka i Wolnica,

- spływy wód deszczowych z terenów zabudowanych miast i wsi oraz dróg, przede wszystkim zanieczyszczenia silnie obciążonej ruchem drogi Kraków–Zakopane,
- zanieczyszczenia obszarowe pochodzenia rolniczego, związane z hodowlą zwierząt i nawożeniem mineralnym,
- erozja terenów zlewni,
- zanieczyszczenia pochodzenia atmosferycznego,
- zanieczyszczenia z weekendowej masowej rekreacji wzdłuż doliny Raby,
- odcieki z wysypisk odpadów zlokalizowanych w gminach Mszana Dolna, Niedźwiedź i Rabka,
- odpływy z rejonów dystrybucji nawozów i środków ochrony roślin,
- odpływy ze stacji benzynowych,
- spływy ropopochodnych oraz związków chemicznych spowodowane katastrofami środków transportu [3].

Bezpośrednim zagrożeniem czystości wód zbiornika są ścieki odpływające z oczyszczalni ścieków w Myślenicach, zlokalizowanej w odległości 10 km od ujęcia wody w Dobzyczach na lewym brzegu Raby. Ładunek zanieczyszczeń w ściekach oczyszczonych wynosi średnio:

- azot amonowy: 73 kgN/d,
- fosforany: 23 kgP/d,
- zawiesiny: 71 kg/d,
- utlenialność: 163 kgO₂/d,
- BZT₅: 48 kgO₂/d.

Dotychczasowe badania jakości wody pobieranej w profilu rzutu ścieków wykazały, że nie mieści się ona w pierwszej klasie czystości. Obniżenie klasy czystości wód jest spowodowane występowaniem ponadnormatywnych stężeń takich wskaźników, jak azot organiczny, azot amonowy, pH, zawiesiny, fosforany oraz w mniejszym stopniu mangan, utlenialność i siarczany. Wody Raby (tab.1) wprowadzają 86% azotu mineralnego oraz 95% fosforu do zbiornika spośród wszystkich źródeł zanieczyszczających. Ładunek azotu mineralnego wynosi średnio 206 tN/a, w tym 112 tN/a stanowi azot azotanowy, 89 tN/a to azot amonowy i jedynie 5 tN/a to udział azotu azotynowego. Są więc one zdecydowanie największym nośnikiem zanieczyszczeń [3].

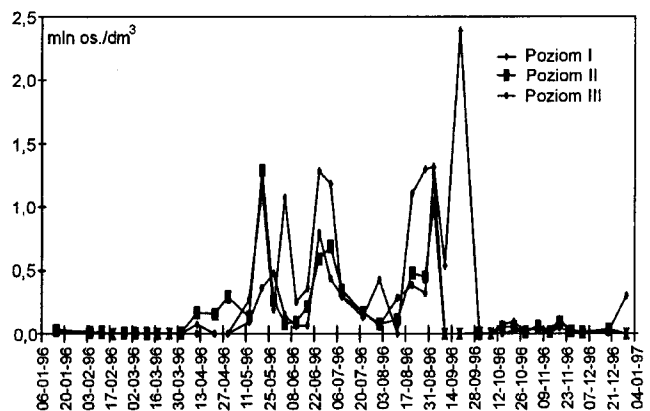
Zbiornik dobzyczycki jest typowym zbiornikiem strefy umiarkowanej, w którym dwa razy w roku następuje mieszanie się mas wodnych. Czas wymiany całej objętości zbiornika, przy przepływie średnim rocznym, wynosi około 100 dób.

Tabela 1. Ładunki azotu i fosforu mineralnego w dopływach do zbiornika „Dobzycze” [3]

Dopływ	Przepływ %	Ładunek azotu kgN/a	Ładunek azotu %	Ładunek fosforu kgP/a	Ładunek fosforu %
Brzeźówka	0,62	1793,9	0,75	71,3	0,35
Ratanica	0,31	673,9	0,28	15,1	0,08
Trzemeszianka	3,19	6106,7	2,55	170,4	0,84
Bulinka	0,89	2215,5	0,93	96,7	0,48
Raba	88,63	205847,3	86,02	19243,6	95,11
Dębnik	0,48	842,1	0,35	17,8	0,09
Zakliczanka	0,40	1693,7	0,71	36,6	0,18
Wolnica	0,80	3241,7	1,35	115,8	0,57
Dopływy liniowe	2,12	6410,2	2,68	184,5	0,91
Zanieczyszczenia atmosferyczne	2,56	10466,4	4,37	281,7	1,39
Suma	100	239291,4	100	20233,5	100

Pomiędzy wiosenną i jesienną homotermią trwa okres wegetacyjny, w którym zakumulowane w ciągu zimy składniki mineralne wbudowywane są w materię organiczną, fitoplankton i zooplankton, powodując występowanie silnych zakwitów zbiornika, będących skutkiem rozwiniętego zjawiska eutrofizacji. Badania prowadzone jeszcze w fazie projektowania zbiornika i w pierwszych latach jego eksploatacji wskazywały na zagrożenie jego wód silną eutrofizacją, wywołaną nadmiernym obciążeniem zbiornika substancjami biogennymi. Jest on układem niestabilnym i niejednorodnym. Jego wody ulegają charakterystycznym zmianom ilościowym i jakościowym. Wskaźnikami najczęściej obniżającymi sezonową klasę jakości wód są fosfor ogólny, chlorofil oraz deficyt tlenu. Proces eutrofizacji jest tu już faktem i w okresach sprzyjających przyjmuje postać silnych zakwitów wody.

W fitoplanktonie zbiornika stwierdzono dotychczas 191 gatunków glonów, głównie sinic, okrzemek, zielenic i kryptofitów. Charakterystyczna jest tu sezonowość występowania poszczególnych grup glonów w ciągu roku. Rozwój glonów w sezonie zimowym jest tu raczej słaby, a zawartość chlorofilu oscyluje wtedy w granicach I klasy czystości. Przeważają w tym okresie w biomacie fitoplanktonu okrzemki z rodzaju *Cyclotella* oraz takie gatunki jak *Stephanodiscus hantzschii* oraz *Stephanodiscus astrea*. W zimie w mniejszych ilościach występują zielenice. Na wiosnę, na skutek mieszania się wody, gdy jej temperatura jest jeszcze stosunkowo niska, a promieniowanie słoneczne staje się coraz intensywniejsze oraz stężenie składników pokarmowych w wyniku zimowej kumulacji jest duże, zaczynają masowo rozwijać się okrzemki. Zakwity te tworzą najczęściej okrzemki *Asterionella formosa* i *Cyclotella sp.*, *Stephanodiscus hantzschii*. Na przełomie maja i czerwca pojawiają się również zielenice z rodzaju *Chlamydomonas*. Podczas zakwitów wiosennych liczebność glonów przekroczyła 4000 kom./cm³. Masowe zakwity okrzemek nie są jednak tak uciążliwe jak sinic, gdyż glony te, ze względu na niewielkie rozmiary, są skutecznie eliminowane z toni wodnej przez plankton zwierzęcy. Wczesną wiosną przewagę wśród organizmów obejmują zielenice z rodzaju *Coelastrum*, *Tetraedron*, *Scenedesmus*. Późnym latem lub wczesną jesienią zaczynają swój bujny rozwój sinice. Dominującym gatunkiem w zbiorniku dobzyczyckim są wtedy *Microcystis aeruginosa* i *Woronischiana naegeliana* oraz sinice z rodzaju *Gomphosphaeria*. Te gatunki sinic intensywnie rozwijają się w ciągu całej jesieni. W tym okresie nieco mniejszą liczebność osiągają okrzemki z rodzaju *Cyclotella* oraz zielenice z rzędu *Volvocales* i *Chlorococcales* (listopad). Na rysunku 2 przedstawiono zmienność rozwoju fitoplanktonu w 1996 roku w Basenie Dobzyczyckim w przekroju ujęcia wody na trzech poziomach pracy ujęcia.



Rys. 2. Rozwój fitoplanktonu w Basenie Dobzyczyckim w 1996 r.

Obszar intensywnego rozwoju mikroorganizmów w zbiorniku obejmuje średnio 50% jego całkowitej objętości. Strefa fotyczna, w której następuje intensywny rozwój fitoplanktonu waha się od 2 m głębokości w cofce zbiornika aż do 10 m w Basenie Dobczyckim. W okresie wegetacyjnym (maj–lipiec) obserwuje się w zbiorniku wzrost pH wody nawet do 9,0, jak również spadek zawartości tlenu aż do kilku procent w całym hypolimnionie, co jest charakterystycznym zjawiskiem w zbiornikach eutroficznych. Skutkami zakwitów wód zbiornika są utrudnienia eksploatacyjne zakładu uzdatniania wody, przejawiające się zwiększeniem częstotliwości płukania filtrów. Ponadto taki stan powoduje wzrost zagrożenia skażenia wody substancjami toksycznymi produkowanymi przez niektóre gatunki glonów zasiedlających zbiornik dobczycki. W stanie najkorzystniejszym, ze względu na swoją funkcję, zbiornik znajduje się przez 2/5 roku, a przez pozostałą część roku mają miejsce warunki sprzyjające eutrofizacji [3].

Symulacja eutrofizacji w zbiorniku „Dobczyce”

Do symulacji przebiegu zjawiska eutrofizacji oraz zmian jakości wód zbiornika „Dobczyce”, wywołanych skutkami awarii oczyszczalni ścieków w Myślenicach, zastosowano program komputerowy WASP4 (*Water Quality Analysis Simulation Program*), który w wersji podstawowej został opracowany przez Agencję Ochrony Środowiska Stanów Zjednoczonych [4]. Służy on do modelowania transportu i przemian zanieczyszczeń w wodach powierzchniowych. WASP4 jest wieloclonowym pakietem komputerowym. Podprogram EUTRO4 pakietu WASP4 pozwala prognozować przebieg zjawiska eutrofizacji wód poprzez rozwiązywanie zagadnień dynamiki tlenu rozpuszczonego, biochemicznego zapotrzebowania na tlen, stężenia substancji biogenych oraz liczebności fitoplanktonu w toni wodnej [4].

Symulacja procesu zmian jakości wody i eutrofizacji oparta jest na rozwiązywaniu równań uwzględniających zasadę zachowania masy. Programy WASP4 badają wartości parametrów mających wpływ na przebieg procesu w czasie i przestrzeni, od punktu dopływu aż do punktu ujścia zanieczyszczenia. Model uwzględnia wszystkie możliwe sposoby wymiany masy, jak transport adwekcyjny i dyspersyjny, dopływ i odpływ ładunków poza badany układ, przemiany fizyczne, chemiczne i biologiczne w modelowanym układzie. Modelowane środowisko jest dzielone na segmenty w przestrzennym układzie współrzędnych, reprezentujące jego fizyczną konfigurację. Po wprowadzeniu przez użytkownika danych obejmujących między innymi podział modelu na segmenty, parametry transportu adwekcyjnego i dyspersyjnego, źródła zanieczyszczeń punktowych i obszarowych, parametry kinetyczne, stężenia początkowe parametrów charakteryzujących procesy przemian środowiska, program EUTRO rozwiązuje zadany mu problem z różniczkowego równania bilansu masy [4]:

$$\begin{aligned} \frac{\partial C}{\partial t} = & -\frac{\partial}{\partial x}(U_x C) - \frac{\partial}{\partial y}(U_y C) - \frac{\partial}{\partial z}(U_z C) \\ & + \frac{\partial}{\partial x}\left(E_x \frac{\partial C}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(E_y \frac{\partial C}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(E_z \frac{\partial C}{\partial z}\right) \\ & + S_L + S_B + S_K \end{aligned} \quad (1)$$

w którym:

C – stężenie składnika jakości wody, g/m³

t – czas symulacji, d

U_x, U_y, U_z – wzdłużna, poprzeczna i pionowa prędkość adwekcji, m/d

E_x, E_y, E_z – wzdłużny, poprzeczny i pionowy współczynnik dyspersji, m²/d

S_L, S_B, S_K – bezpośredni i dyfuzyjny ładunek zanieczyszczeń zewnętrznych, ładunek wymieniany pomiędzy segmentami w wyniku dyspersji podłużnej, ładunek zanieczyszczeń wywołany przemianami kinetycznymi (wszystkie ładunki odniesione do objętości i-tego segmentu modelu), g/m³d

Ze względu na złożoność modelu i wymaganie zbieżności numerycznej podczas rozwiązywania równania bilansu mas, w symulacji przebiegu procesu eutrofizacji wód zbiornika dobczyckiego przyjęto model przestrzenny składający się z 11 segmentów obejmujących epilimnion, hypolimnion i segmenty typu osadowego. Symulację rozpoczęto bazując na pomiarach poszczególnych parametrów z 31 grudnia 1994 r. i przeprowadzono do końca 2015 r., uzyskując dobową zmienność populacji fitoplanktonu, wyrażoną stężeniem chlorofilu „a” w wodzie, oraz dobową zmienność zjawisk fizykochemicznych w toni wodnej zbiornika. W modelu założono przepływy adwekcyjne pomiędzy segmentami i dyspersyjne mieszanie w słupie wody. W obliczeniach przyjęto średni przepływ Raby w wysokości 10,6 m³/s (przepływ średni z wielolecia). Ponadto założono, iż zbiornik jest obciążony ładunkiem punktowym zanieczyszczeń pochodzącym z Miejskiej Oczyszczalni Ścieków w Myślenicach. Zmienność dopływających ładunków związków biogenych scharakteryzowano za pomocą łamanych funkcji dopływu zanieczyszczeń zawierających – w oparciu o dane z 1994 r. – średnie wartości ładunku dobowego w kolejnych miesiącach roku.

Wpływ czynników klimatycznych, kształtujących przebieg zjawiska eutrofizacji wód, obejmujących temperaturę, nasłonecznienie, procent światła dziennego w dobie i wiatr, uwzględniono w obliczeniach w oparciu o dane IMGW – Samodzielna Pracownia Technicznej Kontroli Zapór w Dobczycach.

Symulacji dokonano dla przypadków obejmujących:

- wpływ awarii oczyszczalni w Myślenicach na przebieg intensywności zakwitów glonów,
- eliminację rzutu ścieków z oczyszczalni w Myślenicach poprzez ich przerzut do Raby poniżej zapory.

Wystąpienie awarii oczyszczalni ścieków w Myślenicach przyjęto w ósmym roku symulacji, w którym warunki pogodowe (wysoka temperatura) sprzyjają przebiegowi eutrofizacji. Założono, iż odprowadza ona wtedy do Raby, a w ten sposób do zbiornika, zwiększony ładunek zanieczyszczeń. Pośrednie symulacje (materiały archiwalne autora) wykazały, iż największe skutki tej awarii mają miejsce, gdy występuje ona na przełomie kwietnia i maja. Założono więc, iż awaria Miejskiej Oczyszczalni Ścieków w Myślenicach wystąpiła w 130 dobie ósmego roku symulacji, tj. 30 maja i trwała do 135 doby tego roku, tj. do 8 czerwca. W wyniku tej awarii zbiornik został obciążony średnim rocznym ładunkiem, który wystąpił w 1994 r., tj. ładunkiem azotu amonowego 107,8 kgN/d, azotu azotanowego 3,3 kgN/d, fosforanów 71,0 kgP/d oraz BZT₅ – 787,2 kgO₂/d [3].

W celu oceny wpływu skuteczności oczyszczania ścieków w myślenickiej oczyszczalni na jakość wód zbiornika w kolejnym przypadku obliczeniowym przyjęto, iż w wyniku awarii oczyszczalni zbiornik został obciążony maksymalnym zaobserwowanym ładunkiem fosforu w roku reprezentatywnym 1994. Pozostałe warunki symulacji przyjęto bez zmian. W wyniku

tej awarii zbiornik został obciążony następującymi ładunkami zanieczyszczeń: azot amonowy 107,8 kgN/d, azot azotanowy 3,3 kgN/d, fosforany 245,5 kgP/d oraz BZT₅ – 787,2 kgO₂/d [3].

W kolejnym przypadku obliczeniowym uwzględniono eliminację zrzutu ścieków do zbiornika. Założono, iż w pierwszym roku symulacji oczyszczalnia pracuje jeszcze w normalnym trybie. Od drugiego roku, w celu eliminacji największego źródła substancji biogenych, następuje przerzut oczyszczonych ścieków poniżej zapory do Raby. Tak dobrane przypadki obliczeniowe pozwoliły ocenić skutki procesu eutrofizacji wód zbiornika dobczyckiego w postaci silnych zakwitów glonów, w zależności od czynników zewnętrznych, takich jak temperatura oraz dopływający do zbiornika ładunek zanieczyszczeń, uzależniony przede wszystkim od stopnia oczyszczania ścieków w oczyszczalni ścieków w Myślenicach.

Wyniki symulacji i wnioski

◆ Ładunek substancji biogenych dopływający do zbiornika, a szczególnie fosforu, był istotnym parametrem wpływającym na przebieg i intensywność zakwitu glonów w zbiorniku.

◆ Skutkiem obciążenia zbiornika maksymalnym ładunkiem fosforanów, stanowiącym 1077% jego średniej wartości (drugi przypadek), był wzrost intensywności zakwitu fitoplanktonu o 23% w stosunku do przypadku bezawaryjnej pracy oczyszczalni. Czas tak intensywnego rozwoju fitoplanktonu wyniósł 44,2 d, w efekcie czego jakość wody w zbiorniku spadła do stanu dopuszczalnego, utrzymującego się przez czas 37,3 d, dla którego stężenie chlorofilu „a” w całym słupie wody przekroczyło wartość 20 µg/dm³. W pierwszym przypadku, gdy w wyniku awarii oczyszczalni ścieków zbiornik został obciążony ładunkiem stanowiącym 168% średniego ładunku fosforanów odprowadzonego z oczyszczalni, skutki awarii okazały się łagodniejsze, choć i tak bardzo uciążliwe. Maksymalne stężenie chlorofilu „a” osiągnęło wartość 41,1 µg/dm³, a dopuszczalny stan czystości wody w całym jej słupie utrzymał się przez 29,3 d, tj. o 6 d dłużej, niż podczas bezawaryjnej pracy oczyszczalni.

◆ Konsekwencje awarii oczyszczalni, w postaci pogorszenia jakości wody na ujęciu w Dobczycach, wynikłe z intensywnego rozwoju fitoplanktonu, widoczne były nie tylko w roku jej wystąpienia, ale utrzymywały się przez kilka kolejnych lat (7 lat dla drugiego przypadku obliczeniowego, 5 lat dla 1 przypadku). Skutkiem tego zdarzenia było wystąpienie dopuszczalnego stanu czystości wody, dla którego intensywność rozwoju fitoplanktonu przekroczyła wartość 3,5 mln org./cm³ na całej głębokości zbiornika. Stan taki utrzymywał się w czasie letnich zakwitów wód średnio przez dwa tygodnie.

◆ Eliminacja zrzutu ścieków z oczyszczalni w Myślenicach do zbiornika przyniosła wymierne efekty już w pierwszym roku w postaci poprawy jakości wody. Intensywność zakwitu zmalała w pierwszym roku aż o 42%, a w całym okresie symulacji na trzecim poziomie poboru wody jej jakość oceniono na bardzo dobrą (do 5 µg/dm³) lub dobrą (do 10 µg/dm³). W ósmym roku symulacji wielkość zakwitu zmalała aż o 56%, a w dwudziestym roku o 59%.

◆ Wyniki symulacji procesu eutrofizacji wód zbiornika dobczyckiego, w porównaniu z wartościami rzeczywistymi, wykazały znaczną zgodność, co pozwala zakładać, iż model WASP4 może być wykorzystany do opracowania długoterminowych prognoz zmian jakości wody również dla innych polskich zbiorników i jezior, a ponadto może być stosowany w monitoringu.

LITERATURA

1. Praca zbiorowa: Zlewnia Raby jako obszar alimentacji wód i zanieczyszczeń dla zbiornika retencyjnego w Dobczycach. Wyd. Politechniki Krakowskiej, monografia 145, Kraków 1993.
2. G. MAZURKIEWICZ: Zbiornik Dobczycki – źródło wody pitnej dla Krakowa. Aura, 1996, nr 8.
3. I. ZIMOCZ: Badania niezawodności systemu zaopatrzenia w wodę miasta Krakowa z uwzględnieniem procesu eutrofizacji zbiornika Dobczyckiego. Rozprawa doktorska, Kraków 1999.
4. R. B. Jr. AMBROSE: The water quality analysis simulation program WASP4. Environment Research Laboratory, EPA/600/3-87/039, Athens, Georgia 1988.

Simulating the Effect of the Sewage Treatment Plant in Myślenice on the Eutrophication of the Dobczyce Reservoir

There are five independent municipal water supply systems in Cracow. Four of them make use of riverine water intakes (on the Raba, Rudawa, the Dłubnia and the Sanka) and one draws underground water (Mistrzowice intake). Of these, the Dobczyce reservoir on the Rawa river is the main contributing source of the water supply system, covering 52% of the average daily demand. In extremities, the intake is able to cover 67.6% of the total demand. Because of its contribution, the water supply system which involves the Dobczyce intake must be of high reliability. In general, the supply system meets the reliability

requirement, owing to the failure-free operation of the intake and of the water treatment plant in Dobczyce. Yet, there is periodical blooming, which deteriorates the quality of the taken in water. In the present paper, the main pollution sources are characterized and the quality of the reservoir water is assessed. Making use of the American software WASP4, the eutrophication of the Dobczyce reservoir due to the maloperation of the Sewage Treatment Plant in Myślenice was simulated. The simulation made it possible to estimate the phenomena involved and to determine the adverse effects of water quality variations.