

JERZY PRACZ

SKŁAD CHEMICZNY WÓD POWIERZCHNIOWYCH NA TERENIE WARSZAWY

Katedra Gleboznawstwa SGGW w Warszawie

WSTĘP

Jednym ze wskaźników antropogenizacji środowiska przyrodniczego jest niekorzystny skład chemiczny wód powierzchniowych. Wszelkie zmiany naturalnej proporcji jonów oraz ogólnej ilości pierwiastków w wodach i osadach, jakie obserwuje się w krajobrazach antropogenicznie przekształconych, dotyczą zarówno zwiększonej eutrofizacji wód, jak i zwiększonej zawartości w nich składników toksycznych. Z terenów rolniczych przenikają do wód powierzchniowych zarówno składniki nawozowe, jak i związki wymywane z kompleksu sorpcyjnego gleb [Viets 1971; Wojciechowski 1976; Czerwiński, Pracz 1982; Borowiec, Zabłocki 1984; Kajak 1984; Kukurenda, Warta 1984; Witkowski 1984; Bartoszewicz 1994]. W mniejszym stopniu zjawisko to obserwuje się na terenach leśnych i łąkowych [Borowiec 1984, Czerwiński, Pracz 1983, 1984b; Risser 1989; Czerwiński i in. 1995]. Natomiast na obszarach zabudowanych i w rejonach przemysłowych zanieczyszczenie wód związane jest głównie z różnego rodzaju emisjami pochodzenia przemysłowego, komunalnego i komunikacyjnego [Czerwiński i in. 1984; Motowicka-Terelak, Terelak 1995; Sieradzki 1995]. Bardzo ważnym źródłem zanieczyszczeń zarówno gleb, jak i wód jest stosowanie soli na jezdnie dróg i ulic w okresach zimowych. Przyczynia się to tak do wzrostu zawartości w wodach chlorku sodu i związków wypieranych z kompleksu sorpcyjnego gleb przez sól, jak i do wzrostu ogólnego zasolenia wód [Czerwiński i in. 1990].

Celem niniejszego opracowania było poznanie składu chemicznego wód powierzchniowych z terenu Warszawy, stopnia ich mineralizacji i antropogenizacji w nawiązaniu do podobnych badań przeprowadzonych w 1977 r., a w mniejszym zakresie prowadzonych także w latach następnych [Czerwiński, Pracz 1983, 1984a; Czerwiński, Dudek 1990].

ZAKRES I METODYKA BADAŃ

Badania składu chemicznego wód przeprowadzono w 64 próbach pobranych jednorazowo w okresie 20–25 października 1995 r. z 38 jeziorek i stawów oraz

14 kanałów i dwu rzek występujących w administracyjnych granicach Warszawy. Łącznie przebadano 54 zbiorniki wodne, przy czym niektóre z wód bieżących w kilku punktach.

Zbiorniki wód stojących podzielono na grupy w zależności od strefy występowania. 14 prób wód pobrano w strefie centralnej Warszawy, obejmującej głównie Gminę Centrum, pozostałe 24 próby wód stojących pochodziły ze zbiorników położonych na peryferiach Warszawy. Lokalizację większych badanych zbiorników wód powierzchniowych przedstawiono na rysunku 1. Numeracja punktów, z których pobrano wodę, jest na rysunku identyczna z numeracją zbiorników zamieszczoną w tabelach 1 i 4.

Próby wód pobierano do szczelnie zamykanych pojemników z warstwy podpowierzchniowej. W laboratorium próby przechowywano w lodówce. Następnego dnia, po wstępnym oczyszczeniu wód od zawiesin, oznaczano w pierwszej kolejności składniki najbardziej labilne:

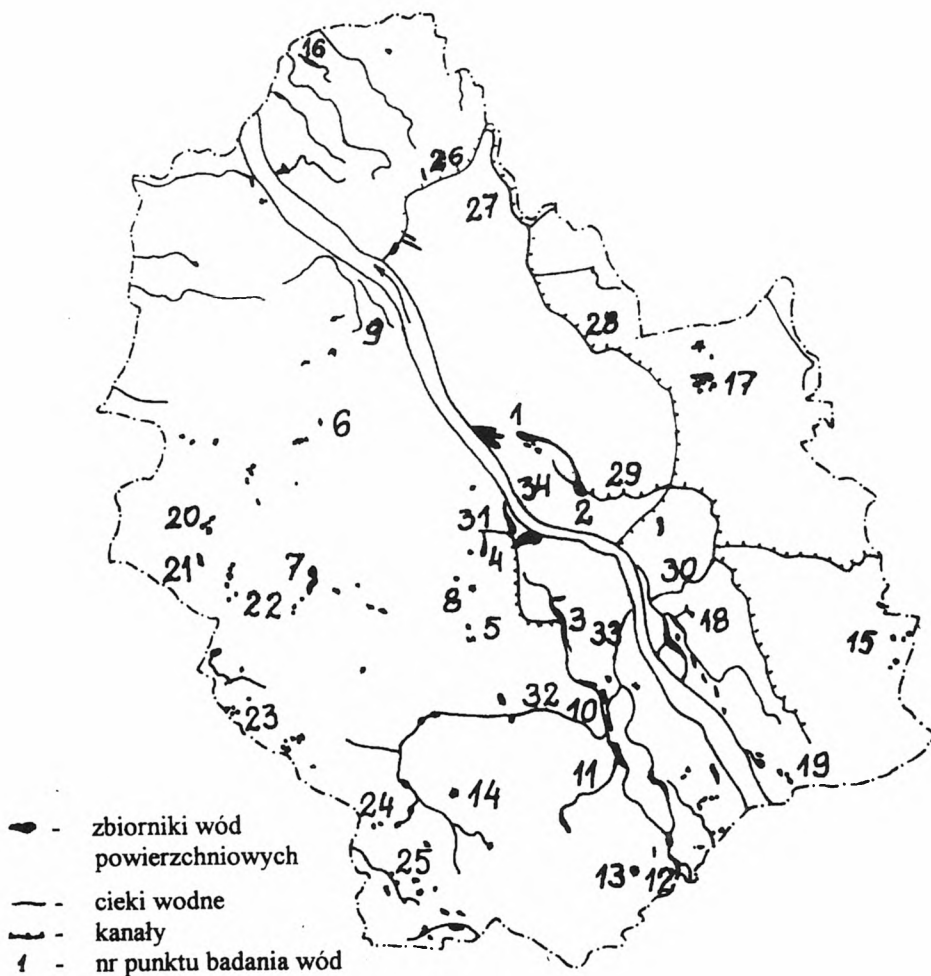
- węglany i wodorowęglany – acydometrycznie,
- azotany po uprzednim zredukowaniu i jony amonowe metodą destylacyjną z użyciem półautomatycznego aparatu firmy Tecator,
- pH – elektrometrycznie,
- przewodność elektryczną właściwą – konduktometrycznie,
- wapń i magnez – metodą absorpcji atomowej (ASA),
- potas i sód – metodą emisyjną,
- chlorki – argentometrycznie,
- siarczany – nefelometrycznie,
- fosforany – kolorymetrycznie według Jacksona.

Ponieważ nie stwierdzono wyraźnych różnic w składzie chemicznym wód w zbiornikach położonych na osadach wiślanych w stosunku do zbiorników występujących na wysoczyźnie lodowcowej, prawdopodobnie ze względu na zbyt silny, maskujący wpływ czynników antropogenicznych, w analizie wyników badań uwzględniono tylko dwie grupy zbiorników wód stojących, tj. położone w strefie centralnej i na peryferiach Warszawy.

OMÓWIENIE WYNIKÓW

Stężenie jonów wodorowych mierzone wielkością wskaźnika pH było w wodach znacznie zróżnicowane. Najniższą wartość pH 3,3 stwierdzono w leśnym jeziorku przy ulicy Ogórkowej w gminie Wawer (punkt nr 19), pH 5,6 miała woda w Jeziorku Torfy przy ulicy Izbickiej w Zbójnej Górze (punkt nr 15), natomiast największe pH 8,2 stwierdzono w wodzie Jeziorka Powsinkowskiego (punkt nr 11) – tabela 1. Wody pobrane z większości zbiorników wód stojących (77% ogólnej ilości) miały pH w zakresie 7,6–8,2. Większe wartości pH odnotowano w wodach stojących strefy centralnej, gdzie 100% wód miało pH w granicach 7,6–8,2, podczas gdy wody strefy peryferyjnej o tym zakresie pH występowały tylko w 63% zbiorników.

Wody rowów, kanałów i rzek miały przeważnie niższe pH niż wody stojące, gdyż aż w 65% cieków pH wód zawierało się w przedziale 7,1–7,5, natomiast w tym samym zakresie pH występowało tylko w 18% wód stojących, wszystkie w strefie peryferyjnej Warszawy. Wartość pH mniejszą niż 7 wykazywały niektóre wody z terenów leśnych i bagiennych w strefie peryferyjnej Warszawy (tab. 2).



RYSUNEK 1. Schemat rozmieszczenia wód powierzchniowych na terenie Warszawy
 FIGURE 1. Scheme of surface waters distribution on the Warsaw area

Sole łatwo rozpuszczalne występowały w badanych wodach w bardzo zróżnicowanych ilościach: od 113 mg/dm^3 w jeziorze Torfy przy ul. Izbickiej w Zbójnej Górze aż do 1369 mg/dm^3 w Jeziorze Imielińskim w Ursynowie, w obrębie rezerwatu przyrody „Las Kabacki” (punkt nr 14) – tabela 1. Połowa badanych zbiorników wód stojących strefy centralnej zawierała bardzo dużo, bo w granicach $750\text{--}1000 \text{ mg soli/dm}^3$. W strefie peryferyjnej Warszawy takich zbiorników było 29%. Jednak w tej strefie lokalne źródła zanieczyszczeń spowodowały, że 9% zbiorników zawierało ponad 1 g soli w litrze wody.

Wody bieżące Warszawy miały przeciętnie mniej soli ogółem niż wody stojące. 50% wód ciekówkowych zawierało soli ogółem od 500 do 750 mg/dm^3 , a 12% powyżej tej wartości, podczas gdy wody stojące o zasoleniu od 500 do 750 mg/dm^3

TABELA 1. Chemiczne właściwości wód większych zbiorników na terenie Warszawy
 TABLE 1. Chemical properties of waters in greater reservoirs on the Warsaw area

Nr No	Lokalizacja Location	pH	EC 25°C [dS/m]	Ogółem sole Salt total [mg/dm ³]	NaCl	Typ hydroche- miczny Hydrochemical type
A. Wody stojące – Standing waters						
I. Strefa centralna – Central zone						
1	Jeziorko Kamionkowskie	7,8	0,80	580	207	Ca-Na-HCO ₃ -Cl
2	Jeziorko Goctawskie	7,8	0,48	349	69	Na-Ca-HCO ₃ -Cl
3	Jeziorko Czerniakowskie	7,8	1,11	784	329	Ca-Na-Cl-HCO ₃
4	Park Łazienkowski	7,7	1,40	940	403	Ca-Na-Cl-HCO ₃
5	Park Arkadia	7,9	1,30	865	197	Na-Ca-HCO ₃ -Cl
6	Park Moczydło	7,9	1,27	759	199	Na-Ca-HCO ₃ -Cl
7	Park Szczęśliwicki	7,8	1,14	732	156	Na-Ca-HCO ₃ -SO ₄
8	Park Morskie Oko	8,0	1,10	896	255	Na-Ca-HCO ₃ -Cl
9	Ulica Gwiazdzysta	8,0	0,63	396	76	Ca-HCO ₃ -Cl
II. Strefa peryferyjna – Peripheric zone						
10	Jeziorko Wilanowskie	7,8	1,03	722	206	Na-Ca-HCO ₃ -Cl
11	Jeziorko Powsinkowskie	8,2	0,77	588	102	Ca-HCO ₃
12	Jeziorko Lisowskie	7,8	0,59	409	64	Ca-HCO ₃
13	Jeziorko Torfowisko	7,4	0,64	438	72	Ca-HCO ₃
14	Jeziorko Imielińskie	7,8	2,12	1369	345	Na-Ca-HCO ₃ -SO ₄
15	Jeziorko Torfy	5,6	0,34	113	15	Mg-Ca-SO ₄
16	Ulica Husa	7,5	0,57	350	57	Ca-HCO ₃
17	Ulica Strażacka	7,4	0,55	368	37	Ca-HCO ₃ -Cl
18	Ulica Jeziorowa	7,8	0,96	768	301	Na-Cl-HCO ₃
19	Ulica Ogórkowa	3,3	0,69	715	53	Ca-SO ₄
20	Ulica Połczyńska	7,9	1,25	784	560	Na-Cl
21	Ulica Globusowa	7,5	0,52	319	142	Ca-Na-Cl-HCO ₃
22	Ulica Zbocze	7,8	0,84	539	249	Ca-Na-Cl-HCO ₃
23	Ulica Foliałowa	7,9	0,64	455	71	Ca-HCO ₃
24	Ulica Krasnowolska	7,3	1,08	781	134	Ca-HCO ₃ -SO ₄
25	Ulica Baletowa	7,7	1,32	989	198	Ca-HCO ₃ -Cl
B. Wody bieżące – Flowing waters						
26	Kanał Żerański	7,5	0,66	440	62	Ca-HCO ₃
27	Kanał Markowski	7,8	0,68	491	71	Na-Ca-HCO ₃
28	Kanał Bródnowski	7,4	1,07	690	156	Na-Ca-HCO ₃ -Cl
29	Kanał Goctawski	7,1	0,35	292	43	Ca-HCO ₃
30	Kanał Nowe Ujście	7,5	0,39	394	64	Na-Ca-HCO ₃
31	Kanał Piaseczyński	7,3	1,47	877	445	Ca-Na-Cl-HCO ₃
32	Kanał Służewiecki	7,8	1,25	811	314	Ca-Na-Cl-HCO ₃
33	Rzeka Wilanówka	7,4	1,00	643	255	Na-Ca-HCO ₃ -Cl
34	Rzeka Wisła	7,3	1,27	714	142	Ca-HCO ₃ -Cl

TABELA 2. Ogólna charakterystyka wód stawów i jezior terenu Warszawy
TABLE 2. General characteristic of pond and lake waters on the Warsaw area

Cecha Characteristic	Zakres Range	Procent zbiorników – Percentage of reservoirs		
		w strefie – in the zone		ogółem total
		centralnej of central	peryferyjnej of peripheric	
pH	≤7,0	0	8	5
	7,1–7,5	0	29	18
	>7,5	100	63	77
	3,3–8,2			100
Zasolenie Salinity [mg soli/dm ³]	<200	0	4	3
	200–500	29	29	29
	500–750	21	29	26
	750–1000	50	29	37
	>1000	0	9	5
	113–1369			100
NaCl [mg/dm ³]	<100	28	37	34
	100–200	36	37	37
	>200	36	26	29
\bar{x}	15–560			100
EC 25°C [dS/m]	0,25–0,75	29	38	34
	0,76–1,25	50	50	50
	1,26–2,25	21	12	16
	0,34–2,12			100
Typ hydrochemiczny Hydrochemical type	Ca-SO ₄ lub Mg-Ca-SO ₄	0	8	5
	Ca-HCO ₃	7	29	21
	Ca-HCO ₃ z dużym udziałem Na, Cl lub SO ₄ .	65	42	50
	Ca-HCO ₃ with great par- ticipation of Na, Cl or SO ₄	28	17	21
	Na-Cl z dużym udziałem Ca, HCO ₃ lub SO ₄ Na-Cl with great parti- cipation of Ca, HCO ₃ or SO ₄	0	4	3

stwierdzono tylko w 26% zbiorników, natomiast 42% wszystkich zbiorników wód stojących miało wodę o zawartości ponad 750 mg soli/dm³. Najwięcej soli ogółem występowało w wodach kanałów Piaseczyńskiego i Służewieckiego (punkty nr 31 i 32), odpowiednio 877 i 811 mg/dm³, a najmniej w wodzie Kanału Goćla-wskiego (punkt nr 29), tylko 292 mg/dm³ (tab. 1).

Znaczną ilość soli ogółem stanowił w wodach jeden z bardziej toksycznych składników, jakim jest chlorek sodu, występujący w zbiornikach powierzchniowych miast głównie za sprawą zimowego solenia dróg i ulic. Najmniej NaCl (15 mg/dm³ wody) stwierdzono, podobnie jak w przypadku soli ogółem, w Jezioroku Torfy, a najwięcej (560 mg/dm³) w stawie na peryferiach Warszawy,

przy ul. Połczyńskiej na Jelonkach Południowych, ulicy o bardzo dużym natężeniu ruchu samochodowego w kierunku Poznania (punkt nr 20). W strefie centralnej najczęściej chlorku sodu zawierały wody stawu w Parku Łazienkowskim (punkt nr 4) – 403 mg i wody Jeziorka Czerniakowskiego (punkt nr 3), stanowiącego rezerwat przyrody – 329 mg/dm³ (tab. 1). Ogólnie więcej zbiorników wód stojących o większej ilości NaCl w wodzie stwierdzono w strefie centralnej niż peryferyjnej Warszawy. I tak 36% wszystkich zbiorników strefy centralnej zawierało ponad 200 mg NaCl/dm³ wody, zaś w strefie peryferyjnej takich zbiorników było o 10% mniej. Odwrotna zależność występowała w przedziale do 100 mg NaCl/dm³. Spośród wszystkich zbiorników wód stojących najczęściej, bo 37% zbiorników, zawierało w wodzie od 100 do 200 mg NaCl/dm³. Natomiast w wodach bieżących najczęściej zawartość NaCl była mniejsza niż 100 mg/dm³ (46% wszystkich rowów, kanałów i rzek), przy czym najczęściej NaCl występowało w wodzie Kanału Piaseczyńskiego – 445 mg i Służewieckiego – 314 mg/dm³ (tab. 1).

Wody stojące strefy peryferyjnej Warszawy, szczególnie terenów rolniczych i leśnych, oddalone od ruchliwych ulic (punkty nr 12, 13, 15, 16, 17, 19 i 23) były średnio o około 40% słabiej zmineralizowane i zawierały blisko 3,5 raza mniej NaCl w stosunku do przeciętnej dla wszystkich badanych wód Warszawy.

Ogólna zawartość soli, a szczególnie zawartość NaCl znajduje odbicie w wartości przewodności elektrycznej właściwej badanych wód. Jedynie 34% wszystkich badanych wód stojących i 42% bieżących określono jako wody słabo zasolone, o wartości EC 25°C w przedziale 0,25–0,75 dS/m. Najwięcej z obu wyróżnionych kategorii zbiorników, odpowiednio 50 i 46%, zawierało wody umiarkowanie zasolone, o przewodności w zakresie 0,76–1,25 dS/m. Natomiast wody o największej przewodności właściwej, zaliczone do średnio zasolonych, o wartości EC 1,25–2,25 dS/m, stwierdzono w 16% zbiorników z wodą stojącą i w 12% cieków. Więcej zbiorników z wodą stojącą o największej przewodności występowało w strefie centralnej Warszawy (21% zbiorników tej strefy) niż peryferyjnej (12% zbiorników strefy). Odwrotną zależność obserwowano w przedziale EC 0,25–0,75 dS/m (tab. 2 i 3). Największą wartość przewodności właściwej wykazywała woda z Jeziorka Imielińskiego (punkt nr 14) – 2,12 dS/m oraz woda z Kanału Piaseczyńskiego (punkt nr 31), tabela 1.

Przewodność elektryczna właściwa miała związek nie tylko z ogólnym zasoleniem wód, ale także ze składem jonowym soli rozpuszczalnych. W składzie chemicznym soli wód stojących i bieżących traktowanych łącznie w 74% zbiorników dominowały równoważnikowo wśród kationów jony wapnia, a w 26% zbiorników jony sodu. Najwięcej zbiorników (74%) zawierało wody, w których wśród anionów równoważnikowo najczęściej było jonów wodorowęglanowych, w 21% zbiorników dominowały jony chlorkowe, a w 5% jony siarczanowe. Zależności te najlepiej odzwierciedla typ hydrochemiczny wód badanych zbiorników (tab. 1).

Hydrochemiczny charakter wód jest dobrym wskaźnikiem do oceny zarówno proporcji jonów soli rozpuszczalnych w wodach, jak i stopnia odkształcenia składu chemicznego wód pod wpływem różnych czynników.

Typowe dla naszych warunków geologiczno-glebowo-klimatyczno-biologicznych wody wapniowo-wodorowęglanowe (Ca-HCO₃) stwierdzono tylko w 21% wszystkich zbiorników wód stojących i 23% wód bieżących, przy czym w strefie centralnej Warszawy wody stojące tego typu stanowiły jedynie 7%, a w peryfe-

TABELA 3. Ogólna charakterystyka wód rowów, kanałów i rzek terenu Warszawy
 TABLE 3. General characteristic of ditch, canal and river waters on the Warsaw area

Cecha Characteristic	Zakres Range	Procent zbiorników Percentage of reservoirs
pH	≤7,0	4
	7,1–7,5	65
	>7,5	31
	6,8–7,9	100
Zasolenie Salinity [mg soli/dm ³]	<200	0
	200–500	38
	500–750	50
	750–1000	12
	>1000	0
	295–883	100
NaCl [mg/dm ³]	<100	46
	100–200	31
	>200	23
	43-445	100
EC 25°C [dS/m]	0,25–0,75	42
	0,76–1,25	46
	1,26–2,25	12
	0,35–1,47	100
Typ hydrochemiczny Hydrochemical type	Ca-SO ₄ lub Mg-Ca-SO ₄	0
	Ca-HCO ₃	23
	Ca-HCO ₃ z dużym udziałem Na, Cl lub SO ₄	50
	Ca-HCO ₃ with great participation of Na, Cl lub SO ₄	
	Na-Cl z dużym udziałem Ca, HCO ₃ lub SO ₄	27
	Na-Cl with great participation of Ca, HCO ₃ lub SO ₄	
	Na-Cl	0

ryjnej 29% zbiorników strefy. Pozostałe wody powierzchniowe miały w różnym stopniu odkształcony typ hydrochemiczny. Wody wapniowo-wodorowęglanowe wzbogacone w sód, chlorki lub siarczany w ilościach ponad 25% ogólnej ilości kationów lub anionów stanowiły najwięcej, bo 50% wszystkich badanych wód oraz 65% zbiorników wód stojących w strefie centralnej i 42% w strefie peryferyjnej.

Wody wapniowo-siarczanowe lub magnezowo-wapniowo-siarczanowe stwierdzono jedynie w 8% zbiorników wód stojących w strefie peryferyjnej (tab. 2 i 3). Duża ilość siarczanów w tych wodach wiąże się prawdopodobnie głównie z dużą ilością substancji organicznej dopływającej do zbiorników, na co wskazuje także stosunkowo niskie pH tych wód (tab. 1).

Pozostałe wody powierzchniowe Warszawy były najsilniej odkształcone antropogenicznie. Dominowały w nich jony sodowe i chlorkowe (typy hydrochemiczne

Na-Cl, Na-Cl-HCO₃, Ca-Na-Cl-SO₄ i Ca-Na-Cl-HCO₃) lub jeden z tych jonów (typy hydrochemiczne Na-Ca-Cl-HCO₃ i Ca-Na-HCO₃-Cl). Próby tych wód stanowiły łącznie aż 24% wszystkich zbiorników z wodami stojącymi i 27% z bieżącymi z terenu Warszawy. Więcej zbiorników wód stojących o takim charakterze występowało w strefie centralnej (28% wszystkich zbiorników tej strefy) niż peryferyjnej (21% zbiorników strefy). W strefie peryferyjnej zbiorniki z wodami tego typu położone były najczęściej w pobliżu głównych ciągów komunikacyjnych Warszawy (tab. 2 i 3).

Zawartość jonów chlorkowych, siarczanowych, azotanowych, amonowych i fosforanowych oceniono także na podstawie dopuszczalnych ich ilości w wodach różnych klas czystości. Jony chlorkowe, pomimo dominującego często udziału NaCl w składzie soli rozpuszczalnych, występowały przeważnie w ilościach odpowiadających I klasie czystości wód. Jedynie w pojedynczych zbiornikach (staw przy ul. Połczyńskiej, Kanał Piaseczyński) ich ilość przekraczała wartości przewidziane dla najczystszych wód. Pod względem zawartości siarczanów wody bieżące i wody stojące w strefie centralnej należały do I klasy czystości, jedynie w strefie peryferyjnej 17% wód, głównie terenów bagiennych, zawierało duże ilości tych jonów. Natomiast jony azotanowe wpłynęły na zaliczenie aż 31% cieków do II klasy czystości wód, podczas gdy zbiorników z wodą stojącą zaliczonych do tej klasy było dwa razy mniej. Jony amonowe w największym stopniu wpłynęły na czystość wód stojących strefy peryferyjnej: 25% zbiorników tej strefy zawierało wodę II klasy czystości, podczas gdy w strefie centralnej takich zbiorników było tylko 14%. Najsilniej na jakość badanych wód wpływała zawartość w nich fosforanów. Około 25% zbiorników wód stojących i 24% bieżących zawierało więcej fosforu niż ilość dopuszczalna dla I klasy czystości. Wśród tych zbiorników wód największe ilości fosforu zawierały wody cieków, a następnie wody stojące strefy peryferyjnej. Ogółem jedynie 47% zbiorników wód powierzchniowych Warszawy zawierało wodę I klasy czystości pod względem ilości jonów Cl, SO₄, NO₃, NH₄ lub H₂PO₄. W pozostałych jeden lub więcej z tych jonów przekraczał normę przewidzianą dla tej klasy czystości. Wśród wód stojących do najbardziej zanieczyszczonych pod tym względem należały między innymi wody stawów w Parku Łazienkowskim (punkt nr 4) i Szczęśliwickim (punkt nr 7) oraz Jeziorka Czerniakowskiego (punkt nr 3) w strefie centralnej, wody stawów przy ulicy Strażackiej (punkt nr 17) i Połczyńskiej (punkt nr 20) oraz jeziorok Lisowskiego i Torfowiska (punkty 12 i 13) w strefie peryferyjnej, a także wody kanałów Markowskiego i Piaseczyńskiego (punkty nr 27 i 31), tabele 4 i 5.

DYSKUSJA

Skład chemiczny wód powierzchniowych Warszawy wiąże się głównie z położeniem zbiorników wód w stosunku do tras komunikacyjnych oraz ze sposobem użytkowania otoczenia zbiorników.

Porównując przeciętny skład wód powierzchniowych terenu Warszawy z wodami powierzchniowymi odprowadzanimi ze zlewni intensywnie użytkowanej rolniczo [Bartoszewicz 1994] można zauważyć, że przeciętna zawartość jonów wapniowych (76 mg/dm³) i siarczanowych (67 mg/dm³) w wodach Warszawy była wyraźnie mniejsza (odpowiednio o około 30 i 60%), jonów magnezowych (18 mg/dm³) i potasowych (14 mg/dm³) była podobna, a chlorkowych (114

TABELA 4. Jony soli łatwo rozpuszczalnych [mg/dm³] w wodach większych zbiorników na terenie Warszawy
 TABLE 4. Soluble salt ions [mg/dm³] in greater reservoirs waters on the Warsaw area

Nr No	Lokalizacja – Location	Ca	Mg	K	Na	NH ₄	Cl	HCO ₃	NO ₃	SO ₄	H ₂ PO ₄
A. Wody stojące – Standing waters											
I. Strefa centralna – Central zone											
1	Jeziorko Kamionkowskie	63,6	16,1	10,5	92,0	0,1	125,7	232,4	1,3	38	0,02
2	Jeziorko Gocławskie	50,0	7,9	4,9	36,0	0,1	41,9	186,7	5,3	16	0,05
3	Jeziorko Czerniakowskie	72,0	17,7	15,6	144,0	0,6	200,0	293,5	2,2	38	0,80
4	Park Łazienkowski	74,0	25,0	12,0	176,0	2,1	244,6	366,1	8,3	31	0,20
5	Park Arkadia	121,6	28,6	8,4	86,0	1,0	119,6	420,4	1,4	78	0,32
6	Park Moczydło	102,0	21,0	24,5	80,0	1,2	120,7	278,8	5,0	126	0,07
7	Park Szczęśliwicki	82,0	32,0	25,0	68,0	1,4	94,8	292,2	6,3	129	0,30
8	Park Morskie Oko	107,2	28,7	15,6	108,0	1,1	154,4	424,0	1,4	55	0,12
9	Ulica Gwiaździsta	64,0	13,6	5,0	30,0	0,8	64,0	150,0	6,4	62	0,17
II. Strefa peryferiwna – Peripheric zone											
10	Jeziorko Wilanowskie	92,8	20,0	10,9	88,1	1,4	126,4	348,4	3,6	31	0,15
11	Jeziorko Powsinkowskie	91,6	17,8	8,4	40,0	0,6	64,2	328,8	1,2	35	0,15
12	Jeziorko Lisowskie	64,0	10,3	8,0	25,0	0,8	50,0	201,0	5,7	43	0,68
13	Jeziorko Torfowisko	60,0	14,3	17,0	28,3	1,0	51,8	232,0	5,4	27	1,00
14	Jeziorko Imielińskie	151,9	59,0	53,2	144,9	0,5	209,1	424,6	1,3	324	0,20
15	Jeziorko Torfy	18,3	6,2	4,4	6,0	1,4	12,4	15,2	4,8	44	0,05
16	Ulica Husa	62,4	6,4	2,2	22,4	1,1	34,8	175,1	7,7	38	0,05
17	Ulica Strażacka	49,2	13,0	22,5	14,8	1,3	45,0	204,9	4,5	12	0,90
18	Ulica Jeziorowa	54,8	13,8	22,8	146,6	1,6	182,5	275,1	6,3	64	0,04
19	Ulica Ogórkowa	90,4	21,2	18,1	35,6	2,3	31,9	137,8	1,6	276	0,02
20	Ulica Połczyńska	38,0	5,2	12,5	220,0	1,2	343,0	134,0	5,3	24	0,40
21	Ulica Globusowa	32,0	6,7	8,0	56,0	0,8	86,0	106,0	3,4	20	0,27
22	Ulica Zbocze	51,0	11,4	12,0	98,0	1,1	158,0	176,3	4,8	26	0,16
23	Ulica Foliałowa	60,0	16,5	26,0	28,0	0,4	50,4	194,0	7,1	73	0,16
24	Ulica Krasnowolska	100,4	31,3	40,0	58,0	0,7	81,3	317,3	1,1	150	0,08
25	Ulica Baletowa	167,2	27,7	8,4	78,0	0,4	173,0	435,6	3,5	95	0,06
B. Wody bieżące – Flowing waters											
26	Kanał Żerański	66,4	8,9	5,8	32,0	0,4	37,6	247,1	11,7	30	0,17
27	Kanał Markowski	60,0	9,8	6,7	39,2	2,0	43,3	290,4	11,8	26	1,00
28	Kanał Bródnowski	92,0	18,7	10,8	75,2	0,8	94,4	320,2	4,2	74	0,05
29	Kanał Gocławski	44,8	6,4	2,9	20,2	0,9	26,3	179,4	3,2	8	0,10
30	Kanał Nowe Ujście	52,8	7,2	8,4	38,0	0,9	39,0	208,6	2,9	36	0,12
31	Kanał Piaseczyński	72,0	25,3	12,0	175,0	0,7	291,0	246,5	5,2	47	2,00
32	Kanał Służewiecki	91,6	22,8	10,8	126,0	2,4	190,3	291,0	5,8	70	0,16
33	Rzeka Wilanówka	70,0	15,1	10,0	100,0	0,4	156,0	243,0	3,5	45	0,12
34	Rzeka Wisła	104,0	26,1	13,0	56,0	0,9	106,1	322,0	8,1	77	0,12

TABLE 5. Udział [%] zbiorników wód powierzchniowych Warszawy w klasach czystości według zawartości składników mineralnych
 TABLE 5. Participation [%] of surface water reservoirs of Warsaw in different purity classes depend on the mineral components contents

Składnik Component	Rodzaj wody Kind of water	Strefa Zone	Procent zbiorników w klasach Percentage of reservoirs in the classes			Wody poza- klasowe Waters out of the class
			I	II	III	
Cl	stojąca standing	centralna central	100	–	–	–
		peryferyjna peripheric	96	–	4	–
	bieżąca flowing		96	4	–	–
SO ₄	stojąca standing	centralna central	100	–	–	–
		peryferyjna peripheric	83	–	–	17
	bieżąca flowing		100	–	–	–
NO ₃	stojąca standing	centralna central	86	14	–	–
		peryferyjna peripheric	88	12	–	–
	bieżąca flowing		69	31	–	–
NH ₄	stojąca standing	centralna central	86	14	–	–
		peryferyjna peripheric	75	25	–	–
	bieżąca flowing		81	19	–	–
PO ₄	stojąca standing	centralna central	72	21	7	–
		peryferyjna peripheric	76	12	12	–
	bieżąca flowing		76	8	12	4

mg/dm³) i sodowych (76 mg/dm³) była odpowiednio około 2,5 i 3 razy większa niż w wodach odprowadzanych ze zlewni intensywnie użytkowanej rolniczo. Głównym źródłem jonów Na⁺ i Cl⁻ w wodach Warszawy jest sól stosowana na jezdnie ulic w czasie niskiej temperatury [Czerwiński i in. 1990].

W stosunku do składu chemicznego wód cieków na terenie intensywnie nawożonych pól w okolicach Szczecina [Borowiec, Zabłocki 1984] wody Warszawy zawierały przeciętnie mniej wapnia (o około 50%), nieco mniej magnezu (o około 20%), nieco więcej siarczanów (o około 20%) oraz wyraźnie więcej potasu (1,8

raza) i znacznie więcej jonów chlorkowych i sodowych (odpowiednio 2,4 i 3 razy więcej).

W wodach stojących strefy peryferyjnej Warszawy, usytuowanych na terenach leśnych i rolniczych oddalonych od ruchliwych ulic, średnia zawartość jonów Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , Cl^- i SO_4^{2-} była mniejsza, a przeciętna zawartość potasu nieco większa niż w ciekach na terenach intensywnie użytkowanych rolniczo [Bartoszewicz 1994].

Większość prób wód powierzchniowych pobrano w 1995 r. z tych samych zbiorników jak w 1977 roku, kiedy po raz pierwszy przeprowadzono badania tych wód na całym terenie Warszawy [Czerwiński, Prac 1984]. Pozwoliło to na ocenę zmian w składzie chemicznym wód, jakie zaszły w ciągu 18 lat. Zmiany te przedstawiono w tabeli 6. Zawartość soli ogółem zwiększyła się w ciągu tego okresu we wszystkich badanych zbiornikach z wodą bieżącą i w 83% zbiorników z wodą stojącą, w większym stopniu dotyczyło to strefy peryferyjnej – 86% niż centralnej – 78% zbiorników. Wzrost ilości dotyczył wszystkich jonów oprócz jonu siarczanowego, którego zawartość była po 18 latach większa tylko w 26% zbiorników wód stojących i w 33% bieżących, a obniżyła się w 74% zbiorników wód stojących i 67% bieżących. Więcej wód o mniejszej ilości siarczanów było w strefie centralnej – 82% niż na peryferiach – 70% zbiorników. Mniejsza ilość siarczanów w wodach powierzchniowych Warszawy ma prawdopodobnie zwią-

TABELA 6. Zmiana zawartości składników mineralnych w badanych wodach powierzchniowych Warszawy w 1995 r. w stosunku do 1977 r.

TABLE 6. Change of mineral component contents in studied surface waters of Warsaw in 1995 compared with 1977

Obszar Area	Rodzaj zmiany Direction of change	Procent zbiorników wód z zawartością soli Percentage of water reservoirs with salts						ogółem total
		Ca	Mg	K	Na	Cl	SO ₄	
1. Zbiorniki wód stojących – Standing water reservoirs								
Strefa centralna Central zone	wzrost increase spadek decrease	78 22	78 22	75 25	63 37	63 37	18 82	78 22
Strefa peryferyjna Peripheric zone	wzrost increase spadek decrease	75 25	80 20	83 17	70 30	70 30	30 70	86 14
Cały obszar Warszawy All Warsaw area	wzrost increase spadek decrease	76 24	79 21	80 20	67 33	67 33	26 74	83 17
2. Zbiorniki wód bieżących – Flowing water reservoirs								
Cały obszar Warszawy All Warsaw area	wzrost increase spadek decrease	100 0	100 0	83 17	88 12	75 25	33 67	100 0

Dane dotyczące roku 1977 zamieszczono w Dyskusji.

zek z ograniczeniem emisji siarki do atmosfery przez elektrociepłownię. Wszystkie badane wody bieżące Warszawy nie tylko były bardziej zasolone, ale zawierały także więcej wapnia i magnezu niż przed 18 latami. Ponad 80% wód bieżących zawierało także więcej potasu i sodu i o 75% więcej jonów chlorkowych. Wzrost ilości wszystkich tych jonów w wodach stojących w ciągu 18 lat dotyczył nieco mniejszej ilości zbiorników niż w przypadku wód bieżących. Wody stojące o większej zawartości potasu, sodu i chlorków niż przed 18 latami występowały w nieco większej ilości w strefie peryferyjnej niż centralnej Warszawy (tab. 6).

WNIOSKI

1. Sól stosowana w okresach niskich temperatur na jezdniach ulic jest głównym czynnikiem zmieniającym skład chemiczny wód na terenach centralnych Warszawy oraz w pobliżu ruchliwych ulic w strefie peryferyjnej miasta.
2. Ogólna zawartość soli rozpuszczalnych w wodach powierzchniowych Warszawy jest stosunkowo wysoka i w porównaniu z rokiem 1977 zwiększyła się we wszystkich badanych ciekach oraz w przeważającej części stawów i jeziorek.
3. Wszystkie wody bieżące oraz znaczna większość stojących ma więcej jonów wapnia i magnezu niż 18 lat wcześniej. Większość zbiorników zawiera także wodę bogatszą w jony potasu, sodu i chloru niż w 1977 roku.
4. W centralnej strefie Warszawy występuje więcej zbiorników z wodą bardziej zasoloną, zawierającą więcej głównych składników soli rozpuszczalnych, w tym także chlorku sodu, niż w strefie peryferyjnej.
5. Zarówno wody stojące, szczególnie w strefie centralnej, jak i bieżące zawierają w przeważającej części zbiorników mniej siarczanów niż w 1977 r., co prawdopodobnie wiąże się głównie ze zmniejszoną emisją siarki do atmosfery przez elektrociepłownię.
6. Część wód powierzchniowych Warszawy ma znaczne ilości jonów azotanowych, amonowych i fosforanowych, odpowiedzialnych za procesy eutrofizacji. Najwięcej (około 25%) zbiorników zawiera wodę zanieczyszczoną fosforanami w ilości przekraczającej dopuszczalną ich zawartość dla I klasy czystości.
7. Oddziaływanie aglomeracji warszawskiej zaznacza się także w typie chemicznym wód powierzchniowych. Jedynie około 20% zbiorników ma jeszcze wodę o charakterze wapniowo-wodorowęglanowym. W pozostałych woda jest w różnym stopniu odkształcona chemicznie, najsilniej w około 25% zbiorników, w których woda jest głównie typu sodowo-chlorkowego.
8. W warunkach silnego oddziaływania czynników antropogenicznych na skład chemiczny wód Warszawy niedostatecznie zaznaczył się wpływ geochemicznych właściwości podłoża.

LITERATURA

- BARTOSZEWICZ A. 1994: Skład chemiczny wód powierzchniowych zlewni intensywnie użytkowanych rolniczo w warunkach glebowo-klimatycznych Równiny Kościańskiej. *Rocz. AR Pozn., Rozpr. Nauk.* 250: 68.

- BOROWIEC S. 1984: Wpływ udziału gruntów ornych i lasów w zlewni na skład chemiczny wód powierzchniowych. (W:) Skład chemiczny wód glebowych, gruntowych i powierzchniowych w warunkach intensywnej produkcji rolniczej. Cz. II. IUNG, Puławy: 123–126.
- BOROWIEC S., ZABŁOCKI Z. 1984: Wpływ intensywnego rolnictwa na skład chemiczny wód cieków i odcieków drenarskich w okolicy Szczecina. (W:) Skład chemiczny wód glebowych, gruntowych i powierzchniowych w warunkach intensywnej produkcji rolniczej. Cz. I. IUNG, Puławy: 68–78.
- CZERWIŃSKI Z., PRACZ J. 1982: Chemizm wód gruntowych i powierzchniowych rejonu osiedlowo-rolniczego Białoleka Dworska. *Rocz. Nauk Rol.* s. A, 105, 1: 150–162.
- CZERWIŃSKI Z., PRACZ J. 1983: Degree of pollution of surface waters in the Warsaw Agglomeration. *Pol. Ecol. Stud.* 9, 1–2: 31–44.
- CZERWIŃSKI Z., PRACZ J. 1984a: Stopień mineralizacji wód powierzchniowych terenów rolniczych i zurbanizowanych aglomeracji warszawskiej. (W:) Skład chemiczny wód glebowych, gruntowych i powierzchniowych w warunkach intensywnej produkcji rolniczej. Cz. II. IUNG, Puławy: 110–122.
- CZERWIŃSKI Z., PRACZ J. 1984b: Zawartość jonów soli rozpuszczalnych w wodach gruntowych i powierzchniowych ekosystemów leśnych. (W:) Skład chemiczny wód glebowych, gruntowych i powierzchniowych w warunkach intensywnej produkcji rolniczej. Cz. I. IUNG, Puławy: 103–113.
- CZERWIŃSKI Z., PRACZ J., PIĄTEK A. 1984: Wpływ odpadów z Janikowskich Zakładów Sodowych na tereny rolnicze. *Rocz. Glebozn.* 35, 3–4: 87–105.
- CZERWIŃSKI Z., PRACZ J. 1987: Chemical composition of surface water on the area of Łomianki commune. *Pol. Ecol. Stud.* 13, 3–4: 365–374.
- CZERWIŃSKI Z., DUDEK P. 1990: Właściwości chemiczne wód bieżących na terenie Warszawy. (W:) Problemy ochrony i kształtowania środowiska przyrodniczego na obszarach zurbanizowanych. Cz. II. Wyd. SGGW-AR: 95–103.
- CZERWIŃSKI Z., PRACZ J., ROLCZYK K. 1990: Wpływ chemicznej metody odśnieżania dróg na chemizm wód gruntowych i wód pobliskich studni. *Człowiek i Środowisko* 14, 1: 127–154.
- CZERWIŃSKI Z., PRACZ J., CZERWIŃSKA K. 1995: Chemistry of the open and ground waters of the surface area studied within the Strzałowo Forest Inspectorate. *Pol. Ecol. Stud.* 21, 2: 121–126.
- KAJAK Z. 1984: Wpływ rolnictwa na eutrofizację zbiorników wodnych. (W:) Skład chemiczny wód glebowych, gruntowych i powierzchniowych w warunkach intensywnej produkcji rolniczej. Cz. II. IUNG, Puławy: 94–109.
- KUKURENDA H., WARTA Z. 1984: Wpływ zróżnicowanego intensywnego nawożenia gnojnicą na zawartość azotanów w wodach glebowo-gruntowych. (W:) Skład chemiczny wód glebowych, gruntowych i powierzchniowych w warunkach intensywnej produkcji rolniczej. Cz. II. IUNG, Puławy: 23–34.
- MOTOWICKA-TERELAK T., TERELAK H. 1995: Obszary ekologicznego zagrożenia w Polsce w wyniku oddziaływania czynników antropogenicznych. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 422: 43–54.
- RISSER P.G. 1989: The movement of nutrients across heterogenous landscapes. Eds. Clarholm M. and Bergstrom L., Kluwer Academic Publishers: 247–251.
- SIERADZKI T. 1995: Zagrożenie dla czystości wód powierzchniowych i gruntowych odciekami z wysypisk odpadów komunalnych. *Wiad. Melior. Łąk* 3: 118–119.
- VIETS E.G. 1971: Fertilizer use in relation to surface and ground water pollution. *Soil Sc. Soc. Am. Madison*: 17–31.
- WITKOWSKI D. 1984: Zawartość składników nawozowych w wodach powierzchniowych trzech zlewni o zróżnicowanych charakterystykach rolniczych. (W:) Skład chemiczny wód glebowych, gruntowych i powierzchniowych w warunkach intensywnej produkcji rolniczej. Cz. II. IUNG, Puławy: 136–143.
- WOJCIECHOWSKI I. 1976: Wpływ zlewni na eutrofizację mezotroficznego jeziora Piaseczno i na deeutrofizację stawowego jeziora Bikcze. *Acta Hydrob.* 18, 1: 23–52.

J. PRACZ

CHEMICAL COMPONENT OF SURFACE WATERS
ON THE WARSAW AREA

Department of Soil Science, Warsaw Agricultural University

SUMMARY

The chemical component of surface waters in Warsaw was investigated in autumn 1995. The waters from 38 ponds and small lakes, 14 canals and ditches and 2 rivers were examined. The results were compared with this obtained in 1977 in similar examination. It was found that the total salinity of all flowing waters and majority of ponds and small lakes waters increased compared with 1977. The waters of majority reservoirs contained more all main soluble salt ions except sulphate ions. The content of sulphate ions was smaller in majority of waters than in 1977. The part of Warsaw waters contained big quantities of chloride, sulphate, nitrate, ammonium and/or phosphate ions. The first purity class of water was in 47 per cent of reservoirs only. Influence of anthropogenic factors was also marked on chemical type of waters. Only about 20 per cent of all reservoirs contained waters of calcium-hydrocarbonate type. The rest of waters was deformed in various degree by anthropogenic factors, mainly about 25 per cent of reservoirs had waters of sodium-chloride type.

Praca wpłynęła do redakcji w maju 1997 r.

Dr hab. Jerzy Pracz, prof. SGGW

Katedra Gleboznawstwa

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

02-528 Warszawa, Rakowiecka 26/30