

MIROSLAW SKORBIŁOWICZ

## OCENA WPŁYWU RODZAJU ORAZ INTENSYWNOŚCI ŹRÓDEŁ ZANIECZYSZCZEŃ WÓD RZEKI SUPRAŚL

### EVALUATION OF POLLUTION SOURCES INFLUENCE ON RIVER SUPRAŚL WATER

Instytut Inżynierii i Ochrony Środowiska, Katedra Badań Technologicznych,  
Politechnika Białostocka, Białystok

*Abstract:* Multi-factorial analysis was applied to identify the pollution sources of river Supraśl. The analysis made possible to identify and evaluate the intensity of main pollution sources influence. Determinations and analyses revealed that Gródek town, Białystok city, and post-bog soils localized in region of Upper and Lower Supraśl were main sources of water pollution. Area with Puszcza Knyszyńska, fragment of river Supraśl flows through, is an ecotone zone for the river, and it does not introduce additional chemicals.

*Słowa kluczowe:* rzeka, azotany V, analiza czynnikowa.

*Key words:* river, nitrates, factor analysis.

## WSTĘP

Ilnicki i in. [2001] twierdzą, że pogorszenie się jakości płynących wód powierzchniowych jest powodowane przez zanieczyszczenia punktowe (miasta, zakłady produkcyjne) i powierzchniowe (tereny rolne i leśne). Badania Durkowskiego i Woronieckiego [2001] wykazały, że wskaźnikami obniżającymi jakość wód na obszarach podobnych do obszaru zlewni rzeki Supraśl są jony amonowe oraz ortofosforany.

Zanieczyszczenie wód płynących w zlewni rzeki Narew, dla której Supraśl jest dopływem, wynika przede wszystkim z rolniczej struktury użytkowania jej powierzchni. Dodatkowo na jakość wód negatywnie wpływają zanieczyszczenia z miejskich jednostek osadniczych oraz wody burzowe zarówno z terenów wiejskich, jak i miejskich [Koc i in. 2000].

Zmiany jakości wody w rzekach przepływających przez ekosystemy pobagienne zdarzają się w okresach o zwiększonej ilości opadów. Pogorszenie jakości wód w rzekach na skutek zwiększonych spływów z obszarów torfowisk może często sugerować inne źródła zanieczyszczeń. Na przeważającym obszarze zlewni występują gleby pobagienne murszowe charakteryzujące się dużą zawartością form azotu uwolnionych w wyniku mineralizacji gleb [Skorbiłowicz, Kiryluk 2005].

Celem pracy była próba identyfikacji i oceny intensywności oddziaływania źródeł zanieczyszczeń na jakość wód rzeki Supraśl.

## MATERIAŁ I METODY

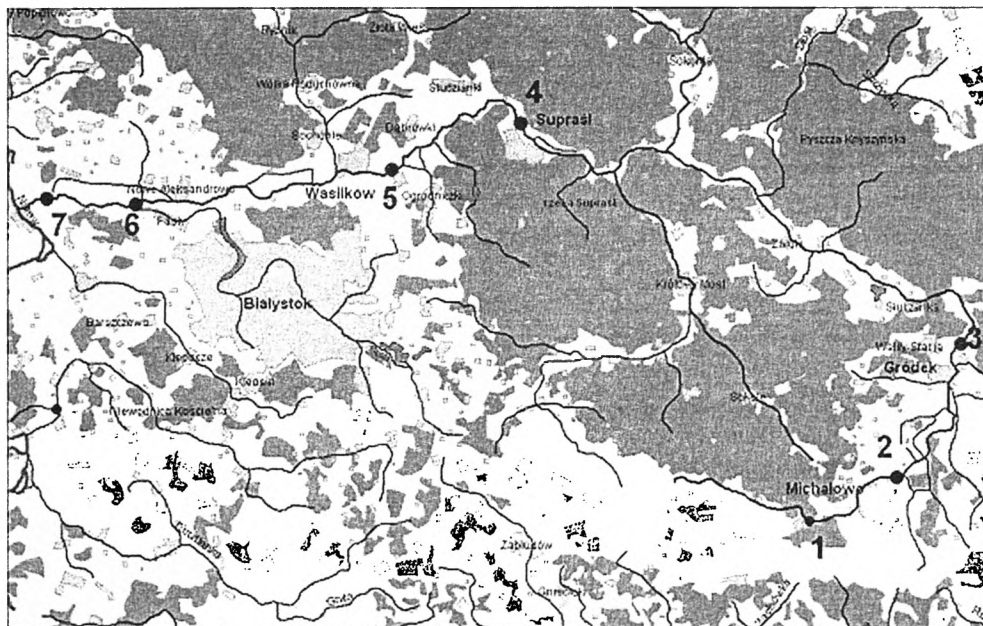
Badania prowadzono na rzece Supraśl, na której zlokalizowano 7 punktów pomiarowych, z których pobierano próbki wody raz w miesiącu, w latach 2001, 2002 i 2003 (rys. 1). Punkty 1, 2, 3 zlokalizowane są w rejonie Supraśli Górnej, punkty 4, 5 w rejonie Supraśli Środkowej, natomiast punkty 6 i 7 reprezentują Supraśl Dolną.

Rzeka Supraśl stanowi główne źródło zaopatrzenia miasta Białostok w wodę pitną. Rzeka o długości 93,8 km i powierzchni zlewni 1844,4 km<sup>2</sup> jest prawobrzeżnym dopływem Narwi. Opad roczny kształtuje się w granicach 500–600 mm. W badanej dolinie przeważają gleby hydrogeniczne-pobagienne, zajmujące ok. 70% powierzchni. Gleby organiczne zdecydowanie przeważają na szerokich i płaskich odcinkach doliny Supraśli Dolnej i Górnej, gdzie zajmują ok. 70% powierzchni. W granicach stosunkowo wąskiej doliny Supraśli Środkowej zajmują one 56% powierzchni. Na tym odcinku rzeki, w zlewni przeważają obszary leśne (ok. 63% pow. og).

W próbkach oznaczano stężenie jonów amonowych, azotanów III i V, rozpuszczonych fosforanów V,  $\text{CHZT}_{\text{Cr}}$ , siarczanów VI i chlorków metodą kolorymetryczną, wartość przewodności właściwej metodą potencjometryczną, wartość BZT<sub>5</sub> metodą manometryczną, stężenie jonów sodu i potasu metodą emisyjnej spektrometrii atomowej, stężenie jonów wapnia, magnezu, żelaza i cynku metodą absorpcyjnej spektrometrii atomowej. Oznaczenia przewodności elektrolitycznej wykonywano na miejscu w czasie pobierania próbek. W próbkach wody, którą filtrowano przed analizami przez filtry mikroporowate, oznaczano formy rozpuszczone poszczególnych składników. Do opracowania statystycznego wyników badań wykorzystano statystyczną analizę czynnikową, która należy do grupy analiz wielowymiarowych i jest stosowana do opisu i eksploracji dużej liczby danych (w niniejszej pracy analizowano 330 wyników pomiarowych). W badaniach hydrochemicznych używa się jej do opisu procesów zachodzących w wodach powierzchniowych i podziemnych oraz identyfikacji źródeł zasilania i pochodzenia substancji kształtujących skład chemiczny wód.

### Istota analizy wieloczynnikowej

Korelację między dwoma zmiennymi można przedstawić na wykresie rozrzutu. Następnie można dopasować linię, która najlepiej oddaje związek liniowy między tymi zmiennymi.



RYSUNEK 1. Lokalizacja punktów kontrolno-pomiarowych na rzece Supraśl  
FIGURE 1. Measuring points on Supraśl river

Czynnikami są wektory prostopadłe do siebie w wielowymiarowej przestrzeni definiowanej przez liczbę zmiennych użytych do analizy. W celu wzmocnienia związków między wykrytymi czynnikami i tworzącymi je zmiennymi oraz trudności w interpretacji tych zależności osie układu współrzędnych poddaje się rotacji w przestrzeni wielowymiarowej, np. rotacji typu Varimax. W ostatecznym opisie wyników analizy uwzględnia się tylko te czynniki, których tzw. wartości własne są równe jedności lub są wyższe [Morrisson 1990].

Czynniki są opisywane przez ładunki czynnikowe odpowiadające współczynnikom korelacji. Ładunki zbliżone do  $\pm 1$  wskazują na bardzo silny związek między czynnikiem i zmienną oraz bardzo duży udział zmiennej w konstrukcji czynnika, natomiast wartości zbliżone do 0 świadczą o braku tego związku.

Ostateczną interpretację wykrytych czynników wykonuje się po sprawdzeniu wartości czynnikowych, tj. wartości (wag) obliczonych dla każdej jednostki obserwacji (np. punktu poboru – miejsca lub terminu poboru próbek) z uwzględnieniem każdego z wyodrębnionych czynników. Wartości czynnikowe oblicza się za pomocą regresji wielokrotnej dla każdego czynnika [Jobson 1991].

Decyzję o liczbie czynników w modelu czynnikowym podejmuje się na podstawie odpowiednich kryteriów, np. „kryterium osypiska” i „kryterium Kaisera”, a także innych. W wielu przypadkach metodę tę stosowano w celu identyfikacji źródeł zanieczyszczeń środowisk wodnych [Puckett, Bricker 1992; Reeder i in. 1972].

W celu interpretacji wyników analizy czynnikowej przyjęto, że związki zmiennej pierwotnej z czynnikiem są silne wówczas, gdy wartości bezwzględne jej ładunków są większe od 0,70. Podobną wartość stosowali m.in. Evans i in. [1996] oraz Puckett i Bricker [1992].

Obliczono również wartości mediany z 330 wyników pomiaru badanych parametrów, z każdego punktu kontrolno-pomiarowego, zgodnie z zaleceniami, w których Spahr i Wynn [1997] oraz Johnes i Burt [1993] twierdzą, że ten parametr jest odpowiedni do analiz statystycznych wyników badań dotyczących azotu i fosforu i innych składników chemicznych wód powierzchniowych.

## WYNIKI I DYSKUSJA

Na podstawie analizy wieloczynnikowej oraz zastosowania „kryterium ospypiska” i „kryterium Kaisera” wybrano 2 czynniki reprezentujące ok. 87% zmienności globalnej zjawisk w analizowanym układzie (tab. 1). Wartości mediany i odchylenia standardowego zestawiono w tabeli numer 2, a uzyskane wyniki wykorzystano do oceny jakości wód na podstawie Rozporządzenia MOŚZNiL [2004] w sprawie klasyfikacji stanu wód powierzchniowych i podziemnych, sposobu prowadzenia monitoringu oraz sposobu interpretacji wyników i prezentacji stanu tych wód.

Czynnik I wyjaśnia zmienność składu chemicznego wód Supraśli w 57%. Dodatkowo ładunki czynnikowe będące „współczynnikami korelacji” między następującymi zmiennymi: azotany V,  $CHZT_{C_1}$ , siarczany VI, chlorki, przewodność elektrolityczna, wapń, magnez, sód, potas i cynk a czynnikiem I, w tym również największy udział tego czynnika (rys. 1) w punkcie kontrolnym nr 6, wskazują, jak się wydaje, na oddziaływanie miasta Białystok poprzez ciek Białą, odprowadzający oczyszczone i nieczyszczone ścieki bytowo-gospodarcze, przemysłowe i wody burzowe. Wymienione zmienne są silnie skorelowane z czynnikiem I wyjaśniającym procesy zasilania badanego cieku, który wskazuje m.in. na miasto Białystok jako jedno z głównych źródeł zanieczyszczeń w punkcie nr 6. Miasto Białystok ma dużą oczyszczalnię ścieków oraz elektrociepłownię. Wiele badań wskazuje na to, że wymienione wskaźniki zanieczyszczeń dominują w ściekach miejskich, często trudno rozkładalnych, w których duży udział mają ścieki przemysłowe i wody roztopowe. Badania autora pracy wskazują również na duże stężenie jonów cynku w ściekach i osadach ściekowych z oczyszczalni ścieków w Białymstoku. Pozostałe zmienne (wapń, magnez, sód, potas oraz przewodność elektrolityczna) skorelowane z czynnikiem I są również związane z zanieczyszczaniem Supraśli przez Białystok, ale również duży udział w tym zanieczyszczaniu mają procesy wymywania z gleb rejonu Supraśli Dolnej. Można to interpretować jako wymywanie mobilnych jonów z gleb przez spływ powierzchniowy i podpowierzchniowy wywołany roztopami lub/i opadami [Banaszuk 2004]. Jest to efekt wymywania tych jonów przez opady atmosferyczne z powierzchniowych poziomów gleb poddawanych nawożeniu [Skorbiłowicz, Kiryluk 2005]. Duży udział gleb pobagiennych w tym rejonie nie jest przyczyną podwyższonego stężenia tych składników w Supraśli.

Stężenie badanych wskaźników jakości wody pozwala zakwalifikować ją w punkcie kontrolnym nr 6 odpowiednio do następujących klas jakości wód powierzchniowych: azotanów V (I klasa),  $\text{CHZT}_{\text{Cr}}$  (IV klasa), siarczanów VI (I klasa), chlorków (I klasa), przewodności elektrolitycznej (II klasa), wapnia (II klasa), magnezu (I klasa), cynku (I klasa).

Czynnik II wyjaśnia 30% zmienności ogólnej składu chemicznego wód Supraśli i jest skorelowany ze stężeniem: amonu, azotanów III, fosforanów V i  $\text{BZT}_5$ . Wykazano dwa punkty silnego oddziaływania tego czynnika. Punkt kontrolny nr 2 zlokalizowany jest za miejscowością Gródek, w której znajdują się dwie oczyszczalnie ścieków (gminna i fabryki maszyn rolniczych) oraz punkt nr 6 omawiany wcześniej. Część zmiennych badawczych skorelowanych z czynnikiem II może wskazywać na zrzut łatwo rozkładalnych, słabo oczyszczonych ścieków bytowo-gospodarczych i z przemysłu

rolno-spożywcze, które pochodzą z miejscowości Gródek i miasta Białystok. Podwyższone stężenie związków azotu i fosforu w punktach 2 i 6 mogą być również konsekwencją oddziaływania gleb pobagiennych, które występują w rejonie Supraśli Górnej i Supraśli Dolnej [Mirowski i in. 1990; Skorbiłowicz, Kiryluk 2005]. Na stężenie związków azotu i fosforu w wodach odpływających z Supraśli Dolnej miały wpływ intensywne sposoby użytkowania łąk, a także występujące nieużytkowane działki łąkowe [Kiryluk 2003]. Nie można również wykluczyć zanieczyszczeń pochodzenia zwierzęcego (odchody) w spływach niesionych z łąk, które pokrywają te obszary, co może dotyczyć badanego obszaru na odcinku Supraśli Górnej. Zjawiska te mogą dodatkowo nasilać się w okresach z dużą ilością opadów atmosferycznych [Skorbiłowicz, Kiryluk 2005]. Badania Koca i innych [1996] wykazały, że to głównie azotany III, dostające się ze spływem powierzchniowym i podpowierzchniowym w okresach pozawegietacyjnych zanieczyszczają wody powierzchniowe z obszarów rolniczych, co znalazło potwierdzenie w badaniach autora pracy.

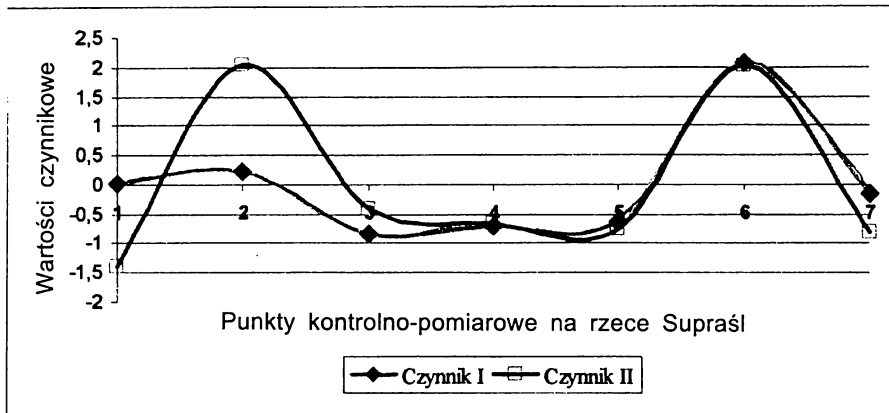
Stężenie badanych wskaźników jakości wody pozwala zakwalifikować ją w punkcie kontrolnym nr 2 odpowiednio do następujących klas jakości wód powierzchniowych: amon. (II klasa), azotanów III (I klasa), fosforanów V (wody pozaklasowe),  $\text{BZT}_5$  (II klasa).

TABELA 1. Wyniki analizy czynnikowej (metoda rotacji -varimax znormalizowana, pogrubiono liczby >0,7)  
TABLE 1. Results of factor analysis (method of rotation -varimax standardized, values >0,7 bold)

Zmienna – Variable	Czynnik – Factor	
	I	II
Azot amonowy	0,46	<b>0,82</b>
Azotany III	0,32	<b>0,91</b>
Azotany V	<b>0,88</b>	0,14
Fosforany V	0,28	<b>0,94</b>
$\text{CHZT}_{\text{Cr}}$	<b>0,72</b>	0,58
$\text{BZT}_5$	-0,23	<b>0,87</b>
Siarczany VI	<b>0,98</b>	0,03
Chlorki	<b>0,94</b>	0,17
Przewodność elektrolityczna	<b>0,91</b>	0,37
Wapń	<b>0,88</b>	0,07
Magnez	<b>0,94</b>	0,25
Sód	<b>0,94</b>	0,18
Potas	<b>0,80</b>	0,43
Żelazo	0,66	0,50
Cynk	<b>0,75</b>	0,48
Wyjaśnienie zmienności składu chemicznego wód Supraśli przez czynnik I i II [%] Variance explained [%]	57	30

TABELA 2. Podstawowe parametry statystyczne wyników badań wód Supraśli  
 TABLE 2. Statistical parameters of investigation results of Supraśl waters

Nr punktu	Wskaźnik N=330	Azot amonowy	Azotany III	Azotany V	Fosforany V	CHZT <sub>Cr</sub>	BZT <sub>5</sub>	Siarczany I	Chlorki	Przewod. elektrol.	Ca	Mg	Na	K	Fe	Zn
		[mg · dm <sup>-3</sup> ]				[mg O <sub>2</sub> · dm <sup>-3</sup> ]		[mg · dm <sup>-3</sup> ]		[μS · cm <sup>-1</sup> ]	[mg · dm <sup>-3</sup> ]					
1	mediana SD	0,38 0,20	0,031 0,019	3,4 4,2	0,25 0,08	31 9	1,7 2,1	41 14	11 6	380 60	54,8 15,6	8,8 2,5	7,3 3,0	3,7 2,6	0,26- 0,18	0,019 0,013
2	mediana SD	0,99 0,93	0,075 0,038	4,2 8,6	1,32 1,56	43 11	2,4 2,1	43 14	22 8	450 44	56,4 13,4	10,4 20,2	8,5 2,8	4,8 2,9	0,34 0,22	0,057 0,026
3	mediana SD	0,51 0,25	0,042 0,025	2,4 6,7	0,75 0,48	38 9	2,4 1,7	36 12	10 7	390 40	49,7 15,6	9,0 2,7	7,5 3,3	3,2 2,7	0,28- 0,17	0,031 0,029
4	mediana SD	0,38 0,23	0,043 0,043	3,1 6,6	0,47 0,44	38 9	2,2 1,5	37 10	9 6	390 36	41,6 16,4	8,6 3,1	6,5 2,9	3,1 1,6	0,31 0,17	0,027 0,014
5	mediana SD	0,39 0,92	0,038 0,186	2,5 6,0	0,49 0,41	34 10	2,2 0,8	38 8	9 4	400 50	48,0 16,7	9,0 4,5	6,2 1,9	2,9 1,1	0,32 0,21	0,026 0,022
6	mediana SD	0,68 1,36	0,051 0,172	4,8 7,4	0,78 0,43	49 12	2,1 1,4	65 27	38 31	520 111	63,1 14,5	12,4 6,4	13,0 10,1	4,9 3,8	0,39 0,49	0,057 0,024
7	mediana SD	0,41 1,03	0,034 0,152	3,8 5,4	0,43 0,36	33 7	2,1 0,9	38 10	21 11	390 57	51,2 12,2	9,7 6,2	6,3 2,8	2,8 2,7	0,25 0,21	0,038 0,013



RYSUNEK 2. Dynamika zmian wartości czynnikowych w punktach kontrolno-pomiarowych na rzece Supraśl

FIGURE 2. Factor scores in points measuring on Supraśl river

Badania wykazały, że w punktach kontrolnych nr 2 i 6 wody Supraśli miały najniższe klasy jakości wód powierzchniowych (IV klasa w punkcie nr 6 oraz wody pozaklasowe w punkcie nr 2), co znalazło potwierdzenie w obliczeniach analizy wieloczynnikowej.

Na rysunku 2 można zauważyć wyraźne minima oddziaływania czynników I i II. Minima te występują w punktach kontrolnych 3–5 położonych w granicach dużego kompleksu leśnego Puszczy Knyszyńskiej. Oddziaływanie lasów powodujące zmniejszenie stężeń związków azotu, makroelementów i innych składników chemicznych w wodach podziemnych i powierzchniowych jest znane. Wskazują m.in. na to badania Górnika i Zielińskiego [1998] oraz Skorbiłowicza i in. [2004].

## WNIOSKI

1. Prowadzone badania i wyniki analizy pozwoliły zidentyfikować główne punktowe źródła zanieczyszczeń rzeki Supraśl, do których zaliczono miejscowość Gródek oraz miasto Białystok.
2. W okresie nasilonych opadów atmosferycznych amon i azotany III z obszarów gleb pobagiennych w rejonie Supraśli Górnej i Dolnej mogą przedostawać się do wód rzecznych.
3. Tereny zalesione (znaczne obszary Puszczy Knyszyńskiej) stanowią strefę ekotonową dla rzeki Supraśl i nie emitują przy tym badanych składników do wód powierzchniowych.

## LITERATURA

- BANASZUK P. 2004: Identyfikacja procesów kształtujących skład chemiczny małego ciek w krajobrazie rolniczym na podstawie analizy czynnikowej, *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie* 4, 1 (10): 103–116.
- DURKOWSKI T., WORONIECKI T. 2001: Jakość wód powierzchniowych obszarów wiejskich Pomorza Zachodniego, *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 476: 365–371.

- EVANS C.D., DAVIES T.D., WIGINGTON J.P., TRANTER M., KRETSCHIER W.A. 1996: Use of factor analysis to investigate processes controlling the chemical composition of four streams in Adirondack Mountains, New York. *J. Hydrol.* **185**: 297–316.
- GÓRNIAK A., ZIELIŃSKI P. 1998: Wpływ lesistości zlewni na jakość wód rzecznych województwa białostockiego. *Przegl. Nauk. SGGW* **16**: 231–240.
- ILNICKI P., KALETA-WIĘCKOWSKA M., MARCINIAK M., MIKOŁAJEWSKA E. 2001: Zanieczyszczenie rzeki Warty przez źródła punktowe w latach 1993–1998. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* **476**: 125–131.
- JOBSON J.D. 1991: Applied multivariate analysis. I. Regression an experimental design. Springer, New York: 650 ss.
- JOHNS P.J., BURT T.P. 1993: Nitrate in surface waters. W: T.P. Burt, A.L. Heathwaite, S.T. Trugill (eds), Nitrate: Processes, Patterns and Management. Wiley, Chichester: 269–317.
- KIRYLUK A. 2003: Wpływ sposobu użytkowania torfowiska niskiego na zawartość biogenów i innych składników w wodach gruntowych i w wodach z rowów melioracyjnych na obiekcie Supraśl Dolna. *Acta Agrophysica* **87**, 1(2): 245–253.
- KOC J., CIEĆKO C., JANICKA R., ROCHWERGER A. 1996: Czynniki kształtujące poziom mineralnych form azotu w wodach obszarów rolniczych. *Zesz. Probl. Nauk Roln.* **440**: 175–183.
- KOC J., NOWICKI Z., GLIŃSKA K., ŁACHACZ A. 2000: Kształtowanie się jakości wód w warunkach małej antropopresji na przykładzie zlewni strugi Ardung (Pojezierze Olsztyńskie). *Zesz. Nauk. PAN „Człowiek i środowisko”* **25**: 155–167.
- MIROWSKI Z., NIKLEWSKA A., WÓJCIAK H. 1990: Wpływ sposobu użytkowania na profilowe rozmieszczenie azotu we frakcjach humusowych zmeliorowanych gleb torfowo-murszowych. *Wiad. IMUZ* **17**, 3: 147–156.
- MORRISON D.F. 1990: Wielowymiarowa analiza statystyczna. PWN, Warszawa: 589 ss.
- PUCKETT L.J., BRICKER O.P. 1992: Factors controlling the major ion chemistry of streams in the Blue Ridge Valley and physiographic provinces of Virginia and Maryland. *Hydrol. Processes* **6**: 79–98.
- REEDER S.W., HITCHON B., LEVINSON A.A. 1972: Hydrochemistry of the surface waters of the Mackenzie River drainage basin, Canada. Cz. I. Factors controlling inorganic composition. *Geochim. Cosmochim. Acta* **36**: 825–865.
- ROZPORZĄDZENIE 284 Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa 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.
- SKORBIŁOWICZ M., KIRYLUK A. 2005: Gleby pobagienne i ich wpływ na sezonowe zmiany jakości wód rzeki Supraśl. cz. II. *J. Elementology* **10**(3): 811–819.
- SKORBIŁOWICZ M. 2004: Wpływ rodzaju zlewni na stężenie wybranych makroskładników w wodach górnej Narwi. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie* **4**, 1 (10): 117–123.
- SPAHR, N. E., WYNN K. H. 1997: Nitrogen and phosphorous in surface waters of the Upper Colorado River Basin. *JAWRA* **33**: 547–560.

Dr inż. Mirosław Skorbiłowicz,  
Politechnika Białostocka,  
15-333 Białystok, ul. Wiejska 45C,  
mskorbiłowicz@pb.bialystok.pl