

ZASTOSOWANIE UOGÓLNIONEGO WSKAŹNIKA „WQI” DO OCENY JAKOŚCI WODY POWIERZCHNIOWEJ

W ostatnich latach podejmowane są coraz częściej próby ujednolicenia systemu oceny jakości wód powierzchniowych, którym towarzyszą równoległe badania nad doskonaleniem ogólnego wskaźnika jakości wody. Znaczny postęp w tej dziedzinie uzyskali badacze amerykańscy i brytyjscy, którzy bazowali na uogólnionym wskaźniku WQI — Water Quality Index i zastosowali go oceny jakości wody w rzekach [1, 2, 3]. Szczegółowe wyniki badań zawarto w obszernym raporcie Szkockiego Ministerstwa Rozwoju [4].

Pracując nad tym zagadnieniem zespoły badawcze wyodrębniły w pierwszej kolejności grupę tych wskaźników zanieczyszczenia, które mają największe znaczenie w ocenie jakości wód płynących. W kolejnym etapie prac ustalono graficzne zależności pomiędzy poszczególnymi współczynnikami q_i , charakteryzującymi w sposób umowny jakość wody a wartościami wybranych wskaźników zanieczyszczenia. Zakres zmienności współczynników q_i ustalono na skali od 0 do 100, przy czym wartości 100 przypisano najwyższą jakość wody, zaś wartości 0 — najniższą. W dalszej kolejności określono tzw. współczynniki obciążenia w_i , charakteryzujące stopień wpływu każdego z wybranych wskaźników zanieczyszczenia na jakość wody. Omówione współczynniki były podstawą opracowania formuły matematycznej, definiującej uogólniony wskaźnik jakości wody „WQI”. Za najbardziej reprezentatywny uznano wskaźnik obliczany według zmodyfikowanej arytmetycznej ważonej. Zakres zmienności oraz sens merytoryczny tak zdefiniowanego WQI jest identyczny jak i współczynnika q_i . Ma on jednak charakter ogólny, gdyż stanowi wypadkową dla wszystkich indywidualnych wskaźników zanieczyszczenia, wybranych do oceny jakości wody. Wskaźnik ten stosowany jest z powodzeniem do oceny jakości wód płynących na terenie W. Brytanii i Stanów Zjednoczonych.

Cel, zakres i metodyka pracy

Celem pracy było zastosowanie i porównanie uogólnionego wskaźnika WQI z metodą oceny jakości wód, która bazuje na analizie indywidualnych wskaźników zanieczyszczenia. W pracy wykorzystano wyniki badań stanu fizykochemicznego przekroju kontrolno-pomiarowego wybranego na rzece Moskorzyńce, która prze-

plywa przez obszar LGOM. Badania te były prowadzone w latach 1979—80 [5]. Skoncentrowano się na następujących wskaźnikach:

- tlen rozpuszczony
- BZT₅
- azot amonowy
- azot azotanowy
- zawiesiny ogólne
- chlorki
- twardość ogólna

Do opracowania wyników badań wykorzystano metody analizy statystycznej [6, 7, 8].

Procent spostrzeżeń, przekraczających pewną określoną wartość wskaźnika wyrażono za pomocą wzoru (1):

$$p = \frac{m \cdot 100}{n + 1} \quad (1)$$

gdzie:

- m — miejsce spostrzeżenia o danej wartości w ciągu rozdzielczym
- n — liczebność serii statystycznej.

Współczynnik zmienności obliczono według następującej zależności:

$$C_v = \frac{a_3 - a_1}{2a_2} \quad (2)$$

Zaś współczynnik asymetrii ze wzoru (3):

$$S = \frac{2(a_3 + a_1 - 2a_2)}{a_3 - a_1}$$

gdzie:

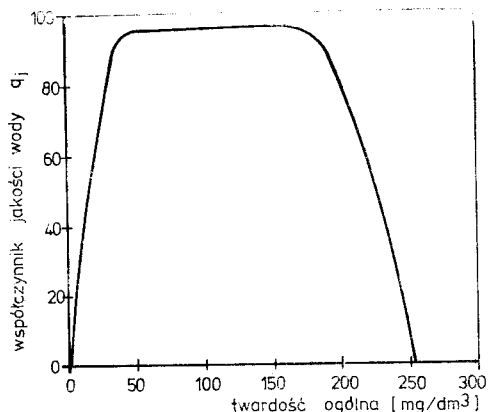
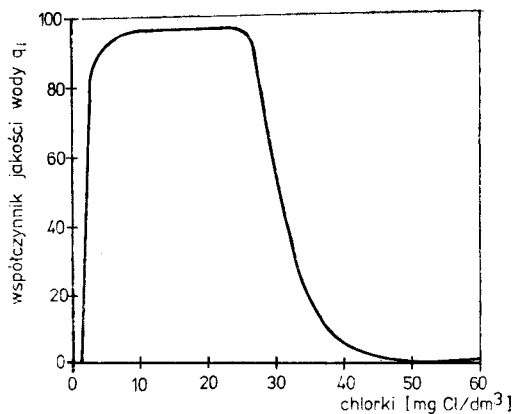
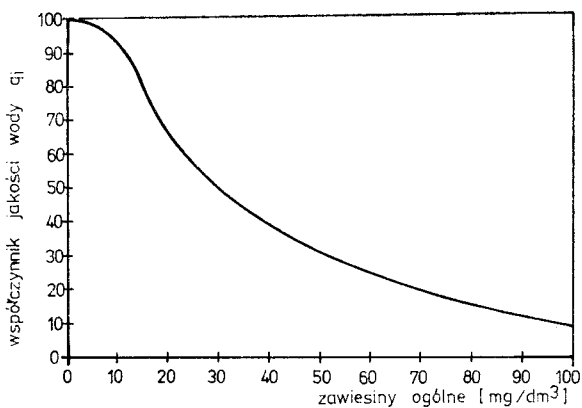
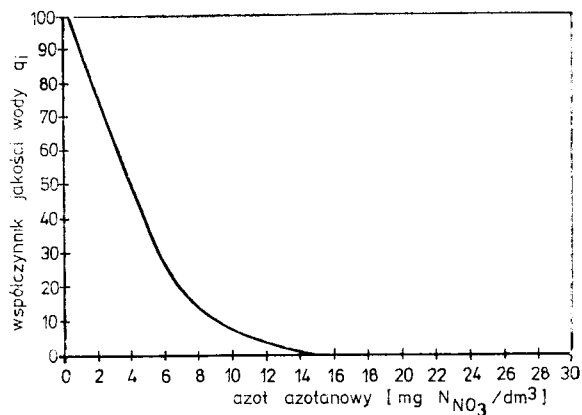
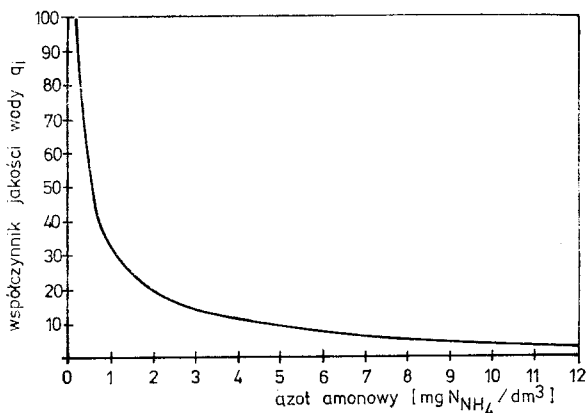
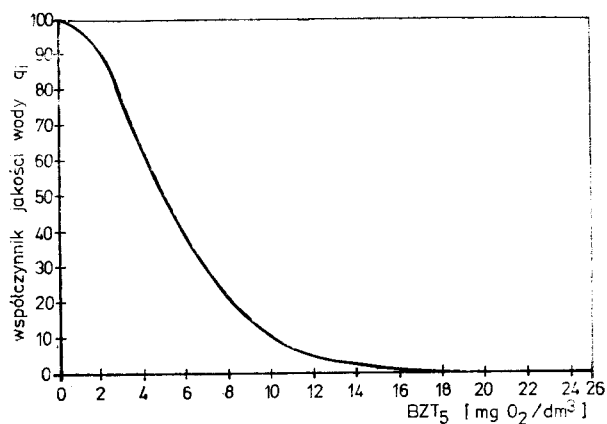
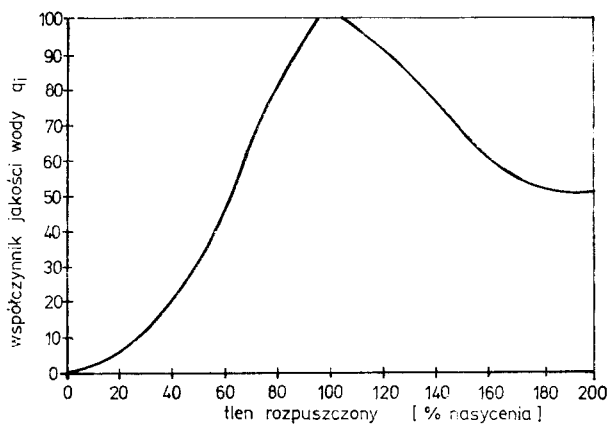
- a_1 — decyl dolny
- a_2 — mediana
- a_3 — decyl górny

Zbiorczy wskaźnik jakości wody obliczono za pomocą zmodyfikowanej arytmetycznej ważonej:

$$WQI = \frac{1}{100} \left(\sum_{i=1}^n q_i w_i \right)^2 \quad (4)$$

w której przyjęto oznaczenia:

- q_i — indywidualny współczynnik jakości wody



Rys. 1. Zestawienie krzywych do wyznaczania współczynników jakości wody dla wskaźników: tlen rozpuszczony, BZT₅, azot amonowy, azot azotanowy, zawiesiny ogólne, chlorki, twardość ogólna

w_i — współczynnik obciążenia i-tego wskaźnika indywidualnego

n — liczba analizowanych wskaźników zanieczyszczenia ($n=7$)

Zgodnie z danymi Scottish Development Department [4] przyjęto następujące wartości obciążeń analizowanych wskaźników zanieczyszczenia:

tlen rozpuszczony — 0,26; BZT₅ — 0,21;
azot amonowy — 0,14

zawiesiny ogólne — 0,12; azot azotanowy — 0,11; chlorki — 0,08

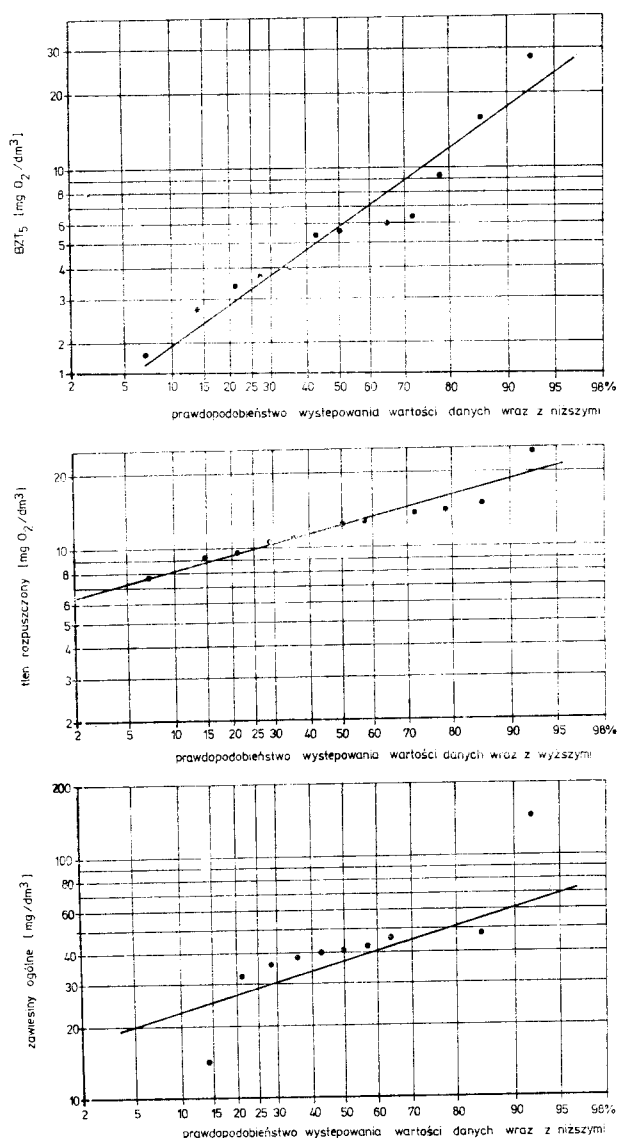
twardość ogólna — 0,08.

Wartości q_i dla konkretnych wielkości poszczególnych wskaźników, uzyskanych w wyniku analizy próbki, określano z wykresów zamiesz-

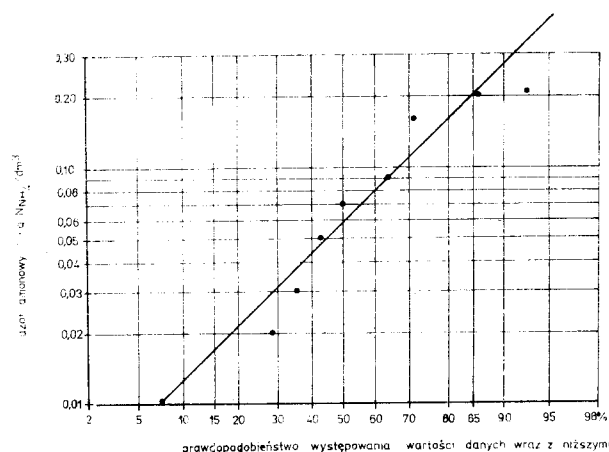
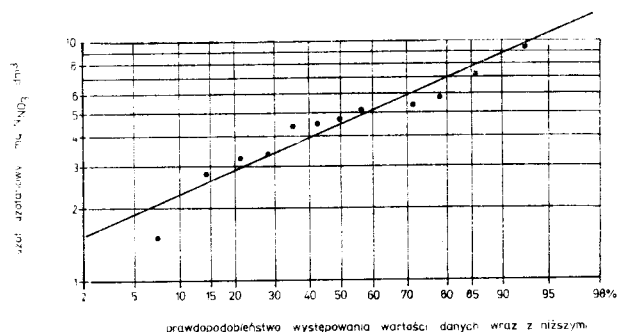
TOK OBLICZEŃ WSKAŹNIKA WQI

Wskaźnik zanieczyszczenia	Wartość wskaźnika w próbie (dane z pracy[5])	$\frac{W_i}{W_j}$ (wg pracy [4])	q_i (wykresy nr 1 wg pracy[4])	$q_i W_i$	$\sum_{i=1}^7 q_i W_i$	$\left(\sum_{i=1}^7 q_i W_i\right)^2$	WQI
Tlen rozpuszczony (% nas)	97	0,26	99	25,74			
BZT ₅ mg O ₂ /dm ³	5,4	0,21	52	10,71			
Azot amonowy mg N _{NH} /dm ³	0,02	0,14	100	14,00			
Zawiesiny ogólne mg/dm ³	38	0,12	42	5,04	57,87	3348,93	33,49
Azot azotanowy mg N _{NO3} /dm ³	7,1	0,11	19	2,09			
Chlorki mg Cl/dm ³	60	0,08	1	0,08			
Twardość ogólna mg Ca CO ₃ /dm ³	263	0,08	0	0,00			

czonych na rys. 1, opracowanych przez Scottish Development Department [4]. Tak więc po podstawieniu odpowiednich wartości q_i i w_i do wzoru [4], uzyskano dla każdej próbki chwilowej pewną wartość WQI, która w sposób umowny charakteryzowała jakość badanej wody. Tabela nr 1 ilustruje tok prowadzonych obliczeń.



Rys. 2 Rozkład prawdopodobieństwa występowania stężeń BZT₅, tlenu rozpuszczonego i zawiesin ogólnych



Rys. 3 Rozkład prawdopodobieństwa występowania stężeń azotu azotanowego i azotu amonowego

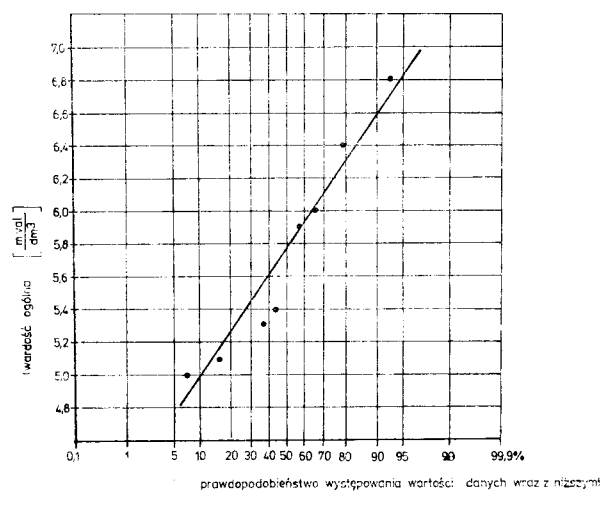
Analiza wyników badań

Wykreślono krzywe prawdopodobieństwa ugrupowań analizowanych wskaźników zanieczyszczenia, które zamieszczono na rysunkach 2—4. Analogiczny wykres skonstruowano dla uogólnionego wskaźnika jakości WQI (rys. 2—5).

W tabeli 2 zestawiono dodatkowe zakresy zmienności i miary charakterystyczne ugrupowań statystycznych dla indywidualnych wskaźników zanieczyszczenia oraz dla wskaźnika zbiorczego. Stwierdzono asymetryczny rozkład ugrupowań poszczególnych wskaźników zanieczyszczenia. Jedyny wyjątek stanowi twardość ogólna, dla której współczynnik asymetrii osiąga wartość zerową. Zbiory obserwacji pozostałych wskaźników mają w przybliżeniu rozkład logarytmiczno-normalny. Szczególnie wysokie wartości współczynników zmienności i asymetrii zaobserwowano w przypadku takich wskaźników jak BZT₅ i azot amonowy. We wszystkich

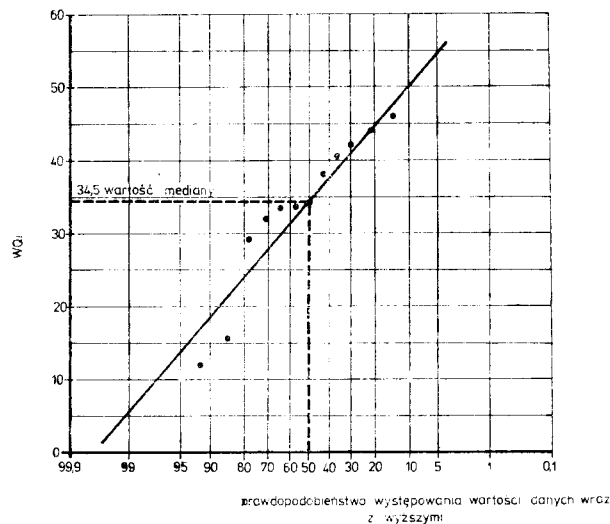
**ZAKRESY ZAMIENNOŚCI WSKAŹNIKÓW I MIARY CHARAKTERYSTYCZNE
UGRUPOWAŃ STATYSTYCZNYCH**

	Wskaźnik							
	Tlen rozp. mgO ₂ /dm ³	Azot amonowy mgN NH ₄ /dm ³	Azot azotanowy mgN NO ₃ /dm ³	Zaw. ogólna mg/dm ³	Chlorki mg Cl/dm ³	Tw. ogólna mval/dm ³	BZT ₅ mgO ₂ /dm ³	WQI
zakres zmienności	7,6— —24,4	0,01— —0,21	1,5— —9,8	6—144	40—236	5—6,8	1,8—28	12,41— —52,75
wartość średnia	12,8	0,09	4,8	44	81	5,8	7,5	34,9
mediana	12,4	0,06	4,5	37	74	5,8	5,8	34,5
współcz. zmienności	0,44	2,14	0,75	0,50	0,69	0,13	1,36	0,46
współcz. asymetrii	0,44	1,27	0,65	0,49	0,59	0,00	1,01	0,00



Rys. 4 Rozkład wielkości występowania stężeń chlorków i twardości

przypadkach, poza twardością ogólną stwierdzono z reguły wyższe wartości średnie od wartości mediany, co wskazuje na dodatnią asymetrię zbiorów. Ze względu na stosunkowo niewielką liczbę obserwacji, porównanie wartości średniej i mediany jest silniejszym argumentem, potwierdzającym nienormalność rozkładu, aniżeli analiza współczynnika asymetrii. Przebieg krzywej prawdopodobieństwa w skali równomiernej dla uogólnionego wskaźnika jakości wody WQI, dowodzi natomiast iż jest to normalne ugrupowanie symetryczne. Dodatkowym potwierdzeniem tego faktu jest również zero-wa wartość współczynnika asymetrii oraz za-



Rys. 5 Rozkład wielkości występowania wskaźnika WQI

chodząca w praktyce równość pomiędzy wartością średnią i medianą. Wartości WQI, których zakres podano w tabeli 2 obliczano w oparciu o wielkości wskaźników zanieczyszczenia, uzyskanych w poszczególnych obserwacjach. Obliczano także WQI_{sr}, opierając się na medianach powyższych wskaźników. Wykorzystanie median, a nie wartości średnich było podyktowane znacznym stopniem asymetrii większości ugrupowań statystycznych. Obliczona wartość WQI_{sr} wynosi 34,0 i jest zbliżona do mediany uogólnionego wskaźnika zanieczyszczenia.

W tabeli 3 porównano prawdopodobieństwo występowania dopuszczalnych wartości stężeń wskaźników w poszczególnych klasach czystości wód z analogicznymi wartościami uogólnionego wskaźnika jakości [9].

Tabela 3

**PORÓWNANIE PRAWDOPODOBIEŃSTWA WYSTĘPOWANIA
DOPUSZCZALNYCH WARTOŚCI STĘŻEŃ WSKAŹNIKÓW
ZANIECZYSZCZENIA Z ANALOGICZNYMI WARTOŚCIAMI WQI**

Kl. czystości	I	II	III
Wskaźnik	[%]	[%]	[%]
Tlen rozpuszczony	100	100	100
BZT ₅	33	64	80
Azot amonowy	100	100	100
Azot azotanowy	2	80	100
Zawiesiny ogólne	5	30	80
Chlorki	100	100	100
Twardość ogólna	97	100	100
WQI	92,0	99,3	99,6

Do wyznaczenia prawdopodobieństwa wartości równych lub większych od danego WQI posłużono się rysunkiem 5, przy czym rzędne obliczano wcześniej ze wzoru 4, dla dopuszczalnych wartości wskaźników zanieczyszczenia w poszczególnych klasach czystości wód. Uzyskano następujące minimalne wartości uogólnionego wskaźnika jakości dla wód:

- I klasy czystości — $WQI_I = 17,63$
- II klasy czystości — $WQI_{II} = 4,13$
- III klasy czystości — $WQI_{III} = 0,90$

Biorąc pod uwagę dopuszczalny zakres zmienności WQI, wynoszący od 0 do 100 należy podkreślić iż otrzymano stosunkowo niskie wartości WQI_I , WQI_{II} i WQI_{III} . Wynika to prawdopodobnie z większych wymagań stawianych jakości wody w Wielkiej Brytanii i USA w porównaniu z normami krajowymi. Ocena jakości wód płynących, dokonana na bazie poszczególnych wskaźników zanieczyszczenia oraz w oparciu o metodę WQI prowadzi do zbliżonych wniosków, czego dowodem może być analiza danych zawartych w tabeli 3.

W przypadku czterech wskaźników, tj. tlenu rozpuszczonego, azotu amonowego, chlorków i twardości ogólnej, prawdopodobieństwo występowania wartości dopuszczalnych w I klasie czystości jest wyższe od 95%. Wartość WQI, odpowiadająca tej klasie czystości jest natomiast osiągana z prawdopodobieństwem 92%. Operowanie jednym tylko wskaźnikiem jakości stanowi spore uproszczenie w interpretacji wyników badań wód płynących. Znajomość WQI daje również możliwość stosunkowo jednoznacznej oceny jakości wody. Należy jednak podkreślić iż upowszechnienie i szerokie zastosowanie metody WQI na gruncie krajowym wymagałoby odpowiedniego dostosowania jednostkowych współczynników jakości q_i do polskich normatyw zanieczyszczenia wód powierzchniowych.

Wnioski

1. Stwierdzono możliwość zastosowania metody WQI do oceny jakości wody w wybranym przypadku.
2. Wskaźnik WQI jest funkcją zmiennych losowych i w związku z tym podlega prawom statystyki matematycznej.

3. Stwierdzono asymetryczny rozkład ugrupowań poszczególnych wskaźników zanieczyszczenia (za wyjątkiem twardości ogólnej).

4. Wykazano, iż ogólny wskaźnik WQI ma cechy normalnego ugrupowania symetrycznego.

5. Uzyskano stosunkowo niskie wartości WQI dla dopuszczalnych stężeń wskaźników zanieczyszczenia, określonych przez normatywy polskie dla wód I, II i III klasy czystości. W związku z powyższym rozpowszechnienie metody WQI w naszym kraju wymagałoby jej dopracowania, poprzez dostosowanie jednostkowych współczynników jakości q_i do normatywów polskich.

6. Wskaźnik WQI reprezentuje wszystkie analizowane wskaźniki zanieczyszczenia w postaci jednej zależności typu ogólnego i dzięki temu daje on jednoznaczny obraz stanu czystości wody, który upraszcza jednocześnie interpretację wyników badań.

LITERATURA

1. R. M. BROWN, N. J. McLELLAND, R. A. DENINGER, Z. R. TOREZ: A water Quality Index — Do we dare?, Water and Sewage Works (1970).
2. S. M. DINIUS: Social accounting system for evaluating water resources. Water Resources Research 8, 1159 (1972).
3. J. M. LANDWEHR, R. A. DENINGER: A comparison of several water quality indexes. J.WPCF 48/5/, (1976).
4. Scottish Development Department: Development of a Water Quality Indeks. Raport Number ARD3 (1976).
5. K. ZDUNKIEWICZ: Ocena stanu fizyko-chemicznego wód podziemnych z ujęć zakładowych oraz wód podziemnych i powierzchniowych w rejonie oddziaływania ZG „Rudna”. Wrocław (1980).
6. T. GERSTENKORN, T. SRÓDKA: Kombinatoryka i rachunek prawdopodobieństwa. PWN. Warszawa (1970).
7. K. DĘBSKI, Hydrologia. Arkady, Warszawa (1970).
8. C. E. Adams, W. N. ECKENFELDER: Process design techniques for industrial waste treatment. Enviro Press (1974).
9. Dz. Ustaw Nr 41, poz. 214 (1975).