

KATARZYNA RYMUZA, ELŻBIETA RADZKA

ZASTOSOWANIE ANALIZ WIELOWYMIAROWYCH DO OCENY JAKOŚCI WODY PITNEJ

Streszczenie

W pracy przedstawiono możliwość zastosowania metod wielowymiarowych do analizy jakości wody pitnej. Na podstawie wyników trzyletnich badań (2009 - 2011) przeanalizowano parametry fizykochemiczne wody pitnej z 15 wodociągów powiatu łosickiego. Wszystkie wodociągi ujmowały wodę podziemną dobrej jakości, gdyż w badanym okresie zaobserwowano tylko 7 przekroczeń zawartości żelaza, 2 przekroczenia poziomu barwy i 1 przekroczenie utleniałości. Analiza PCA wykazała, że jakość wody najsilniej różnicowały wskaźniki związane z pierwszymi czterema składowymi. Analiza skupień pozwoliła zaś na wyodrębnienie 4 grup wodociągów różniących się jakością dostarczanej wody. Grupę I stanowiły wodociągi, w których woda była twarda, ale jednocześnie zawierała mało żelaza i manganu. Wodociągi z grupy II dostarczały wodę o małej zawartości związków azotowych. Woda z wodociągów grupy III zawierała relatywnie dużo żelaza i manganu, ale jednocześnie była najmniej twarda i charakteryzowała się najniższym wskaźnikiem przewodności elektrycznej. Grupę IV tworzyły wodociągi, które doprowadzały wodę o relatywnie dużej mętności i dużej zawartości żelaza, ale o bardzo niskim pH.

Słowa kluczowe: woda pitna, wskaźniki jakości wody, analiza składowych głównych, analiza skupień

Wprowadzenie

Woda pitna jako środek spożywczy dostępna jest w formie butelkowanej, pobierana ze studni lub dostarczana siecią wodociągową. Woda wodociągowa ujmowana jest z wód powierzchniowych lub podziemnych, lecz bez względu na źródło ujęcia powinna odpowiadać standardom w zakresie czystości. Stosowane technologie uzdatniania wody niespełniającej norm powinny skutecznie poprawiać jej walory sensoryczne i zdrowotne [17]. Jakość wody pitnej jest normowana i kontrolowana, dlatego ocena jej przydatności do spożycia jest przedmiotem licznych badań [1, 10, 11, 13, 14, 21, 25]. Woda pitna w małych miejscowościach i wsiach najczęściej pobierana jest

Dr inż. K. Rymuza, Katedra Metod Ilościowych i Gospodarki Przestrzennej, dr inż. E. Radzka, Pracownia Agrometeorologii i Podstaw Melioracji, Wydz. Przyrodniczy, Uniwersytet Przyrodniczo-Humanistyczny w Siedlcach, ul. B. Prusa 14, 08-110 Siedlce

z wód podziemnych, które bardzo często charakteryzują się podwyższonym stężeniem substancji mineralnych i organicznych [18].

W Polsce jakość wody do spożycia określają załączniki do rozporządzenia Ministra Zdrowia z dnia 29 marca 2007 roku [20]. Uwzględniają one zalecenia Światowej Organizacji Zdrowia, ale przede wszystkim są zgodne z Dyrektywą Rady Unii Europejskiej 98/83/EC, która określa parametry dopuszczalnego stężenia substancji szkodliwych dla zdrowia, barwę, mętność, ogólną liczbę bakterii, zawartość ogólnego węgla organicznego, smak i zapach [6, 7].

Analiza jakości wody najczęściej dotyczy wielu wskaźników, które są opisywane i analizowane oddzielnie [4, 9]. Ocenę wody pod względem wszystkich parametrów jednocześnie stwarzają metody wielowymiarowe, dzięki którym możliwe jest zbadanie wielocechowych zależności pomiędzy parametrami lub pogrupowanie obiektów o cechach podobnych [2, 3, 12].

Celem pracy była ocena fizykochemicznych właściwości wody pitnej w powiecie łosickim z zastosowaniem analizy składowych głównych i analizy skupień.

Material i metody badań

Wyniki badań dotyczące jakości wody wodociągowej w powiecie łosickim zostały pozyskane od Państwowego Powiatowego Inspektora Sanitarnego w Łosicach. Trzyletnimi badaniami (2009 - 2011) objęto 15 wodociągów w zakresie oceny jakości wody pod względem parametrów fizykochemicznych. Zgodnie z rozporządzeniem Ministra Zdrowia z dnia 29 marca 2007 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi, próbki wody do badań były pobierane cztery razy w roku. Analizą objęto zawartość: azotanów(III), azotanów(V), żelaza, manganu oraz twardość wody i jej utlenialność. Twardość wody wynika z obecności w niej jonów wapnia i magnezu oraz innych jonów metali wielowartościowych. Wyraża się ją w $\text{mg/dm}^3 \text{ CaCO}_3$. Utlenialność wody jest umownym wskaźnikiem określający zdolność wody do pobierania tlenu z nadmanganianu potasowego (KMnO_4) w roztworze kwaśnym lub alkalicznym w ściśle określonych warunkach. Wynik oznaczenia utlenialności podaje się w mgO_2/dm^3 .

Analizę statystyczną wyników odnoszących się do jakości wody w poszczególnych wodociągach wykonano w trzech etapach. W pierwszym etapie określono średnie, minimalne i maksymalne wartości badanych wskaźników, obliczono ich zmienność oraz ustalono, ile razy w trzyletnim okresie badań dany parametr uległ przekroczeniu.

Z uwagi na to, że badane wskaźniki wyrażone były w różnych jednostkach, przed przeprowadzeniem analiz wielowymiarowych dokonano standaryzacji zmiennych. W drugim etapie zastosowano analizę składowych głównych, która charakteryzuje się tym, że obejmuje wariancję całkowitą zmiennych, wyjaśnia maksimum zmienności

w zbiorze danych. Ponadto główne składowe są funkcją zmiennej pierwotnej i są zawsze niezależne [5]. Liczbę składowych uwzględnianych w dalszej analizie wybrano na podstawie kryterium Kaisera, zgodnie z którym analizuje się składowe, których wartość własna jest większa od 1 [15, 22]. W trzecim etapie zastosowano analizę skupień, za pomocą której pogrupowano wodociągi pod względem jakości dostarczanej wody. Grupowania dokonano metodą Warda, stosując odległość euklidesową. Do oznaczenia miejsca odcięcia dendrogramu wykorzystano wskaźnik Calińskiego i Harabasa [24]. Celem sprawdzenia, czy dokonany na podstawie metody aglomeracyjnej podział jest słuszny, dokonano ponownego podziału obiektów (metodą k-średnich) na liczbę grup uzyskaną metodą aglomeracyjną. W obu przypadkach uzyskano takie same wyniki grupowania.

Wyniki i dyskusja

Wszystkie analizowane sieci dostarczające wodę ujmowały ją z wód podziemnych, które stanowią prawie 70 % źródeł zaopatrzenia ludności w wodę [8].

Tabela 1

Średnie, minimalne, maksymalne oraz dopuszczalne wartości parametrów jakości wody.
Mean, minimum, maximum and permissible values of water quality parameters.

Cecha Parameter	\bar{x}	Współczynnik zmienności (V) [%] Coefficient of variation [%]	Min. Min.	Maks. Max.	Wartość normatywna Permissible standard	Liczba przekroczeń Number of Failures to meet standards
Mętność / Turbidity	0,85	0,52	0,17	4,86	1	-
Barwa / Colour	8,25	6,67	5,00	21,00	15	2
Przewodność el- ektrolityczna Conductivity	455,50	429,13	291,00	628,00	2500	-
pH /pH	7,41	7,40	7,03	7,70	6,5-9,5	-
Azotany(III) / Nitrates (III)	0,04	0,04	0,03	0,04	0,50	-
Azotany(V) / Nitrates(V)	6,38	3,08	1,80	38,0	50	-
Żelazo / Iron	0,16	0,08	0,05	0,70	0,200	7
Mangan / Manganese	0,05	0,03	0,02	0,15	0,05	-
Twardość / Hardness	237,00	227,50	151,00	311,00	60-500	-
Utlenialność / COD	2,15	1,14	0,500	17,30	5	1

\bar{x} - wartość średnia / mean value n = 180.

Średnie, minimalne oraz maksymalne wartości parametrów jakości wody dostarczanej przez wodociągi powiatu łosickiego przedstawiono w tab. 1. Najmniejszym zróżnicowaniem charakteryzował się odczyn wody ($V = 2,57\%$) oraz zawartość azotanów(III) ($V = 4,98\%$). Największą zmienność wykazały natomiast parametry: utlenialności ($196,792\%$) i zawartości azotanów(V) ($144,19\%$). Maksymalne wartości oznaczanych parametrów wskazują na to, że zawartość żelaza oraz utlenialność wody przekroczyły w niektórych wodociągach dopuszczalną normę. Ponadnormatywną zawartość żelaza stwierdzono w wodzie z 7 wodociągów, barwy – w 2, natomiast utlenialność przekroczona była w jednym (tab. 1). Przekroczenia te są jednak nieznaczne w stosunku do danych ogólnopolskich, z których wynika, że odsetek ludności zaopatrywanej w wodę wodociągową nieodpowiadającą wymaganiom sanitarnym w 2005 roku wynosił $14,3\%$ [16].

Analiza składowych głównych wykazała, że jakość wody w powiecie łosickim różnicowały cechy związane z pierwszymi czterema składowymi PC1, PC2, PC3, PC4 (na co wskazują ich wartości własne większe od 1). Składowe te wyjaśniały $75,37\%$ wariancji całkowitej, czyli łącznej, wielowymiarowej zmienności parametrów jakości wody (tab. 2).

Pierwsza składowa główna była silnie ujemnie skorelowana z przewodnością elektrolityczną ($r = -0,84$), zawartością azotanów ($r = -0,70$) oraz twardością wody ($r = -0,76$). Parametry te mają największy udział w wielo cechowym zróżnicowaniu jakości wody. Wartości współczynników korelacji świadczą o tym, że woda, która zawierała relatywnie dużo azotanów(V) charakteryzowała się większą przewodnością elektrolityczną i większą twardością. Barwa wody i zawartość manganu, cechy najsilniej związane z drugą składową ($r = 0,68$ i $r = 0,68$), w mniejszym stopniu różnicowały jej jakość (PC2 wyjaśniała 20% zmienności). Wraz ze wzrostem zawartości manganu zwiększała się liczba jednostek barwy (tab. 3, rys. 1). Mangan, podobnie jak żelazo, barwi wodę na żółto, a ponadto stymuluje rozwój bakterii, które nadają wodzie nieprzyjemny, stęchły smak i zapach. [19]. Trzecia składowa związana przede wszystkim z mętnością wody ($r = -0,81$) oraz z zawartością żelaza ($r = -0,80$) w $19,17\%$ różnicowała wielo cechową jakość wody.

Wartości współczynników korelacji potwierdzają wyniki dotychczasowych badań, że wraz ze wzrostem zawartości żelaza wzrasta jej mętność, gdyż wytrącają się osady związków żelaza [17, 23]. Utlenialność oraz zawartość azotanów(III) w najmniejszym stopniu różnicowały jakość dostarczanej wody, gdyż cechy te najsilniej związane były z PC 4, która w 10% wyjaśniała zmienność jej jakości. Obliczone współczynniki korelacji PC4 z badanymi parametrami wskazują na to, że woda, która zawierała relatywnie dużo azotanów charakteryzowała się również większą utlenialnością (tab. 3, rys. 2). Zależność ta świadczy o tym, że woda zanieczyszczona została związkami organicznymi pochodzenia zwierzęcego, gdyż utlenialność wywołana

związkami antropogenicznymi wskazuje na obecność w wodzie związków azotowych i chlorków [23].

Tabela 2

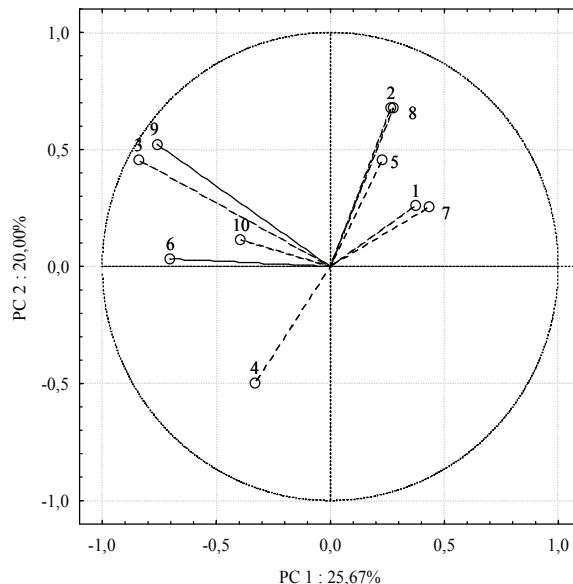
Wartości własne, procent wariancji i skumulowany procent wariancji otrzymanych składowych.
Eigenvalues, variance percentage, and cumulated variance percentage of components obtained.

Składowe główne Principal components	Wartości własne Eigenvalues	Wyjaśniana część zmienności wielocechowej [%] Explained part of multivariate variability of accessions [%]	Skumulowana część zmienności wielocechowej [%] Cumulative part of multivariate variability [%]
PC 1	2,56	25,67	25,67
PC 2	2,00	20,00	45,67
PC 3	1,91	19,17	64,85
PC 4	1,05	10,52	75,37
PC 5	0,86	8,63	84,00
PC 6	0,67	6,71	90,71
PC 7	0,59	5,91	96,62
PC 8	0,28	2,82	99,43
PC 9	0,05	0,53	99,96
PC 10	0,00	0,03	100,0

Tabela 3

Ładunki czynnikowe obrazujące wpływ parametrów jakości wody na cztery składowe główne.
Factor loads depicting impact of water quality parameters on four main components.

Cecha / Parameter	PC 1	PC 2	PC 3	PC 4
Mętność / Turbidity	0,375	0,261	-0,810	-0,278
Barwa / Colour	0,266	0,678	0,083	0,288
Przewodność elektrolityczna / Conductivity	-0,840	0,454	-0,249	0,095
pH / pH	-0,332	-0,498	-0,261	0,169
Azotany(III) / Nitrates (III)	0,228	0,455	0,554	-0,501
Azotany(V) / Nitrates(V)	-0,703	0,031	-0,100	-0,331
Żelazo / Iron	0,432	0,257	-0,796	-0,229
Mangan / Manganese	0,275	0,677	0,260	0,259
Twardość / Hardness	-0,761	0,523	-0,210	0,202
Utlenialność / COD	-0,393	0,113	0,249	-0,578

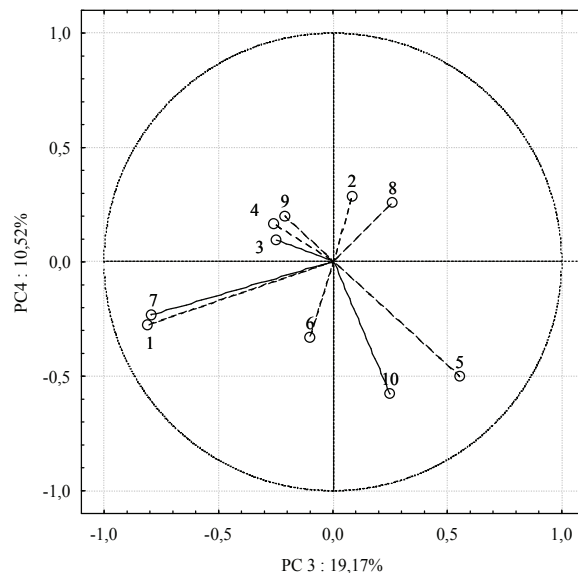


1 – mętność / turbidity; 2 – barwa / colour ; 3 – przewodność elektrolityczna / conductivity; 4 – pH; 5 – azotany(III) / nitrates(III); 6 – azotany(V) / nitrates(V); 7 – żelazo / iron; 8 – mangan / manganese; 9 – twardość / hardness; 10 – utlenialność / COD.

Rys. 1. Rozmieszczenie parametrów jakości wody w przestrzeni: pierwszej i drugiej składowej głównej.
Fig. 1. Distribution of water quality parameters in the first and second principal component space.

Za pomocą analizy skupień wyodrębniono 4 grupy wodociągów, które różniły się jakością dostarczonej wody (rys. 3). Wykresy średnich dla każdego skupienia (grupy) obrazujące poziom wartości każdej cechy (wskaźnika jakości wody) przedstawiono na rys. 4.

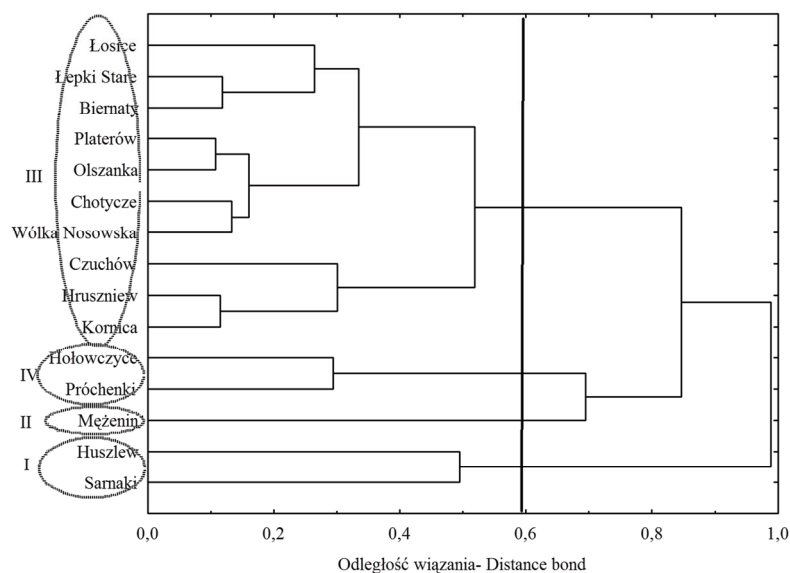
Grupę 1. utworzyły sieci wodociągowe w Huszlewie i Sarnakach, które dostarczały wodę o barwie, mętności, zawartości żelaza i zawartości manganu mniejszej niż średnia dla całego powiatu. Woda dostarczana przez te wodociągi charakteryzowała się natomiast wysoką przewodnością elektrolityczną, zawartością związków azotowych, twardością i utlenialnością. Woda dostarczana przez sieci wodociągowe z grupy drugiej reprezentowanej przez wodociąg w Mężeninie charakteryzowała się najmniejszą zawartością azotanów(III), żelaza i manganu. Trzecia grupa, którą tworzyło 10 wodociągów dostarczała wodę o dużej mętności oraz dużej zawartości żelaza i manganu. Wartości tych parametrów były znacznie wyższe niż uzyskane wartości średnie ze wszystkich sieci dostarczających wodę w powiecie. Woda ta ponadto charakteryzowała



1 – mętność / turbidity; 2 – barwa / colour; 3 – przewodność elektrolityczna / conductivity; 4 – pH; 5 – azotany(III) / nitrates(III); 6 – azotany(V) / nitrates(V); 7 – żelazo / iron; 8 – mangan / manganese; 9 – twardość / hardness; 10 – utlenialność / COD.

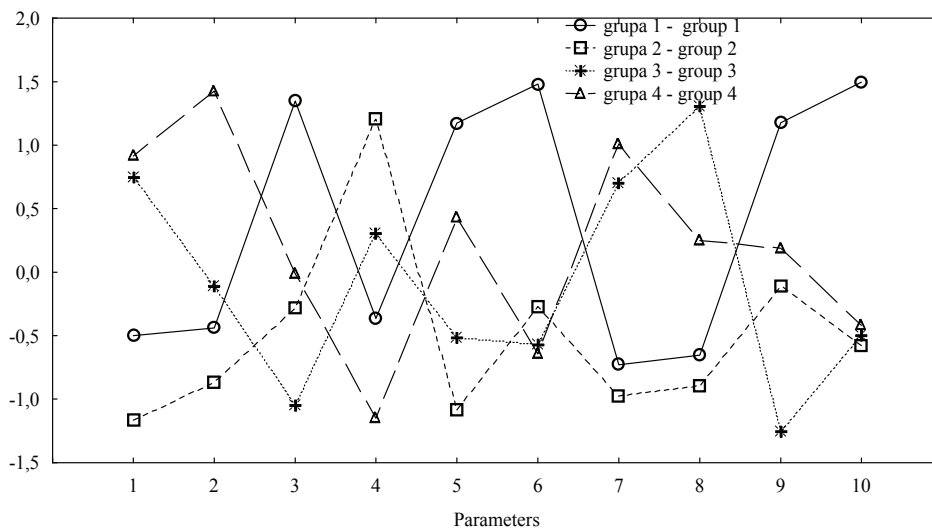
Rys. 2. Rozmieszczenie parametrów jakości wody w przestrzeni: trzeciej i czwartej składowej głównej.

Fig. 2. Distribution of water quality parameters in the third and fourth principal component space.



Rys. 3. Dendrogram przedstawiający grupy wodociągów wyłonionych na podstawie analizy skupień.

Fig. 3. Dendrogram to represent groups of water supply systems identified using cluster analysis.



Parametry / Parameters

1 – mętność / turbidity; 2 – barwa / colour; 3 – przewodność elektrolityczna / conductivity; 4. – pH; 5 – azotany(III) / nitrates(III); 6 – azotany(V) / nitrates(V); 7 – żelazo / iron; 8 – mangan / manganese; 9 – twardość / hardness; 10 – utlenialność / COD.

Rys. 4. Wykresy średnich znormalizowanych wartości parametrów każdego skupienia (grupy).

Fig. 4. Graphs of means of normalized parameter values for each cluster (group).

się bardzo niską przewodnością elektrolityczną, twardością, niską zawartością azotanów(III) i azotanów(V) oraz średnią wartością pH. Ostatnią grupę utworzyły wodociągi z Hołowczyc i Próchenek, dostarczające wodę najbardziej mętną, o największym wskaźniku barwy i dużej zawartości żelaza (rys. 3 i 4).

Wnioski

1. Woda pitna z wodociągów w powiecie łosickim charakteryzowała się dobrą jakością, na co wskazuje niewielka liczba przekroczeń norm (żelazo – 7 razy, barwa – 2 razy i utlenialność – 1 raz).
2. Jakość wody dostarczanej przez poszczególne wodociągi w największym stopniu była zróżnicowana pod względem barwy, mętności, zawartości żelaza i manganu.
3. Pod względem jakości dostarczanej wody wodociągi można sklasyfikować w 4 grupach. Wodociągi z grupy pierwszej dostarczały wodę o największej przewodności elektrolitycznej, twardości i utlenialności, zawartości azotanów(III) i azotanów(V). Niewielką mętnością, małą zawartością żelaza i manganu oraz relatywnie najwyższą wartością pH charakteryzowała się woda dostarczana przez wodociągi grupy 2. Najmniejszą twardością i przewodnością elektrolityczną odznaczała się

- woda w wodociągach grupy 3. Wodociągi grupy 4. dostarczały wodę o największej mętności, największej liczbie jednostek barwy przy jednocześnie niskim pH.
4. Dowiedziono, że analiza składowych głównych oraz analiza skupień są technikami przydatnymi do oceny jakości wody pitnej. Metody te pozwalają na zbadanie wielowymiarowych zależności zachodzących pomiędzy cechami (wskaźnikami jakości wody) oraz umożliwiają pogrupowanie obiektów (wodociągów) o podobnej jakości wody pitnej.

Literatura

- [1] Blicharska E., Komsta Ł., Kocjan R., Gumieniczek A., Wiśniewska A.: Chemometric processing of ion chromatograms application to comparative analysis of Polish bottled mineral and spring waters. *Pol. J. Environ. Stud.*, 2010, **19** (5) 1071-1075.
- [2] Boyacioglu H., Boyacioglu H.: Water pollution sources assessment by multivariate statistical methods in the Tahtali Basin. Turkey, *Environmental Geology*, 2008, **54** (2), 275-282.
- [3] Boyacioglu H.: Surface water quality assessment using factor analysis. *Water SA*, 2006, **32** (3), 389-393.
- [4] Czaplicka-Kotas A., Ślusarczyk M., Pięta M., Szostak A.: Analiza zależności pomiędzy wskaźnikami jakości wody w Jeziorze Goczałkowickim w aspekcie fitoplanktonu. *Ochrona Środowiska*, 2012, **34** (1), 21-27.
- [5] Czernyszewicz E.: Zastosowanie analizy składowych głównych do opisu konsumenckiej struktury jakości jabłek. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2008, **2** (57), 119-127.
- [6] Granops M., Kaleta J.: Woda – uzdatnianie i odnowa. Wyd. SGGW, Warszawa 2002.
- [7] Gromiec M.: Postanowienia traktatu akcesyjnego i zobowiązania wynikające z przystąpienia Polski do UE w zakresie jakości zasobów. *Gospodarka Wodna*, 2004, **4**, 129-132.
- [8] Jakość wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi w 2010 roku. [online]. [dostęp: 15. 10. 2012]. Dostępny na stronie: <http://www.gis.gov.pl/dep/?lang=pl&dep=4&id=9>
- [9] Kłos M., Zimoch I.: Wykorzystanie analizy jakości wody do oceny pracy sieci wodociągowej. *Ochrona Środowiska*, 2005, **27** (4), 27-31.
- [10] Kot A.: Determination of content of zinc and cooper in table and therapeutic mineral water. *Przegl. Lek.*, 2001, **58** (7), 14-17.
- [11] Kot B., Baranowski R., Rybak A.: Analysis of mine waters using X-ray fluorescence spectrometry. *Pol. J. Environ. Stud.*, 2000, **9** (5), 429-431.
- [12] Kotowski T., Kachnic M.: Formowanie składu chemicznego wód podziemnych w warstwach mioceenu i plejstocenu w rejonie występowania głębokiej doliny kopalnej w pobliżu Wysokiej (pojezierze krajeńskie). *Biul Państ. Inst. Geol.*, 2007, **427**, 47-60.
- [13] Kregiel D., Rygała A., Libudzisz Z.: Bakterie z rodzaju *Asaia* – nowe zanieczyszczenie smakowych wód mineralnych. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2011, **2** (75), 5-16.
- [14] Michalik A.: The use of chemical and cluster analysis for studying spring water quality in Świętokrzyski National Park. *Pol. J. Environ. Stud.*, 2008, **17** (3), 357-362.
- [15] Morrison D.: Wielowymiarowa analiza statystyczna. PWN, Warszawa 1990.
- [16] Odsetki ludności zaopatrywanej w wodę wodociągową nie odpowiadającą wymaganiom sanitarnym według ostatnich danych udostępnionych opinii publicznej przez Głównego Inspektora Sanitarnego dane za rok 2005 [online]. Instytut Wody [dostęp: 20.10.2012]. Dostępna w Internecie: <http://halat.pl/instytut.html>
- [17] Pekutin J.: Ocena jakości wody do spożycia dostarczanej przez wodociągi wiejskie. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, 2012, **6**, 266-269.

- [18] Pepliński M., Malecki A.: Usuwanie żelaza, manganu i azotu amonowego z wody podziemnej (część I). *Ochrona Środowiska i Gospodarka Komunalna*, 2008, **6**, 33-35.
- [19] Podstawy hydrogeologii stosowanej. Red. A. Macioszczyk. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa 2011.
- [20] Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 29 marca 2007 roku w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi. *Dz. U.* 2007 r. Nr. 61, poz. 417.
- [21] Soylak M., Armagan Aydin F., Saracoglu S., Elci L., Dogan M.: Chemical analysis of drinking water samples from Yozgat, Turkey. *Pol. J. Environ. Stud.*, 2002, **11 (2)**, 151-156.
- [22] Stanisław A.: Przystępny kurs statystyki z zastosowaniem STATISTICA PL na przykładach z medycyny. T. 3. Analizy wielowymiarowe. StatSoft, Kraków 2007.
- [23] Świdarska-Bróż M., Wolska M.: Główne przyczyny wtórnego zanieczyszczenia wody w systemie dystrybucji. *Ochrona Środowiska*, 2006, **28 (4)**, 29-34.
- [24] Walesiak M., Dudek A.: Symulacyjna optymalizacja wyboru procedury klasyfikacyjnej dla danego typu danych – charakterystyka problemu. *Zesz. Nauk. Uniwersytetu Szczecińskiego*, 2006, **450**, 634-646.
- [25] Wichrowska B., Kozłowski J., Jankowska D.: Ocena ryzyka zdrowotnego w świetle przepisów Unii Europejskiej dotyczącej jakości wody do picia. *Ochrona Środowiska*, 2001, **83 (4)**, 19-22.

APPLYING MULTIDIMENSIONAL ANALYSES TO ASSESS DRINKING WATER QUALITY

S u m m a r y

In the paper, there were presented the possibilities of applying multidimensional methods to analyse the quality of drinking water. Based on the three year research results (2009 - 2011), analyzed were the physical and chemical parameters of drinking water from 15 water supply systems in the district (in Polish: powiat) of Łosice. Groundwater supplied by all the systems was of good quality as, during the period studied, only 7 cases were reported where the content of iron was exceeded, 2 cases where the colour level was exceeded, and 1 case with the exceeded level of KMnO_4 oxidation. The principal component analysis (PCA) showed that the parameters associated with the first four components impacted the quality of water analyzed most of all. The cluster analysis made it possible to distinguish 4 groups of water supply systems, which differed as regards the quality of water supplied. Group I comprised the systems with hard water and, at the same time, with low contents of iron and manganese. The water systems in group II supplied water with a low content of nitrates. The water in the systems of group III contained relatively high amounts of iron and manganese, but, at the same time, its hardness was the lowest and it was characterized by the lowest value of the electrical conductivity index. Group IV comprised the water supply systems that provided water with a relatively high turbidity level and a high content of iron; however, its pH value was very low.

Key words: drinking water, water quality indicators, principal component analysis, cluster analysis 