



POLSKA AKADEMIA NAUK
Instytut Badań Systemowych

**TECHNOLOGIE INFORMATYCZNE
W ZARZĄDZANIU
SYSTEMY
WSPOMAGANIA DECYZJI**

pod redakcją:
Jana Studzińskiego,
Ludostawa Drelichowskiego,
Olgierda Hryniewicza,
Janusza Kacprzyka



TECHNOLOGIE INFORMATYCZNE W ZARZĄDZANIU
SYSTEMY WSPOMAGANIA DECYZJI

Polska Akademia Nauk • Instytut Badań Systemowych

Seria: BADANIA SYSTEMOWE
tom 26

Redaktor naukowy:

Prof. dr hab. Jakub Gutenbaum

Warszawa 2000

**TECHNOLOGIE INFORMATYCZNE
W ZARZĄDZANIU
SYSTEMY WSPOMAGANIA DECYZJI**

pod redakcją

Jana Studzińskiego, Ludosława Drelichowskiego

Olgierda Hryniewicza i Janusza Kacprzyka

Książka zawiera wybór referatów przedstawionych na konferencji "Komputerowe systemy wielodostępne KSW'2000" w Ciechocinku w 2000 r. Konferencja pod patronatem Komitetu Badań Naukowych została zorganizowana przez Akademię Techniczno-Rolniczą w Bydgoszczy, Instytut Badań Systemowych PAN, Komisję Informatyki PAN - Oddział w Gdańsku oraz Bydgoskie Zakłady Elektromechaniczne "BELAM" S.A. w Bydgoszczy.

Komitet Naukowo-Programowy konferencji:

Witold Abramowicz, Ryszard Budziński, Ryszard Choraś, Ludosław Drelichowski (przewodniczący), Grzegorz Głownia, Adam Grzech, Jakub Gutenbaum, Olgierd Hryniewicz, Janusz Kacprzyk, Zbigniew Kierzkowski, Jerzy Kisielnicki, Adam Kopiński, Maciej Krawczak, Henryk Krawczyk, Bernard F. Kubiak, Roman Kulikowski, Marian Kuraś, Ludwik Maciejec, Marek Miłoś, Janusz Stokłosa, Jan Studziński, Zdzisław Szyjewski.

© Instytut Badań Systemowych PAN, Warszawa 2000

ISBN 83-85847-53-7
ISSN 0208-8028

Rozdział 3

**Modele matematyczne w systemach
komputerowych**

KOMPUTEROWY SYSTEM EKOROZWOJU WODNEGO REGIONU

Jerzy Hołubiec, Grażyna Petriczek
Instytut Badań Systemowych PAN, Warszawa

THE COMPUTER MODEL OF REGIONAL WATER ECOSYSTEM

This paper present the model for decision making in various water quality management problems. The presented model can be used for analysing and planning various waste discharge policy for both existing and future loads (the latter growing more and more due to the urban and industry development) or for water quality improvement in the river network.

The model take into considering the influence of urban, industrial and agricultural pollution on the water quality in the considered river network. The model of pollutant concentration downstream distribution can be used as a part of a decision model.

A method for determining the simplified model parameters is proposed and a computational algorithm is given.

The computer system connected with this model should contain the following part:

- data base, which contains information concerning the sampling points (locations, concentration values, values of flow and velocity) sources of wastes (source lokation, discharged loads) and waste discharge sites (location, number of sources attached)*
- algorithm to obtain the segment connection structure*
- algorithm for determining the model parameters*
- formulas describing the mathematical water quality model.*

1. Wstęp

Przedstawiony w pracy model służy do modelowania procesu rozprzestrzeniania się i rozkładu zanieczyszczeń w sieci rzecznej. Może on być wykorzystany do oceny stopnia zanieczyszczenia rzek regionu oraz do analizy wpływu różnych koncepcji rozwoju regionu na stopień jakości wód w jego sieci rzecznej.

Model pomyślany jest jako część systemu dotyczącego analizy i koncepcji rozwoju gospodarczego regionu.

Wykorzystywana przez model baza danych jest całkowicie dostosowana do istniejącego systemu monitoringu zanieczyszczeń wód.

Ponadto prezentowany model umożliwia otrzymywanie wykresów rozkładu (wzdłuż rzeki) stężeń różnych rodzajów zanieczyszczeń (profilu hydrochemicznych) bez konieczności dokonywania żmudnych obliczeń i kreśleń.

Ze względu na przyjęte założenia oraz postać opisujących go zależności model może być zastosowany dla dowolnej zlewni i uwzględniać zarówno wpływ zanieczyszczeń przemysłowych jak i rolniczych na jakość wód w rzekach regionu.

Zaproponowana w pracy metoda obliczania współczynników rozkładu zanieczyszczeń pozwala na stosowanie rozpatrywanego modelu oceny jakości wód dla różnych rodzajów zanieczyszczeń, w oparciu o najczęściej dostępne dane, jakimi dysponują jednostki zajmujące się badaniem stanu czystości rzek. Chodzi tu m.in. o wartości stężeń wybranych wskaźników zanieczyszczeń, wartości przepływów i ładunków zrzutów odprowadzanych do rzek zanieczyszczeń; wielkości te są mierzone w ustalonych punktach pomiarowych. Model nie wymaga wykonywania dodatkowych skomplikowanych pomiarów i analiz. Innymi słowy, jest on całkowicie dostosowany do istniejącego systemu monitoringu zanieczyszczeń wód. Nie jest także wymagana szczegółowa analiza przemian biochemicznych jakim podlegają rozpatrywane zanieczyszczenia.

Ponadto, dysponując danymi dotyczącymi takich wskaźników zanieczyszczeń jak azot organiczny oraz fosfor organiczny - możliwe jest rozszerzenie rozpatrywanego modelu o model bioprodukcji fitoplanktonu uwzględniający takie procesy jak: wzrost i obumieranie fitoplanktonu, asymilację związków nieorganicznych w procesie wzrostu oraz sedimentację. Tak więc, za pomocą przedstawionego modelu możliwe jest uwzględnienie wpływu takich zanieczyszczeń jak azot i fosfor na rozwój fitoplanktonu w sieci rzecznej regionu.

2. Ogólna charakterystyka problemu zanieczyszczeń wód

Rozwój przemysłu, budowa miast i osiedli jak również intensyfikacja rolnictwa, a nawet hydroenergetyka są w dużej mierze uzależnione od dostarczania dostatecznej ilości wody o odpowiedniej jakości. Rosnące zapotrzebowanie na wodę i coraz większe trudności w jej uzyskaniu (na skutek pogarszania się poziomu czystości wód powierzchniowych) powodują, że zaopatrzenie ludności, przemysłu i rolnictwa w wodę staje się z każdym rokiem trudniejsze i bardziej kosztowne.

Prawie wszyscy użytkownicy wód powodują równocześnie ich zanieczyszczenie. Zakłady przemysłowe pobierające wodę zarówno na potrzeby technologiczne jak i w celu bezpośredniego jej wykorzystania w produkcji płynów konsumpcyjnych, odprowadzają wody zużyte w postaci ścieków. Ścieki te mogą zawierać, oprócz rozpuszczonych lub stałych części półproduktów i surowców, różne substancje trujące.

Elektrociepłownie odprowadzają duże ilości ścieków silnie zasolonych i podgrzanych, które zmieniają naturalne warunki życia biologicznego w rzekach.

Budowa nowych miast i osiedli, a także rozbudowa istniejących ośrodków miejskich pociąga za sobą rozbudowę sieci kanalizacyjnej, z której odprowadza się do rzek coraz większe ilości ścieków i ładunków zanieczyszczeń, zawierających znaczne ilości substancji organicznych, zawiesin i bakterii chorobotwórczych.

Intensyfikacja rolnictwa i leśnictwa, a zwłaszcza ich chemizacja przyczyniają się w znacznym stopniu do zanieczyszczenia wód gruntowych i powierzchniowych. Wzrastające zużycie nawozów sztucznych powoduje przyspieszenie procesu eutrofizacji wód stojących, a stosowanie środków ochrony roślin wywołuje liczne zatrucia wód powierzchniowych tymi toksycznymi środkami chemicznymi.

Eutrofizacja wód stojących jest spowodowana gromadzeniem się w jeziorach i zbiornikach wodnych związków azotowych i fosforowych, spłukiwanych z pól i łąk do tych zbiorników. Związki te wywołują nadmierny rozwój biomasy, która obumierając w zbiorniku wywołuje niekorzystne zmiany w składzie fizyko-chemicznym wody.

Odprowadzanie nadmiernych ilości ścieków przemysłowych i komunalnych do wód powierzchniowych powoduje, że zanieczyszczenia organiczne nie mogą być zmineralizowane i rozłożone w wyniku działania sił przyrody w wodach płynących. Duża ilość ścieków odprowadzanych do rzek i jezior powoduje znaczne ubytki tlenu rozpuszczonego i może spowodować wystąpienie warunków anaerobowych w jeziorach i rzekach, przy których procesy samooczyszczania są nieskuteczne.

Z wymienionych wyżej przyczyn wynika, że w ilościowym perspektywnym bilansie wodno-gospodarczym, a przede wszystkim w planach dotyczących ustalania wielkości dyspozycyjnych zasobów wodnych poszczególnych regionów należy uwzględnić wymogi zachowania odpowiedniej czystości poszczególnych rzek i jezior zgodnie z ich przeznaczeniem.

Podsumowując, modele jakości wody odnoszące się zarówno do wód rzecznych jak i jezior powinny stanowić część składową systemu modeli służących do planowania kompleksowego rozwoju wodno-gospodarczego regionu.

3. Model rozkładu zanieczyszczeń w sieci rzecznej

Pełne równanie opisujący zarówno proces transportu i rozcieńczania zanieczyszczeń, jak również przemiany chemiczne jakim podlegają te zanieczyszczenia ma postać:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(E \frac{\partial c}{\partial x} \right) - \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q}{A} c \right) + f(c) + \sum_k S_k \quad (1)$$

gdzie: c - stężenie danego składnika [kg/m^3]
 x - odległość mierzona z biegiem rzeki od punktu zrzutu danego składnika [m]
 E - współczynnik dyfuzji wzdłużnej [m^2/s]
 Q - przepływ [m^3/s]
 A - pole powierzchni przekroju poprzecznego [m^2]
 S_k - zewnętrzne zrzuty (np. zrzuty zanieczyszczeń) lub odprowadzenia (np. pobór wody do celów komunalnych, przemysłowych) danego składnika [$\text{kg}/\text{m}^3\text{s}$]

Równanie (1) określa zmiany w czasie stężenia danego składnika na pewnym odcinku rzeki czyli $\frac{\partial c}{\partial t}$ jako efekt dyfuzji w kierunku x : $E \frac{\partial c}{\partial x}$, efekt adwekcji: $\frac{Q}{A} c$, reakcji biochemicznych $f(c)$ oraz dopływu danego składnika ze źródeł zewnętrznych i jego odpływu do otoczenia: $\sum_k S_k$.

Równanie (1) przedstawia jednowymiarowy model, którego zmienną stanu jest stężenie zanieczyszczeń. Opisuje ono stężenie składnika $c(t,x)$ w warunkach stanu nieustalonego tzn. gdy $\frac{\partial Q}{\partial t} \neq 0$, $\frac{\partial c}{\partial t} \neq 0$

3.1 Podstawowe założenia

Przedstawiony w pracy model rozkładu zanieczyszczeń w sieci rzecznej oparto na następujących założeniach:

1. Model jest jednowymiarowy - została w nim pominięta dyfuzja zarówno w przekroju poprzecznym jak i pionowym. Ponadto, zakłada się, że wpływ dyspersji wzdłużnej jest niewielki i może być pominięty. Przy tym założeniu rozkład stężeń w przekrojach poprzecznym i pionowym rzeki jest jednorodny; uwzględnia się tylko zmiany stężeń wzdłuż biegu rzeki.

2. Zakłada się całkowite wymieszanie zanieczyszczeń w przekroju poprzecznym.
3. Przyjęto istnienie tylko punktowych zrzutów zanieczyszczeń. Ładunki o charakterze rozłożonym (np. zanieczyszczenia pochodzące z chemizacji rolnictwa, hodowli itd.) mogą być aproksymowane przez zrzuty punktowe.
4. Rzeki zostały podzielone na odcinki o stałych własnościach hydraulicznych. Założono, że punktami podziału są miejsca, w których:
 - a) następuje zrzut zanieczyszczeń,
 - b) znajdują się ujścia innych rzek,
 - c) są zlokalizowane dopływy lub odpływy kanałów,
 - d) parametry hydrauliczne rzeki zmieniają wartości.
5. Zakłada się, że zarówno przepływ Q_i jak i parametry hydrauliczne rzeki: pole powierzchni przekroju poprzecznego oraz prędkość przepływu są stałe dla danego odcinka tzn. zachodzi warunek:

$$\hat{0 \leq t \leq T} \quad \hat{0 \leq x \leq L_i} \quad \{Q(x, t) = \text{const}, \quad A(x, t) = \text{const}, \quad v(x, t) = \text{const}\}$$

gdzie: T - przedział czasu, w którym rozpatrujemy rozkład zanieczyszczeń

L_i - długość odcinka rzeki

6. Model odnosi się do warunków stanu ustalonego, gdy zarówno natężenia przepływu, dopływy jak i natężenie zrzutu zanieczyszczeń są stałe w danym okresie czasu (wielkości te wyraża się najczęściej w postaci wartości średnich za dany okres), co powoduje, że stężenie zanieczyszczeń w tym okresie czasu badane w ustalonym punkcie rzeki nie ulega zmianie. Model jest więc modelem statycznym.
7. Dla uwzględnienia procesów chemicznych i biochemicznych, które powodują przekształcanie i rozkład zanieczyszczeń wprowadzono liniową funkcję postaci:

$$f(c) = k \cdot c \quad (2)$$

k - współczynnik szybkości reakcji [1/s] która odpowiada kinetyce reakcji 1-go rzędu

3.2 Postać modelu rozkładu zanieczyszczeń

Przy uwzględnieniu założeń 1 - 7 ogólne równanie opisujące rozkład stężeń zanieczyszczeń wzdłuż i-tego odcinka rzeki sprowadza się do postaci:

$$\frac{Q_i}{A_i} \cdot \frac{dc_i}{dl} + k \cdot c_i = 0 \quad (3)$$
$$c_i = x_i \quad \text{dla } l_i = 0$$

Równanie (3) przedstawia statyczny model rozkładu zanieczyszczeń na danym odcinku rzeki.

Całkując to równanie otrzymujemy rozwiązanie:

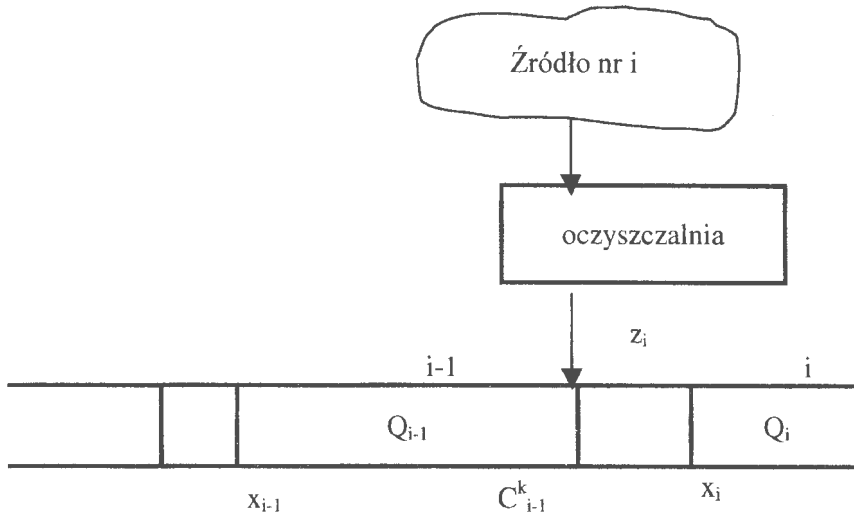
$$c_i = x_i \cdot e^{\left(-\frac{k}{v_i} l_i\right)} \quad (4)$$
$$v_i = \frac{Q_i}{A_i}$$

gdzie:

- c_i - stężenie rozpatrywanego rodzaju zanieczyszczenia w punkcie l_i na i-tym odcinku rzeki [g/m^3]
- Q_i - przepływ [m^3/s] w i-tym odcinku rzeki
- A_i - pole powierzchni przekroju poprzecznego [m^2] i-tego odcinka rzeki
- l_i - położenie punktu na i-tym odcinku, w którym badamy stężenie [km]
- k - współczynnik reakcji biochemicznej 1-go rzędu jakiej ulega rozpatrywane zanieczyszczenie [1/s]
- x_i - stężenie rozpatrywanego zanieczyszczenia w punkcie początkowym danego odcinka [g/m^3]
- v_i - prędkość przepływu w i-tym odcinku

Należy zauważyć, że równanie (3) określa rozkład zanieczyszczeń tylko na tym odcinku rzeki, na którym nie występują żadne zmiany wartości parametrów hydraulicznych rzeki, nie ma nowych źródeł zanieczyszczeń ani dopływów lub odpływów.

Aby otrzymać pełny model opisujący rozkład zanieczyszczeń w całej rzece (a nie tylko na jej odcinku) należy podać zależności łączące poszczególne odcinki rzeki w punktach podziału. W celu wyprowadzenia tych zależności posłużymy się następującym rysunkiem:



Rys.1 Schemat przedstawiający zależności pomiędzy sąsiednimi odcinkami rzeki

gdzie: i - punkt podziału rzeki na odcinki, w których znajduje się źródło zanieczyszczeń

z_i - ładunek zanieczyszczeń odprowadzanych do rzeki po ewentualnym oczyszczeniu [g/s]

Q_i - natężenie przepływu w i -tym odcinku rzeki [m^3/s]

C_{i-1}^k - stężenie zanieczyszczeń na końcu i -tego odcinka [g/m^3]

x_i - stężenie w punkcie początkowym [g/m^3]

Dla punktów podziału równania bilansu masy mają postać:

$$Q_i x_i = Q_{i-1} c_{i-1}^k + z_i \quad (5)$$

Stężenie c_{i-1}^k na końcu i -tego odcinka jest rozwiązaniem równania (3) i określone jest zależnością (4).

Równania (3) i (5) reprezentują uproszczony model rozkładu zanieczyszczeń w rzece przy przyjętych założeniach 1 - 7.

Wzór (4) wyraża zależność między stężeniem zanieczyszczeń w punkcie l_i odcinka i -tego (tj. w miejscu położonym w odległości l_i od początku i -tego odcinka) a stężeniem x_i w punkcie początkowym i -tego odcinka.

Tak więc proponowany model rozkładu zanieczyszczeń w sieci rzecznej ma postać:

$$Q_i x_i = Q_{i-1} c_{i-1}^k + z_i \quad (6a)$$

$$c_i = x_i \cdot e^{\left(-\frac{k}{v_i} L_i\right)} \quad (6b)$$

Stężenie na końcu i-tego odcinka można otrzymać z następującego wzoru:

$$c_{i-1}^k = x_{i-1} \cdot e^{\left(-\frac{k}{v_{i-1}} L_{i-1}\right)} \quad (6c)$$

L_{i-1} - długość i-1-go odcinka

W modelu tym parametrami są: natężenie przepływu na danym odcinku Q_i , prędkość przepływu v_i oraz współczynnik reakcji biochemicznej 1-go rzędu k .

Przy znanych wartościach parametrów wzory (6a) - (6b) pozwalają określić wpływ ładunków zrzucanych zanieczyszczeń w dowolnych punktach l_i poszczególnych odcinków rzek. Zależność (6b) pozwala wykreślić rozkład 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 współczynnika k .

Z analizy wzoru (6c) wynika, że istnieje zależność między stężeniem c_i^k na końcu i-tego odcinka a wartością stężenia w punkcie początkowym i ma ona następującą postać liniową:

$$c_i^k = a_i x_i \quad (7)$$

Występujący w równaniu (7) 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 współczynnik ten ma wartość stałą dla poszczególnych odcinków rzeki i zawiera w sobie informację o zacho-

dzącej na danym odcinku neutralizacji zanieczyszczeń. Tak więc współczynnik ten może być traktowany jako parametr rozważanego modelu.

Jeżeli przyjmiemy, że:

x_i - wartość stężenia rozpatrywanego rodzaju zanieczyszczenia na początku i -tego odcinka

v_i - prędkość przepływu w i -tym odcinku

c_i - wartość stężenia zanieczyszczenia na końcu i -tego odcinka

to uproszczony model rozkładu zanieczyszczeń w sieci rzecznej ma następującą postać:

$$Q_i x_i = Q_{i-1} c_{i-1} + z_i \quad (8a)$$

$$c_{i-1} = a_{i-1} x_{i-1} \quad (8b)$$

W tym modelu, stężenia różnych rodzajów zanieczyszczeń x_i na początku każdego odcinka rzeki są zmiennymi stanu, ładunki zrzutu rozpatrywanych zanieczyszczeń z_i są zmiennymi decyzyjnymi; przepływ Q_i na i -tym odcinku i współczynnik rozkładu zanieczyszczeń a_i są parametrami przedstawionego modelu.

4. Algorytm wyznaczania współczynników rozkładu zanieczyszczeń

Aby przedstawiony w pracy model postaci (8a) - (8b) mógł być stosowany należy znać wartości jego parametrów Q_i i a_i . Wartości przepływów Q_i są znane z pomiarów natomiast wartości współczynników rozkładu zanieczyszczeń a_i muszą być wyznaczone w oparciu o dostępne dane.

Z analizy wzorów (6c) oraz (7) wynika, że współczynnik a_i może być przedstawiony w postaci:

$$a_i = e^{\left(-\frac{k}{v_i} L_i\right)} \quad (9)$$

Z zależności (9) wynika, że do wyznaczenia wartości współczynnika a_i potrzebne są wartości prędkości przepływu v_i oraz wartości współczynników reakcji biochemicznych 1-go rzędu rozpatrywanych rodzajów zanieczyszczeń. Niestety, w praktyce wartości współczynników k nie są bezpośrednio dostępne i aby je obliczyć należałoby przeprowadzić wiele dodatko-

wych pomiarów i analiz dotyczących zarówno parametrów hydraulicznych rzeki, jak i rodzajów reakcji jakim podlegają te zanieczyszczenia.

Przedstawimy teraz metodę wyznaczania współczynników rozkładu a_i , która wymaga jedynie znajomości: wartości stężeń w punktach pomiarowych oraz położenia tych punktów na danym odcinku, wartości przepływów i ich prędkości w tych punktach oraz wartości ładunku zrzutu w punktach podziału.

Zakłada się, że zmierzone w punktach pomiarowych wartości przepływów oraz prędkości są stałe na odcinku, na którym znajdują się te punkty pomiarowe.

W przedstawionej w pracy metodzie do wyznaczenia współczynnika rozkładu a_i dla dowolnego rodzaju zanieczyszczeń nie jest potrzebna znajomość reakcji biochemicznej jakiej to zanieczyszczenie ulega.

Rozważmy i -ty odcinek rzeki, na którym zarówno przepływ jak i prędkość przepływu są stałe wzdłuż długości tego odcinka.

Założmy, że na tym odcinku istnieją dwa punkty pomiarowe położone w różnych odległościach od początku odcinka. Stężenia w tych punktach oznaczamy przez C_i^1 , C_i^2 a odpowiadające im odległości przez l_i^1 , l_i^2 . Długość tego odcinka wynosi L_i .

Zgodnie z równaniem (6b) wartości stężeń w poszczególnych punktach pomiarowych spełniają zależności:

$$c_i^1 = x_i \cdot e^{\left(-\frac{k}{v_i} l_i^1\right)} \quad (10a)$$

$$c_i^2 = x_i \cdot e^{\left(-\frac{k}{v_i} l_i^2\right)} \quad (10b)$$

Po odpowiednich przekształceniach otrzymujemy następującą zależność na a_i :

$$a_i = \left(\frac{c_i^1}{c_i^2} \right)^{\frac{L_i}{l_i^2 - l_i^1}} \quad (11)$$

Zależność (11) jest podstawową zależnością, na której opiera się algorytm wyznaczania współczynników rozkładu zanieczyszczeń. Pozwala bo-

wiem wyznaczyć współczynniki tylko na podstawie znajomości stężeń rozpatrywanego rodzaju zanieczyszczenia w danych punktach pomiarowych. Na podstawie zależności (11) można wyznaczyć współczynniki rozkładu a_i dla różnych rodzajów zanieczyszczeń, bez konieczności badania reakcji biochemicznych jakim ulegają te zanieczyszczenia.

Model opisany równaniami (8a) - (8b) może być więc zastosowany do opisu rozkładu różnego rodzaju zanieczyszczeń.

Ponieważ nie na każdym odcinku rzeki istnieją dwa punkty pomiarowe zachodzi konieczność modyfikacji wzoru (11) w zależności od liczby punktów pomiarowych na danym odcinku.

Prezentowany algorytm wyznaczania współczynników rozkładu zanieczyszczeń uwzględnia następujące przypadki lokalizacji punktów pomiarowych:

1. na każdym odcinku istnieje jeden punkt pomiarowy - współczynniki a_i można wyznaczyć z zależności

$$a_i = \left(\frac{c_i}{x_i} \right)^{\frac{L_i}{l_i}} \quad (12)$$

x_i - stężenie na początku odcinka

2. na danym odcinku nie ma żadnego punktu pomiarowego, natomiast punkty takie istnieją na kolejnych odcinkach
 - 2.1. w przypadku gdy na sąsiednich odcinkach są dwa punkty pomiarowe - a_i można wyznaczyć z zależności

$$a_i = \frac{a_{i+1}x_{i+1} - z_{i+1}}{Q_{i-1}a_{i-1}x_{i-1} + z_i} \quad (13)$$

- 2.2 przypadku gdy na sąsiednim odcinku jest tylko jeden punkt pomiarowy nie można jednoznacznie określić współczynnika a_i i dlatego należy rozważyć dwa warianty

- 2.2.1 na $i+2$ -gim odcinku są dwa punkty pomiarowe i w oparciu o te dane wyznacza się wartości stężenia na końcu $i+1$ -szego odcinka oraz współczynnik a w postaci

$$c_{i+1}^k = \frac{Q_{i+2}x_{i+2} - z_{i+2}}{Q_{i+1}} \quad (14a)$$

$$a_{i+1} = \left(\frac{c_{i+1}^k}{c_{i+1}^l} \right)^{\frac{L_{i+1}}{L_{i+1} - l_{i+1}}} \quad (14b)$$

- c_{i+1}^k stężenie na końcu $i+1$ -go odcinka
- 2.2.2 na $i+2$ -gim odcinku istnieje tylko jeden punkt pomiarowy. W tej sytuacji należy rozważyć następny odcinek tzn. odcinek $i+3$ -ci. Rozważania są analogiczne jak dla pkt. 2.2
- 2.3 W sytuacji gdy na sąsiednim odcinku nie ma żadnych punktów pomiarowych należy badać następny odcinek i w zależności od liczby punktów pomiarowych znajdujących się na nim schemat postępowania jest analogiczny jak w przypadkach 2.2.1 i 2.2.2

Opisane wyżej przypadki są podstawowymi wariantami; w algorytmie została również uwzględniona sytuacja gdy badany odcinek jest ostatnim odcinkiem rzeki wchodzącym w skład rozpatrywanej sieci rzecznej.

Przedstawiona wyżej metoda wyznaczania współczynników rozkładu może być zastosowana dla dowolnej struktury sieci rzecznej.

W algorytmie wyznacza się też współczynnik reakcji pierwszego rzędu w zależności od danych prędkości przepływu oraz współczynników a_i obliczanych według omówionych wcześniej schematów. Daje to możliwość porównania wartości współczynników reakcji 1-go rzędu występujących w naszym modelu z wartościami podawanymi w literaturze.

5 Uwagi końcowe

Przedstawiony model, mimo iż na pierwszy " rzut oka" wydaje się dość skomplikowany, jest przygotowany do praktycznego zastosowania. Dane potrzebne do analizy (w oparciu o przedstawiony model) są dostępne w istniejącym monitoringu zanieczyszczeń wód. Ponadto przedstawiona metoda wyznaczania parametrów modelu jakimi są współczynniki rozkładu zanieczyszczeń umożliwi uwzględnienie różnych sytuacji dotyczących lokalizacji punktów pomiarowych. Ze względu na przyjęte założenia oraz postać zależności opisujących model, może on być stosowany do całej sieci rzecznej: a więc rzeki głównej wraz z jej dopływami oraz zbiornikami wodnymi istniejącymi na tych rzekach. Przy analizie i prognozowaniu rozwoju ekosystemu wodnego w regionie ma to zasadnicze znaczenie. Większość bowiem zanieczyszczeń pochodzących z chemizacji rolnictwa i leśnictwa odprowadzana jest do małych rzek będących dopływami rzek głównych.

Model znajduje się w końcowej fazie oprogramowania i pomyślany jest jako część systemu dotyczącego analizy i koncepcji rozwoju gospodarczego regionu.

Komputerowy model powinien zawierać następujące moduły:

- * bazę danych zawierającą dane dotyczące: stężeń w punktach pomiarowych (lokalizacja punktów pomiarowych na danym odcinku sieci, położenie punktu pomiaru stężenia na rzece, stężenia rozpatrywanych rodzajów zanieczyszczeń), zrzutów zanieczyszczeń (położenie punktu zrzutu, przepływ ładunku w zrzucie, wartości ładunków rozpatrywanych zanieczyszczeń), dane o oczyszczalniach, dane o przepływach i prędkościach, charakterystyka odcinków rzeki
- * program zawierający algorytm podziału sieci rzecznej na odcinki i generujący niektóre parametry modelu (charakterystyki odcinków)
- * program zawierający algorytm wyznaczania współczynników rozkładu dla rozpatrywanych wskaźników zanieczyszczeń
- * moduł generujący matematyczny model rozkładu zanieczyszczeń zgodnie z przedstawionym w pracy opisem- model może działać jako model tylko symulacyjny a więc służący do analizy różnych koncepcji i wariantów rozwoju regionu, lub też służyć do planowania koncepcji związanych z poprawą ekologicznych warunków w regionie
- * moduł do tworzenia różnych raportów otrzymywanych z modelu - w tym procedury graficzne do tworzenia wykresów rozkładu stężeń rozpatrywanych wskaźników zanieczyszczeń (profile hydrochemiczne)

Bibliografia

- Biskwas, A.K.(1981) Models for Water Anality Management series in *Water Resources and Environmental Engineering* , McGraw - Hill, NewYork
- Boczar, J.(1980) Wzory służące do modelowania procesów rozprzestrzenia - nia się i przekształcania zanieczyszczeń w rzekach, *Prace Naukowe Politechniki Szczecińskiej, Instytut Inżynierii Wodnej, Szczecin*
- Eckenfelder, W. (1967) Określenie zdolności asymilacji zanieczyszczeń przez rzekę. *Badania rzek, IGW, Warszawa*
- Petriczek, G. (1988) Modelowanie systemów sterowania gospodarką wodną regionu. *Praca doktorska, IBS PAN, Warszawa*
- Petriczek, G., Uhrynowski, Z., (1986) Methods for Pollutant Decay Coefficients Determination in River, *Proceedings of the ISEM Symposium, Warszawa*
- Thomann, R.V. (1972) *Systems Analysis and Water Quality Management*, McGraw - Hill, New York
- Vasiliev, O.,F. (1976) *Matiematiczeskoje modelirovanije kaczestva wody w rekach i vodojomach*, Trudy IV Vsesojuznogo Hidrolog. Siezda, t.9, Moskwa

ISSN 0208-8029
ISBN 83-85847-53-7

**W celu uzyskania bliższych informacji i zakupu dodatkowych egzemplarzy
prosimy o kontakt z Instytutem Badań Systemowych PAN
ul. Newelska 6, 01-447 Warszawa
tel. 837-35-78 w. 241 e-mail: bibliote@ibspan.waw.pl**