

## STATYSTYCZNA ANALIZA POMIARÓW SKAŻENIA WÓD POWIERZCHNIOWYCH

JERZY STRASZKO, MARZENA JASTRZĘBSKA

Politechnika Szczecińska, Instytut Inżynierii Chemicznej i Chemii Fizycznej, Al. Piastów 42, 71-065 Szczecin

### Komunikat

Keywords: surface waters monitoring, statistic and modeling, ARIMA process.

## STATISTIC ANALYSIS OF SURFACE WATERS POLLUTION MEASUREMENTS

The results of statistic estimation of measurements done within surface waters monitoring programme were described. The biogens concentrations (the years 1994–1998) and the oxygen indicators (the years 1992–1996) in the measurement point on Odra river in Krajnik Dolny constituted the data base. The time changeability of these indicators was well described by log-normal and gamma distributions was shown. The normalised distributions were also given. The autocorrelation and the periodicity were examined. It was stated that the considered time sequences were characterised by the strong autocorrelation and the periodicity. Using the ARIMA process the modelling of measurement series was realised. After the selection of models, the programming of examined indicators changes was accomplished. It was shown that using ARIMA models valuable results can be obtained.

### Streszczenie

Przedstawiono wyniki statystycznej oceny pomiarów wykonanych w ramach programu monitoringu wód powierzchniowych. Bazę danych stanowiły oznaczenia stężeń biogenów (lata 1994–1998) i wskaźników tlenowych (lata 1992–1996) w punkcie reperowym na Odrze w Krajniku Dolnym. Wykazano, że zmienność w czasie tych wskaźników dobrze opisują rozkłady log-normalny i gamma. Podano również rozkłady unormowane. Zbadano autokorelację i okresowość. Stwierdzono, że rozpatrywane szeregi czasowe charakteryzują się silną autokorelacją i okresowością. Stosując proces ARIMA przeprowadzono modelowanie serii pomiarowych. Po wyborze modeli wykonano prognozowanie zmian badanych wskaźników. Wykazano, że stosując modele ARIMA można uzyskać wartościowe rezultaty.

## WPROWADZENIE

Jakość wód powierzchniowych ocenia się na podstawie pomiarów przeprowadzanych w ramach monitoringu [7, 10]. Obejmuje on sieć krajową, sieci regionalne oraz lokalne. Pomiary wykonuje się według standaryzowanych procedur. Określają one sposób poboru prób, metody analityczne i zasady opracowywania wyników [8, 9]. Stężenia zanieczyszczeń zależą od ilości wprowadzanych substancji toksycznych ze ściekami oraz przypadającej na nie ilości wody w odbiorniku. Rozprzestrzenianie się zanieczyszczeń, przez które rozumie się mieszanie ścieków z wodą, jest procesem złożonym. Przebiega on na drodze konwekcji, dyfuzji turbulencyjnej i dyfuzji molekularnej. Spośród wielu parametrów wpływających na rozprzestrzenianie się zanieczyszczeń w rzekach ważne znaczenie mają: reżim hydrologiczny, środowisko biologiczne, objętość zrzutu i stężenie polutantów oraz stopień ich biodegradacji [2, 6, 14].

Stężenia polutantów w wodzie są zmiennymi losowymi. Wyniki pomiarów należy zatem opisywać metodami statystycznymi [3–5]. Pierwszym etapem takiego postępowania jest wyznaczenie rozkładu najlepiej opisującego zmienność stężeń w czasie i wyznaczenie jego parametrów. Potem można badać autokorelację i przeprowadzać analizę widmową oraz konstruować modele umożliwiające prognozowanie. W zakres analizy szeregów czasowych wchodzi dekompozycja i modelowanie. W wyniku dekompozycji ustala się sposób przebiegu procesu (stacjonarny, niestacjonarny), określa się, czy poszczególne realizacje są ze sobą skorelowane i ocenia się występowanie okresowości. Zasadnicze metody tych badań to autokorelacja i analiza widmowa. Do oszacowania gęstości widmowej służy periodogram. Jest to jedna z metod wyznaczania zaburzeń badanego zjawiska w wyniku nakładania się na jego przebieg szumu. Analiza polega na oszacowaniu energii poszczególnych harmonicznym szumów. W tym celu estymuje się gęstość widmową procesu na podstawie zarejestrowanej, pojedynczej realizacji przy założeniu, że szum jest procesem stacjonarnym z widmem ciągłym o zerowej wartości oczekiwanej.

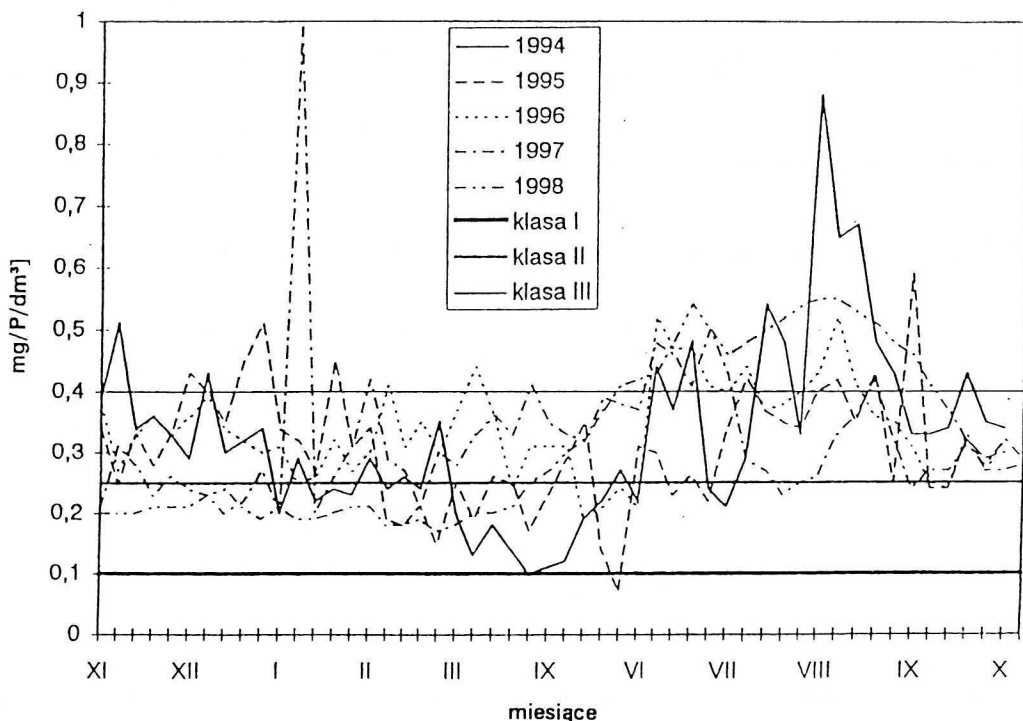
Następnym etapem jest modelowanie. Po zbudowaniu sieci monitoringu najpierw stosowano proste modele prognostyczne i sekwencyjne algorytmy symulacyjne prowadzące do procesów ruchomej średniej (Moving Average) – MA, autoregresji (Auto-Regresive) – AR i połączonych procesów o ruchomej średniej i autoregresji (Auto-Regresive Moving-Average) – ARMA [12]. Ogólniejszy model zawiera zarówno parametry autoregresji, jak i średnią ruchomą oraz wprowadza do modelu operator różnicowania [9, 13]. W modelu wyróżnia się trzy rodzaje parametrów: autoregresyjne ( $p$ ), rząd różnicowania ( $d$ ) oraz parametr średniej ruchomej ( $q$ ). Według notacji wprowadzonej przez Boxa i Jenkinsa modele te określa się jako ARIMA ( $p, d, q$ ); na przykład opisanie modelu w formie (0, 1, 2) oznacza, że zawiera on zero parametrów autoregresyjnych i dwa parametry średniej ruchomej, które zostały obliczone dla szeregu po jednokrotnym różnicowaniu [13].

## ANALIZA STATYSTYCZNA WYNIKÓW POMIARÓW

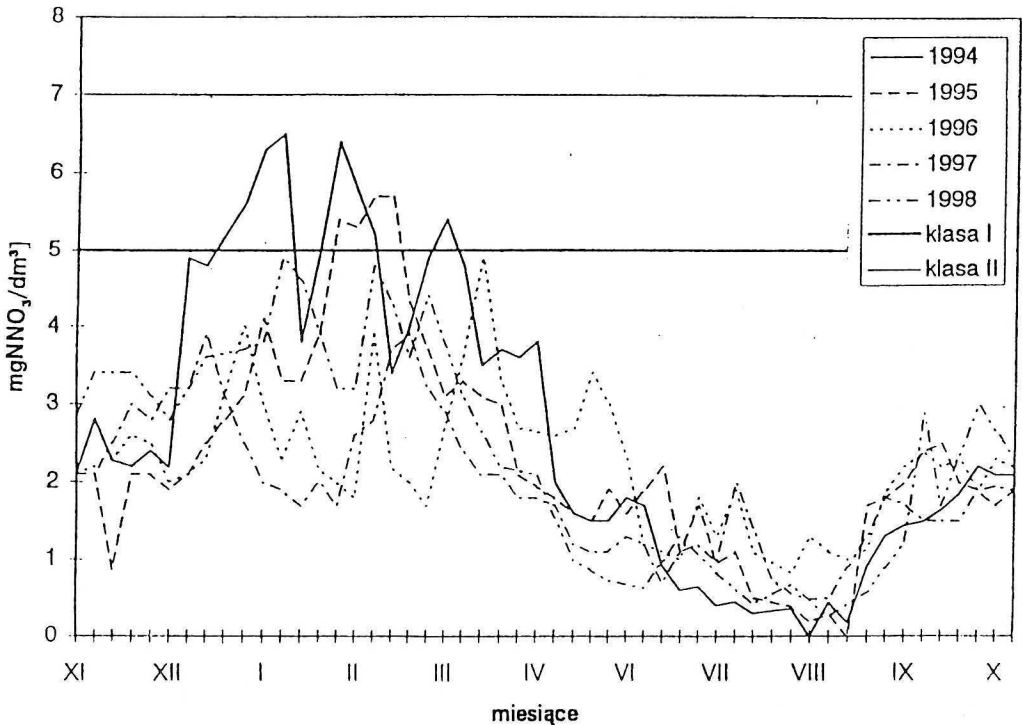
Potrzebne do przeprowadzenia analizy statystycznej wyniki uzyskano z pomiarów wykonanych w ramach programu monitoringu wód płynących w regionie szczecińskim. Mierzono stężenia biogenów i wskaźniki tlenowe [1, 8, 9, 11]. Aby skrócić opis, a jednocześnie przedstawić wszystkie istotne zagadnienia, w części dotyczącej podstawowej analizy statystycznej wykorzystano rezultaty dotyczące biogenów, a w części poświęconej badaniu okresowości i prognozowaniu – wskaźniki tlenowe. Opracowując wyniki stosowano wszystkie oznaczone w latach 1994–1998 stężenia biogenów.

Na rysunkach 1 i 2 przedstawiono przykładowe serie pomiarowe dla fosforu ogólnego i azotu azotanowego. Dla pozostałych biogenów otrzymano podobne wykresy. Na rysunkach zaznaczono wskaźniki normatywne dla obowiązujących klas czystości wody. Widać, że w ostatnich latach nie nastąpiły większe zmiany jakości wody w tym punkcie reperowym.

Stężenia polutantów w wodzie są zmiennymi losowymi. Opracowując wyniki pomiarów, należy zatem stosować metody statystyczne. Pierwszym etapem jest wybór odpowiedniego rozkładu i wyznaczenie jego parametrów. Testowano wszystkie znane rozkłady jednowymiarowe. Kryterium doboru stanowiły



Rys. 1. Zmiana stężenia fosforu ogólnego w latach 1994–1998. Odra (Krajnik)  
Changes of general phosphorus concentration in years 1994–1998. Odra (Krajnik)



Rys. 2. Zmiany stężenia azotu azotanowego (ogólnego) w latach 1994–1998. Odra (Krajnik)  
Changes of nitric nitrogen concentration in years 1994–1998. Odra (Krajnik)

wyniki testu Kołmogorowa-Smirnowa i  $\chi^2$ . Oceniano je na poziomie istotności 0,05. Obliczano procent, w jakim dany rozkład spełnia te testy. Przykładowe wyniki zamieszczono w tabeli 1. Widać, że najlepiej spełniany jest rozkład log-normalny. Wyznaczono parametry wybranego rozkładu, tzn. wartość oczekiwaną  $E(x)$ , stężenie minimalne  $C_5$ , stężenie maksymalne  $C_{95}$  oraz odchylenie standardowe  $D(x)$ . W tabeli 2 zamieszczono uzyskane rezultaty dla fosforanów rozpuszczalnych i fosforu ogólnego, natomiast w tabeli 3 poda-

Tabela 1. Zestawienie wyników testów Kołmogorowa-Smirnowa i  $\chi^2$ . Odra (Krajnik), lata 1994–1998  
Set of Kołmogorow-Smirnow tests results and  $\chi^2$ . Odra (Krajnik) 1994–1998

| Typ rozkładu | % w jakim spełnia test K-S | % w jakim spełnia test $\chi^2$ |
|--------------|----------------------------|---------------------------------|
| Erlanga      | 91,1                       | 74,4                            |
| Wykładniczy  | 11,1                       | 14,4                            |
| Gamma        | 92,2                       | 76,7                            |
| Log-normalny | 94,4                       | 74,4                            |
| Normalny     | 83,3                       | 66,7                            |
| Weibulla     | 90,0                       | 65,6                            |

Tabela 2. Parametry rozkładu log-normalnego dla związków fosforu  
 Log-normal distribution parameters for phosphorus compounds

| Rozkład log-normalny                         |      |      |                |                 |                                     |      |                |                 |
|--|------|------|----------------|-----------------|-------------------------------------|------|----------------|-----------------|
| Fosforany rozpuszczone [mg/dm <sup>3</sup> ] |      |      |                |                 | Fosfor ogólny [mg/dm <sup>3</sup> ] |      |                |                 |
| Rok  | E(x) | D(x) | C <sub>5</sub> | C <sub>95</sub> | E(x)                                | D(x) | C <sub>5</sub> | C <sub>95</sub> |
| 1994   | 0,33 | 0,22 | 0,28           | 0,75            | 0,33                                | 0,15 | 0,30           | 0,62            |
| 1995   | 0,29 | 0,15 | 0,26           | 0,57            | 0,31                                | 0,12 | 0,29           | 0,53            |
| 1996   | 0,36 | 0,19 | 0,32           | 0,71            | 0,34                                | 0,08 | 0,33           | 0,49            |
| 1997   | 0,27 | 0,13 | 0,24           | 0,52            | 0,32                                | 0,09 | 0,31           | 0,49            |
| 1998   | 0,21 | 0,12 | 0,18           | 0,44            | 0,30                                | 0,13 | 0,28           | 0,55            |

Tabela 3. Parametry rozkładu log-normalnego dla wskaźników azotowych  
 Log-normal distribution parameters for nitrogen indicators

| Rozkład log-normalny |                                    |      |                |                 |                                      |       |                |                 |                                      |      |                |                 |                                   |      |                |                 |
|----------------------|------------------------------------|------|----------------|-----------------|--------------------------------------|-------|----------------|-----------------|--------------------------------------|------|----------------|-----------------|-----------------------------------|------|----------------|-----------------|
| Rok                  | Azot amonowy [mg/dm <sup>3</sup> ] |      |                |                 | Azot azotynowy [mg/dm <sup>3</sup> ] |       |                |                 | Azot azotanowy [mg/dm <sup>3</sup> ] |      |                |                 | Azot ogólny [mg/dm <sup>3</sup> ] |      |                |                 |
|                      | E(x)                               | D(x) | C <sub>5</sub> | C <sub>95</sub> | E(x)                                 | D(x)  | C <sub>5</sub> | C <sub>95</sub> | E(x)                                 | D(x) | C <sub>5</sub> | C <sub>95</sub> | E(x)                              | D(x) | C <sub>5</sub> | C <sub>95</sub> |
| 1994                 | 0,22                               | 0,67 | 0,07           | 0,82            | 0,022                                | 0,011 | 0,019          | 0,041           | 3,02                                 | 3,47 | 1,99           | 8,97            | 4,54                              | 1,81 | 4,21           | 7,92            |
| 1995                 | 0,19                               | 0,28 | 0,07           | 0,70            | 0,018                                | 0,007 | 0,017          | 0,030           | 2,56                                 | 2,11 | 1,97           | 6,46            | 4,18                              | 1,37 | 3,97           | 6,71            |
| 1996                 | 1,19                               | 2,39 | 0,53           | 4,28            | 0,019                                | 0,008 | 0,018          | 0,034           | 2,25                                 | 0,92 | 2,08           | 3,98            | 4,16                              | 1,01 | 4,05           | 5,99            |
| 1997                 | 0,33                               | 1,26 | 0,09           | 1,29            | 0,016                                | 0,008 | 0,014          | 0,031           | 1,96                                 | 1,06 | 1,72           | 3,96            | 3,50                              | 0,95 | 3,37           | 5,24            |
| 1998                 | 0,10                               | 0,15 | 0,06           | 0,33            | 0,016                                | 0,008 | 0,014          | 0,031           | 2,75                                 | 2,72 | 1,95           | 7,61            | 4,13                              | 1,16 | 3,98           | 6,26            |

no wyniki otrzymane dla wybranych wskaźników azotowych. Można stwierdzić, że z wyjątkiem nielicznych przypadków, dotyczących głównie stężeń maksymalnych, pozostałe wartości parametrów dla tych samych wskaźników w poszczególnych latach różniły się nieznacznie.

## ROZKŁADY UNORMOWANE

Na podstawie wielkości charakterystycznych, obliczonych dla przyjętego rozkładu, trudno porównywać sposób zmian zanieczyszczeń oznaczanych nawet w tym samym punkcie pomiarowym. Dlatego wprowadzono rozkłady unormowane. Uzyskano je dzieląc zmierzone stężenia przez wartość oczekiwaną danej serii i ponownie opracowując statystycznie otrzymane rezultaty. Stwierdzono, że w tym wypadku także najlepiej jest spełniany rozkład log-normalny. Parametry charakterystyczne dla wybranych serii podano w tabeli 4. Stężenia unormowane tego samego biogenu w latach różnią się nie-

znacznie. Zasadniczo różnią się natomiast stężenia różnych biogenów. Na tej podstawie można przyjąć, że nawet w tym samym punkcie pomiarowym czynniki losowe, generujące stężenia poszczególnych zanieczyszczeń, mogą być różne.

Tabela 4. Parametry unormowanego rozkładu log-normalnego dla wskaźników azotowych  
Parameters of normalized log-normal distribution for nitrogen indicators

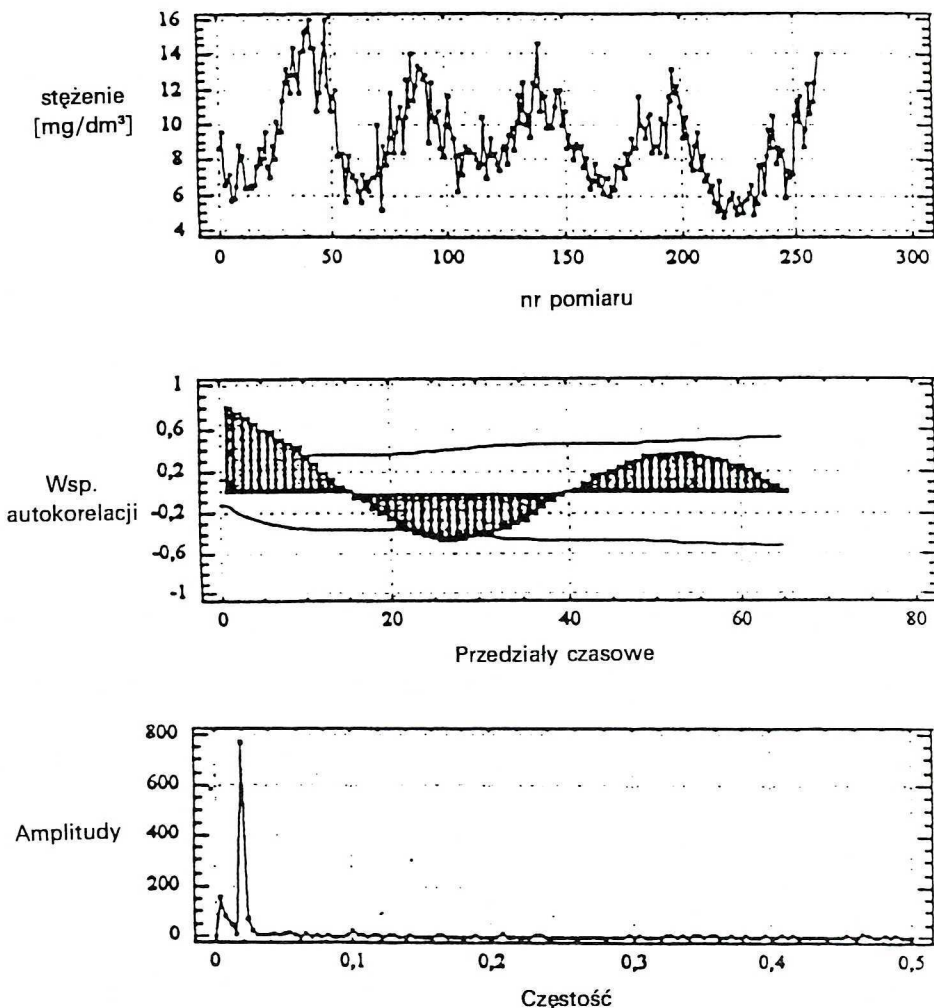
| Rozkład log-normalny, unormowany |              |      |                |                 |             |                |                 |
|----------------------------------|--------------|------|----------------|-----------------|-------------|----------------|-----------------|
| Rok                              | Azot amonowy |      |                |                 | Azot ogólny |                |                 |
|                                  | E(x)         | D(x) | C <sub>5</sub> | C <sub>95</sub> | D(x)        | C <sub>5</sub> | C <sub>95</sub> |
| 1994                             | 1            | 3,05 | 0,32           | 3,73            | 0,40        | 0,93           | 1,75            |
| 1995                             | 1            | 1,47 | 0,37           | 3,68            | 0,33        | 0,95           | 1,61            |
| 1996                             | 1            | 2,01 | 0,46           | 3,60            | 0,24        | 0,97           | 1,44            |
| 1997                             | 1            | 3,82 | 0,27           | 3,91            | 0,27        | 0,96           | 1,50            |
| 1998                             | 1            | 1,50 | 0,60           | 3,30            | 0,28        | 0,96           | 1,52            |

## BADANIE AUTOKORELACJI I ANALIZA WIDMOWA

W tej części pracy zostały ujęte wyniki pomiarów wskaźników tlenowych. Stwierdzono, że w tym wypadku również najlepiej jest spełniany rozkład log-normalny. W tabeli 5 podano parametry charakterystyczne dla wybranego rozkładu. W porównaniu z biogenami wyższe są odchylenia standardowe D(x). Spełnianie tego samego rozkładu dla wszystkich wskaźników oznacza, że analiza autokorelacji i widmowa będą dotyczyły podobnych zmiennych losowych. Na rysunkach 3 i 4 przedstawiono serie pomiarowe, wykresy autokorelacji i periodogramy dla zmierzonych w latach 1992 – 1996 wskaźników ChZT-Mn

Tabela 5. Parametry rozkładu log-normalnego dla wskaźników tlenowych  
Log-normal distribution parameters for oxygen indicators

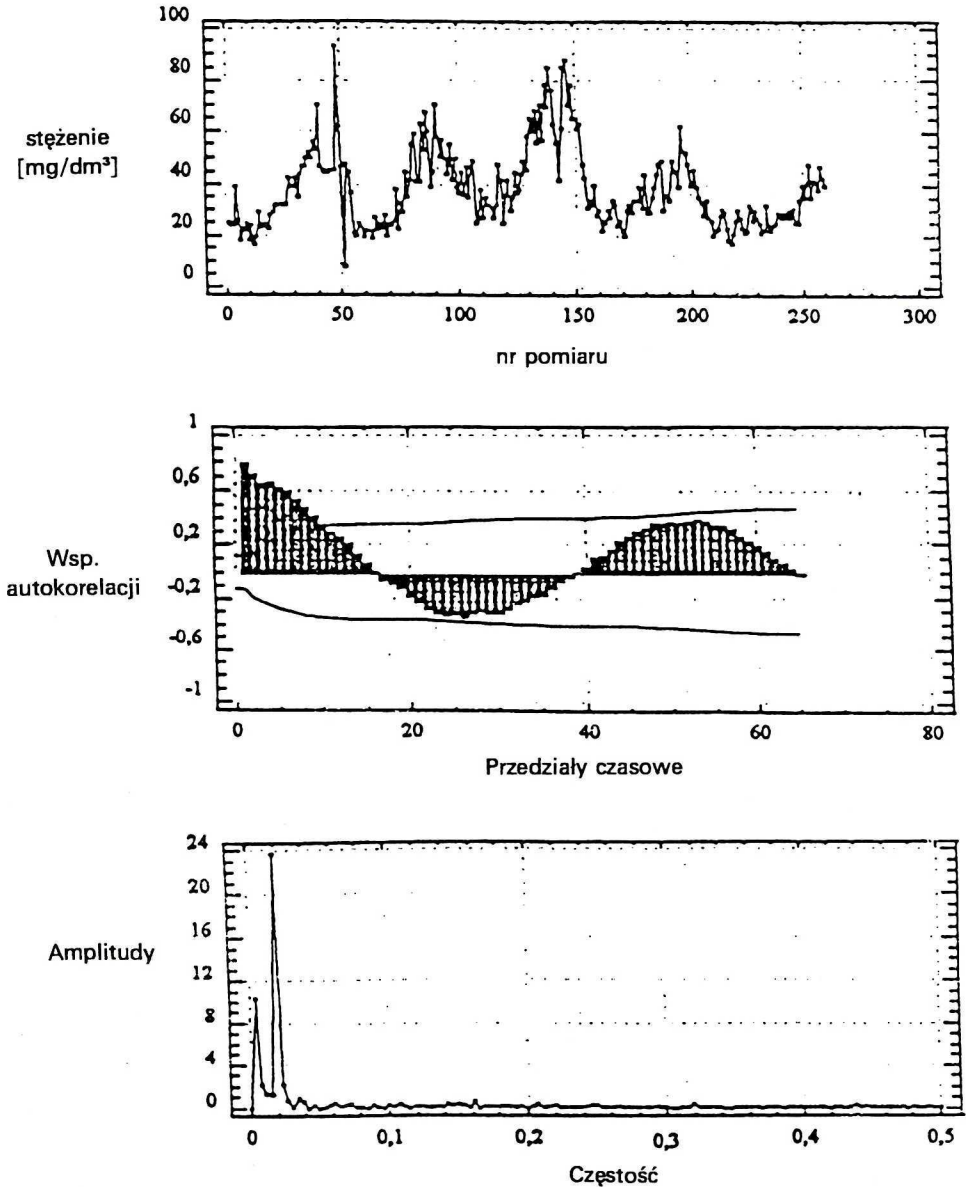
| Rozkład log-normalny |  |      |                |                 |   |      |                |                 |                                  |      |                |                 |                                  |       |                |                 |
|----------------------|--|------|----------------|-----------------|---|------|----------------|-----------------|----------------------------------|------|----------------|-----------------|----------------------------------|-------|----------------|-----------------|
| Rok                  | Tlen rozpuszczony<br>[mg/dm <sup>3</sup> ] |      |                |                 | BZT <sub>5</sub><br>[mg/dm <sup>3</sup> ] |      |                |                 | ChZT-Mn<br>[mg/dm <sup>3</sup> ] |      |                |                 | ChZT-Cr<br>[mg/dm <sup>3</sup> ] |       |                |                 |
|                      | E(x)                                       | D(x) | C <sub>5</sub> | C <sub>95</sub> | E(x)                                      | D(x) | C <sub>5</sub> | C <sub>95</sub> | E(x)                             | D(x) | C <sub>5</sub> | C <sub>95</sub> | E(x)                             | D(x)  | C <sub>5</sub> | C <sub>95</sub> |
| 1992                 | 10,97                                      | 1,63 | 8,2            | 13,84           | 6,75                                      | 3,01 | 3,0            | 12,60           | 9,73                             | 3,21 | 5,4            | 15,7            | 34,57                            | 15,78 | 15,4           | 64,3            |
| 1993                 | 11,18                                      | 1,49 | 8,9            | 13,79           | 6,36                                      | 2,54 | 3,1            | 11,13           | 9,19                             | 2,28 | 5,9            | 12,5            | 38,20                            | 15,22 | 18,9           | 66,7            |
| 1994                 | 10,85                                      | 2,01 | 7,9            | 14,44           | 5,01                                      | 2,36 | 2,2            | 9,47            | 9,48                             | 1,66 | 7,0            | 12,4            | 50,40                            | 18,63 | 26,2           | 85,2            |
| 1995                 | 10,61                                      | 1,76 | 7,9            | 13,73           | 4,74                                      | 1,65 | 2,6            | 7,81            | 8,70                             | 1,72 | 6,2            | 11,8            | 35,60                            | 8,99  | 22,9           | 51,9            |
| 1996                 | 9,85                                       | 1,99 | 6,9            | 13,44           | 3,93                                      | 1,86 | 1,7            | 7,42            | 8,26                             | 2,37 | 2,6            | 18,4            | 2,56                             | 7,10  | 19,5           | 42,4            |



Rys. 3. Wyniki analizy autokorelacji i widmowej ChZT-Mn. Odra (Krajnik)  
Results of autocorrelation and spectral analysis ChZT-Mn. Odra (Krajnik)

i ChZT-Cr (260 pomiarów w serii). Wykresy autokorelacji wskazują na występowanie wyraźnych korelacji dodatnich i ujemnych. Stwierdzono, że zależność liniowa istnieje nawet między wynikami odległymi w serii o 5–10 miejsc, tzn. różniącymi się w czasie o 10–20 tygodni.

Badane serie pomiarów cechuje wyraźna okresowość. Świadczą o tym duże piki występujące na periodogramach w zakresie niskich częstości rzędu 0,01923. Odwrotność częstości pokazuje, kiedy następuje nałożenie się amplitud. W tym wypadku okres obejmuje 52 pomiary. Oznacza to, że cykl stanowi cały rok hydrologiczny. Podobne zależności uzyskano dla wszystkich wskaźników tlenowych.



Rys. 4. Wyniki analizy autokorelacji i widmowej ChZT-Cr. Odra (Krajnik)  
Results of autocorrelation and spectral analysis ChZT-Cr. Odra (Krajnik)

## MODELOWANIE WYNIKÓW I PROGNOZOWANIE

Ze względu na występowanie okresowości i silnej autokorelacji do modelowania wyników wybrano proces ARIMA. Typ modelu, dobrze opisujący proces i jego parametry, ustalono na podstawie serii wyników obejmujących pierw-



sze cztery lata (1992–1995). Następnie, stosując ustalone modele, obliczono wartości prognozowane wskaźników tlenowych dla 1996 roku. Wskaźniki te zostały oznaczone doświadczalnie, dlatego można było łatwo ocenić jakość prognozowania.

Jako kryterium wyboru modelu przyjmowano następujące oceny błędu: MSE (średni błąd kwadratowy), MAE (średni błąd bezwzględny), MAPE (procentowy średni błąd bezwzględny), ME (błąd przeciętny) oraz MPE (procentowy błąd przeciętny). Spośród różnych typów modeli ARIMA za najlepszy uznawano ten, dla którego błędy były najmniejsze, a parametry istotnie różniły się od zera. W tabeli 6 zamieszczono ustalone dla poszczególnych wskaźników tlenowych modele ARIMA. W tabeli 7 podano natomiast rezultaty oceny wybranych modeli: AR (człon autoregresyjny niesezonowy), MA (człon średnich ruchomych niesezonowych), SAR (człon autoregresyjny), SMA (parametry sezonowe średnich ruchomych).

Tabela 6. Typy modeli ARIMA dla wskaźników tlenowych  
Models ARIMA types for oxygen indicators

| Wskaźnik          | Typ modelu*                           |
|-------------------|---------------------------------------|
| Tlen rozpuszczony | $(1, 0, 1) \times (0, 1, 1)$ ze stałą |
| BZT <sub>5</sub>  | $(1, 0, 1) \times (1, 1, 1)$ 52       |
| ChZT-Mn           | $(1, 0, 1) \times (1, 1, 1)$ 52       |
| ChZT-Cr           | $(1, 0, 1) \times (0, 1, 1)$ 52       |

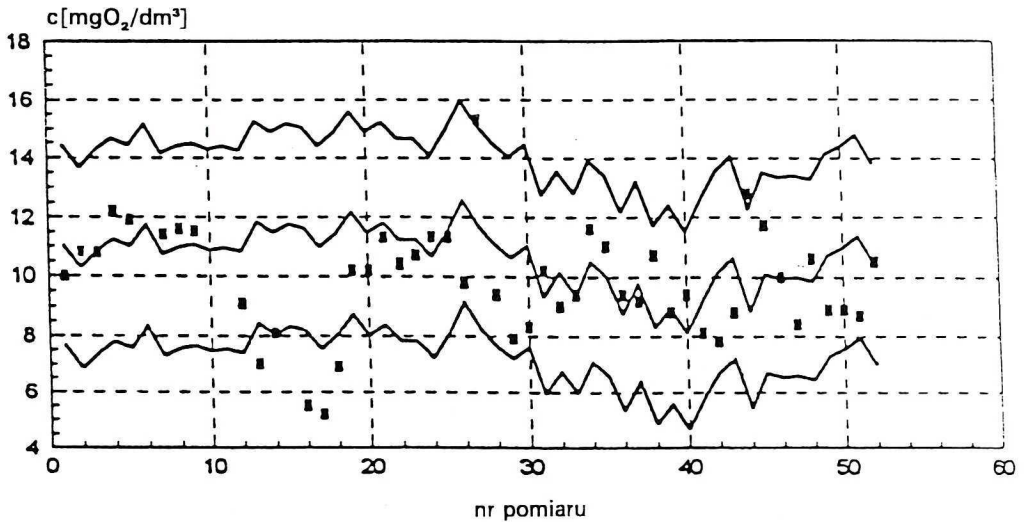
\* Symbole wg [13].

Tabela 7. Wyniki oceny wybranych modeli ARIMA dla wskaźników tlenowych  
Estimation results of choosen ARIMA models for oxygen indicators

| Oceniana wielkość | Wskaźnik tlenowy  |                  |         |         |
|-------------------|-------------------|------------------|---------|---------|
|                   | Tlen rozpuszczony | BZT <sub>5</sub> | ChZT-Mn | ChZT-Cr |
| MSE               | 2,35              | 3,15             | 1,81    | 73,68   |
| MAE               | 1,18              | 1,35             | 1,02    | 6,35    |
| MAPE              | 11,49             | 30,24            | 11,32   | 15,84   |
| ME                | 0,086             | -0,178           | -0,09   | 0,49    |
| MPE               | -1,11             | -12,0            | -2,14   | -2,14   |
| AR (1)            | 0,48*             | 0,026            | 0,069   | 0,052   |
| MA (1)            | 0,481             | 0,068            | 0,114   | 0,099   |
| SAR (1)           | 0,035             | 0,053            | 0,069   | 0,034   |
| Średnie           | 0,112             | 0,041            | 0,041   | –       |

\* Błąd standardowy.

Na rysunku 5 pokazano dla przykładu wyniki prognoz dla tlenu rozpuszczonego. Krzywe górna i dolna ograniczają 95% przedział ufności, krzywa środkowa przedstawia wartości prognozowane, a punkty – dane pomiarowe. Otrzymane rezultaty wykazują, że proces ARIMA może być stosowany do modelowania serii pomiarowych i prognozowania zmian w czasie wskaźników tlenowych. Opracowując wyniki stosowano dostępne programy Statistica i Statgraphics.



Rys. 5. Prognozowanie zmian stężenia tlenu rozpuszczonego w wodach Odry (Krajnik)  
Prognosis of changes of oxygen dissolved in Odra waters concentration (Krajnik)

## PODSUMOWANIE

W pracy przedstawiono wyniki oceny jakości wody rzeki Odry w Krajniku Dolnym. Przeprowadzono analizę zmienności w czasie stężeń biogenów (lata 1994–1998) oraz wskaźników tlenowych (lata 1992–1996). Stwierdzono, że zmienność w czasie rozpatrywanych wskaźników dobrze opisuje rozkład log-normalny. Dla poszczególnych serii wyznaczono parametry charakterystyczne: wartość oczekiwaną  $E(x)$ , stężenie minimalne  $C_s$ , stężenie maksymalne  $C_{9.5}$  i odchylenie standardowe  $D(x)$ . Podano rozkłady unormowane. Wykazano, że zmienność w czasie stężeń polutantów, nawet w tym samym punkcie pomiarowym, może zależeć od różnych czynników losowych. Stwierdzono, że wyniki pomiarów wskaźników tlenowych, uzyskane w latach 1992–1996, wykazują silną autokorelację i okresowość. W ostatniej części pracy podano ustalone modele ARIMA, opisujące serie pomiarowe i przedstawiono wyniki prognoz na rok 1996. Stwierdzono, że stosując proces ARIMA można uzyskać wartościowe rezultaty.

## LITERATURA

- [1] Andrzejewska A.: *Ocena statystyczna sieci monitoringu w punktach reperowych*, praca magisterska, Szczecin 1998.
- [2] Dojlido J.: *Chemia wód powierzchniowych*, Ekonomia i Środowisko, Białystok 1995.
- [3] Gajek L., M. Kałużka: *Wnioskowanie statystyczne modele i metody*, WNT, Warszawa 1996.
- [4] Gołata E.: *Statgraphic Plus for Windows w analizie statystycznej*, PWE, Warszawa 1996.
- [5] Jóźwiak J., J. Podgórski: *Statystyka od podstaw*, PWE, Warszawa 1997.
- [6] Mitosek H.: *Stochastyczna struktura przepływu rzecznoego*, Wydawnictwo Geologiczne, Warszawa 1984.
- [7] Państwowy Inspektorat Ochrony Środowiska: *Stan czystości rzek, jezior i Bałtyku*, Warszawa 1990.
- [8] Państwowy Inspektorat Ochrony Środowiska: *Raport o stanie środowiska w województwie szczecińskim w latach 1992–95*, Szczecin 1996.
- [9] Państwowa Inspekcja Ochrony Środowiska: *Raport o stanie środowiska w województwie szczecińskim w latach 1995–96*, Szczecin 1997.
- [10] Rozporządzenie Ministra OŚZNiL z dnia 5 listopada 1991 r. w sprawie kwalifikacji wód oraz warunków jakim powinny odpowiadać ścieki wprowadzane do wód lub ziemi, (Dz.U. 1991 nr 116).
- [11] Silewicz D.: *Stochastyczna ocena skażenia wód związkami biogennymi w regionie szczecińskim*, praca magisterska, Szczecin 1999.
- [12] Sobczyk K.: *Stochastyczne równania różniczkowe*, WNT, Warszawa 1996.
- [13] *Statgraphic – system statystycznego opracowania danych*, Komputerowa Oficyna Wydawnicza Help, Warszawa 1992.
- [14] Wiatr I.: *Inżynieria ekologiczna*, Polskie Towarzystwo Inżynierii Ekologicznej, Lublin 1995.

Wpłynęło: 13 września 1999, zaakceptowano do druku: 23 marca 2000.