

Redaktorzy:

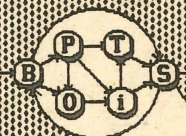
A. Straszak

Z. Nahorski

J. Sikorski

13-17 czerwca 1988

Książ



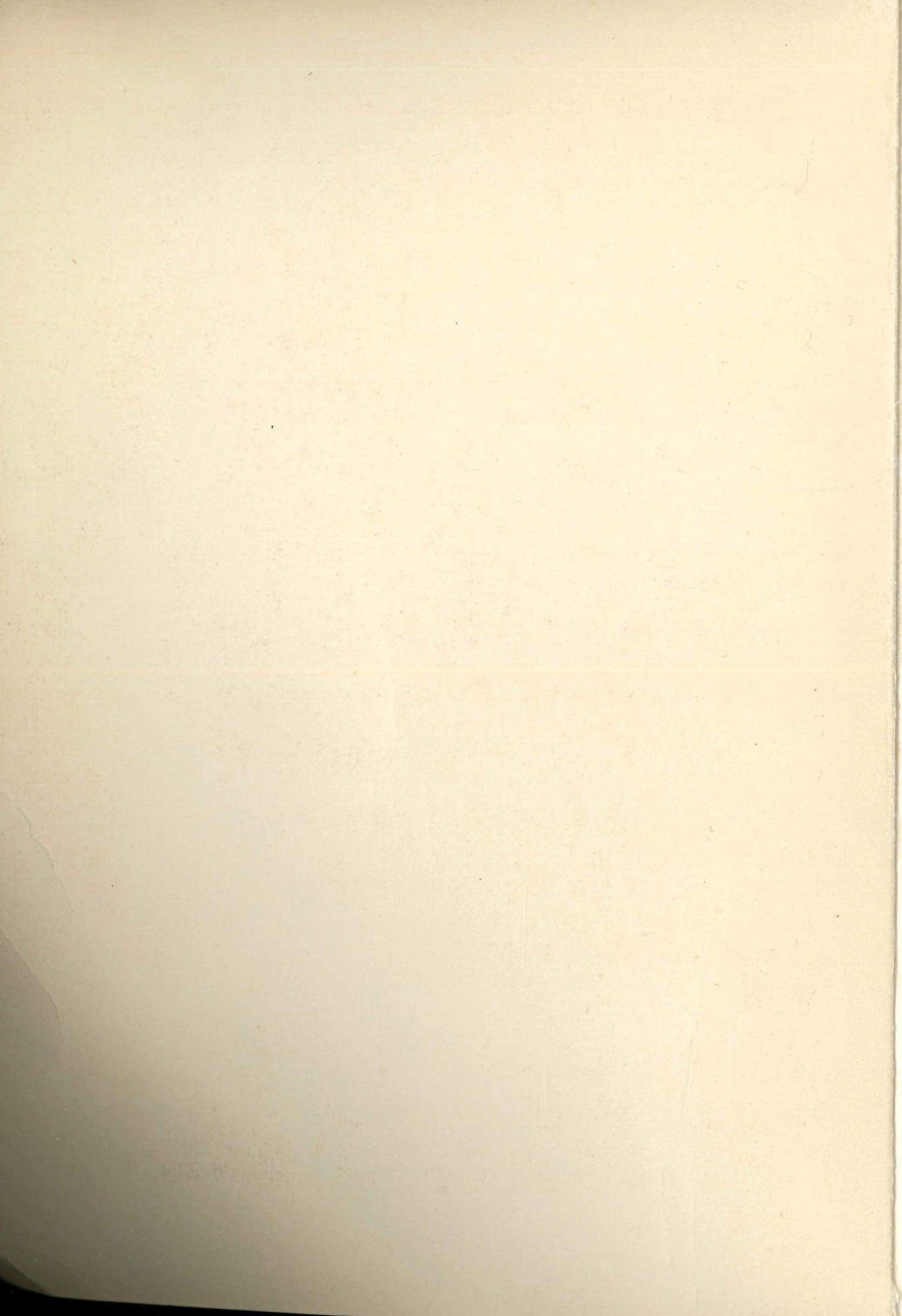
# 1. Krajowa Konferencja Badań Operacyjnych i Systemowych

Tom 2

**BOS'88**

POLSKIE TOWARZYSTWO BADAŃ  
OPERACYJNYCH I SYSTEMOWYCH

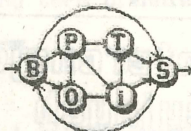
INSTYTUT BADAŃ SYSTEMOWYCH  
POLSKIEJ AKADEMII NAUK



POLSKIE TOWARZYSTWO BADAŃ OPERACYJNYCH I SYSTEMOWYCH

Tom 2

**WSPOMAGANIE PODEJMOWANIA DECYZJI  
MODELE I SYSTEMY**



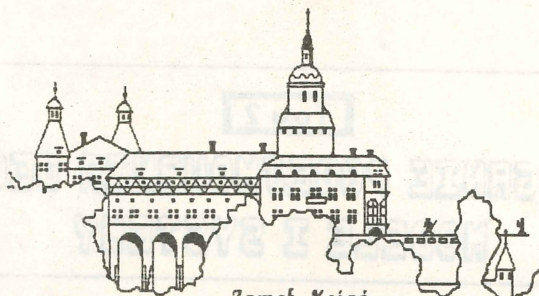
**I KRAJOWA KONFERENCJA  
BADAŃ  
OPERACYJNYCH  
i  
SYSTEMOWYCH**

**Książ, 13 - 17 czerwca 1988**

**BO'S'88**

**INSTYTUT BADAŃ SYSTEMOWYCH POLSKIEJ AKADEMII NAUK**

**1989  
WARSZAWA**



Zamek Książ

# I Krajowa Konferencja Badań Operacyjnych i Systemowych

## Organizator konferencji

Polskie Towarzystwo Badań Operacyjnych i Systemowych  
przy współpracy  
Instytutu Badań Systemowych PAN

## Komitet naukowy konferencji

Jerzy Hołubiec, Andrzej Kałużko, Jerzy Kisielnicki, Henryk Kowalowski,  
Roman Kulikowski, Franciszek Marecki, Zbigniew Nahorski,  
Stanisław Piasecki, Jarosław Sikorski, Jan Stachowicz, Jan Stasiński,  
Andrzej Straszak, Maciej Sysło, Władysław Świtalski

## Redaktorzy nauki materiałów

Andrzej Straszak, Zbigniew Nahorski, Jarosław Sikorski

konf. 41284/II

1.6

## 6. Formalizacja modeli decyzyjnych

Przebieg formalizacji modeli decyzyjnych jest procesem, który prowadzi do wypracowania modelu decyzyjnego, który jest w stanie służyć jako narzędzie do podejmowania decyzji w sposób racjonalny i efektywny. Formalizacja ta polega na wyrażeniu w sposób precyzyjny i jednoznaczny zasad, reguł i procedur, które kierują procesem decyzyjnym. Dzięki temu model staje się łatwiej zrozumiały, łatwiej do niego dochodzić i łatwiej go wdrożyć. Formalizacja modeli decyzyjnych jest szczególnie ważna w sytuacjach, gdzie decyzje mają duży wpływ na organizację, a proces decyzyjny jest złożony i wieloetapowy. Dzięki formalizacji można uniknąć błędów, które często wynikają z nieprecyzyjnych i niejednoznacznych wytycznych. Ponadto, formalizacja umożliwia łatwiejszą komunikację o modelu decyzyjnym między członkami organizacji, co jest niezbędne dla jego skutecznego wdrożenia. W tym celu należy przede wszystkim zidentyfikować wszystkie elementy modelu decyzyjnego, które mają być formalizowane, a następnie wyrazić je w sposób precyzyjny i jednoznaczny. Formalizacja modeli decyzyjnych jest procesem iteracyjnym, który może wymagać kilku iteracji, aby osiągnąć optymalny rezultat. Ważnym elementem formalizacji jest również wypracowanie procedur, które będą służyły do aktualizacji modelu decyzyjnego w miarę zmieniających się warunków organizacyjnych. Dzięki formalizacji modeli decyzyjnych można osiągnąć wiele korzyści, takich jak zwiększenie efektywności, redukcja kosztów i zwiększenie jakości podejmowanych decyzji.

## MODEL KOMPUTEROWY DLA OCENY JAKOŚCI WODY W SIECI RZECZNEJ

Jacek Gondzio, Marek Makowski  
Grażyna Petriczek, Zygmunt Uhrzynowski  
Instytut Badań Systemowych PAN  
ul. Newelska 6  
01-447 Warszawa

### Streszczenie

W pracy przedstawiono:

- podstawowe założenia oraz sformułowanie matematyczne modelu symulacyjnego rozchodzenia się i neutralizacji zanieczyszczeń zrzucanych do rzeki (sieci rzek),
- opis metody i algorytmu wyznaczania parametrów modelu,
- strukturę i sposób korzystania z pakietu MRZ stanowiącego implementację modelu na mikrokomputerze IBM PC,
- analizę wyników uzyskanych dla pilotowego zastosowania modelu,
- możliwości zastosowań.

### 1. Wprowadzenie

W niniejszej pracy przedstawiono model opisujący procesy rozchodzenia się i neutralizacji (wskutek przemian fizycznych i biochemicznych) zanieczyszczeń w rzece (sieci rzek) oraz sposoby wyznaczania parametrów tego modelu. Model może być wykorzystany do analizowania różnych koncepcji ochrony jakości wód przez badanie wpływu różnorodnych czynników (np. wielkości ładunków zanieczyszczeń odprowadzanych z poszczególnych źródeł czy sprawności oczyszczalni) na stopień zanieczyszczenia wód w rzekach. Ponadto, model pozwala na uzyskanie wykresów rozkładu stężeń (zwanymi profilami hydrochemicznymi) rozpatrywanych zanieczyszczeń - bez uciążliwych obliczeń i kreśleń.

Założenia modelu oraz postać opisujących go zależności wynikają z postaci dostępnych danych. Podany w pracy prosty sposób wyznaczania tzw. współczynników zanieczyszczeń pozwala na sto-

sowanie modelu dla różnych rodzajów wskaźników zanieczyszczeń, bez konieczności przeprowadzania szczegółowej analizy przemian biochemicznych jakim podlegają rozpatrywane zanieczyszczenia.

Analiza wyników uzyskanych z modelu, tj. wartości współczynników rozkładu zanieczyszczeń, oraz wyznaczone na ich podstawie profile dla siedmiu wybranych wskaźników zanieczyszczeń w sieci rzek Zlewni Górnej Noteci pozwalają wnioskować o słuszności przyjętych założeń oraz o adekwatności modelu do rzeczywistości.

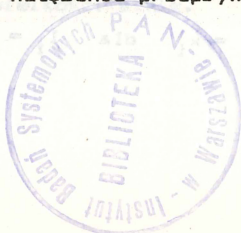
Oprogramowanie modelu wraz z programami pomocniczymi tworzy pakiet MRZ, którego użytkowanie wymaga jedynie elementarnej znajomości zasad korzystania z mikrokomputera i stosowania się do instrukcji wyświetlanych na ekranie. Wyniki z modelu mogą być przedstawiane w postaci tabelaryzowanej oraz graficznej.

Ze względu na przyjętą postać modelu (oraz własności oprogramowania) model może być wykorzystany do oceny stopnia zanieczyszczenia rzek w dowolnej zlewni - dla różnego rodzaju wskaźników jakości wód oraz do badania wpływu różnorodnych czynników (takich jak np. wielkości ładunków zanieczyszczeń odprowadzanych z poszczególnych źródeł czy sprawności oczyszczalni) na jakość wody.

## 2. Założenia

Model rozkładu zanieczyszczeń w sieci rzecznej został sformułowany w oparciu o następujące założenia:

1. Model jest jednowymiarowy - uwzględnia się tylko zmiany stężeń zanieczyszczeń wzdłuż biegu rzeki (pominięto dyfuzję w kierunkach poprzecznym i pionowym oraz, jako niewielki, wpływ dyspersji wzdłużnej; rozkład stężeń w tych przekrojach rzeki jest wówczas jednorodny).
2. W przekroju poprzecznym zachodzi całkowite wymieszanie zanieczyszczeń.
3. Istnieją tylko punktowe źródła zanieczyszczeń (ładunki o charakterze rozłożonym, pochodzące np. z chemizacji rolnictwa, hodowli itp., mogą być aproksymowane przez rzuty punktowe).
4. Rzeki można podzielić na odcinki, na których parametry hydrauliczne: pole powierzchni przekroju poprzecznego  $A_i$ , prędkość przepływu  $v_i$ , oraz natężenie przepływu  $Q_i$  są stałe, tzn.:



$$\Lambda \quad \Lambda \quad ( Q_i(l,t)=\text{const}, A_i(l,t)=\text{const}, v_i(l,t)=\text{const} ) \\ 0 \leq t \leq T \quad 0 \leq l \leq L_i$$

gdzie:  $T$  - długość rozpatrywanego przedziału czasu,

$L_i$  - długość  $i$ -tego odcinka,

$Q_i(l,t)$  - wartość przepływu w chwili  $t$  w punkcie  $l$  (odcinka),

$A_i(l,t)$  - wartość pola powierzchni przekroju poprzecznego,

$v_i(l,t)$  - wartość prędkości przepływu.

- przy czym punktami podziału są miejsca, w których:

a) następuje zrzut zanieczyszczeń,

b) znajdują się ujścia innych rzek,

c) są zlokalizowane dopływy lub odpływy kanałów.

5. Model odnosi się do warunków stanu ustalonego: założono, że natężenia przepływu, dopływy oraz ładunek zrzucanych zanieczyszczeń są stałe w danym okresie czasu (wielkości te wyraża się najczęściej w postaci średnich za dany okres); przy tych założeniach, stężenie zanieczyszczeń w danym okresie czasu badane w ustalonym punkcie rzeki nie ulega zmianie. Model jest więc modelem statycznym.

6. Procesy chemiczne i biochemiczne powodujące przekształcanie i rozkład zanieczyszczeń można opisać za pomocą liniowej funkcji

$$f(C) = k \cdot C \quad (1)$$

która odpowiada kinetyce reakcji 1-go rzędu (szybkość zachodzących reakcji jest proporcjonalna do stężenia danego składnika ( $k$  jest współczynnikiem szybkości reakcji [1/s])).

### 3. Model matematyczny

Uwzględniając założenia 1 - 6 można zapisać ogólne równanie opisujące rozkład stężeń zanieczyszczeń wzdłuż  $i$ -tego odcinka rzeki w postaci:

$$\frac{Q_i}{A_i} \cdot \frac{dC_i}{dl} + k \cdot C_i = 0 \quad (2)$$

$$C_i = x_i \quad \text{dla} \quad l_i = 0$$



Przedstawia ono statyczny model rozkładu zanieczyszczeń na danym odcinku rzeki.

Po scałkowaniu równania (2) otrzymujemy rozwiązanie postaci:

$$C_i = x_i \cdot \exp\left[-\frac{k_i}{v_i} l_i\right] \quad (3)$$

$$v_i = \frac{Q_i}{A_i}$$

gdzie:  $C_i$  - stężenie [ $g/m^3$ ],

$Q_i$  - przepływ [ $m^3/s$ ],

$A_i$  - pole powierzchni przekroju poprzecznego [ $m^2$ ],

$l_i$  - położenie punktu na  $i$ -tym odcinku, w którym badamy stężenie  $C_i$  zanieczyszczenia [km],

$k_i$  - współczynnik reakcji biochemicznej 1-go rzędu jakiej ulega zanieczyszczenie [1/s],

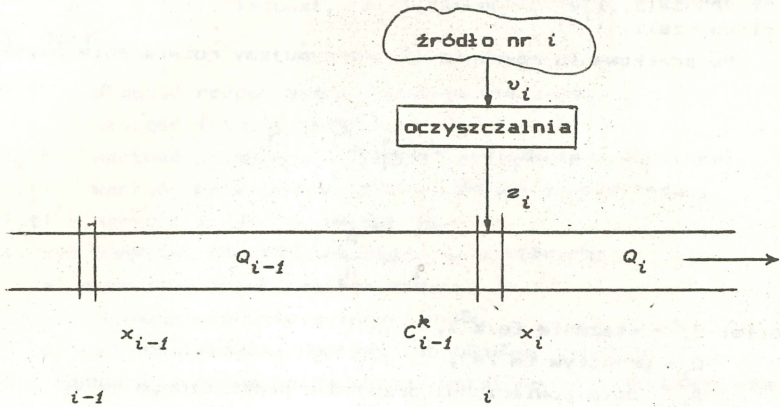
$x_i$  - stężenie w punkcie początkowym danego odcinka [ $g/m^3$ ],

$v_i$  - prędkość przepływu w  $i$ -tym odcinku [m/s].

Trzeba tutaj podkreślić że równanie (2) określa rozkład zanieczyszczeń tylko na takim odcinku rzeki, na którym nie występują żadne zmiany wartości parametrów hydraulicznych, nie ma nowych źródeł zanieczyszczeń ani dopływów lub odpływów. Wprowadzenie nowego zrzutu zanieczyszczeń lub nowego dopływu (odpływu) wymaga wyodrębnienia nowego odcinka i wyznaczenia z bilansu masy nowej wartości  $x_i$ .

Aby otrzymać pełny model opisujący rozkład zanieczyszczeń w całej rzece (a nie tylko na jej odcinku) należy przedstawić zależności wiążące ze sobą poszczególne odcinki rzek. Dla zobrazowania tych zależności posłużymy się schematycznym rysunkiem przedstawionym poniżej.

Przyjmując, że punkty podziału rzeki na odcinki są wyznaczone zgodnie z założeniem 4 możemy uważać przepływ  $Q_i$ , jak i parametry  $A_i$  i  $v_i$  za wielkości stałe.



Dla punktów podziału otrzymujemy następujące równania bilansu masy

$$Q_i x_i = Q_{i-1} C_{i-1}^k + z_i \quad (4)$$

gdzie:  $x_i$  - stężenie zanieczyszczeń w początkowym punkcie odcinka  
 $C_i^k$  - stężenie zanieczyszczeń na końcu odcinka,  
 $Q_i$  - natężenie przepływu,  
 $z_i$  - ładunek zanieczyszczeń zrzucanych na początku odcinka  
 $i$  - indeks  $i$ -tego odcinka.

Ładunek zanieczyszczeń w rzece w punkcie "i" jest zatem równy sumie ładunku który wpływa z odcinka  $i-1$  ( $Q_{i-1} C_{i-1}^k$ ) oraz wartości zrzutu  $z_i$ . Stężenie  $C_{i-1}^k$  na końcu odcinka  $i-1$  jest rozwiązaniem równ. (2) przy  $l_i = L_i$  i określone jest zależnością (3).

Równania (3) i (4) stanowią uproszczony model rozkładu zanieczyszczeń w rzece przy przyjętych założeniach 1 - 6. Jego parametrami są: natężenie przepływu na odcinku  $Q_i$ , prędkość przepływu  $v_i$  oraz współczynnik reakcji biochemicznej 1-go rzędu  $k_i$ .

Przy znanych wartościach parametrów wzory (3) i (4) pozwalają określić wpływ ładunków zanieczyszczeń zrzucanych w dowolnych punktach  $l_i$  poszczególnych odcinków rzek. Zależność (3) umożliwiła wykreślenie rozkładu stężenia dowolnego rodzaju zanieczyszczenia wzdłuż poszczególnych odcinków.

Ponieważ przyjęliśmy, że zarówno wartości przepływu  $Q_i$ , jak i prędkości  $v_i$  na danym odcinku rzeki są znane (z pomiarów) i nie ulegają zmianie, zatem pozostaje jedynie problem wyznaczenia wartości współczynnika  $k_i$ .

W praktyce, wartości współczynników reakcji 1-go rzędu  $k_i$  nie są bezpośrednio dostępne i aby je obliczyć należałoby przeprowadzić wiele dodatkowych pomiarów i analiz dotyczących zarówno parametrów hydraulicznych rzeki, jak i rodzajów reakcji jakim podlegają te zanieczyszczenia.

Dane, jakimi zazwyczaj dysponują jednostki zajmujące się badaniem stanu czystości rzek dotyczą wartości stężeń wybranych wskaźników zanieczyszczeń oraz wartości przepływów i ładunków zrzutów; wielkości te mierzone są w ustalonych punktach pomiarowych. Aby proponowany model mógł funkcjonować w oparciu o te dane wprowadza się pojęcie tzw. współczynnika rozkładu zanieczyszczeń. Poniżej przedstawimy podstawową ideę tego pojęcia.

Z analizy wzoru (3) wynika, że istnieje zależność między stężeniem  $C_i^k$  na końcu danego odcinka a wartością stężenia w punkcie początkowym i ma ona postać liniową:

$$C_i^k = a_i x_i \quad (5)$$

Występujący w równaniu (5) parametr  $a_i$ , nazwany współczynnikiem rozkładu zanieczyszczeń na  $i$ -tym odcinku, charakteryzuje stopień zmniejszania się stężenia zanieczyszczeń na końcu odcinka w stosunku do wartości stężenia w punkcie początkowym.

Z przyjętych założeń wynika, że na danym odcinku rzeki współczynnik rozkładu zanieczyszczeń ma wartość stałą (na kolejnych odcinkach jego wartości mogą, ogólnie biorąc, być różne) i zawiera on w sobie informację o zachodzącej na odcinku neutralizacji zanieczyszczeń. Współczynnik ten może więc być traktowany jako parametr rozważanego modelu.

Łatwo można zauważyć, że współczynnik  $a_i$  ma postać:

$$a_i = \exp \left[ - \frac{k_i}{v_i} L_i \right] \quad (6)$$

gdzie  $L_i$  - długość  $i$ -tego odcinka.

Omówimy teraz metodę wyznaczania współczynnika rozkładu  $a_i$ ,

która wymaga jedynie znajomości wartości stężeń w punktach pomiarowych i położenia tych punktów na danym odcinku, wartości przepływów i prędkości w tych punktach oraz wartości ładunków zrzutu w punktach podziału. Należy podkreślić, że do wyznaczenia współczynnika rozkładu  $a_i$  dla dowolnego rodzaju zanieczyszczeń nie jest potrzebna dokładna znajomość rodzaju reakcji biochemicznej.

Rozważmy  $i$ -ty odcinek rzeki, na którym zarówno przepływ  $Q_i$ , jak i prędkość przepływu  $v_i$  są stałe. Załóżmy, że na tym odcinku istnieją dwa punkty pomiarowe położone w odległościach  $l_i^1, l_i^2$  od jego początku. Stężenia w tych punktach oznaczymy przez  $C_i^1, C_i^2$  a długość odcinka przez  $L_i$ . Zgodnie z równaniem (3) wartości stężeń w poszczególnych punktach pomiarowych spełniają zależności:

$$C_i^k = x_i \exp \left[ - \frac{k_i}{v_i} \cdot l_i^k \right] \quad \text{dla } k = 1, 2 \quad (7)$$

Uwzględniając zależności (5) i (6) otrzymujemy:

$$a_i = \left( \frac{C_i^1}{C_i^2} \right)^{\frac{L_i}{l_i^2 - l_i^1}} \quad (8)$$

Wzór (8) jest zasadniczą zależnością, na której opiera się algorytm, pozwala bowiem wyznaczyć współczynnik  $a_i$  na podstawie samych tylko wartości stężeń w danych punktach pomiarowych - dla różnych rodzajów zanieczyszczeń. Prezentowany model może więc być zastosowany do opisu rozkładu różnego rodzaju zanieczyszczeń - bez konieczności głębszego analizowania ich przemian.

Ponieważ nie na każdym odcinku istnieją dwa punkty pomiarowe zachodzi konieczność modyfikacji wzoru (8) w zależności od liczby punktów pomiarowych na danym odcinku. Brak miejsca nie pozwala tutaj przedstawić szczegółowego opisu algorytmu, uwzględniającego różne przypadki lokalizacji punktów pomiarowych na kolejnych odcinkach. Opis ten można znaleźć w pracach: Makowski, Petriczek, Uhrynowski (1987), Petriczek, Uhrynowski (1988) oraz Gondzio, Petriczek, Uhrynowski (1988).

Z zależności (6) wynika prosty wzór na współczynnik  $k_i$ :

$$k_i = -\frac{v_i}{L_i} \ln a_i \quad (9)$$

Na jego podstawie wyznacza się w algorytmie współczynniki  $k_i$  jako funkcje danych prędkości przepływu  $v_i$  oraz współczynników  $a_i$ , obliczanych według omawianych wcześniej schematów.

#### 4. Oprogramowanie modelu - pakiet MRZ

Przedstawiony w pracy model - wraz z algorytmami wyznaczania współczynników rozkładu  $a_i$  i współczynników reakcji biochemicznych  $k_i$  oraz algorytmem podziału (segmentacji) rzek na odcinki - został zaprogramowany w języku C na mikrokomputerze IBM PC XT/AT.

W skład pakietu MRZ wchodzi następujące podprogramy:

- funkcja DRIVER umożliwiająca interakcyjne korzystanie ze wszystkich pozostałych funkcji,
- funkcja EDIT służąca do obsługi bazy danych modelu, tj. do wprowadzania oraz modyfikacji zbioru danych,
- funkcja SEGMENT realizująca algorytm podziału rzek na odcinki i generująca niektóre parametry modelu (charakterystyki odcinków) dla potrzeb funkcji COEF i GRAPH,
- funkcja COEF, która realizuje zasadnicze zadanie modelu: wyznaczanie współczynników rozkładu wybranych wskaźników zanieczyszczeń,
- funkcja RAPORT umożliwiająca wyświetlenie na ekranie lub drukowanie wybranych (lub wszystkich) bloków bazy danych - danych pierwotnych wprowadzonych przez użytkownika oraz wyników z modelu - w postaci tabelaryzowanej,
- funkcja GRAPH zawierająca procedury graficzne do wykreślania rozkładów stężeń wskaźników zanieczyszczeń na poszczególnych odcinkach rzek.

Program wywołuje się komendą MRZ. Następnie należy postępować zgodnie z instrukcjami wyświetlanymi na ekranie (HELP) - wybierając opcje programu z podanego menu. Korzystanie z oprogramowania nie wymaga więc znajomości instrukcji technicznej (sposób i kolejność wywoływania programów) czy sposobu (i formatów) przygotowywania danych: dane wprowadza się (za pomocą wyspecjali-

zwanego edytora) w sposób interakcyjny, tzn. we właściwej kolejności i z kontrolą błędów formalnych (struktura bazy danych została szczegółowo omówiona w opracowaniu Makowski, Petriczek, Uhrynowski (1988)).

Wprowadzenie wszystkich danych umożliwia przeprowadzenie (bez udziału użytkownika) segmentacji rzek a następnie wyznaczenie współczynników rozkładu zanieczyszczeń  $a_i$  - dla wybranego lub dla wszystkich rozpatrywanych wskaźników oraz, dodatkowo, ciągu wartości współczynników reakcji 1-go rzędu  $k_i$ . Wartości  $k_i$  (np. uśrednione lub zadane przez użytkownika) mogą służyć do korygowania ewidentnie błędnych wartości współczynników rozkładu  $a_i$ , spowodowanych brakiem bądź błędnymi danymi.

Procedury graficzne pakietu pozwalają uzyskać wykresy rozkładu stężeń wybranych wskaźników zanieczyszczeń (profile hydrochemiczne) na kolejnych odcinkach rzek. Umożliwiają one wizualną ocenę rozkładu stężeń zanieczyszczeń w rzekach dla każdego z rozważanych wskaźników.

## 5. Analiza wyników z modelu

Dla pilotowego zastosowania modelu do bazy danych wprowadzono dane zebrane i wykorzystywane przez Instytut Kształtowania Środowiska w Warszawie dla Zlewni Górnej Noteci (por. Smoleński, Soszka, Wysocki (1984)).

Sieć rzeczna Zlewni obejmuje 4 rzeki: Pannę, wpadającą do Noteci Zachodniej, która z kolei jest, podobnie jak Gasawka, dopływem Noteci (Połączonej); Kanał Notecki przerzucający wody Noteci pomiędzy 280 a 274 kilometrem, traktowany jest jako dodatkowy odpływ i dopływ tej rzeki. Rzeki te zostały podzielone na 31 odcinków o różnej długości; punkty podziału były wyznaczane (za pomocą procedury segmentacji) zgodnie z podanymi założeniami.

W Zlewni wyróżniono 68 źródeł zanieczyszczeń, przy czym w wielu przypadkach ścieki z kilku źródeł są zrzucane w jednym punkcie rzeki. Każdemu ze źródeł przypisano oczyszczalnię: istniejącą, o danych wskaźnikach oczyszczania poszczególnych rodzajów zanieczyszczeń lub projektowaną.

Badania przeprowadzono dla siedmiu wybranych wskaźników zanieczyszczeń: BZT<sub>5</sub>, zawiesiny ogólne, azot amonowy, azot organi-

czny, fosforany, chlorki, fosfor organiczny. Stężenia tych wskaźników były mierzone w 32 punktach pomiarowych.

Generowane przez algorytm wartości współczynników rozkładu  $a_i$  dla poszczególnych odcinków zostały wykorzystane do wyznaczenia rozkładów stężeń w postaci tabelaryzowanej i graficznej.

Jak wynikało z analizy otrzymanych wyników, dla pewnych odcinków wartości współczynników  $a_i$  uzyskiwane z modelu były błędne, tj. większe od jedności lub ujemne. W wyniku tego wartości współczynników  $k_i$  wyznaczone ze wzoru (9) były ujemne lub nieokreślone.

Przyczyny wystąpienia tych błędów mogły być następujące:

- błędne pomiary stężeń rozpatrywanych wskaźników zanieczyszczeń,
- błędne informacje dotyczące źródeł zanieczyszczeń: błędne wartości ładunków odprowadzanych zanieczyszczeń lub istnienie nieznanymi zrzutów, których lokalizacja nie została podana,
- niedokładność podanych wskaźników oczyszczania,
- błędne dane dotyczące wartości natężenia i prędkości przepływu w wyniku niedokładności lub braku dostatecznej liczby pomiarów, nieuwzględnienia spływu powierzchniowego oraz istnienia źródeł zanieczyszczeń rozłożonych (przepływ nie jest stały na całym rozpatrywanym odcinku).

Ponieważ autorzy modelu nie mieli możliwości zweryfikowania otrzymanych danych zaproponowano prosty schemat korygowania wartości współczynników  $a_i$ . Mianowicie, w przypadku, gdy dla  $i$ -tego odcinka wartość  $a_i$  generowana przez algorytm nie jest mniejsza od jedności wówczas jest ona wyznaczana na podstawie wartości współczynnika reakcji 1-go rzędu  $k_{i-1}$  dla poprzedniego odcinka oraz prędkości przepływu  $v_i$  (na danym odcinku). Wartości współczynników  $k_i$  były generowane przez algorytm na podstawie wzoru (9).

## 6. Literatura

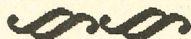
1. Biswas A.K., "Models for Water Quality Management", McGraw-Hill series in "Water Resources and Environmental Engineering", 1981.
2. Boczar J., "Wzory służące do modelowania procesów rozpręstrzenia i przekształcania zanieczyszczeń w rzekach", Prace Naukowe Politechniki Szczecińskiej, Instytut Inżynierii Wod-

- nej, Szczecin 1980 .
3. Gondzio J., Petriczek G., Uhrynowski Z., "Model dla wspomagania decyzji dotyczących ochrony jakości wody w rzekach ", w: "Komputerowe systemy i metody wspomagające podejmowanie decyzji", red. R. Kulikowski, PAN, IBS PAB ,Warszawa 1988.
  4. Makowski M., Petriczek G., Uhrynowski Z., "Modele i oprogramowanie dla wspomagania procesów podejmowania decyzji w Górnono-  
teckim Systemie Wodno Gospodarczym ",Opracowanie wewnętrzne  
IBS PAN, Warszawa 1987.
  5. Petriczek G., Uhrynowski Z., "Metody wyznaczania współczynni-  
ków rozprzestrzeniania się i rozkładu zanieczyszczeń w rzece w  
modelach decyzyjnych", w: "Estymacja parametrów modelowania  
matematycznego zagadnień ochrony wód", Materiały na Sympozjum  
ISEM, Warszawa 1986.
  6. Thomann R.V., "Systems Analysis and Water Quality Management",  
McGraw-Hill , New York 1978 .
  7. Smoleński A., Soszka H., Wysocki J., "Ocena chłonności rzek i  
wynikająca z niej potrzeba oczyszczania ścieków w rejonie sy-  
stemu pilotowego Górna Noteć", Opracowanie Instytutu Kształto-  
wania Środowiska w Warszawie, Warszawa 1984.





**Zarząd**  
**Polskiego Towarzystwa Badań Operacyjnych i Systemowych**



**Prezes**

prof.dr hab.inż. Andrzej Straszak  
Instytut Badań Systemowych PAN

**Wiceprezes**

prof.dr hab.inż. Jan Stasiński  
Wojskowa Akademia Techniczna

**Wiceprezes**

prof.dr hab.inż. Stanisław Piasecki  
Instytut Badań Systemowych PAN

**Sekretarz generalny**

dr inż. Zbigniew Nahorski  
Instytut Badań Systemowych PAN

**Sekretarz**

dr inż. Jarosław Sikorski  
Instytut Badań Systemowych PAN

**Skarbnik**

dr inż. Andrzej Kałużko  
Instytut Badań Systemowych PAN

**Członkowie**

prof.dr hab. Jerzy Kisielnicki  
Wydział Zarządzania UW

doc.dr hab.inż. Bohdan Korzan  
Wojskowa Akademia Techniczna

doc.dr hab.inż. Jan Stachowicz  
Zakład Nauk Zarządzania PAN

doc.dr hab.inż. Maciej Sysło  
Instytut Informatyki UW.

**Komisja rewizyjna**

**PRZEWODNICZĄCY**

dr Władysław Świtalski  
Katedra Cybernetyki i Badań Operacyjnych UW

**CZŁONKOWIE**

dr inż. Janusz Kacprzyk  
Instytut Badań Systemowych PAN

dr inż. Marek Malarski  
Instytut Transportu PW

doc.dr hab. Henryk Sroka  
Akademia Ekonomiczna w Katowicach

dr inż. Leon Słomiński  
Instytut Badań Systemowych PAN

IBS Kauf.

41284/  
II

IBS