

## ANALIZA WODY: PARADYMATY I KONTROWERSJE Z POZYCJI OCHRONY ŚRODOWISKA NATURALNEGO

ZDZISŁAW S. HIPPE<sup>1</sup>, JUSTYNA ZAMORSKA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Katedra Systemów Ekspertowych i Sztucznej Inteligencji, Wyższa Szkoła Informatyki i Zarządzania,  
ul. Sucharskiego 22, 35-225 Rzeszów

<sup>2</sup>Katedra Oczyszczania i Ochrony Wód, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska,  
Politechnika Rzeszowska, ul. Powstańców Warszawy 6, 35-959 Rzeszów

Keywords: rozpoznawanie obrazów, symulacja zanieczyszczenia wody, wirtualna wizualizacja.

### ANALYSIS OF WATER: PARADIGMS AND CONTROVERSIES IN RELATION TO NATURAL ENVIRONMENT PROTECTION

This paper summarized results of estimation of concentrations of pollutants (chemical and bacteriological) in a barrier lake on the river Łęg (Wilcza Wola near Raniżów, subcarpathian province). The second goal of the research was aimed at a trial of forecasting the pollution of apparently stagnant water (as the test bed the barrier lake mentioned was used) applying pattern recognition method in a variant called „look-ahead-and-back-KNN” [8, 9]. It was found, that concentrations of some contaminating species can be predicted with satisfactory accuracy. The approach tested allows to develop a dense grid, partly consisting of nodes with real (experimentally estimated) results, and partly consisting of nodes with these values predicted. Additionally, our research has been recently augmented with results achieved using data mining methodology based on virtual visualization [12].

#### Streszczenie

Niniejsza praca podsumowuje wyniki oznaczeń poziomu zanieczyszczeń (chemicznych i bakteriologicznych) zbiornika zaporowego na rzece Łęg (Wilcza Wola k. Raniżowa, woj. podkarpackie). Drugim celem omawianych badań była próba prognozowania zanieczyszczeń wód stojących (na przykładzie wspomnianego zbiornika), metodą rozpoznawania obrazów, w wariancie „patrz-w-przód-i-wstecz KNN” [8, 9]. Stwierdzono, że stężenia niektórych zanieczyszczeń można przewidywać z zadowalającą dokładnością, co stwarza możliwość zastosowania opracowanego przez nas podejścia do tworzenia gęstej sieci pomiarowych zanieczyszczeń wód stojących, której węzły pomiarowe zawierają częściowo wyniki pomiarów rzeczywistych, a częściowo wyniki prognoz poziomu zanieczyszczeń. Przeprowadzone badania zostały dodatkowo uzupełnione wynikami drążenia danych z wykorzystaniem metod wirtualnej wizualizacji [12].

## WSTĘP

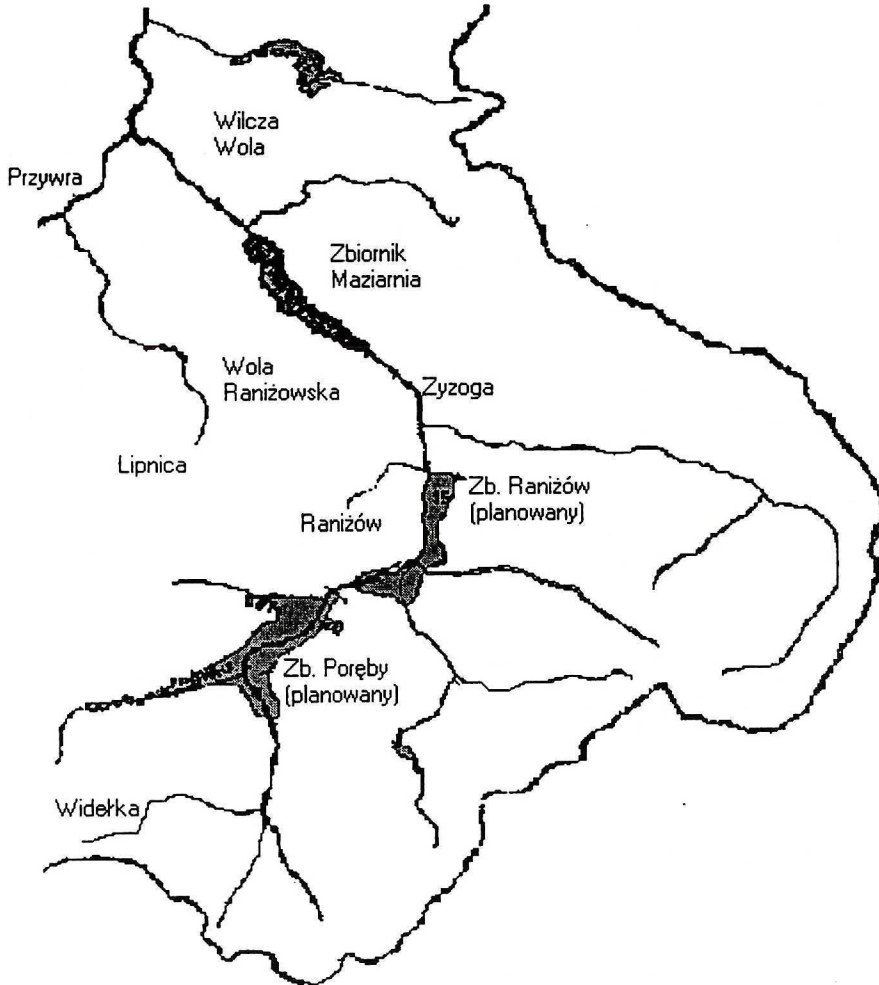
Z uwagi na stale postępujące zmiany charakterystyk zasobów wód powierzchniowych i podziemnych, prowadzone są w wielu ośrodkach naukowych badania nad szybkimi i wiarygodnymi metodami oznaczeń chemicznych i bakteriologicznych wskaźników jakości wody. Od pewnego czasu sięga się do metod prognozowania niektórych cech wody, co w przypadkach uzyskiwania zadowalających prognoz może nawet prowadzić do pewnego zmniejszenia nakładów (sił i środków) potrzebnych do wyznaczenia rzeczywistych parametrów wody. Spośród różnych metod prognozowania właściwości obiektów (materiałów), szczególne miejsce zajmują metody rozpoznawania obrazów. W dziedzinie ochrony środowiska naturalnego metody te są stosowane już od kilku lat, głównie jednak w interpretacji wyników oznaczeń chemicznych i bakteriologicznych i ich klasyfikacji [1, 2, 5, 7, 11, 17] oraz identyfikacji jakości i źródeł zanieczyszczeń [3, 4, 12, 14, 16].

Badania przeprowadzone przez nas z zastosowaniem nowych metod analizy danych, a w szczególności metody wirtualnej wizualizacji, dały możliwość nowego spojrzenia na kwestię oceny oznaczeń ilościowych, odmiennej dla chemików i specjalistów od ochrony środowiska naturalnego.

## CHARAKTERYSTYKA ZBIORNIKA MAZIARNIA W WILCZEJ WOLI

Zbiornik zaporowy Maziarnia w Wilczej Woli jest płytkim nizinnym zbiornikiem, który powstał w 1988 roku przez przegrodzenie zaporą rzeki Łęg w północnej części województwa rzeszowskiego. Zbiornik ten służy do piętrzenia wód rzeki Łęg, co umożliwia częściowe złagodzenie fali powodziowej, magazynowanie dużych przepływów i ich wykorzystywanie do pokrycia letniego deficytu wody. Powierzchnia zalewu przy maksymalnym piętrzeniu wynosi 160 ha, zaś jego objętość 3 860 000 m<sup>3</sup>.

Rzeka Łęg posiada zlewnię o powierzchni 916 km<sup>2</sup> (Rys. 1), zaś długość jej biegu wynosi 79 km. Rzeka ta powstaje z połączenia dwóch potoków: Przyrwy, wypływającej na zachodniej i południowo-zachodniej krawędzi Pogórza Rzeszowskiego, oraz Zyzogi, wypływającej na południowej krawędzi tego pogórza z działu wód Sanu (Wisłoki i Trzebosi). Łęg w górnym biegu był odbiornikiem ścieków Przedsiębiorstwa Wielobranżowego „Utires” w Przewrotnem. Natomiast kilka kilometrów powyżej zbiornika odprowadzane były ścieki z miejscowości Raniżów. Badania zbiornika zaporowego przeprowadzone w 1994 roku przez Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska (WIOŚ) wykazały przekroczenie dopuszczalnych norm [6] w warstwie naddennej oraz w cofce zbiornika przy ujściu Łęgu. O klasyfikacji decydowały parametry fizyczno-chemiczne, głównie stężenia manganu oraz niska zawartość tlenu rozpuszczonego. W 1996 roku zostały przeprowadzone ponownie dwukrotne badania zbiornika (czerwiec i sierpień). Na podstawie wyników tych badań wody zbiornika zostały zaliczone do III klasy czystości. W czerwcu o jakości wód decydo-



Rys. 1. Schemat zlewni rzeki Łęg  
The scheme of the river Łęg basin

wały stężenia azotu azotynowego, natomiast w sierpniu wartości chlorofilu „a” i azotu azotynowego. Wymienione wskaźniki świadczą o obecności w wodach zbiornika biogenów i substancji organicznych, które w sprzyjających warunkach są przyczyną zwiększonej produktywności biologicznej wód. Pod względem bakteriologicznym woda spełniała wymagania I i II klasy czystości.

Charakterystyka zbiornika jest w dużym stopniu uzależniona od czasu retencji wód przezeń przepływających. Zgodnie z przyjętym przez Starmacha [18] podziałem zbiorników zaporowych, zbiornik w Wilczej Woli jest typu limnicznego (mało przepływowy), aczkolwiek, jeśli wziąć pod uwagę średnie przepływy roczne, przybliża się do typu reolimnicznego – czas retencji wód zbiornika wynosi bowiem 36 dni.

O wyborze omawianego zbiornika do naszych badań zdecydowało kilka czynników. Pierwszym był fakt dostawania się zanieczyszczeń z wielu ognisk – przez samą rzekę Łęg (punktowe ognisko zanieczyszczeń), jak i obszarowych (tereny upraw rolniczych, tereny leśne, tereny zasobne w rudy żelaza). Zbiornik ten stanowi atrakcyjne kąpielisko: szczególnie lewy brzeg zbiornika jest tłumnie oblegany przez turystów, stąd można oczekiwać zwiększonej wartości wskaźników bakteriologicznych na tym właśnie brzegu. Niebagatelne znaczenie miała także odległość tego zbiornika od laboratorium Zakładu Oczyszczania i Ochrony Wód (ok. 45 km), gdzie zostały wykonane oznaczenia fizyczno-chemiczne i bakteriologiczne wody. Niezbyt odległe położenie zbiornika pozwoliło na szybki transport pobieranych prób do laboratorium w czasie wymaganym w normach.

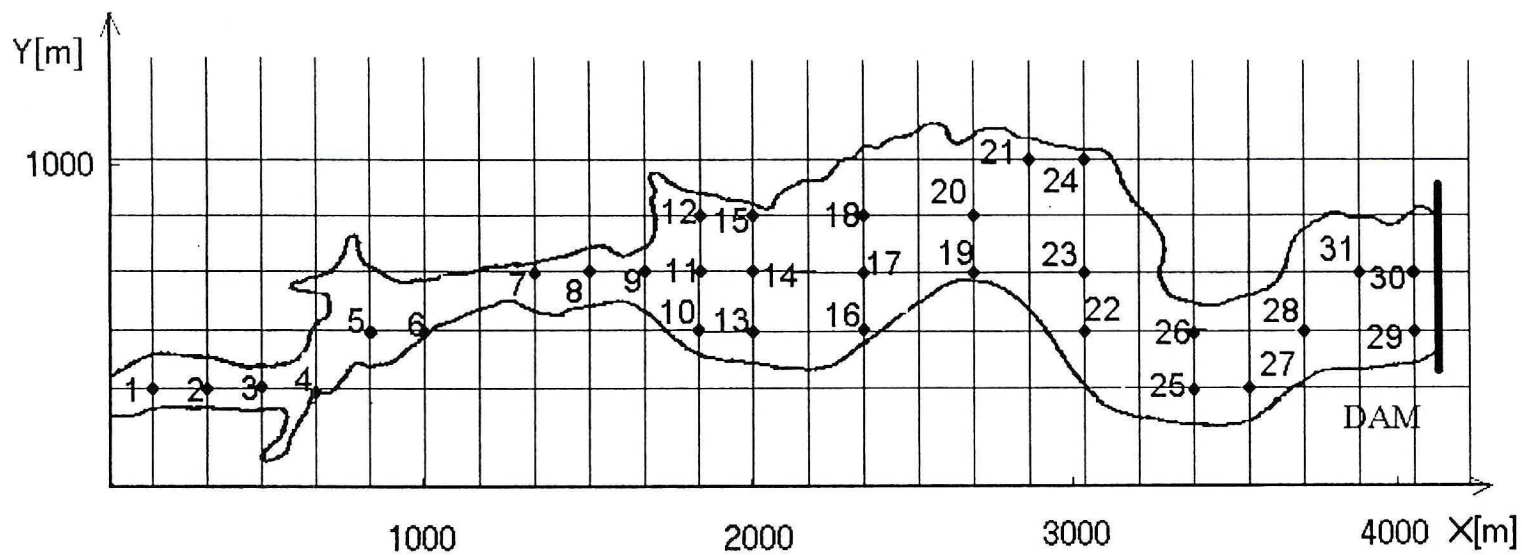
### METODYKA POBORU PRÓB WODY I WYKONYWANYCH OZNACZEŃ

Próbki do badań analitycznych wskaźników jakości wody (fizyczno-chemicznych i bakteriologicznych) pobrano jednego dnia w 31 punktach zbiornika zgodnie z rysunkiem 2. Punkty poboru prób wody zostały wybrane celowo na obszarze całego zalewu i stanowiły swoistą „sieć” pomiarową. W jej węzłach dokonano poboru wody, zarówno w części cofkowej (gdzie panowały nieco odmienne warunki środowiskowe wynikające ze zmiany: woda płynąca – woda stojąca, punkty 1 i 2), początkowej wąskiej części zbiornika (punkty 3 – 9) oraz w pozostałych miejscach, które zostały tak dobrane, aby część pochodziła z nurtu (punkty 11, 14, 17, 20, 23, 26, 30), część z lewego (10, 13, 16, 19, 22, 25, 27, 29) i z prawego brzegu zbiornika (12, 15, 18, 21, 24, 28, 31). Próby wody pobrano z jednakowej głębokości ok. 30 cm za pomocą aparatu Rutnera.

W pobranych próbach wody oznaczano następujące wskaźniki fizyczno-chemiczne: pH, barwę, mętność, twardość ogólną, chemiczne zapotrzebowanie tlenu (metodą nadmanganianową), tlen rozpuszczony, przewodnictwo elektrolityczne, zasadowość, chlorki, azot amonowy, azot azotynowy, azot azotanowy, żelazo ogólne, mangan, fosforany rozpuszczone, chlorofil „a”. W zakresie wskaźników bakteriologicznych oznaczano: ogólną liczbę bakterii na agarze odżywczym w 20°C po 72 h w 1 cm<sup>3</sup> wody (tzw. bakterie psychrofilne), ogólną liczbę bakterii na agarze odżywczym w 37°C po 24 h w 1 cm<sup>3</sup> (tzw. bakterie mezofilne), liczbę bakterii *coli*, liczbę bakterii *coli* typu fekalnego. Zarówno pobór próbek wody, jak i metodykę oznaczenia badanych wskaźników oparto na Polskich Normach [15].

### WYNIKI BADAŃ JAKOŚCI WODY

Wyniki oznaczeń fizyczno-chemicznych i bakteriologicznych wskaźników jakości wody badanego zbiornika przedstawiono w tabelach 1 i 2. Kompleksowe badania wody zbiornika wskazują na jej różną jakość. Największe waha-



Rys. 2. Punkty poboru próbek wody ze zbiornika Maziarnia w Wilczej Woli  
Sampling points of water from the reservoir Maziarnia in Wilcza Wola

Tabela 1. Wyniki badań fizyczno-chemicznych i bakteriologicznych wody w punktach 1–16  
Results of physico-chemical and bacteriological analysis of water in point 1–16

| Wskaźniki<br>Indices                  | Jednostka<br>Unit                                    | Punkty poboru prób wody<br>Water sample collecting points |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|---------------------------------------|--|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                                       |  | 1   | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    | 11    | 12    | 13    | 14    | 15    | 16    |
| Odczyn<br>Reaction                    | [pH]   | 8,54  | 8,50  | 8,56  | 8,49  | 8,50  | 8,42  | 8,4   | 8,22  | 8,37  | 8,44  | 8,56  | 8,35  | 7,21  | 8,01  | 8,12  | 8,45  |
| Barwa<br>Colour                       | [mg Pt/dm <sup>3</sup> ]                             | 40  | 40    | 40    | 40    | 40    | 40    | 40    | 50    | 35    | 35    | 35    | 35    | 40    | 35    | 35    | 40    |
| Mętność<br>Turbidity                  | [mg SiO <sub>2</sub> /dm <sup>3</sup> ]              | 15  | 15    | 10    | 10    | 10    | 10    | 15    | 10    | 10    | 5     | 4     | 5     | 5     | 4     | 3     | 4     |
| Twardość ogólna<br>General hardness   | [mval/dm <sup>3</sup> ]                              | 2,72  | 2,82  | 2,66  | 2,60  | 2,80  | 2,84  | 2,60  | 2,76  | 2,84  | 2,86  | 2,80  | 2,84  | 2,80  | 2,74  | 2,82  | 2,68  |
| ChZT                                  | [mg O <sub>2</sub> /dm <sup>3</sup> ]                | 35,0  | 33,8  | 15,4  | 13,6  | 13,4  | 14,0  | 12,8  | 8,1   | 13,8  | 12,2  | 15,2  | 16,8  | 13,6  | 14,0  | 14,5  | 14,8  |
| Tlen rozpuszczony<br>Dissolved oxygen | [mg/dm <sup>3</sup> O <sub>2</sub> ]                 | 8,4   | 8,6   | 9,2   | 9,2   | 9,0   | 8,9   | 8,6   | 6,4   | 9,2   | 9,0   | 11,0  | 12,0  | 9,6   | 10,2  | 11,0  | 8,5   |
| Przewodnictwo<br>Conductivity         | [μS]   | 170,5   | 168,1 | 172,3 | 129,8 | 127,8 | 129,7 | 133,5 | 132,4 | 144,4 | 143,3 | 134,7 | 137,0 | 125,8 | 130,4 | 131,5 | 125,4 |
| Chlorki<br>Chlorides                  | [mg Cl <sup>-</sup> /dm <sup>3</sup> ]               | 35  | 26    | 25    | 25    | 20    | 20    | 25    | 22    | 20    | 20    | 20    | 20    | 20    | 20    | 20    | 20    |
| Azot amonowy<br>Amonia nitrogen       | [mgN–NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> /dm <sup>3</sup> ] | 0,50  | 0,37  | 0,35  | 0,23  | 0,18  | 0,20  | 0,22  | 0,09  | 0,025 | 0,0   | 0,0   | 0,23  | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,09  |
| Azot azotynowy<br>Nitrite nitrogen    | [mgN–NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> /dm <sup>3</sup> ] | 0,050   | 0,050 | 0,045 | 0,040 | 0,050 | 0,040 | 0,030 | 0,035 | 0,040 | 0,030 | 0,040 | 0,020 | 0,0   | 0,030 | 0,020 | 0,02  |
| Azot azotanowy<br>Nitrate nitrogen    | [mgN–NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /dm <sup>3</sup> ] | 1,12  | 0,98  | 1,05  | 0,72  | 0,68  | 0,50  | 0,32  | 0,26  | 0,35  | 0,12  | 0,15  | 0,26  | 0,10  | 0,12  | 0,20  | 0,18  |
| Zasadowość<br>Alkalinity              | [mval/dm <sup>3</sup> ]                              | 2,1   | 1,9   | 1,9   | 1,9   | 2,0   | 2,0   | 2,0   | 2,0   | 2,0   | 2,2   | 2,1   | 1,9   | 1,9   | 1,9   | 2,0   | 2,0   |

|   |  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|---|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Żelazo<br>Iron  | [mg Fe/dm <sup>3</sup> ]                             | 0,67  | 0,69  | 0,90  | 0,99  | 1,49  | 1,66  | 1,16  | 1,38  | 1,15  | 1,33  | 1,72  | 0,91  | 1,85  | 1,56  | 1,19  | 2,52  |
| Mangan<br>Manganese   | [mg Mn/dm <sup>3</sup> ]                             | 0,60  | 0,48  | 0,56  | 0,70  | 0,79  | 1,20  | 0,74  | 0,95  | 0,69  | 0,86  | 1,10  | 0,59  | 0,56  | 0,72  | 0,51  | 0,63  |
| Chlorofil „a”<br>Chlorophyl „a”   | [g/dm <sup>3</sup> ]                                 | 16,2  | 20,1  | 22,3  | 21,3  | 20,5  | 22,4  | 32,4  | 35,6  | 40,3  | 56,8  | 64,8  | 48,2  | 52,6  | 53,2  | 45,6  | 46,0  |
| Fosforany rozpuszczone<br>Dissolved phosphoratus                                | [mg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> /dm <sup>3</sup> ] | 0,056 | 0,059 | 0,032 | 0,019 | 0,022 | 0,024 | 0,018 | 0,016 | 0,016 | 0,010 | 0,010 | 0,019 | 0,018 | 0,016 | 0,025 | 0,011 |
| Liczba bakt. psychrofiln.<br>Number of psychrophilic<br>bacteria                |  | 9800  | 7200  | 11300 | 10800 | 10500 | 9200  | 8800  | 7300  | 6400  | 8600  | 5400  | 2800  | 5700  | 6400  | 5500  | 7200  |
| Liczba bakt. mezofilnych<br>Number of mesophilic<br>bacteria                    |  | 8000  | 8200  | 8200  | 7400  | 5600  | 4800  | 4600  | 4200  | 3200  | 900   | 1200  | 800   | 860   | 940   | 860   | 820   |
| Liczba bakterii <i>coli</i><br>Number of bacteria <i>Coli</i>                   |  | 7000  | 7000  | 7000  | 2100  | 2100  | 2100  | 240   | 2100  | 2100  | 700   | 700   | 700   | 700   | 700   | 700   | 700   |
| L. bakt. <i>coli</i> typu fek.<br>Number of bacteria <i>Coli</i><br>faecal type |  | 500   | 500   | 500   | 700   | 700   | 500   | 240   | 500   | 500   | 210   | 95    | 95    | 95    | 95    | 95    | 210   |

Tabela 2. Wyniki badań fizyczno-chemicznych i bakteriologicznych wody w punktach 17–31  
Results of physico-chemical and bacteriological analysis of water in point 17–31

| Wskaźniki<br>Indices                  | Jednostka<br>Unit                                     | Punkty poboru prób wody<br>Water sample collecting points |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|---------------------------------------|---|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                                       |   | 17  | 18    | 19    | 20    | 21    | 22    | 23    | 24    | 25    | 26    | 27    | 28    | 29    | 30    | 31    |
| Odczyn<br>Reaction                    | [pH]  | 8,49  | 8,58  | 8,58  | 8,47  | 8,54  | 8,63  | 8,32  | 7,86  | 7,23  | 8,06  | 7,86  | 8,23  | 8,14  | 7,92  | 7,23  |
| Barwa<br>Colour                       | [mg Pt/dm <sup>3</sup> ]                              | 35  | 35    | 40    | 40    | 40    | 40    | 40    | 40    | 35    | 35    | 35    | 40    | 35    | 35    | 45    |
| Mętność<br>Turbidity                  | [mg SiO <sub>2</sub> /dm <sup>3</sup> ]               | 5   | 4     | 3     | 3     | 5     | 5     | 4     | 15    | 3     | 2     | 4     | 5     | 5     | 510   |       |
| Twardość ogólna<br>General hardness   | [mval/dm <sup>3</sup> ]                               | 2,68  | 2,78  | 2,68  | 2,68  | 2,72  | 2,68  | 2,80  | 2,80  | 2,84  | 2,68  | 2,76  | 2,82  | 2,64  | 2,72  | 2,80  |
| ChZT                                  | [mg O <sub>2</sub> /dm <sup>3</sup> ]                 | 15,7  | 13,0  | 13,3  | 13,2  | 15,4  | 13,4  | 13,4  | 14,4  | 35,0  | 28,0  | 42,0  | 19,0  | 45,0  | 32,0  | 12,0  |
| Tlen rozpuszczony<br>Dissolved oxygen | [mg/dm <sup>3</sup> O <sub>2</sub> ]                  | 7,6   | 8,6   | 9,6   | 9,1   | 8,4   | 8,7   | 9,8   | 7,2   | 9,5   | 7,2   | 12,0  | 11,0  | 6,4   | 8,6   | 11,2  |
| Przewodnictwo<br>Conductivity         | [μS]  | 133,5   | 128,6 | 126,9 | 135,7 | 132,7 | 133,5 | 144,3 | 142,8 | 148,6 | 135,7 | 152,6 | 147,8 | 162,4 | 144,3 | 142,8 |
| Chlorki<br>Chlorides                  | [mg Cl <sup>-</sup> /dm <sup>3</sup> ]                | 20  | 20    | 18    | 20    | 20    | 20    | 20    | 15    | 16    | 15    | 14    | 12    | 12    | 14    | 15    |
| Azot amonowy<br>Amonia nitrogen       | [mg N–NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> /dm <sup>3</sup> ] | 0,05  | 0,05  | 0,025 | 0,0   | 0,37  | 0,09  | 0,025 | 0,49  | 0,09  | 0,58  | 0,65  | 0,025 | 0,12  | 0,09  | 0,05  |
| Azot azotynowy<br>Nitrite nitrogen    | [mg N–NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> /dm <sup>3</sup> ] | 0,030   | 0,040 | 0,050 | 0,050 | 0,030 | 0,040 | 0,040 | 0,040 | 0,040 | 0,040 | 0,040 | 0,030 | 0,030 | 0,030 | 0,03  |
| Azot azotanowy<br>Nitrate nitrogen    | [mg N–NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /dm <sup>3</sup> ] | 0,22  | 0,10  | 0,15  | 0,12  | 0,10  | 0,20  | 0,15  | 0,03  | 0,25  | 0,05  | 0,15  | 0,10  | 0,18  | 0,15  | 0,10  |
| Zasadowość<br>Alkalicity              | [mval /dm <sup>3</sup> ]                              | 2,0   | 2,0   | 2,0   | 1,9   | 2,0   | 2,0   | 2,0   | 2,0   | 1,9   | 2,0   | 1,9   | 1,9   | 2,0   | 2,0   | 2,0   |



|   |  |       |       |       |       |      |       |       |      |       |      |       |      |       |      |      |
|---|--|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|------|
| Żelazo<br>Iron  | [mg Fe/dm <sup>3</sup> ]                             | 2,27  | 2,13  | 0,80  | 0,69  | 0,93 | 0,64  | 0,62  | 0,58 | 0,56  | 0,51 | 0,72  | 0,98 | 0,85  | 0,96 | 3,1  |
| Mangan<br>Manganese   | [mg Mn/dm <sup>3</sup> ]                             | 0,83  | 0,49  | 0,49  | 0,47  | 0,79 | 0,44  | 0,54  | 0,55 | 0,24  | 0,34 | 0,86  | 0,60 | 0,72  | 0,82 | 1,32 |
| Chlorofil „a”<br>Chlorophyl “a”   | [g/dm <sup>3</sup> ]                                 | 48,5  | 52,3  | 53,6  | 56,2  | 32,4 | 41,7  | 35,6  | 32,5 | 42,6  | 40,5 | 40,0  | 35,6 | 37,8  | 42,8 | 41,7 |
| Fosforany rozpuszczone<br>Dissolved phosphoratus                                | [mg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> /dm <sup>3</sup> ] | 0,013 | 0,019 | 0,013 | 0,010 | 0,0  | 0,010 | 0,005 | 0,0  | 0,010 | 0,0  | 0,013 | 0,0  | 0,0   | 0,0  | 0,0  |
| Liczba bakt. psychrofiln.<br>Number of psychrophilic<br>bacteria                |  | 6400  | 6600  | 6800  | 7300  | 5600 | 4800  | 3200  | 3600 | 13200 | 8900 | 12800 | 7200 | 14600 | 6800 | 5200 |
| Liczba bakt. mezofilnych<br>Number of mesophilic<br>bacteria                    |  | 900   | 800   | 670   | 630   | 740  | 580   | 1500  | 920  | 8200  | 8700 | 6500  | 2400 | 10500 | 8500 | 400  |
| Liczba bakterii <i>coli</i><br>Number of bacteria <i>Coli</i>                   |  | 700   | 700   | 700   | 700   | 700  | 700   | 700   | 700  | 7000  | 7000 | 2100  | 240  | 7000  | 7000 | 70   |
| L. bakt. <i>coli</i> typu fek.<br>Number of bacteria <i>Coli</i><br>faecal type |  | 95    | 210   | 210   | 20    | 2    | 210   | 210   | 95   | 500   | 500  | 700   | 95   | 210   | 95   | 1    |

nia wykazuje poziom wskaźnika utlenialności (ChZT) – od wartości klasyfikujących badaną wodę do I klasy czystości do wody pozaklasowej. Także stężenia żelaza i manganu oraz wskaźniki bakteriologiczne w zbiorniku wykazują bardzo duże zróżnicowanie. Analizując uzyskane wyniki można zauważyć, iż klasyfikacja wód tegoż zbiornika jest inna niż klasyfikacja wykonana przez WIOŚ, co wynika z faktu przeprowadzania pierwotnych badań wód zbiornika tylko w kilku punktach znajdujących się w nurcie.

## METODYKA BADAŃ PROGNOZOWANIA JAKOŚCI WODY

Interpretację zebranych danych pomiarowych przeprowadzono stosując moduł programowy MLC (Multistrategy Learning Classifier), realizujący nie nadzorowane uczenie maszynowe (metoda k-ego najbliższego sąsiada, KNN w wariacie własnym zwanym „look-ahead-and-back-KNN”) [8, 9].

Strategia prognozowania jakości wody w wybranym węźle sieci pomiarowej opierała się na założeniu, że:

1. wartości cech w badanym punkcie są nieznane,
2. wartości cech prognozowane dla rozważanego punktu są równe:
  - a) odpowiednim cechom w najbliższym położonym punkcie sieci ( $K = 1$ ) lub
  - b) wartości cech są równe średniej ważonej odpowiednich cech w trzech najbliższych położonych węzłach sieci ( $K = 3$ ).

W badaniach wykorzystano faktyczne wyniki oznaczeń analitycznych wykonanych w punktach sieci pomiarowej przedstawionej na rysunku 2. Wyjściowa baza danych zawierała 31 wektorów, których elementy przenosiły informację o wartościach liczbowych wskaźników jakości wody i odpowiadających im położeniach punktu określonego współrzędnymi X i Y. Następnie z bazy usuwano kolejno wektor odpowiadający rzeczywistemu oznaczeniu parametrów wody w określonym punkcie i prognozowano na podstawie zbioru uczącego zarówno miejsce występowania wody o podanych cechach, jak i przewidywane cechy wody w zadanym miejscu. Obliczenia wykonywano dla jednego sąsiada ( $K = 1$ ) i trzech sąsiadów ( $K = 3$ ). Uzyskane wyniki (Tab. 3) przedstawiono w formie procentowej wartości błędu prognozy w stosunku do wartości rzeczywistej.

## OMÓWIENIE WYNIKÓW PROGNOZOWNIA JAKOŚCI WODY

Prognozowane wskaźniki jakości wody zostały podzielone na trzy grupy. Dla 6 pierwszych wskaźników z tabeli 3 dokładność prognozowania jest bardzo wysoka, błąd jest mniejszy od 10%. Dla 3 wskaźników jakości wody, a mianowicie: N-NO<sub>2</sub>, stężenia tlenu rozpuszczonego i chlorofilu „a”, prognozy można uznać za prawdopodobne, ponieważ ich błąd mieści się w granicach do 20%. Dla 10 pozostałych wskaźników błędy są wyższe, przy czym zdecydowanie niekorzystne wyniki uzyskano dla większości wskaźników bakteriologicznych i stężenia azotu amonowego. Można przypuszczać, że duże

Tabela 3. Dokładność prognozowania wskaźników jakości wody  
Accuracy of prediction of estimated parameters of water

| Prognozowany wskaźnik<br>Forecasted index  | Względny błąd<br>prognozy [%] dla<br>Relative forecast<br>error [%] for |         | Współczynnik<br>zmienności danych<br>do obliczeń [%]<br>Coefficient of<br>data variation<br>to calculation [%] |
|--|---|---------|--|
|  | K = 1   | K = 3   |  |
| 1. Zasadowość<br>Alkalinity  | 0,67  | 4,85    | 0,2  |
| 2. Wartość pH<br>pH value  | 3,03  | 3,62    | 0  |
| 3. Twardość ogólna<br>General hardness   | 3,88  | 2,82    | 0  |
| 4. Przewodnictwo<br>Conductivity   | 4,58  | 5,92    | 0  |
| 5. Barwa<br>Colour   | 6,56  | 6,69    | 0  |
| 6. Stężenie chlorków<br>Chlorides concentration  | 8,07  | 8,10    | 0,2  |
| 7. Stężenie N – NO <sub>2</sub><br>N – NO <sub>2</sub> concentration   | 15,18   | 16,94   | 0,3  |
| 8. Stężenie tlenu rozpuszczonego<br>Dissolved oxygen concentration   | 12,64   | 17,96   | 0,2  |
| 9. Stężenie chlorofilu „a”<br>Chlorophyl “a” concentration   | 14,56   | 17,76   | 0,3  |
| 10. Chemiczne zapotrzebowanie<br>tlenu (metod. KMnO <sub>4</sub> )<br>Chemical oxygen demand                                   | 23,61   | 22,02   | 0,5  |
| 11. Og. l. bakterii (agar odż., 20°C,<br>po 72 h w 1 cm <sup>3</sup> wody)<br>Total number of bacteria<br>(agar-agar nutrient) | 28,97   | 25,0    | 0,4  |
| 12. Stężenie Fe<br>Iron concentration  | 27,04   | 27,93   | 0,3  |
| 13. Stężenie Mn<br>Manganese concentration   | 25,66   | 34,55   | 0,3  |
| 14. Stężenie fosforanów rozpuszczonych<br>Dissolved phosphate concentration  | 31,42   | 37,0    | 0,9  |
| 15. Mętność<br>Turbidity   | 37,90   | 35,62   | 0,6  |
| 16. Stężenie N – NO <sub>3</sub><br>N – NO <sub>3</sub> concentration  | 40,88   | 49,83   | 1,0  |
| 17. Og. l. bakterii (agar odż., 37°C,<br>po 24 h w 1 cm <sup>3</sup> wody)   | 136,26  | 193,85  | 0,9  |
| 18. Stężenie N – NH <sub>4</sub><br>N – NH <sub>4</sub> concentration  | 260,50  | 261,55  | 1,1  |
| 19. Liczba bakterii <i>coli</i><br>Nimber of bacteria <i>Coli</i>  | 372,39  | 393,72  | 1,1  |
| 20. Liczba bakterii <i>Escherichia coli</i><br>Number <i>Escherichia Coli</i>  | 1429,2  | 2432,80 | 0,8  |

błędy prognozy niektórych wskaźników związane były z wpływem faktycznego (rzeczywistego) stężenia omawianego zanieczyszczenia na sposób obliczania błędu prognozy. Spostrzeżenie to może jednak sugerować możliwość wykorzystania opracowanej przez nas metodyki prognozowania do identyfikacji ognisk zanieczyszczeń.

Należy podkreślić, że osiągnięcie prognozy wartości parametrów fizyczno-chemicznych wody z błędem mniejszym od 10% jest rzadko spotykane. Uzyskane zatem przez nas wyniki badań, na podstawie opisanej metodyki prognozowania, mogą z wysokim stopniem zaufania służyć do generowania wartości danych bez konieczności przeprowadzania oznaczeń analitycznych.

Mało poprawne wyniki prognoz uzyskano dla wskaźników bakteriologicznych. Liczba bakterii psychrofilnych była prognozowana z błędem około 30%, natomiast prognoza liczby bakterii mezofilnych była obarczona około 140% błędem. Z uzyskanych wyników można wywnioskować, że efekt prognozowania może być uzależniony od parametrów kontroli jakości wykonywanych oznaczeń [19]. Na przykład wykonywanie rozcieńczeń w przypadku oznaczeń ogólnej liczby bakterii oraz metoda fermentacyjna probówkowa sprzyjają powstawaniu wysokich błędów w faktycznych wynikach, co pozwala przypuszczać, iż objęte normami metodyki badań powinny zostać poddane krytycznej ocenie i weryfikacji.

Na podstawie uzyskanych wyników badań można stwierdzić, iż stosowana metodologia pozwala na użycie jej do prognozowania jakości wody, zwłaszcza w odniesieniu do wybranych wskaźników. Natomiast pozostałe wskaźniki, szczególnie bakteriologiczne, nie powinny być prognozowane za pomocą opracowanej przez nas metodyki.

Można zatem sądzić, że opracowana metodyka prognozowania wartości wybranych wskaźników jakości wody, wykorzystująca specyficzne algorytmy rozpoznawania obrazów, może być zastosowana do budowy gęstych sieci pomiarowych zanieczyszczeń wód.

## METODYKA WIRTUALNEJ WIZUALIZACJI DANYCH POMIAROWYCH

Ostatnim akcentem naszych badań było podjęcie próby zastosowań specjalistycznych narzędzi informatycznych do przedstawienia przestrzennej lokalizacji wieloelementowych wektorów (w naszym przypadku wektorów 20-elementowych), przenoszących informację o liczbowej wartości kolejnych zanieczyszczeń w danym punkcie pomiarowym. W istocie rzeczy wektory te, reprezentujące skład badanych próbek wody, umiejscowione w pierwotnej, 20-wymiarowej przestrzeni rozwiązań, zostały przetransponowane do przestrzeni trójwymiarowej (3D), łatwej do percepcji przez człowieka. Metodyka tej transformacji, wykorzystująca algorytmy grupowania SAHN [12], nazwana wirtualną wizualizacją [10], umożliwiła przedstawienie treści baz danych w przejrzystej formie graficznej. Punkty z wielowymiarowej przestrzeni rozwiązań po

transformacji z przestrzeni pierwotnej do przestrzeni 3D, mogą w wielu przypadkach na podstawie podobieństwa (sąsiedztwa) lokalizacji, ujawnić podobieństwo właściwości, np. obszary w zalewie cechujące się wodą o podobnych parametrach, podobnej klasie czystości itp.

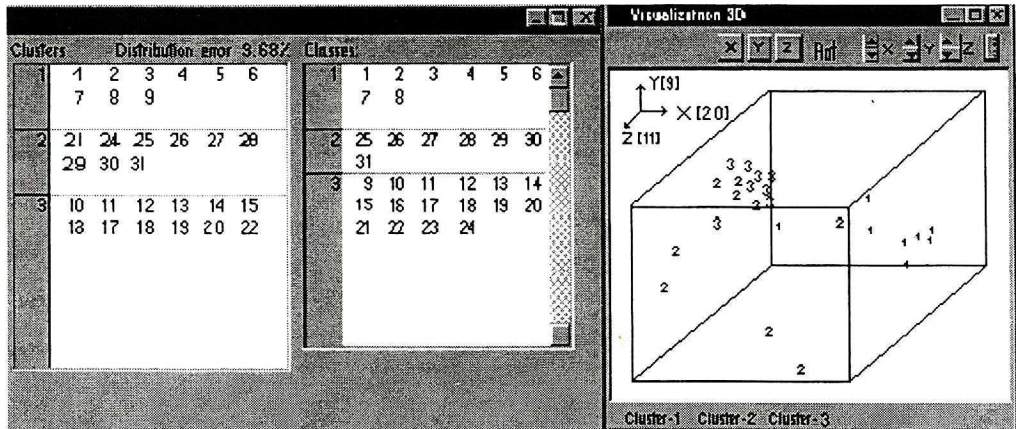
Na opisywanym etapie badań uzyskano uprzednio wyniki oznaczeń analitycznych próbek wody zostały wykorzystane do analizy wspomnianą metodą. W zbiorze danych dokonano pogrupowania, przyjmując jako podstawę podziału na klasy zasady przedstawione w tabeli 4.

Tabela 4. Utworzone zbiory danych i ich podział na klasy  
Investigates data sets and their partition on classes

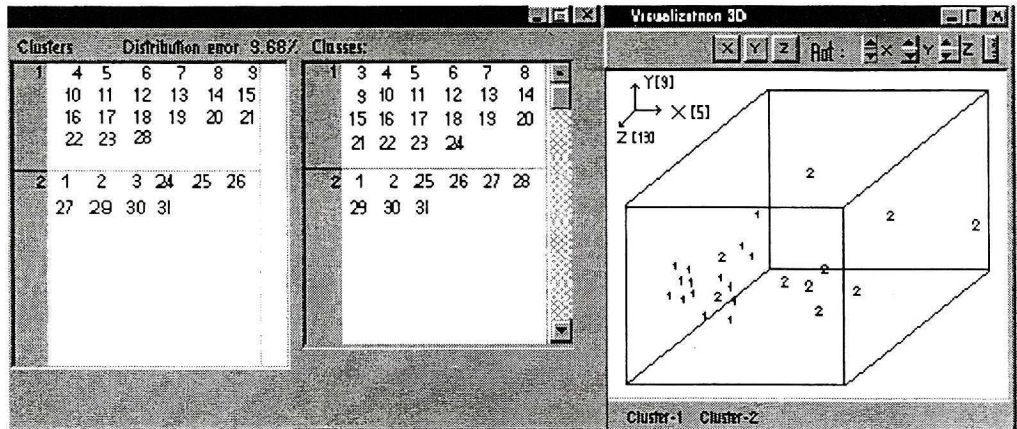
|                       | Zbiór VVT_WCL3.TAB<br>Set VVT_WCL3.TAB<br>(podstawą podziału na klasy jest wartość wskaźnika ChZT)<br>Partition as classes based on ChZT index | Zbiór VVT_WCLN.TAB<br>Set VVT_WCLN.TAB<br>(podstawą podziału na klasy są wartości trzech wskaźników jakości wody: ChZT, Fe, Mn)<br>Partition as classes based on ChZT, Fe, Mn indices | Zbiór VVT_WCL2.TAB<br>Set VVT_WCL2.TAB<br>(podstawą podziału na klasy jest położenie punktu poboru prób wody)<br>Partition as classes based on water sample collecting point location |
|-----------------------|--|---|---|
| 1. klasa<br>1st class | wskaźnik przekracza dopuszczalną normę dla III klasy czystości wód wg [6]<br>Index exceeds 3rd class of water purity standard                  | poziom 3 cech mieści się w dopuszczalnych normach dla III klasy czystości wód wg [6]<br>3 features are within 3rd class of water purity standard                                      | cofka (punkty 1–9)<br>backflow (points)   |
| 2. klasa<br>2nd class | wskaźnik nie przekracza normy dla III klasy czystości wód<br>Index does exceed 3rd class of water purity standard                              | poziom przynajmniej jednego wskaźnika przekroczył dopuszczalne normy<br>Level of at least one index exceeds   | środek zbiornika (punkty 10–23)<br>Middle of reservoir  |
| 3. klasa<br>3rd class | —  | —   | koniec zbiornika (punkty 24–31)<br>End of reservoir   |

## OMÓWIENIE WYNIKÓW WIRTUALNEJ WIZUALIZACJI DANYCH

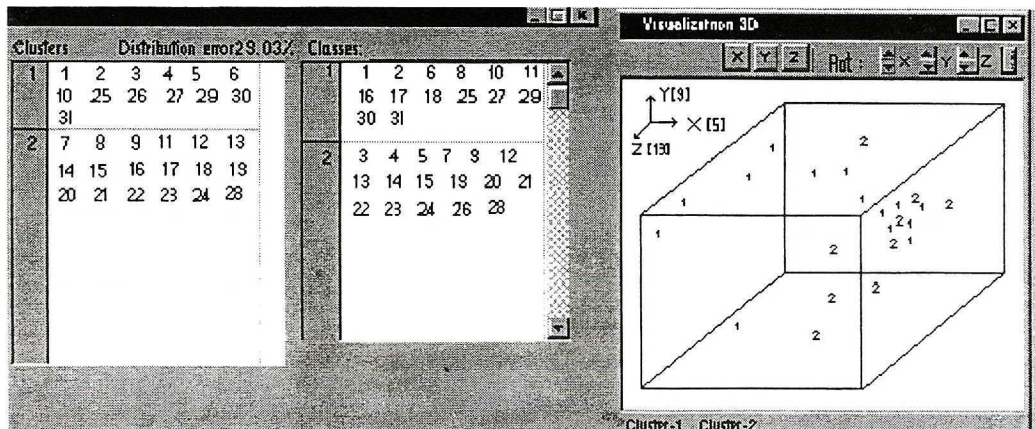
Dobry rozdział danych uzyskano w zbiorach VVT\_WCL2 i VVT\_WCL3, stosując do obliczeń miarę odległości City-Block i elastyczną strategię SAHN. Otrzymano błąd rozdziału na klasy wynoszący 9,68%. Wizualizację danych wg klas lokalizacji punktów poboru prób wody przedstawiono na rysunku 3, natomiast wg poziomu wskaźnika ChZT – na rysunku 4. Większym błędem (29,03%) obarczona była klasyfikacja w zbiorze VVT\_WCLN (Rys. 5). Uzys-



Rys. 3. Wizualizacja danych wg klas lokalizacji punktów poboru wody  
Visualization of data according to classes of localization sampling points of water



Rys. 4. Wizualizacja danych wg klas czystości wody (ChZT)  
Visualization of data according to purity classes of water (COD)



Rys. 5. Wizualizacja danych wg klas czystości wody (ChZT, Fe, Mn)  
Visualization of data according to purity classes of water (COD, Fe, Mn)

kane wyniki wskazują, iż uzyskane dane analityczne są materiałem trudnym do klasyfikacji z zastosowaniem powszechnie używanych do tego celu narzędzi badawczych.

## DYSKUSJA

Omówione w poprzedniej części artykułu wyniki badań stanowią podsumowanie materiału faktograficznego, będącego dokumentacją zanieczyszczeń zbiornika zaporowego Maziarnia na rzece Łęg. Należy podkreślić, iż zestawione w niniejszej pracy wyniki oznaczeń wybranych wskaźników jakości wody tego zbiornika są pierwszym tak obszernym zbiorem danych pomiarowych, dotyczących oznaczeń 20 wskaźników aż w 31 punktach pomiarowych.

W odrębnym eksperymencie zastosowano zmodyfikowaną metodę KNN (zwaną „patrz-w-przód-i-wstecz KNN”) do prognozowania wartości stężeń omawianych wskaźników. Na podstawie wyników własnych, zestawionych w pierwszej części artykułu, przeprowadzono wielokategoryjną predykcję poziomu skażeń, porównując uzyskane w ten sposób wyniki z odnośnymi danymi rzeczywistymi. Stwierdzono, że poziom wartości niektórych wskaźników jakości wody, a mianowicie zasadowości, pH, twardości ogólnej, przewodnictwa, barwy, stężenia chlorków, azotu azotynowego, tlenu rozpuszczonego, chlorofilu „a”, można przewidywać z zadowalającą dokładnością, co umożliwi tworzenie gęstej sieci pomiarowej zanieczyszczeń, składającej się częściowo z danych rzeczywistych i częściowo z danych prognozowanych komputerowo, zmniejszając w ten sposób koszty oceny jakości wody.

## PODSUMOWANIE

Współczesna wiedza z dziedziny ochrony środowiska naturalnego łączy doświadczenia wielu odrębnych gałęzi nauki, m.in. geologii, geofizyki, geochemii, i jest wspomagana w coraz większym stopniu doświadczeniem chemii analitycznej, analizy instrumentalnej. Jednakże narzędzia badawcze, metody, a zwłaszcza tradycje wspomnianych uprzednio dziedzin nauki, wydają się być rozbieżne w odniesieniu do oceny dokładności pomiarów, ich błędów, rzetelności i wiarygodności. W klasycznej analizie chemicznej nie ustają poszukiwania metod, urządzeń i procedur analitycznych umożliwiających analizę jakościową szybką i jednoznaczną oraz niezwykle precyzyjną, i to w odniesieniu do femtogramowych ilości substancji. Tymczasem wymagania ochrony środowiska, przy pełnym usatysfakcjonowaniu wynikami oznaczeń o dokładności rzędu  $\pm 10\%$ , inspirują badania nad oznaczeniami analitycznymi w zupełnie nowych aspektach. Jednym z nich jest na przykład opanowanie oznaczeń prowadzonych w warunkach szybkiego przenoszenia materii (procesy dyfuzyjne, szybkie zmiany poziomu zanieczyszczeń środowiska wskutek nieoczekiwanych zmian różnych czynników atmosferycznych, deszcze, powodzie, długotrwałe

susze i in.). Z tego też względu, kiedy metody oznaczeń gofizyczno-geochemicznych muszą współdziałać z klasycznymi technikami analizy chemicznej, należy zdawać sobie sprawę z wymienionych różnic potrzeb i celów. Można zatem przypuszczać, że przedstawiona w niniejszym artykule metoda prognozowania jakości wody, wzmocniona wirtualną wizualizacją, może spełnić użyteczną rolę w badaniach zanieczyszczeń środowiska wodnego.

## LITERATURA

- [1] Bartels J.H.M., T.A.H.M. Janse, F.W. Pijpers: *Classification of the Quality of Surface Waters by Means of Pattern recognition*, *Analytica Chimica Acta*, **177**, 35–45 (1985).
- [2] Chen G.N.: *Assessment of Environmental Water with Fuzzy Cluster Analysis and Fuzzy Recognition*, *Analytica Chimica Acta*, **271**, 115–124 (1993).
- [3] Duever D.L., B.R. Kowalski, T.F. Schatzki: *Source identification of oil spills by pattern recognition analysis of natural elemental composition*, Available from the National Technical Information Service, Springfield Interim Technical Report, February 1975.
- [4] Dunn W.J., et al.: *Pattern recognition for classification and determination of polychlorinated biphenyls in environmental samples*, *Analytical Chemistry*, **56**, 1308–1313 (1984).
- [5] Dzeroski S., J. Grbović, W. Walley, [in:] R.S. Michalski, I. Bratko, M. Kubat [eds]: *Machine Learning and Data Mining: Methods and Applications: Machine Learning Applications in Biological Classification of River Water Quality*, J. Wiley & Sons, New York 1997, 429–448.
- [6] Dz.U. Nr 125/91 z dnia 31 XII 1991 r., poz. 503.
- [7] Higashi K., K. Hagiwara: *Identification of Oil Spilled at Sea by High Performance Gel Permeation Chromatography Pattern recognition*, *Water Science and Technology WSED4*, **20**, 55–62 (1988).
- [8] Hippe Z.S.: *Design and application of new knowledge engineering tool for solving real world problems*, *Knowledge-Based Systems*, **9**, 509–515 (1996).
- [9] Hippe Z.S.: *Case-based reasoning in intelligent cae systems. I. Classification and prediction of materials properties*, *Proceeding of the 2nd International Scientific Colloquium Fachschule Bielefeld, Germany, September 11–13, 1995*, 103–109.
- [10] Hippe Z.S.: *New Data Mining Strategy Combining SAHN Visualization and Casebase Reasoning*, *Proc. Association for Intelligent Machinery, ICIS, 1998, Vol. II*, 320–323.
- [11] Lavine B.K., A. Stine, H.T. Mayfield: *Gas-Chromatography Pattern Recognition Technological Techniques in Pollution Monitoring*, *Analytica Chimica Acta*, **277**, 2, 357–367 (1993).
- [12] Mazur M.: *Narzędzia VVT1 i VVT2 do wirtualnej wizualizacji danych*. Raport końcowy z projektu badawczego KBN nr 8 T11C 004 09, Rzeszów 1988.
- [13] Naf C., et al.: *Flux Estimates and Pattern recognition of Particulate Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, polychlorinated Dibenzo-p-dioxins and Dibenzofurans in the Waters Out side Various Emission Sources on the Swedish Baltic Coast*, *Environmental Science and Technology*, **26**, 7, 1444–1457 (1992).
- [14] Petty J.D., T.R. Schwartz, D.L. Stalling: *Gas Chromatographic Residue Patterns in Fish Samples from the Great Lakes and from Rivers of the Southeastern United States*, *New Approaches to Monitoring Aquatic Ecosystems*. American Society for Testing and Materials, Philadelphia 1987, 165–172.
- [15] Polskie Normy. Woda i ścieki.
- [16] Ruyken M.M.A., F.W. Pijpers: *Identification of Oil Spills Harbours by Means of Pattern Recognition*, *Analytica Chimica Acta*, **194**, 25–35 (1987).



- [17] Spreizer G.M., T.J. Calabrese, R.S. Weider: *Assessing the Usability of Historical Water Quality Data for Current and Future Applications*, Current Practices in Ground Water and Vadose Zone Investigations, 1992, 377–390.
- [18] Starmach K., S. Wróbel, K. Pasternak: *Hydrobiologia*, PWN, Warszawa 1978.
- [19] Szczepańska J., E. Kmieciak: *Statystyczna kontrola jakości danych w monitoringu wód podziemnych*, Wydawnictwa AGH, Kraków 1998.

Wpłynęło: 21 listopada 2000, zaakceptowano do druku: 15 marca 2001.