

**POLSKA AKADEMIA NAUK**  
**WYDZIAŁ NAUK ROLNICZYCH, LEŚNYCH**  
**I WETERYNARYJNYCH**

---

**ZESZYTY PROBLEMOWE**  
**POSTĘPÓW**  
**NAUK ROLNICZYCH**

---

**ZESZYT 548**  
**CZĘŚĆ II**

## WYKORZYSTANIE WIELOWYMIAROWYCH METOD STATYSTYCZNYCH DO ANALIZY JAKOŚCI WÓD RZECZNYCH <sup>1</sup>

*Mariusz Sojka, Sadzide Murat-Błażejewska*

Katedra Melioracji, Kształtowania Środowiska i Geodezji,  
Uniwersytet Przyrodniczy, Poznań

### Wstęp

Monitoring wód powierzchniowych płynących ulega w Polsce sukcesywnemu rozszerzaniu. Według ROZPORZĄDZENIA MŚ [2004]. w sprawie klasyfikacji dla prezentowania stanu wód powierzchniowych i podziemnych sposobu prowadzenia monitoringu oraz sposobu interpretacji wyników i prezentacji stanu tych wód zakres badań obejmował 51 wskaźników fizyczno-chemicznych i biologicznych, a już w rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 13 maja 2009 r. w sprawie form i sposobu prowadzenia monitoringu jednolitych części wód powierzchniowych i podziemnych zakres badań obejmuje 75 wskaźników. Do analizy obszernych zbiorów danych pochodzących z monitoringu stosuje się wielowymiarowe metody statystyczne, tj.: analizę skupień (CA), analizę czynnikową (FA), analizę składowych głównych (PCA) oraz analizę dyskryminacyjną (DA). W literaturze można znaleźć wiele przykładów zastosowań technik chemometrycznych do interpretacji wyników fizyczno-chemicznych: wód opadowych [ASTEL i in. 2004], wód gruntowych [LIU i in. 2003], wód powierzchniowych, [KOWALKOWSKI i in. 2006; SIMONOV i in. 2001, 2003; SINGH i in. 2004, 2005b, 2005c; SOJKA i in. 2008], a także ścieków [SINGH i in. 2005a]. W niniejszej pracy wyżej wymienione metody wykorzystano do identyfikacji reprezentatywnych wskaźników fizyko-chemicznych przy ocenie czasowej i przestrzennej zmienności jakości wód płynących.

Celem pracy była próba wykorzystania wielowymiarowych metod statystycznych (CA, PCA, FA i DA) do oceny podobieństw i różnic w składzie fizyko-chemicznym wód w punktach pomiarowo-kontrolnych usytuowanych wzdłuż rzeki Maskawy. W pracy dokonano też identyfikacji reprezentatywnych wskaźników jakości wody istotnych dla charakterystyki ich czasowej i przestrzennej zmienności.

---

<sup>1</sup> Praca naukowa finansowana jest ze środków na naukę w latach 2007–2010 jako projekt badawczy nr N305 084 32/2845.

### Zakres i metodyka badań

Podstawą oceny składu fizykochemicznego wód rzeki Maskawy był zbiór danych obejmujący wartości 19 parametrów jakości wody oznaczanych z częstotliwością raz w miesiącu w dziewięciu punktach pomiarowo-kontrolnych (PPK) w 1989 roku (udostępnione przez WIOŚ w Poznaniu). Lokalizację PPK przedstawiono na rysunku 1. Ocenę i klasyfikację jakości wód sporządzono zgodnie z wymaganiami ROZPORZĄDZENIA MŚ [2004].

Do oceny podobieństw i różnic w składzie fizykochemicznym wód w badanych PPK, identyfikacji reprezentatywnych wskaźników jakości wody do charakterystyki ich czasowej i przestrzennej zmienności, ekspozycji ukrytych czynników objaśniających strukturę danych oraz oceny wpływu naturalnych i antropogenicznych źródeł zanieczyszczeń na jakość wód zastosowano wielowymiarowe statystyczne metody analizy danych, tj. analizę skupień (CA), analizę składowych głównych (PCA), analizę czynnikową (FA) i analizę dyskryminacyjną (DA). Z analizy statystycznej wyłączono punkt pomiarowy zlokalizowany na rzece Maskawie w miejscowości Nekla ze względu na to, że w czterech miesiącach próbki wody do oznaczeń nie były pobierane.

Przed rozpoczęciem analizy statystycznej sprawdzono zgodność rozkładu badanych parametrów jakości wody z rozkładem normalnym na poziomie  $p_{\alpha} = 0,05$  przy pomocy testu W (Shapiro-Wilka). Przeprowadzone analizy wykazały, że tylko stężenia siarczanów, wapnia i magnezu oraz twardość miały rozkłady zgodne z normalnym, dlatego pozostałe parametry poddano transformacji [MAZERSKI 2000]. Po dokonaniu transformacji rozkład temperatury wody, nasycenia tlenem oraz stężenie azotu azotanowego nadal istotnie różniło się od rozkładu normalnego, dlatego wskaźników tych nie uwzględniono przy wykonywaniu analiz. W przypadku tlenu rozpuszczonego, przewodnictwa, azotu azotynowego i azotu ogólnego rozkłady były zgodne z rozkładem normalnym na poziomie  $p_{\alpha} = 0,20$ . Zbiór danych obejmujący 16 parametrów jakości wody poddano standaryzacji, a następnie analizie przy wykorzystaniu trzech wielowymiarowych metod statystycznych, tj.: CA, PCA i FA. Analizę skupień (CA) wykonano metodą Warda w celu zobrazowania podobieństw i różnic pomiędzy przekrojami pomiarowo-kontrolnymi. Metody PCA i FA wykorzystano do wyeksponowania składników/czynników charakteryzujących czasową i przestrzenną zmienność jakości wód. Analizę dyskryminacyjną wykonano na podstawie surowych danych [KOWAL-KOWSKI i in. 2006, SINGH i in. 2005b, 2005c].

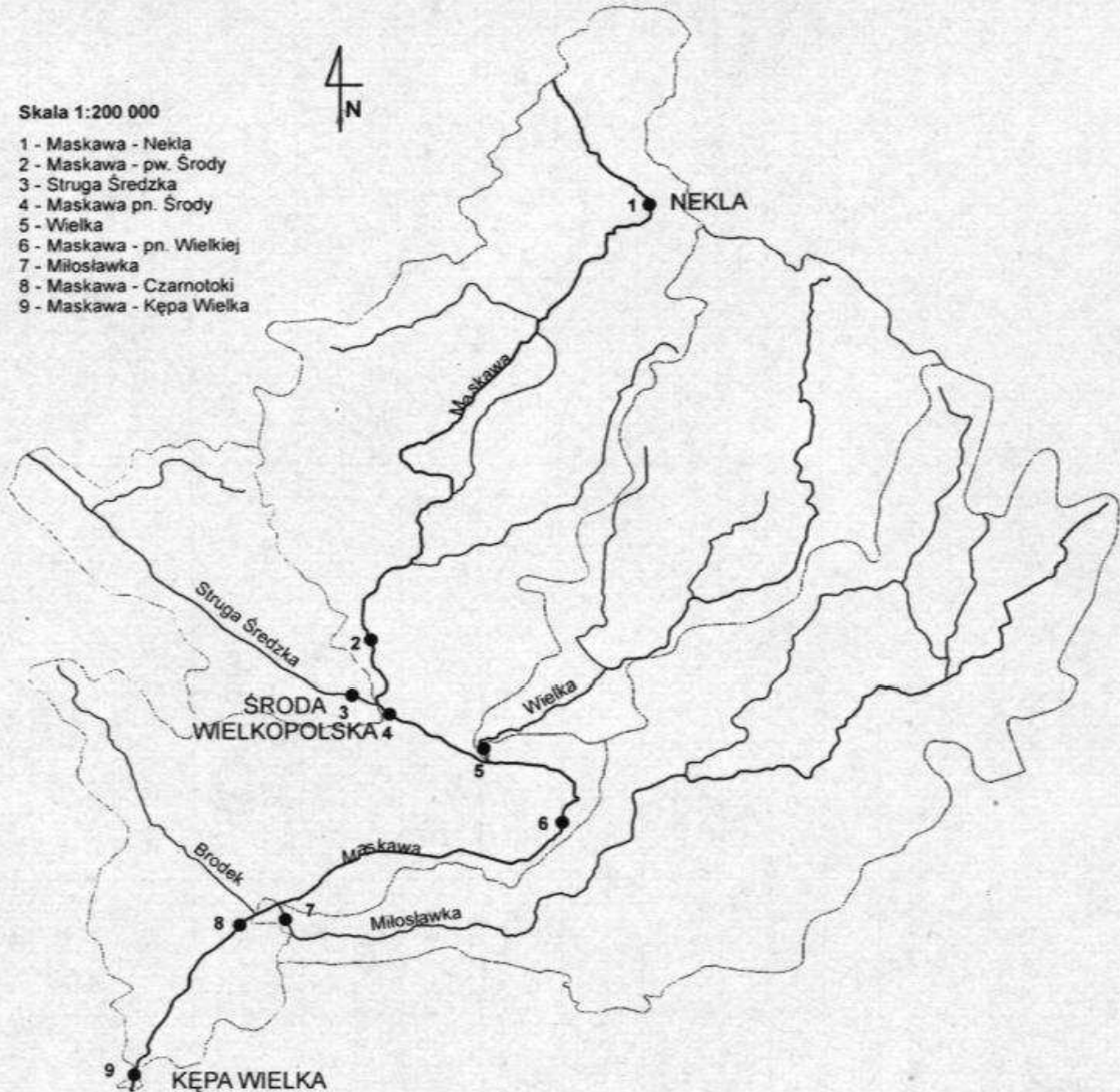
Głównym celem analizy dyskryminacyjnej (DA) było zbudowanie na podstawie parametrów jakości wody modelu (funkcji dyskryminacyjnej), który pozwoliłby na ocenę czasowej i przestrzennej zmienności jakości wody.

### Wyniki badań i dyskusja

Analiza danych wykazała, że rzeka Maskawa w 1989 roku prowadziła wody złej jakości we wszystkich ośmiu PPK. Stężenia tlenu rozpuszczonego, azotu amonowego, fosforanów a także wysokie wartości BZT<sub>5</sub>, ChZT we wszystkich punktach pomiarowo kontrolnych odpowiadały normom V klasy jakości. Dodatkowo w PPK-1 Nekla odnotowano podwyższone stężenia chlorków, zawiesiny ogólnej (IV klasa) oraz wysokie przewodnictwo elektryczne (V klasa), w PPK poniżej



Środy (PPK-4) podwyższone stężenia żelaza (IV klasa), zaś poniżej dopływu Wielkiej (PPK-G) – podwyższone stężenia manganu (IV klasa).



Rys. 1. Zlewnia rzeki Maskawy do przekroju Kępa Wielka  
Fig. 1. Catchment of Maskawa river down do Kępa Wielka cross-section

Jakość wód głównych dopływów rzeki Maskawy była zła lub niezadowolająca, wody rzeki Strugi Średzkiej i Miłosławki odpowiadały normom V klasy jakości, a wody Wielkiej odpowiadały normom IV klasy jakości. Zestawienie średnich arytmetycznych, wartości medialnych oraz maksymalnych i minimalnych stężeń badanych parametrów jakości wody w roku 1989 przedstawiono w tabeli 1.

Analiza skupień pozwoliła ustalić PPK charakteryzujące się podobnym stanem fizyko-chemicznym. Uzyskane wyniki przedstawiono na dendrogramie (rys. 2), na którym 8 PPK pogrupowano na trzy statystycznie istotne skupienia.

Tabela 1; Table 1

Minimalne, maksymalne, średnie oraz mediany parametrów fizyczno-chemicznych wody oznaczanych w punktach pomiarowo-kontrolnych w roku 1989

Mean, median values and ranges of physical and chemical properties of water in monitoring station in the year 1989

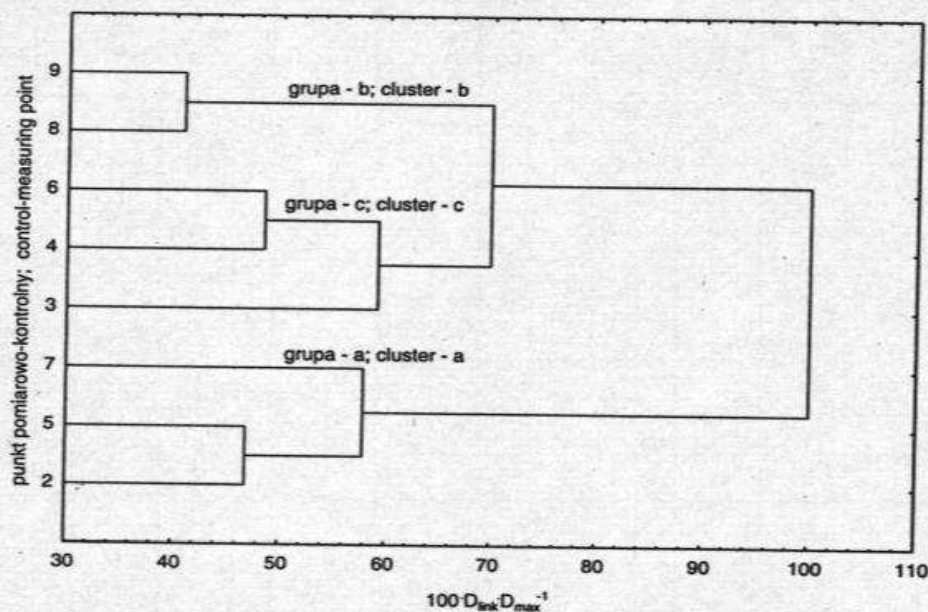
Parametry Parameters	Skróty Abbreviations	Jednostki Units	PPK - Punkty pomiarowe kontrolne; Monitoring station control								
			1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Temperatura wody Water temperature	WT	°C	5,0-15,0 8,9 (7,0)	4,0-22,0 10,5 (8,5)	5,0-22,0 11,5 (9,0)	5,0-21,0 10,4 (8,5)	4,0-23,0 10,6 (8,0)	5,0-22,0 10,8 (8,5)	4,0-22,0 10,7 (8,5)	3,5-22,0 11,0 (8,5)	4,0-22,0 10,7 (8,5)
pH	pH	pH unit	7,0-7,6 7,4 (7,4)	7,3-8,1 7,7 (7,7)	7,0-7,7 7,4 (7,5)	6,6-7,8 7,5 (7,5)	7,4-8,0 7,8 (7,7)	7,2-7,8 7,5 (7,4)	7,3-7,8 7,6 (7,6)	7,4-7,9 7,7 (7,7)	7,5-8,5 7,7 (7,7)
Tlen rozpuszczony Dissolved oxygen	DO	mg·dm <sup>-3</sup>	0,7-10,2 7,3 (8,2)	2,4-12,3 7,7 (8,3)	0,3-4,4 2,4 (2,7)	0,3-11,0 4,6 (3,6)	6,8-11,2 9,3 (9,5)	0,5-7,6 2,8 (1,4)	0,5-13,8 5,2 (4,9)	5,4-12,9 8,1 (7,7)	0,3-16,9 7,0 (7,3)
Nasylenie tlenem Oxygen saturation	NO	%	6,7-81,7 61,4 (69,0)	27,0-295,0 83,0 (75,5)	3,0-34,0 21,4 (24,0)	2,5-86,0 37,6 (31,9)	65,0-278,0 98,5 (83,5)	4,3-59,0 23,2 (11,4)	5,2-130,0 44,3 (42,0)	58,0-130,0 72,3 (65,0)	3,1-159,4 60,8 (57,0)
Biochemiczne zapotrzebowanie na tlen; Biochemical oxygen demand	BOD	mg·dm <sup>-3</sup>	1,1-50,0 8,1 (2,5)	2,1-25,6 7,4 (4,9)	11,3-193,0 71,4 (43,6)	5,3-106,0 35,5 (22,4)	1,5-14,2 4,2 (3,5)	3,8-252,0 58,0 (20,2)	4,0-71,0 21,3 (9,1)	3,5-10,6 5,0 (4,3)	2,1-90,0 17,9 (9,1)
Chemiczne zapotrzebowanie na tlen; Chemical oxygen demand	COD <sub>Mn</sub>	mg·dm <sup>-3</sup>	16,0-883,0 140,1 (33,)	26,0-106,0 50,7 (43,0)	53,0-422,0 154,9 (112,0)	18,0-213,0 89,1 (74,0)	16,0-52,0 30,0 (24,5)	22,0-585,0 131,3 (75,0)	24,0-120,0 65,1 (64,0)	30,0-127,0 46,2 (39,0)	14,0-176,0 64,2 (46,5)
Przewodnictwo elektryczne Electrical conductivity	EC	μS·cm <sup>-1</sup>	767-3283 1375 (902))	1004-1312 1118 (1105)	1113-1890 1371 (1342)	1018-1955 1308 (1239)	901-1507 1110 (1079)	972-1926 1281 (1263)	841-1645 1196 (1167)	869-1440 1060 (1013)	978-1645 1185 (11100)
Sucha pozostatość Dry content	DC	mg·dm <sup>-3</sup>	514-2308 996 (607)	627-863 763 (779)	748-1024 896 (904)	649-931 778 (774)	610-1523 835 (806)	668-1252 845 (822)	536-946 786 (810)	597-991 753 (727)	601-959 769 (768)
Zawiesina ogólna Suspension	SP	mg·dm <sup>-3</sup>	4,0-689,0 107,0 (17,1)	4,0-104,0 22,9 (15,5)	8,0-457,0 86,9 (57,5)	6,0-61,0 34,4 (31,0)	4,0-186,0 31,1 (14,5)	5,0-111,0 29,7 (23,0)	4,0-123,0 33,3 (23,0)	8,0-82,0 26,1 (22,0)	2,0-51,0 27,4 (29,5)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Azot azotanowy Nitrate nitrogen	NO <sub>3</sub> -N	mg·dm <sup>-3</sup>	0,1-0,8 0,4 (0,4)	0,1-7,0 1,6 (0,6)	0,1-6,0 0,8 (0,3)	0,12-7,5 1,4 (0,2)	0,2-7,5 2,5 (1,1)	0,2-5,5 1,5 (0,3)	0,1-5,0 1,1 (0,3)	0,1-3,0 0,7 (0,3)	0,2-8,3 2,6 (0,6)
Azot azotynowy Nitrite nitrogen	NO <sub>2</sub> -N	mg·dm <sup>-3</sup>	0,004-0,032 0,016 (0,017)	0,007-0,290 0,062 (0,032)	0,003-0,260 0,106 (0,090)	0,000-0,250 0,074 (0,038)	0,015-0,300 0,075 (0,029)	0,000-0,170 0,078 (0,095)	0,007-0,190 0,109 (0,125)	0,004-0,190 0,035 (0,021)	0,005-0,200 0,085 (0,084)
Azot amonowy Ammonium nitrogen	NH <sub>4</sub> -N	mg·dm <sup>-3</sup>	0,1-3,3 0,7 (0,3)	0,1-3,3 1,0 (0,5)	3,2-22,8 11,6 (12,9)	0,1-23,0 5,4 (3,2)	0,1-1,5 0,4 (0,3)	1,2-16,6 7,0 (5,2)	1,0-9,9 3,5 (2,6)	0,3-8,5 1,5 (0,8)	1,1-7,3 3,4 (3,0)
Azot ogólny Total nitrogen	N <sub>og</sub>	mg·dm <sup>-3</sup>	0,3-4,1 1,7 (1,2)	1,3-16,3 3,1 (1,9)	4,9-17,1 9,6 (9,8)	1,6-20,0 5,5 (4,0)	1,1-3,9 1,8 (1,6)	1,2-12,5 5,0 (4,0)	1,4-7,7 4,0 (2,7)	0,7-4,3 1,8 (1,5)	0,9-9,6 3,2 (2,2)
Fosforany; Phosphates	PO <sub>4</sub> -P	mg·dm <sup>-3</sup>	0,1-1,0 0,4 (0,2)	0,1-11,6 2,3 (1,5)	1,2-12,0 6,4 (6,3)	0,6-15,4 4,1 (2,4)	0,3-3,6 0,8 (0,5)	1,4-12,2 4,9 (4,8)	1,3-7,0 3,4 (3,1)	0,5-6,1 1,7 (0,9)	1,3-7,7 3,7 (3,0)
Siarczany; Sulfates	SO <sub>4</sub>	mg·dm <sup>-3</sup>	130,0-210,0 175,0 (181,5)	115,0-226,0 167,6-168,5	73,0-193,0 120,8 (98,5)	37,0-177,0 132,0 (148,0)	135,0-236,0 180,0 (173,0)	33,0-236 150,7 (162,0)	98,0-223,0 156,5 (150,5)	130,0-242,0 178,9 (179,5)	49,0-217,0 134,8 (130,5)
Chlorki; Chlorides	Cl	mg·dm <sup>-3</sup>	29,0-890,0 244,5 (81,0)	90,0-112,0 100,6 (99,5)	77,0-150,0 120,6 (120,5)	85,0-108,0 95,9 (95,5)	72,0-100,0 85,0 (86,0)	76,0-113,0 94,6 (95,0)	72,0-111,0 90,8 (90,5)	53,0-167,0 85,0 (74,0)	65,0-112,0 89,2 (88,5)
Twardość ogólna; Hardness	Hard	mg CaCO <sub>3</sub> dm <sup>-3</sup>	14,3-42,8 25,9 (22,8)	23,5-32,9 26,9 (26,7)	20,1-37,2 26,4 (25,0)	20,0-34,7 25,1 (23,8)	21,3-32,8 27,1 (27,0)	18,1-34,4 26,8 (26,8)	17,5-34,0 26,8 (28,3)	20,2-30,4 25,9 (25,8)	16,8-34,6 26,8 (27,8)
Wapń; Calcium	Ca	mg·dm <sup>-3</sup>	81,7-280,0 163,3 (148,2)	128,2-206,6 150,2 (136,6)	102,2-233,1 147,0 (127,8)	99,3-207,4 146,3 (141,4)	132,2-195,4 162,9 (160,3)	105,7-212,8 153,2 (146,7)	104,1-197,0 157,4 (165,8)	129,0-182,6 154,0 (155,1)	102,5-197,6 152,6 (150,5)
Magnez; Magnesium	Mg	mg·dm <sup>-3</sup>	6,8-24,3 13,4 (12,6)	12,1-38,4 24,6 (24,3)	10,7-36,5 25,9 (26,8)	7,8-29,1 20,1 (21,7)	11,2-28,7 22,3-23,2	10,7-36,9 23,3 (23,0)	6,8-36,9 20,9 (21,2)	8,3-33,8 18,7 (18,0)	10,1-45,7 24,8 (23,5)
Żelazo; Iron	Fe	mg·dm <sup>-3</sup>	0,43-11,90 2,53 (0,69)	0,32-1,74 0,98 (0,85)	0,69-3,44 1,62 (1,45)	0,46-3,16 1,23 (0,75)	0,38-1,96 0,95 (0,88)	0,35-3,41 1,11 (0,91)	0,23-2,02 0,91 (0,79)	0,44-1,58 1,00 (0,91)	0,52-1,84 1,08 (1,00)
Mangan; Manganese	Mn	mg·dm <sup>-3</sup>	0,03-0,45 0,31 (0,33)	0,10-0,36 0,22 (0,22)	0,13-1,23 0,36 (0,26)	0,18-1,05 0,33 (0,25)	0,03-0,45 0,20 (0,19)	0,13-1,40 0,52 (0,40)	0,05-1,12 0,33 (0,25)	0,06-0,62 0,30 (0,28)	0,10-0,70 0,33 (0,31)

Minimalna-Maksymalna  
Średnia (Mediana)

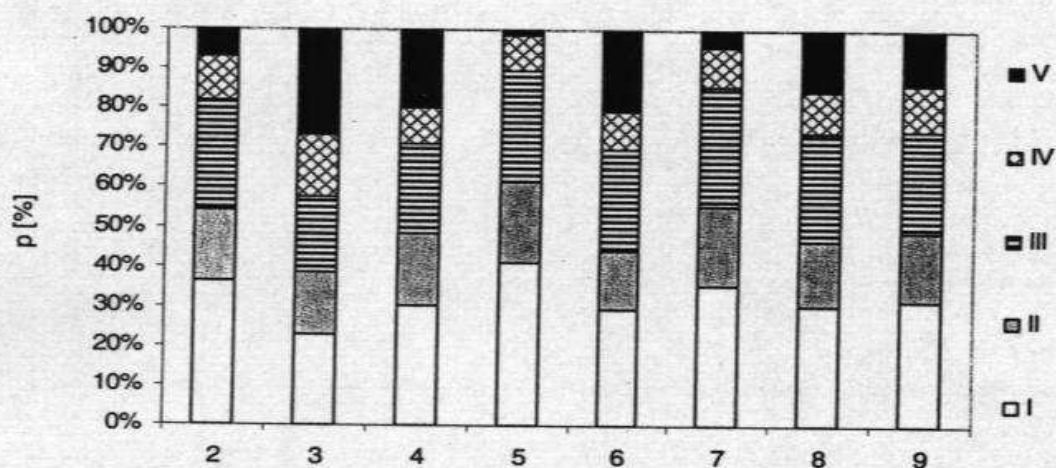


Do grupy pierwszej o najłagodniej zanieczyszczonych wodach (grupa - a), zakwalifikowano PPK zlokalizowane na rzekach Wielkiej (5) i Miłosławce (7) oraz PPK zlokalizowany w górnym biegu rzeki Maskawy powyżej miasta Środa (2), do grupy drugiej wody średnio zanieczyszczone (grupa - b) PPK: położone na rzece Maskawie w miejscowościach Czarnotoki (8) i Kępa Wielka (9) – zaś do ostatniej grupy – najbardziej zanieczyszczone wody (grupa - c) zaliczono PPK na rzece Maskawie poniżej Środy (4) i poniżej dopływu Wielkiej (6) oraz PPK rzece Strudze Średzkiej (3).



Rys. 2. Dendrogram analizy skupień PPK w zlewni rzeki Maskawy

Fig. 2. Cluster analysis dendrogram control points in the catchment of the Maskawa river



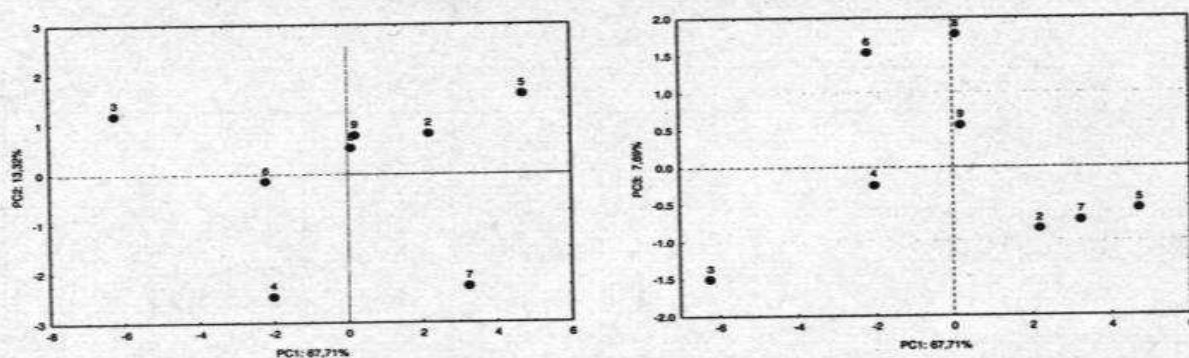
Rys. 3. Ocena paramentów jakości wody w PPK w zlewni rzeki Maskawy w roku 1989

Fig. 3. Assessment of water quality parameters at the control points in the catchment of the Maskawa river in the year 1989

W wodach najbardziej zanieczyszczonych w PPK nr 3, 4 i 6 na 216 przeprowadzonych analiz wskaźników jakości wody, normom V klasy jakości odpowiada-

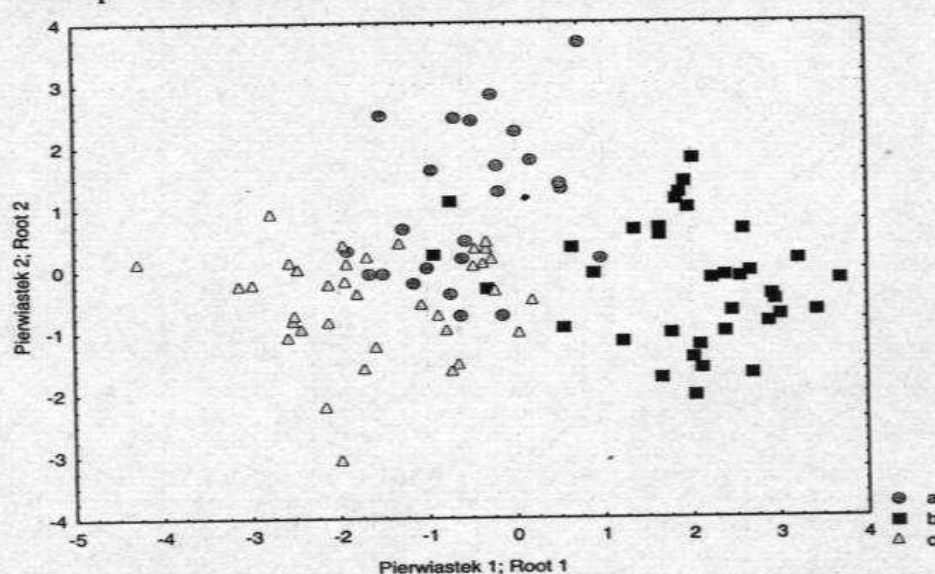
ło odpowiednio 21, 22 i 27% (rys. 3). Przyjęto, że wody w PPK, w których normom V klasy jakości odpowiadało od 1 do 7% próbek, zakwalifikowano jako wody najmniej zanieczyszczone – powyżej 7% do 20% – jako średnio zanieczyszczone i powyżej 20% – jako najbardziej zanieczyszczone.

Wody w punktach (4) i (6), które znajdują się pod wyraźnym wpływem zanieczyszczeń odprowadzanych z miasta Środa wykazują istotne różnice w składzie fizykochemicznym. Również dane z punktu (3) świadczą, że Struga Średzka prowadzi wodę zanieczyszczoną. Analiza składowych głównych wykazała, że skumulowana wariancja dla dwóch pierwszych składowych głównych (PC1 i PC2) oraz pierwszej i trzeciej składowej głównej (PC1 i PC3) wynosi odpowiednio około 80% i 75%, czyli wyniki analizy PCA nie wykazują pełnej zgodności z analizą skupień – CA. Punkty pomiarowo kontrolne zakwalifikowane wcześniej do grupy „b” i „c” nie zostały w pełni wyeksponowane (rys. 4).



Rys. 4. Analiza składowych głównych parametrów jakości wody w punktach pomiarowo-kontrolnych zlewni rzeki Maskawy

Fig. 4. Principal component analysis of water quality parameters at the measurement control points in the catchment of the Maskawa river



Rys. 5. Analiza dyskryminacyjna wykonana dla badanych punktów pomiarowo-kontrolnych

Fig. 5. Results of discriminant analysis for the measurement control points



Przeprowadzona analiza dyskryminacyjna potwierdziła podział badanych punktów pomiarowo-kontrolnych na 3 grupy (rys. 5).

Następnie przeprowadzone analizy czynnikowa oraz składowych głównych, umożliwiły zredukowanie zbioru 16 parametrów jakości wody używanych pierwotnie do charakterystyki jakości w zlewni, do czterech czynników (VF) (składowych głównych – PC) niezbędnych do określenia źródeł pochodzenia tych pierwiastków w rzece oraz opisu jakości wód (tab. 2).

Tabela 2; Table 2

Wartości czynnikowe obliczone  
na podstawie badanych parametrów jakości wody  
rzeki Maskawy w roku 1989  
Factor loadings calculated on the basis of water quality  
parameters of the Maskawa River  
in the 1989

Parameter; Parameters	VF1	VF2	VF3	VF4
pH	0,71	-0,17	0,30	-0,04
Tlen rozpuszczony; Dissolved oxygen	-0,82	0,15	-0,13	-0,00
BZT <sub>5</sub> ; Biochemical oxygen demand	0,80	0,12	0,38	0,12
N-NH <sub>4</sub> ; Ammonium nitrogen	0,89	0,06	0,07	0,02
Cl; Chlorides	0,25	0,64	-0,03	0,49
Zawiesina ogólna; Suspension	0,38	0,06	0,64	-0,07
Sucha pozostałość; Dry content	-0,04	0,79	0,36	0,04
Fe; Iron	0,26	0,07	0,63	0,09
Mn; Manganese	0,33	0,03	0,53	0,08
PO; Phosphates	0,88	-0,10	0,01	0,05
SO <sub>4</sub> ; Sulphates	-0,62	0,20	-0,29	-0,13
Ca; Calcium	-0,47	0,76	-0,21	-0,30
Mg; Magnesium	0,04	0,11	0,11	0,94
Twardość; Hardness	-0,43	0,79	-0,18	0,12
Przewodnictwo; Electrical conductivity	0,12	0,82	0,03	0,10
ChZT; Chemical oxygen demand	0,72	0,02	0,53	0,10
N-NO <sub>2</sub> ; Nitrite nitrogen	0,13	0,47	-0,60	-0,04
N og.; Total nitrogen	0,74	0,23	0,29	0,06
Wartości własne; Eigenvalue	6,88	3,36	1,34	1,10
Wariancja; Variance (%)	38,24	18,68	7,44	6,10
Skumulowana wariancja; Cumulative variance (%)	38,24	56,91	64,35	70,45

Wyeksponowane czynniki mają wartości własne wyższe od 1 i objaśniają około 70% struktury oznaczanych parametrów jakości wody. Według kryterium zaproponowanego przez Liu i in. [2003], gdy ładunki czynnikowe pomiędzy badanymi parametrami jakości wody a czynnikami (VF) wynoszą 0,75–1,00, 0,50–0,75

i 0,30–0,50, wartości są odpowiednio silnie, przeciętnie i słabo skorelowane. Pierwszy czynnik VF1 (objaśnia aż 38,24% całkowitej wariancji) był skorelowany dodatnio z pH, wartościami BZT5 i ChZT oraz stężeniami azotu amonowego, azotu ogólnego i fosforanów a ujemnie ze stężeniami tlenu rozpuszczonego, co może świadczyć o antropogenicznym pochodzeniu tych składników i wskaźników w wodach zlewni rzeki Maskawy wskutek ich zrzutu z punktowych źródeł zanieczyszczeń. Kolejne trzy czynniki VF2, VF3 i VF4 o wariancji skumulowanej wynoszącej 32,22% były silnie skorelowane odpowiednio ze stężeniami wapnia, magnezu twardością wody, suchą pozostałością i przewodnictwem elektrycznym.

W końcowym etapie obliczeń przeprowadzono analizę dyskryminacyjną metodą krokową postępującą. Pozwoliło to na zbudowanie modelu zawierającego 10 parametrów jakości wody niezbędnych do charakterystyki czasowej zmienności składu fizyczno-chemicznego wód w zlewni (tab. 3).

Tabela 3; Table 3

Wyniki analizy dyskryminacyjnej  
Results of discriminant analysis

Parametr Parametr	Lambda Wilks'a	Lambda cząstkowa Wilks'a	Tolerancja Tolerance
Ca	0,0021	0,823	0,108
EC	0,0032	0,556	0,430
SP	0,0034	0,517	0,458
DC	0,0027	0,663	0,412
N <sub>og</sub>	0,0025	0,701	0,256
N-NH <sub>4</sub>	0,0024	0,739	0,188
Fe	0,0026	0,689	0,595
SO <sub>4</sub>	0,0024	0,748	0,471
DO	0,0023	0,764	0,251
BZT	0,0022	0,791	0,176
Mn	0,0025	0,716	0,555
N-NO <sub>2</sub>	0,0024	0,736	0,574
pH	0,0025	0,705	0,304
Mg	0,0023	0,772	0,186
Cl	0,0022	0,805	0,417
Hard	0,0022	0,817	0,111
PO <sub>4</sub>	0,0021	0,846	0,281
ChZT	0,0021	0,857	0,164

Funkcją dyskryminacyjną utworzono z wyłączeniem parametrów dla których wartości cząstkowej Lambdy Wilks'a były wyższe od 0,75 [KOWALKOWSKI i in. 2006]. Wartości cząstkowe Lambdy Wilks'a przedstawione w tabeli 3 wskazują, że przewodnictwo, zawiesina ogólna, sucha pozostałość oraz obecność żelaza mają największą moc w analizie czasowej zmienności składu fizyczno-chemicznego.



### Wnioski

1. Analiza danych z 9 PPK wykazała, że rzeka Maskawa w roku 1989 prowadziła wody złej jakości na całej swej długości, a tylko wody dopływu rzeki Wielkiej prowadziły wody niezadawalającej jakości.
2. Zastosowane wielowymiarowe metody statystyczne pozwoliły podzielić badane punkty pomiarowo kontrolne na trzy statystycznie istotne i zróżnicowane grupy. Przyjęto, że PPK w których normom V klasy jakości odpowiadało do 7% badanych parametrów jakości wody uznano jako najmniej zanieczyszczone, powyżej 7% do 20% – średnio zanieczyszczone i powyżej 20% jako najbardziej zanieczyszczone.
3. Analiza składowych głównych potwierdziła, w grupie PPK z najbardziej zanieczyszczonymi wodami istotne różnice w składzie fizykochemicznym wody, zaś w grupach słabo i średnio zanieczyszczonych różnice te nie zostały w pełni wyeksponowane.
4. Analiza czynnikowa oraz analiza składowych głównych, umożliwiły zredukowanie zbioru 19 parametrów jakości wody używanych pierwotnie do charakterystyki jakości wody w zlewni, do czterech czynników (VF), składowych głównych (PC) niezbędnych do określenia źródeł pochodzenia tych pierwiastków w rzece.
5. Analiza dyskryminacyjna pozwoliła na zbudowanie modelu zawierającego 10 wskaźników jakości wody niezbędnych do charakterystyki czasowej zmienności składu fizykochemicznego badanych wód.

### Literatura

- ASTEL A., MAZERSKI J., POLKOWSKA Ż., NAMIEŚNIK J. 2004. *Application of PCA and time series analysis in studies of precipitation in Tricity (Poland)*. *Advances in Environmental Research* 8: 337–349.
- KOWALKOWSKI T., ZBYTNIIEWSKI R., SZPEJNA J., BUSZEWSKI B. 2006. *Application of chemometrics in river water classification*. *Water Res.* 40: 744–752.
- LIU C.W., LIN K.H. KUO Y.M. 2003. *Application of factor analysis in the assessment of groundwater quality in a blackfoot disease in Taiwan*. *The Science of the Total Environment* 313: 77–89.
- MAZERSKI J. 2000. *Fundamental of chemometrie*. Gdańsk, Wydawn. Politechniki Gdańskiej.
- Shrestha S., Kazama F.: 2007. *Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques: A case study of the Fuji river basin, Japan*. *Environmental Modeling and Assessment* 22: 464–475.
- ROZPORZĄDZENIE MŚ 2004. *Z dnia 11 lutego 2004 r. w sprawie klasyfikacji dla prezentowania stanu wód powierzchniowych i podziemnych, sposobu prowadzenia monitoringu oraz sposobu interpretacji wyników i prezentacji stanu tych wód*. Dz. U. Nr 32, poz. 284.
- SIMEONOV V., SARBU C., MASSART D.L., TASAKOVSKI S. 2001. *Denube river water data modeling by multivariate data analysis*. *Microchimica Acta* 137: 243–248.
- SIMEONOV V., STRATIS J.A., SAMARA C., ZACHARIADIS G., VOUTSA D., ANTHEMIDIS A., SOFONIOU M., KOUIMTZIS TH. 2003. *Assessment of the surface water quality in Northern*



Greece. *Water Res.* 37: 4119–4124.

SINGH K.P., MALIK A., MOHAN D., SINHA S., SINGH V.K. 2005a. *Chemometric data analysis of pollutants in wastewater – a case study.* *Analytical Chimica Acta* 532: 15–25.

SINGH K.P., MALIK A., MOHAN D., SINHA S. 2004. *Multivariate statistical techniques for the evaluation of spatial and temporal variations in water quality of Gomti Rivae (India) – a case study.* *Water Res.* 38: 3980–3992.

SINGH K.P., MALIK A., SINGH V.K. 2005b. *Chemometric analysis of hydro-chemical data of an alluvial river – a case study.* *Water, Air and Soil Pollution* 170: 383–404.

SINGH K.P., MALIK A., SINHA S. 2005c. *Water quality assessment and apportionment of pollution sources of Gomti river (India) using multivariate statistical techniques – a case study.* *Analytical Chimica Acta* 538: 355–374.

SOJKA M., SIEPAK M., ZIOŁA A., FRANKOWSKI M., MURAT-BŁAŻEJEWSKA S., SIEPAK J. 2008. *Application of multivariate statistical techniques to evaluation of water quality in the Mała Węlna River (Western Poland).* *Environ. Monit. Assess.* 147: 159–170.

**Słowa kluczowe:** zlewnia nizinna, jakość wody, wielowymiarowe techniki statystyczne

#### Streszczenie

W pracy zastosowano wielowymiarowe metody statystyczne analizy danych, tj. analizę skupień, analizę składowych głównych, analizę czynnikową i analizę dyskryminacyjną, które pozwoliły na wykrycie podobieństw i różnic w składzie fizykochemicznym wód w dziewięciu punktach pomiarowo-kontrolnych, usytuowanych wzdłuż biegu rzeki Maskawy. Zidentyfikowano reprezentatywne wskaźniki jakości wody określające jej czasową i przestrzenną zmienność, wyeksponowano ukryte czynniki objaśniające strukturę danych oraz dokonano oceny wpływu naturalnych i antropogenicznych źródeł zanieczyszczeń na jakość wód. Zastosowana analiza skupień pozwoliła na podział punktów pomiarowo-kontrolnych na trzy statystycznie istotne grupy charakteryzujące się podobnym stanem i zmianami jakości. Analiza składowych głównych potwierdziła istotne różnice w składzie analizowanych parametrów fizykochemicznych wody w punktach kontrolnych usytuowanych poniżej miasta Środa, które znajdują się pod wyraźnym wpływem odprowadzanych nieoczyszczonych ścieków. Zastosowanie analizy dyskryminacyjnej pozwoliło na zredukowanie liczby oznaczanych wskaźników jakości wody z 19 do 10, kluczowych przy ocenie czasowej zmienności składu fizykochemicznego wód w zlewni.

#### APPLICATION OF MULTIVARIATE STATISTICAL TECHNIQUES FOR THE EVALUATION OF THE RIVER WATER QUALITY

Mariusz Sojka, Sadzide Murat-Błażejewska

Department of Land Reclamation, Environmental Management and Geodesy,  
University of Life Sciences, Poznań

**Key words:** Maskawa river, small lowland catchment, water quality, multivariate statistical techniques

### Summary

The paper presents the application of multivariate statistical techniques viz. cluster analysis (CA), principal component analysis (PCA), factor analysis (FA) and discriminate analysis (DA) to discover similarities and differences in the physico-chemical composition of water at nine research control points situated along the Maskawa river. In the paper the representative parameters of water quality were identified with regard to the assessment of its time and spatial variability, hidden factors accounting for the structure of the data were exposed and natural and anthropogenic sources of water pollution were identified. Cluster analysis allowed the division of research control points into three statistically significant groups characterized by a similar state and variability of water quality. Principal component analysis confirmed significant differences in the composition of the analyzed physico-chemical parameters of water at the measurement control point situated below the town of Środa, due to point pollution.

The application of discriminate analysis allowed to reduce the number of measured water quality parameters from 19 to 10, crucial for assessment of temporal variability water compounds in the river parameters.

**Dr inż. Mariusz Sojka**

Katedra Melioracji, Kształtowania Środowiska i Geodezji

Uniwersytet Przyrodniczy

ul. Piątkowska 94

60-649 POZNAŃ

e-mail: masojka@up.poznan.pl