

Krzysztof Bartoszewski

## Wyznaczanie zasobów wodnych z uwzględnieniem ich jakości

Klasyczny bilans zasobów wód powierzchniowych, sporządzany jest zazwyczaj bez uwzględniania ich jakości. Bilans ten określa zasoby dyspozycyjne dla każdego przekroju, jak również pozwala na wyznaczenie prawdopodobieństwa pokrycia potrzeb wodnych użytkownika korzystającego z wody w danym przekroju. Nałożenie na dotychczasową metodykę określania zasobów wodnych także jakości ujmowanej wody, wnosi dodatkową i bardzo istotną informację o tych zasobach.

Można przyjąć, że jeżeli jakość wody nie będzie odpowiadała potrzebom użytkownika, to nie będzie on chciał tej wody ujmować lub ograniczy jej pobór. Uogólniając można stwierdzić, że przy uwzględnianiu jakości wody, zasoby (całkowite lub dyspozycyjne) będą mniejsze lub co najwyżej równe zasobom wyznaczonym w sposób klasyczny. Jakość wody wpływać będzie także na prawdopodobieństwo pokrycia potrzeb wodnych, które w okresach złej jakości wody będą również mniejsze lub równe zeru.

Jakość wody oraz jej przepływ w dowolnym przekroju są zmienne w czasie. Można zatem przyjąć, że jakość wody związana jest zarówno z jej przepływem jak i czasem. Znalazienie relacji pomiędzy tymi zmiennymi (przepływ, stężenie, czas) może być podstawą do sporządzania bilansów wodnogospodarczych z uwzględnieniem jakości wody. Nałożenie na klasyczne bilanse rzeczywistej jakości wody w odborniku oraz wymagań jakości wody ujmowanej przez użytkownika wnosi znacznie więcej informacji o zasobach, niż przyjęcie np. nieprzekraczania z góry określonej jakości (klasy czystości) wody w odborniku.

Uwzględnianie jakości wody w bilansach jest problemem nowym, wymagającym opracowań zarówno teoretycznych jak i metodologicznych.

W niniejszej pracy, z uwagi na istotne znaczenie w bilansie, podjęto problem określania zasobów wody z uwzględnieniem jej jakości, zarówno w dowolnym przekroju rzeki jak też w całej zlewni rzek.

### Koncepcja uwzględniania jakości wody w bilansie wód powierzchniowych

Bilansem wodnym jest bilans ilościowy wody (w  $m^3/s$ ), uwzględniający zapotrzebowanie wody przez użytkownika oraz zasoby dyspozycyjne. Bilans wody może być dodatni (zasoby większe od potrzeb), zerowy lub ujemny. Wielkością niezależną w bilansie wodnym są zasoby dyspozycyjne. Zasoby wód powierzchniowych mogą być określone:

- deterministycznie (np. roczne, miesięczne, dekadowe),
- stochastycznie (o określonym prawdopodobieństwie gwarancji).

Dyspozycyjne zasoby wód stanowią różnicę pomiędzy zasobami całkowitymi a zasobami nienaruszalnymi, wyznaczonymi wg różnych kryteriów (np. kryterium biologiczne, żeglugowe itp.). Zasoby wód (lub zasoby dyspozycyjne) określać można:

- dla dowolnego przekroju rzeki,
- dla całej długości rzeki,
- dla zlewni rzek.

Dla pojedynczego przekroju, zasoby wód lub dyspozycyjne zasoby wód są ograniczone, tj. posiadają ściśle określoną lecz zmienną w czasie wartość. Przy wielokrotnym użyciu wody i rozpatrywaniu nieskończonej wielkiej liczby przekrojów, dla całej długości rzek lub zlewni zasoby wód (całkowite lub dyspozycyjne) są teoretycznie nieograniczone. Przy skończonej (ograniczonej) liczbie przekrojów zasoby całej rzeki lub zlewni rzek są również ograniczone, tj. posiadają ściśle określoną wartość. Bilansowanie zasobów w całej zlewni ma zatem sens jedynie wtedy, gdy określi się liczbę rozpatrywanych w tej zlewni przekrojów.

Zasoby wód ( $Z$ ) bez uwzględniania jakości wyznacza się na podstawie danych hydrologicznych (rozwiązania klasyczne, powszechnie znane w gospodarce wodnej) lub też z uwzględnieniem jakości wód (rozwiązania nowe). W tym drugim przypadku do wyznaczania zasobów, oprócz danych hydrologicznych, niezbędne są dane dotyczące zmienności jakości wody (wiele wskaźników) w każdym rozpatrywanym przekroju rzeki. Dla zasobów wód z uwzględnieniem jakości proponuje się następującą definicję:

Przez zasoby wody z uwzględnieniem jej jakości rozumie się taką objętość wód ( $m^3/s$ ), którą można wykorzystać w określonym czasie i miejscu przy założeniu, że ujmowana woda zawierać będzie zanieczyszczenia w wielkości mniejszej od wymaganej przez jej użytkownika.

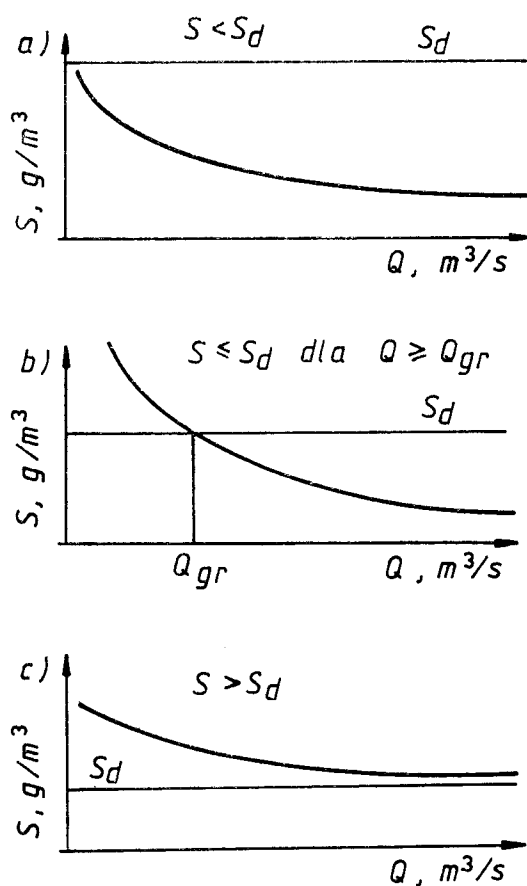
W ujęciu klasycznym (dla danego przekroju) zasoby wody są funkcją przepływu i czasu ( $Z = f(Q, t)$ ), natomiast przy uwzględnieniu jakości także i funkcją stężenia zanieczyszczeń ( $Z = f(Q, t, S)$ ).

Można założyć, że przy uwzględnianiu jakości wód dla dowolnego przekroju rzeki zasoby wód w szczególnych sytuacjach mogą być równe zeru. Ma to miejsce wtedy, gdy jakość ujmowanej wody nie odpowiada potrzebom (wymaganiom) użytkownika. Przy takim stanie zanieczyszczenia odbiornika zasoby całej rzeki (lub zlewni rzek) mogą być także równe zeru. Stąd też, przy uwzględnianiu jakości wód, zasoby całej rzeki lub zlewni rzek zawierać się będą w przedziale od zera (zła jakość wody) do nieskończoności (dobra jakość, wielokrotne użycie).

### Proponowany sposób wyznaczania zasobów z uwzględnieniem jakości wód

Poniżej zaproponowano oryginalną metodykę wyznaczania zasobów wodnych z uwzględnieniem jakości wód, na przykładzie wyznaczania zasobów dekadowych i rocznych (ujęcie deterministyczne) w dowolnym przekroju rzeki.

Przy wyznaczaniu zasobów z uwzględnieniem jakości wód konieczne jest określenie przez użytkownika stężenia dopuszczalnego ( $S_d$ ) jakie może wystąpić w ujmowanej wodzie. Przykładowo użytkownik może wymagać, aby zawartość chlorków w ujmowanej wodzie nie była nigdy większa niż np.  $200 \text{ g Cl}^-/m^3$ . W tym przypadku  $S_d = 200 \text{ g Cl}^-/m^3$ . W naszych warunkach można przyjąć, że wartości  $S_d$  określają np. klasy czystości wód. Oznaczając przez  $Z_d$  zasoby dyspozycyjne obliczane bez uwzględniania jakości oraz przez  $Z_d(S_d)$  — zasoby dyspozycyjne obliczane z uwzględnianiem jakości wód, w każdym przekroju rzeki teoretycznie wystąpić mogą trzy przypadki:



Rys. 1. Zależność stężenia zanieczyszczeń od natężenia przepływu

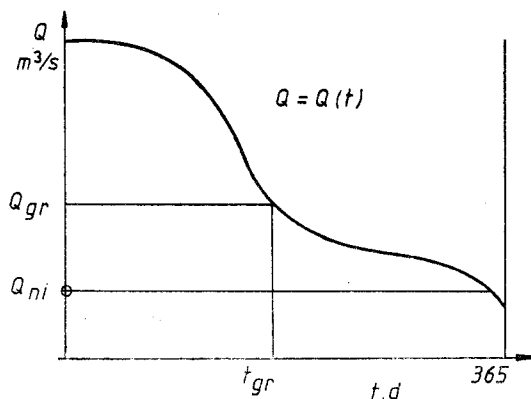
**Sytuacja 1** (rys. 1a): W całym rozpatrywanym okresie (roku) stężenia zanieczyszczeń w wodzie są zawsze mniejsze od stężenia dopuszczalnego, tj.  $S \leq S_d$ . W tym przypadku jakość wody nie ma żadnego wpływu na zasoby dyspozycyjne, co oznacza, że  $Z_d(S_d) = Z_d$  oraz  $Z_d > 0$ .

**Sytuacja 2** (rys. 1b): W rozpatrywanym okresie (roku) przez pewien czas ( $t_{gr}$ ) stężenia zanieczyszczeń w wodzie są mniejsze od  $S_d$ , a przez pozostały czas większe od  $S_d$ . W tym przypadku jakość wody wpływa na zasoby dyspozycyjne i  $Z_d(S_d) < Z_d$  oraz  $Z_d(S_d) > 0$ .

**Sytuacja 3** (rys. 1c): W rozpatrywanym okresie (roku) przez cały czas stężenia zanieczyszczeń w wodzie są zawsze większe od dopuszczalnego, tj.  $S > S_d$ . W tym przypadku użytkownik nie może (nie chce) pobierać wody ze względu na jej złą jakość. Oznacza to, że zasób dyspozycyjny równy jest zeru, tj.  $Z_d(S_d) = 0$  przy  $Z_d > 0$ .

Aby stwierdzić, czy stężenie  $S$  w rzece jest większe, równe lub mniejsze od  $S_d$ , w każdym przekroju dysponować należy zależnością pomiędzy stężeniem a przepływem i czasem, tj. zależnością typu  $S = f(Q, t)$ . Metodyka wyznaczania zależności  $S =$

$= f(Q, t)$  może być dowolna. Podkreślić jednak należy, że wyznaczenie tej funkcji jest problemem złożonym. Jako pierwsze przybliżenie w obliczeniach praktycznych wykorzystać można metodykę stosowaną w Monitoringu Jakości Wód [2].



Rys. 2. Krzywa sumy czasów trwania przepływu wraz z wyższymi

Do wyznaczenia zasobu dyspozycyjnego  $Z_d(S_d)$ , oprócz zależności  $S = f(Q, t)$  w rozpatrywanym przekroju, określona musi być wartość przepływu dekadowego lub krzywa sumy czasów trwania przepływu wraz z wyższymi (rys. 2). Taką krzywą sporządza się z danych hydrologicznych, tj. krzywej stanów i krzywej konsumcyjnej lub zbioru przepływów dobowych lub też zbioru przepływów dekadowych (mniejsza dokładność). Na podstawie tych danych zasób dyspozycyjny z uwzględnieniem jakości wód wyznaczany z krzywej sumowej dany jest równaniami:

— dla sytuacji 1:

$$Z_d(S_d) = Z_d = \int_0^{t_{gr}} [Q(t) - Q_{ni}] dt \quad (m^3/a) \quad (1)$$

— dla sytuacji 2:

$$Z_d(S_d) = \int_0^{t_{gr}} [Q(t) - Q_{ni}] dt \quad (m^3/a) \quad (2)$$

— dla sytuacji 3:

$$Z_d(S_d) = 0 \quad (3)$$

w których:

$Q(t)$  — dystrybuanta (krzywa sumowa) przepływu  $m^3/s$ ,

$Q_{ni}$  — przepływ nienaruszalny,  $m^3/s$ ,

Oprócz rocznego zasobu dyspozycyjnego, na podstawie tych samych danych określić można np. dekadowy zasób (przepływ) dyspozycyjny, który dany jest równaniami:

— dla sytuacji 1:

$$Q_d(S_d) = Q_d = Q_d(t) - Q_{ni} \quad (m^3/s) \quad (4)$$

— dla sytuacji 2:

$$Q_d(S_d) = \begin{cases} 0 & \text{dla } Q_d(t) \leq Q_{gr} \\ Q_d(t) - Q_{ni} & \text{dla } Q_d(t) > Q_{gr} \end{cases} \quad (5)$$

— dla sytuacji 3:

$$Q_d(S_d) = 0 \quad (6)$$

w których:

$Q_d(t)$  — przepływ dekadowy w okresie  $t$ ,  $m^3/s$ ,

$Q_{ni}$  — przepływ nienaruszalny,  $m^3/s$ .

Przedstawiona powyżej metodyka wyznaczania zasobu dyspozycyjnego z uwzględnieniem jakości wód  $Z_d(S_d)$  dotyczy jednego wskaźnika zanieczyszczeń. W rzeczywistości w każdym przekroju można dysponować pomiarami k wskaźników zanieczyszczenia oraz k zależnościami typu  $S = f(Q)$  lub  $S = f(Q, t)$ . Wyznaczając dla każdego wskaźnika zasób dyspozycyjny otrzymuje się zbiór k wartości  $Z_d(S_d)$ . Wartość minimalna  $Z_d(S_d)$  z tego zbioru określa miarodajną wartość zasobu dyspozycyjnego tego przekroju.

Korzystając z równań na dekadowe zasoby dyspozycyjne oraz z wymaganych przepływów przez użytkownika, na podstawie posiadanych wartości w rozpatrywanym przekroju określić można gwarancje czasowe pokrycia potrzeb wodnych. Postępując analogicznie dla wszystkich przekrojów w rzece poprzez sumowanie wyznacza się zasób dyspozycyjny (dekadowy, miesięczny, roczny) całej rzeki, tj.:

$$Z_d(S_d) \text{ rzeki} = \sum_{i=1}^n Z_d(S_d)_i \quad (7)$$

w którym:

$n$  — liczba przekrojów bilansowych w rzece.

Obliczenia wg równania (7) mają uzasadnienie jedynie wtedy, kiedy zakłada się możliwość wielokrotnego użycia wody z rzeki. Sumując dalej zasoby dyspozycyjne (równanie 7) wszystkich rozpatrywanych rzek w zlewni otrzymuje się zasoby dyspozycyjne całej zlewni (dekadowe, miesięczne i roczne). Należy podkreślić, co wynika jednoznacznie z równania (7), że zasoby dyspozycyjne lub zasoby całkowite są jednoznaczną funkcją liczby rozpatrywanych przekrojów ( $n$ ). Jeżeli  $n$  dąży do nieskończoności oraz  $Z_d(S_d) > 0$  to  $Z_d(S_d)$  rzeki też dąży do nieskończoności.

Przedstawiona metodyka obliczeń zasobów dyspozycyjnych lub zasobów ogólnych przekroju, rzeki oraz zlewni rzek z uwzględnieniem jakości dotyczy aktualnego stanu zanieczyszczenia rzek. Dla tych danych, bilansując potrzeby wodne wszystkich użytkowników w zlewni z zasobami dyspozycyjnymi zlewni, otrzymać można aktualny (dla istniejącego stanu zanieczyszczeń) bilans wodnogospodarczy. Jeżeli bilans ten (zwłaszcza roczny) jest ujemny, oznacza to następujące możliwości:

- stan zanieczyszczenia rzek w zlewni przekracza w większości przekrojów wymagana przez użytkownika jakość wody,
- potrzeby wodne użytkowników są zbyt duże,
- jakość wód jest zła i potrzeby użytkowników są zbyt duże.

Zmieniając w obliczeniach wartości  $S_d$  określić można jak wymagana przez użytkownika jakość ujmowanej wody wpływa na zasoby dyspozycyjne i bilans wodnogospodarczy rzeki lub całej zlewni.

Proponowana metodyka uwzględniania jakości wody pozwala także na wyznaczenie czasu trwania zasobu dyspozycyjnego o określonej wartości. Sposób obliczeń jest identyczny jak przy obliczeniach bez uwzględnienia jakości z tą różnicą, że w obliczeniach uwzględnić należy wartość  $Q_{gr}$  (rys. 2). Metoda określania wartości  $Z_d$  ( $S_d$ ) stosowana może być również w opracowaniach prognostycznych dla systemów wodnogospodarczych. Możliwe są obliczenia wartości  $Z_d$  ( $S_d$ ) dla dowolnie zakładanych zmian wartości wprowadzanych lub zdejmowanych ładunków zanieczyszczeń w rzekach. Bazą wyjściową do tych obliczeń jest modelowanie zmian jakości wód w funkcji wprowadzanych ładunków zanieczyszczeń (punktowych, niepunktowych).

Proponowana metoda wyznaczania wartości zasobów dyspozycyjnych  $Z_d$  ( $S_d$ ) jest w pełni wiarygodna dla rzek o wiarygodnych danych hydrologicznych i wiarygodnych danych dotyczących stanu zanieczyszczenia. Dla rzek, dla których brak jest danych o stanie

zanieczyszczenia obliczenia zasobów z uwzględnieniem jakości są niemożliwe, ponieważ niedopszczalne jest przenoszenie danych o stanie zanieczyszczenia z jednej rzeki na inną.

Proponowana metoda jest prosta teoretycznie, lecz bardzo skomplikowana w realizacji. Generowanie niezbędnych do obliczeń funkcji wejściowych, jak też i same obliczenia wymagają w praktyce stosowania rozbudowanych programów komputerowych.

## Podsumowanie

W przedstawionych rozważaniach wykazano, że możliwe jest opracowanie bilansu wodnogospodarczego z uwzględnieniem jakości wód powierzchniowych. Podstawowymi wielkościami determinującymi zasoby wód z uwzględnieniem ich jakości są: stan zanieczyszczenia wód, wymagana przez użytkownika jakość ujmowanej wody oraz charakterystyka hydrologiczna odbiornika. Wykazano, że jeżeli stan zanieczyszczenia odbiornika przekracza wartości dopuszczalne stężeń określone przez użytkownika, to zasób wody lub zasób dyspozycyjny wody równy jest zeru, mimo, że istnieje określona ilość wody w danym przekroju rzeki. Przedstawiono także nową metodę obliczania zasobów wody z uwzględnieniem jej jakości, zarówno dla stanu istniejącego jak też i dla dowolnego stanu prognozowanego.

## LITERATURA

1. K. BARTOSZEWSKI, M. CZAPLIŃSKI, R. KOROL, J. MARKOWSKI: Komputerowe wspomaganie planowania ochrony wód przed zanieczyszczeniem. Ochrona Środowiska, 2(39), Wrocław 1989.
2. R. KAROL: Monitoring powierzchniowych wód płynących w 1990 r. Mat. konf. „Problemy zanieczyszczenia i ochrony wód powierzchniowych — dziś i jutro”. Zakończony Ochrony Wód UAM, Poznań 1991.
3. A. SZPINDOR, J. PIOTROWSKI: Gospodarka wodna. PWN, Warszawa 1986.

## DETERMINATION OF WATER RESOURCES AND THEIR QUALITY

Consideration has been given to the methods of establishing water-resources balance for flowing waters to meet the needs of water management in a given region. A conventional balance of water resources does not include their qua-

lity. In this paper it has been shown that water quality can be incorporated in the water resource balance, and a new calculating method has been proposed. Using this method, it is possible to calculate the available water resources by including their quality — both for the actual state and for an arbitrary predicted state. The scheme of computer calculations has also been given.