

¹ Zakład Geografii Regionalnej, Instytut Nauk o Ziemi UMCS

² Pracownia Spektrometrii Mas, Instytut Fizyki UMCS

Andrzej ŚWIECA¹, Andrzej TREMBACZOWSKI²

*Regionalne zróżnicowanie chemizmu i składu izotopowego
siarki i tlenu siarczanów w wodach źródłanych środkowego
i południowego międzyrzecza Wisły i Bugu*

Regional differentiation of the chemistry and of the sulphur and oxygen isotopic composition
of sulphates in spring waters of middle and upper parts of the Vistula and Bug interfluve

WSTĘP

Badania stosunków izotopów trwałych pozwalają na charakterystykę genetyczną i dynamiczną substancji, środowiska itd. (Krouse 1980, 1989; Krouse i Grinenko 1991; Krouse i Mayer 2000; Krouse i Tabatabai 1986; Jędrysek 1998). W badaniach wykorzystywane jest zjawisko efektu izotopowego, polegające między innymi na tym, że różne izotopy tego samego pierwiastka zachowują się różnie podczas reakcji chemicznych i przejść fazowych. Prowadzi to do zróżnicowania stosunków izotopowych w środowisku. Wielkość i kierunek tego zróżnicowania zależy od intensywności i charakteru procesów zachodzących w tym środowisku. Taka sama substancja, o tym samym składzie chemicznym, może być identyfikowana, bowiem będzie mogła mieć różny skład izotopowy w zależności od tego, w jaki sposób i w jakich warunkach powstała, jakiego pochodzenia były substraty, jakie procesy i jakie zjawiska modyfikowały jej skład izotopowy. Ostatecznie każde źródło substancji (naturalne czy sztuczne) ma swój charakterystyczny skład izotopowy zależny od szeregu najdrobniejszych nawet czynników. Analizy izotopowe pozwalają więc odpowiedzieć bardzo precyzyjnie na pytania o np. pochodzenie substancji, warunki środowiskowe towarzyszące powstawaniu substancji, kierunki i dynamikę migracji, przyczyny wzrostu lub spadku stężenia substancji w środowisku.

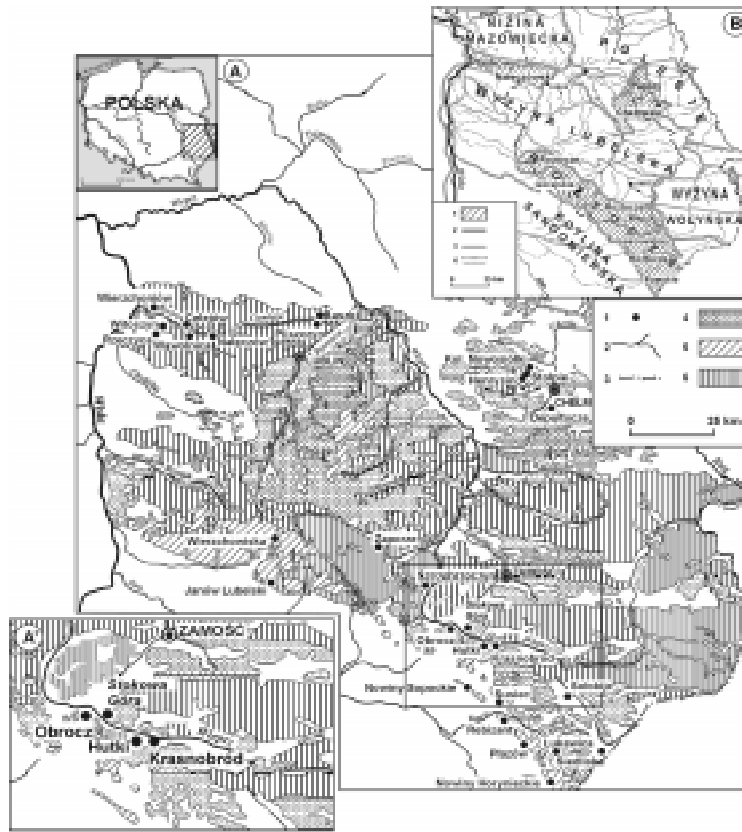
W niniejszym opracowaniu podjęto próbę oceny wpływu uwarunkowań środowiskowych na wybrane właściwości fizykochemiczne wód źródłanych niektórych regionów wschodniej części wyżyn południowopolskich. Badaniom izotopowym poddano jon siarczanowy rozpuszczony w tych wodach. Skład izotopowy siarczanu w wodach powierzchniowych i podziemnych jest dobrym wyznacznikiem w badaniach regionalnych, może stanowić również dobre narzędzie do ilościowej charakterystyki antropopresji i zagrożeń degradacji środowiska (Jędrysek 1997, 1998).

MATERIAŁ I METODY

Podstawą analizy są archiwalne dane właściwości fizykochemicznych wód źródłanych zarówno własne (z lat 1979–1982 oraz 1989–1993), jak i rezultaty innych autorów (Pondel i in. 1978; Janiec, Michalczyk 1991; Michalczyk, Wilgat 1994; Janiec 1995; Michalczyk i in. 1996; Janiec 1997; Michalczyk 2001). Najnowsze dane prezentowane w pracy (z lat 2001–2003) uzyskano w ramach realizacji projektu KBN 6PO4E01920 „Przyrodnicze uwarunkowania dynamiki obiegu wody i natężenia transportu fluwialnego w zlewni górnego Wieprza”.

Opracowaniem objęto dwadzieścia siedem źródeł (ryc. 1A), zlokalizowanych w pięciu mezoregionach (ryc. 1B), w tym po siedem źródeł – na Płaskowyżu Nałęczowskim (Wierzchoniów, Celejów, Witoszyn, Wąwolnica, Nałęczów, Pliszczyn, Baszki) i Roztoczu Tomaszowskim (Obroc, Stokowa Góra, Hutki, Krasnobród, Nowiny Sopockie, Sołokije, Susiec), pięć źródeł na Roztoczu Rawskim (Rebizanty, Siedliska, Płazów, Łukawica, Nowiny Horynieckie) i po cztery źródła w obrębie Pagórów Chełmskich (Kolonja Nowosiółki, Stołpie, Henrysin, Depułtycze) oraz Roztocza Gorajskiego (Zaporze, Szczebreszyn, Janów Lubelski, Wierzchowiska). Wysokości bezwzględne badanych źródeł wykazują dość znaczne zróżnicowanie: 130–172 m (Płaskowyż Nałęczowski), 119–218 m (Pagóry Chełmskie), 209–222 m (Roztocze Gorajskie), 230–263 m (Roztocze Tomaszowskie) i 246–320 m (Roztocze Rawskie). Źródła zasilane są z wodonośca górnokredowego.

Analizy wybranych właściwości fizykochemicznych wód wykonywano w oparciu o metody potencjometryczne, konduktometryczne, miareczkowe, fotometryczne i spektrofotometryczne, opisane w publikacjach: Markowicz, Pulina (1979), Krawczyk (1996), Świeca (1998). Analizy laboratoryjne obejmowały: oznaczanie i obliczanie stężenia jonów wapniowych i siarczanowych oraz twardości ogólnej i zasadowości ogólnej, obliczanie zawartości jonów wodorowęglanowych i magnezowych. Twardość ogólną oznaczano metodą wersenianową w obecności buforu amonowego i czerni eriochromowej jako wskaźnika. Zawartości wapnia, zasadowości i chlorków oznaczano metodami miareczkowymi, odpowiednio ze wskaźnikiem oranżu metylowego i argentometryczną. Zawartość magnezu określono z różnicy między twardością ogólną i zawartością wapnia.



Ryc. 1. Położenie źródeł na tle występowania utworów wieku kredowego i trzeciorzędowego oraz pokryw lessowych we wschodniej części wyżyn południowopolskich; 1A – Położenie badanych źródeł w górnej części dorzecza Wieprza (zestawił Świeca na podstawie *Mapy Geologicznej Polski 1:500 000*, Warszawa 1986); 1 – badane źródła; 2 – sieć rzeczna; 3 – granica państwa; 4 – opoki, gezy, opoki margliste, wapienie, kreda pizująca (kreda); 5 – wapienie, margle, iły i mułowce, miejscami zlepieńce i żwiry (trzeciorzęd); 6 – lessy i lessy spiaszczone (plejstocen); 1B – Położenie badanego obszaru na tle granic regionów i subregionów geomorfologicznych (zestawił Świeca na podstawie mapy *Regiony i subregiony geomorfologiczne* według Maruszczaka 1974); 1 – obszar badany; 2 – granice regionów geomorfologicznych; 3 – granice subregionów geomorfologicznych; 4 – działy wodne

Disposal of the springs against distribution of the Cretaceous and Tertiary covers and loess covers in the eastern part of Polish Upland; 1A – Location of the examined springs in the upper part of the Wieprz basin (compiled by Świeca on the basis of the *Mapa Geologiczna Polski <Geological Map of Poland> 1:500 000*, Warszawa 1986); 1 – examined springs; 2 – river network; 3 – state frontier; 4 – opokas, gaizes, marly opokas, limestones, chalk; 5 – limestones, marl, loam; in some places conglomerates and gravels (tertiary); 6 – loess and sandy loess (Pleistocene); 1B – Location of the examined areas against geomorphological regions and subregions (compiled by Świeca on the basis of the map *Regiony i subregiony geomorfologiczne <Geomorphological Regions and Subregions>* by Maruszczak 1974); 1 – examined areas; 2 – boundaries of geomorphological regions; 3 – boundaries of geomorphological subregions; 4 – watershed

W zakresie badań izotopowych siarczan przeprowadzany był do postaci czystych gazów (dwutlenku węgla i dwutlenku siarki) w wyniku pracochłonnych i relatywnie drogich pod względem materiałowym procesów chemicznych, z których ostatnim etapem są preparatyki w warunkach próżniowych. Analizę stosunków izotopowych spreparowanych gazów przeprowadzano przy pomocy spektrometru mas. Bliższe dane dotyczące metodyki są opisane w publikacjach: Durakiewicz i Hałas (1994), Hałas i Wołacewicz (1981), Mizutani (1971), Trembaczowski (1991). Wyniki badań składu izotopowego wyrażane są w wartościach δ przedstawiających (w promilach [‰]) względną różnicę składu izotopowego badanej próbki od przyjętego wzorca, oznaczanych odpowiednio: $\delta^{34}\text{S}$ dla siarki i $\delta^{18}\text{O}$ dla tlenu. Ujemne wartości oznaczają większy udział lekkiego izotopu.

OCENA REGIONALNEGO ZRÓŻNICOWANIA WARUNKÓW ALIMENTACJI WÓD PODZIEMNYCH DRENOWANYCH PRZEZ ANALIZOWANE ŹRÓDŁA

Na badanym obszarze w strefie aktywnej wymiany wód występują utwory kredowe, trzeciorzędowe i czwartorzędowe (ryc. 1A). Główny użytkowany poziom wodonośny występuje w zróżnicowanych pod względem litologicznym skałach górnokredowych (gezy, opoki, opoki margliste, wapienie, kreda pisząca). Wykazują one miąższości od około 350–500 m na linii Bugu do ponad 1000 m na zachód od Zamościa i około 800 m na południe od Puław (Krajewski 1995). Są to głównie skały węglanowo-krzemionkowe o znacznie zróżnicowanych właściwościach fizykochemicznych. Wody użytkowanego poziomu wodonośnego w skałach górnokredowych gromadzą się głównie w szczelinach skalnych, które łączą poszczególne odmiany litologiczne w jeden system hydrauliczny (Malinowski 1988).

Zbiornik wód górnokredowych ma charakter otwarty; zasilany jest w drodze bezpośredniej infiltracji wód opadowych do skał lub infiltracji pośredniej przez utwory trzeciorzędowe i czwartorzędowe (ryc. 1A). Zawodnione są warstwy wszystkich pięter górnej kredy. Strefa aktywnej wymiany wód wynosi od około 100 m w kredzie piszącej i miękkich marglach do około 150 m w opokach (Krajewski 1995). W zależności od charakteru litologicznego skał głębiej występujących maksymalna głębokość tej strefy wynosi do 200–300 m; niżej występuje strefa utworów słabo przepuszczalnych.

Warunki terenowe zasilania i występowania wód podziemnych w analizowanych regionach są różne (Michalczyk 2001).

Płaskowyż Nałęczowski obejmuje tereny zbudowane z serii górnokredowych skał o miąższości do 800 m, zróżnicowanych pod względem litologicznym (opoki, opoki margliste, margle), zapadających pod niewielkim kątem w kierunku północno-wschodnim. Skały te przykrywają utwory trzeciorzędowe i czwarto-

rzędowe. Pokrywa utworów czwartorzędowych jest gruba, istotną jej część stanowią lessy o miąższościach sięgających nawet ponad 20 m (Harasimiuk, Henkiel 1978).

Według Wyrwickiej (1977) obszar alimentacyjny źródeł badanych na Pagórach Chełmskich stanowi kompleks marglisty mastrychtu górnego, obejmujący opoki, margle i kredę piszącą; według Herbicha (1992) udział kredy piszącej w profilu pionowym strefy zawodnienia jest tam dominujący.

Na Roztoczu wody głównego poziomu wodonośnego alimentowane są w skałach górnokredowych bardziej zróżnicowanych pod względem wiekowym; są tam warstwy turonu, emszery, santonu, kampanu i mastrychtu. Na Roztoczu Tomaszowskim i Rawskim dominują opoki i gezy, natomiast na Roztoczu Gorajskim przeważnie opoki, często z przewarstwieniami margli.

REGIONALNE ZRÓŻNICOWANIE WŁAŚCIWOŚCI FIZYKOCHEMICZNYCH WÓD ŹRÓDLANYCH

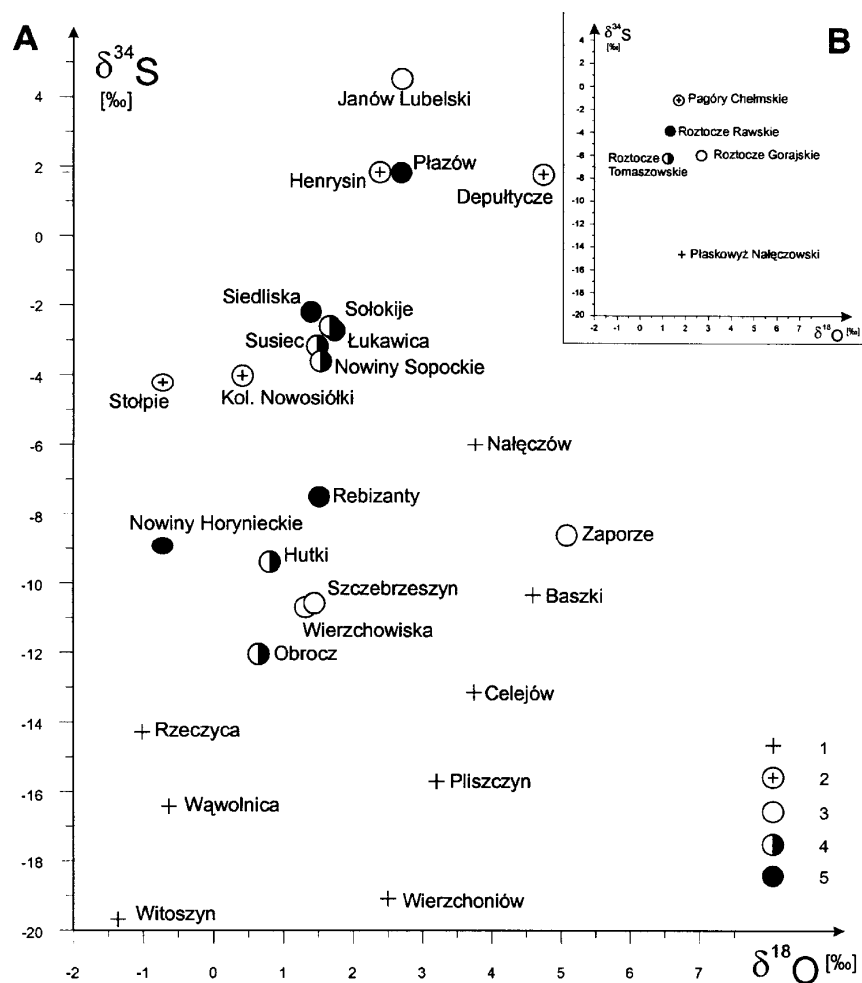
Badane źródła drenują główny poziom kwalifikowany do strefy hipergenicznej, strefy aktywnej wymiany, intensywnie zasilanej przez opady atmosferyczne. W składzie chemicznym dominują jony: wodorowęglanowy i wapniowy.

Opracowanie statystyczne wyników analiz wód źródlanych (Świeca 1998) potwierdza stosunkowo niewielką zmienność takich cech, jak mineralizacja ogólna, twardość ogólna oraz stężenia dwóch głównych jonów decydujących o charakterze wód. Współczynniki zmienności - V w % - obliczone dla tych parametrów kształtowały się w zakresach: 0,6-4,6 (mineralizacja ogólna), 2,0-4,1 (twardość ogólna), 1,3-4,3 (jon wodorowęglanowy), 1,6-3,4 (jon wapniowy). Znacznie większą zmiennością charakteryzują się pozostałe jony: siarczanowy (20,6-62,3), magnezowy (12,3-52,0), sodowy i potasowy (29,2-68,4).

Pomiary własne, a także dane zamieszczone w materiałach publikowanych (Świeca 1998; Michalczyk 2001) wskazują na znaczne zróżnicowanie przestrzenne analizowanych składników chemicznych, warunkowane charakterem litologicznym skał strefy aeracji i saturacji, a także natężeniem antropogenicznym.

Zróżnicowany przestrzennie obraz zaznaczył się również w zakresie wyników badań składu izotopowego siarki i tlenu w siarczanach. Siarczany obecne w wodach podziemnych mogą pochodzić z rozpuszczania ewaporatów, utleniania związków siarki w glebie, a także z opadów atmosferycznych. W świetle dotychczasowych wyników badań (Trembaczowski 1991) można stwierdzić, że wody rozpuszczające ewaporaty zawierają siarczany wzbogacone w cięższe izotopy siarki ($\delta^{34}\text{S} > +20\text{‰}$) i tlenu ($\delta^{18}\text{O} > +10\text{‰}$); w siarczanach z utleniania siarczków rozproszonych w skałach węglanowych $\delta^{34}\text{S}$ jest silnie ujemne, a $\delta^{18}\text{O}$ waha się najczęściej w zakresie od (-2‰) do $(+2\text{‰})$; infiltrujące siarczany atmosferyczne albo wywodzące się z siarki atmosferycznej charakteryzują: $\delta^{34}\text{S}$ od $(+3\text{‰})$ do około $(+6\text{‰})$ i $\delta^{18}\text{O}$ od $(+9\text{‰})$ do $(+19\text{‰})$.

Na międzyrzeczu Wisły i Bugu w wodach źródłanych siarczany mogą być różnego pochodzenia, tj. z utleniania siarczków rozproszonych w skałach węglanowych, a także infiltrujące siarczany atmosferyczne lub wywodzące się z siarki atmosferycznej.



Ryc. 2. A – Zależności pomiędzy wskaźnikiem $\delta^{34}\text{S}$ i $\delta^{18}\text{O}$ w siarczanach (SO_4^{2-}) wód niektórych źródeł we wschodniej części wyżyn południowopolskich; źródła położone na obszarze: 1 – Płaskowyżu Nałęczowskiego, 2 – Pagórów Chełmskich, 3 – Rostocza Gorajskiego, 4 – Rostocza Tomaszowskiego, 5 – Rostocza Rawskiego; B – Zróźnicowanie regionalne wskaźników $\delta^{34}\text{S}$ i $\delta^{18}\text{O}$ w siarczanach (SO_4^{2-}) wód badanych źródeł

A – Relationships between $\delta^{34}\text{S}$ and $\delta^{18}\text{O}$ indices in the sulphur of some spring water in the eastern part of South Polish Upland; springs situated in: 1 – the Nałęczów Plateau, 2 – the Chełm Hills, 3 – The Goraj Rostocze, 4 – the Tomaszów Rostocze, 5 – the Rawa Rostocze; B – Regional differentiation of $\delta^{34}\text{S}$ and $\delta^{18}\text{O}$ indices in the sulphur of water of the analysed springs

Obraz zależności pomiędzy wskaźnikami $\delta^{34}\text{S}$ i $\delta^{18}\text{O}$ w siarczanach wód źródłanych przedstawiony na ryc. 2B dokumentuje wyraźną odrębność wód podziemnych Płaskowyżu Nałęczowskiego. Wody tej części Wyżyny Lubelskiej wykazują podwyższone koncentracje siarczanów (Michalczyk 2001). W świetle danych z lat 1974–1996 notowano je w zakresie 12–66 mg/dm³ (tab. 1). Wyniki badań składu izotopowego wskazują na dużą rolę utleniania siarczków rozproszonych w strefie aeracji i saturacji; $\delta^{34}\text{S}$ wahała się od (–27,73‰) do (–6,00‰), a $\delta^{18}\text{O}$ notowano w przedziale od (–2,47‰) do (+5,00‰). Pozostałe analizowane parametry w wodach Płaskowyżu cechuje stosunkowo wysokie stężenia (mg/dm³): mineralizacji ogólnej (299–589), koncentracji jonów wapniowego (73–142) i wodorowęglanowego (277–444). Wyróżniają się również pod względem twardości ogólnej (5,3–8,0 mvl/dm³).

Stosunkowo wysokie wskaźniki mineralizacji ogólnej (296–415 mg/dm³) charakteryzują również wody w skałach górnokredowych, w obrębie Pagórów Chełmskich (tab. 2), gdzie udział kredy piszącej w profilu strefy zawodnienia jest dominujący. Wody wykazują niższe niż na Płaskowyżu Nałęczowskim koncentracje jonów: wapniowego (94–122) i wodorowęglanowego (259–396); mają również niższą twardość ogólną (4,9–6,4). Badania źródeł prowadzone w latach 1979–1982 (Świeca 1998) wykazały najczęściej notowane wskaźniki mineralizacji ogólnej w zakresie 350,1–360,0 mg/dm³, twardość ogólną – 5,81–6,20 mval/dm³, a stężenie jonu wapniowego – 100,1–120,0 mg/dm³. Wody Pagórów Chełmskich wyróżniają się najniższym stężeniem jonu magnezowego (najczęściej 0,00–2,50 mg/dm³).

Siarczany w wodach źródłanych w latach 1979–1982 notowano w zakresie 4,8–43,2 mg/dm³ (tab. 2). Podczas badań składu izotopowego w 1996 roku stężenie siarczanów w analizowanych źródłach wahało się od 11,1 do 19,8 mg/dm³. Analiza składu izotopowego siarczanów sugeruje większy niż w wodach Płaskowyżu Nałęczowskiego udział siarczanów genezy atmosferycznej; $\delta^{34}\text{S}$ od (–4,22‰) do (+1,85‰) i $\delta^{18}\text{O}$ od (–0,73‰) do (+4,74‰).

Zróżnicowanie cech fizykochemicznych, w tym składu izotopowego siarki i tlenu w siarczanach, wykazały również wody źródlane Roztocza (tab. 3, 4, 5).

Najbardziej zmineralizowane są one na Roztoczu Gorajskim (308–387 mg/dm³), gdzie w głównym poziomie wodonośnym przeważają opoki, ale często z przewarstwieniami margli. Zasilanie ich odbywa się pośrednio przez miąższą pokrywę węglanowych lessów, wrażliwych na ługowanie. Na podstawie wyników badań w latach 1990–1992 w Szczebrzeszynie notowano te wielkości najczęściej w przedziale 310,1–320,0 mg/dm³, przy średniej rocznej 315 mg/dm³ (Świeca 1998). Wyższą mineralizację stwierdzono w ascensyjnych źródłach w Zaporzu; średnia z czterech pomiarów wykonanych w 1992 roku wynosiła 391 mg/dm³ (pomiar dla źródła w Szczebrzeszynie wykazały w tych samych terminach 1992 roku średnią 314 mg/dm³, tzn. podobną jak średnia z lat 1989–1992). Źródła w Radeczniczy, około 2 km na SE od Zaporza, były przedmiotem badań Malinowskie-

Tab. 1. Zróżnicowanie wybranych elementów hydrochemicznych oraz składu izotopowego siarki ($\delta^{34}\text{S}$) i tlenu ($\delta^{18}\text{O}$) w siarczanach (SO_4^{2-}) wód źródłanych Płaskowyżu Nałęczowskiego
 Differentiation of selected hydrochemical components, sulphur ($\delta^{34}\text{S}$) and oxygen ($\delta^{18}\text{O}$) isotopic composition of sulphates (SO_4^{2-}) in spring waters of the Nałęczów Plateau

Subregion	Lokalizacja źródeł (m n.p.m.) Location of springs (m. a.s.l.)	Okres badań Period of studies	Wybrane elementy hydrochemiczne Selected hydrochemical components										Skład izotopowy siarki i tlenu w siarczanach Sulphur and oxygen composition of sulphates						
			Ca^{2+}		Mg^{2+}		HCO_3^-		Twardość ogólna Total hardness		Mineralizacja ogólna Solute concentration		SO_4^{2-}		$\delta^{34}\text{S}_{\text{VCDT}}$		$\delta^{18}\text{O}_{\text{VSMOW}}$		
			zakres notowań mg/l scope of research mg/l	ilość danych num- ber of meas- urement	zakres notowań mg/l scope of research mg/l	ilość danych num- ber of meas- urement	zakres notowań mg/l scope of research mg/l	ilość danych num- ber of meas- urement	zakres notowań mval/l scope of research mval/l	ilość danych num- ber of meas- urement	zakres notowań mg/l scope of research mg/l	ilość danych num- ber of meas- urement	zakres notowań mg/l scope of research mg/l	ilość danych num- ber of meas- urement	zakres notowań ‰ scope of research ‰	ilość danych num- ber of meas- urement	zakres notowań ‰ scope of research ‰	ilość danych num- ber of meas- urement	
PŁASKOWIŻ NAŁĘCZOWSKI NAŁĘCZÓW PLATEAU	Wierchoniów (130,0)	1974-76	104-109	-	16-18	-	368-414	-	6,7	-	-	-	23-41	-	-	-	-	-	
		1982	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17	1	(-19,09)	1	(+2,50)	1	
		1991	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		1996	114	-	19	-	7,2	-	-	-	-	-	25	-	-	-	-	-	-
	Celejów (140,0)	1974-76	107-112	-	15-19	-	374-444	-	6,8	-	-	-	17-28	-	-	-	-	-	-
		1982	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21-27	2	(-13,14) - (-9,74)	2	(+3,74) - (+4,87)	2	
		1991	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		1996	129	-	20	-	414	-	8,0	-	-	-	29	-	-	-	-	-	-
	Witoszyn (150,0)	1974-76	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		1983	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	44	1	(-19,68)	1	(-1,36)	1	
		1991	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		1996	116	-	10	-	299	-	6,6	-	337	-	35	-	-	-	-	-	-
	Wąwolnica (155,0)	1974-76	99-107	-	7-11	-	350-433	-	5,8	-	-	-	30	1	(-16,43)	1	(-0,64)	1	
		1982	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		1991	118	-	9	-	403	-	7,4	-	589	-	-	-	-	-	-	-	-
		1996	117-126	-	14	-	348-363	-	6,9-7,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Nałęczów (174,0)	1974-76	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		1982	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	39	1	(-6,00)	1	(+3,76)	1	
		1991	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		1996	111-142	-	15-18	-	401-418	-	7,0-8,6	-	474	-	-	-	-	-	-	-	-
	Pliszczyn (171,0)	1974-76	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		1983	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12	1	(-15,70)	1	(+3,20)	1	
		1991	73	-	21	-	305	-	5,3	-	443	-	2,7	-	-	-	-	-	-
		1996	88-120	-	18-20	-	377-402	-	6,0-7,5	-	354-408	-	17-18	-	-	-	-	-	-
	Baszki (172,0)	1974-76	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		1983	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17	1	(-10,08)	1	(+4,67)	1	
		1991	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		1996	89-97	-	10-18	-	277-354	-	5,6-6,9	-	299-381	-	19-26	-	-	-	-	-	-
PŁASKOWIŻ NAŁĘCZOWSKI		73-142	-	7-20	-	277-444	-	5,3-8,0	-	299-589	-	12-44	-	(-19,68) - (-6,00)	8	(-1,36) - (+4,87)	8		

Tab. 2. Zróżnicowanie wybranych elementów hydrochemicznych oraz składu izotopowego siarki ($\delta^{34}\text{S}$) i tlenu ($\delta^{18}\text{O}$) w siarczanach (SO_4^{2-}) wód źródłanych Pagórów Chełmskich
 Differentiation of selected hydrochemical components, sulphur ($\delta^{34}\text{S}$) and oxygen ($\delta^{18}\text{O}$) isotopic composition of sulphates (SO_4^{2-}) in spring waters of the Chełm Hills

Subregion	Lokalizacja źródeł (m n.p.m.) Location of springs (m. A.S.I.)	Okres badań Period of studies	Wybrane elementy hydrochemiczne Selected hydrochemical components										Skład izotopowy siarki i tlenu w siarczanach Sulphur and oxygen composition of sulphates					
			Ca^{2+}		Mg^{2+}		HCO_3^-		Twardość ogólna Total hardness		Mineralizacja ogólna Solute concentration		SO_4^{2-}		$\delta^{34}\text{S}_{\text{VCDT}}$		$\delta^{18}\text{O}_{\text{VSMOW}}$	
			zakres notowań mg/l scope of research mg/l	ilość danych number of measurement	zakres notowań mg/l scope of research mg/l	ilość danych number of measurement	zakres notowań mg/l scope of research mg/l	ilość danych number of measurement	zakres notowań mval/l scope of research mval/l	ilość danych number of measurement	zakres notowań mg/l scope of research mg/l	ilość danych number of measurement	zakres notowań mg/l scope of research mg/l	ilość danych number of measurement	zakres notowań ‰ scope of research ‰	ilość danych number of measurement	zakres notowań ‰ scope of research ‰	ilość danych number of measurement
PAGÓRY CHEŁMSKIE THE CHELM HILLS	Kolonia Nowosiółki (190,0)	1979–82	100–120	100	1–8	100	305–381	100	5,3–6,4	100	320–400	100	4,8–38,4	100	–	–	–	–
		1996	118	1	6	1	339	1	6,3	1	376	1	11,9	1	(–4,02)	1	(+0,41)	1
	Stolpie (195,0)	1979–82	94–108	99	0–6	99	259–336	99	4,9–5,8	99	296–341	99	4,8–31,2	99	–	–	–	–
		1996	94	1	5	1	290	1	5,3	1	311	1	14,0	1	(–4,22)	1	(–0,73)	1
	Henrysin (206,0)	1979–82	106–122	99	1–6	99	305–396	99	5,6–6,4	99	320–415	99	4,8–43,2	99	–	–	–	–
		1996	109	1	5	1	342	1	5,9	1	358	1	11,1	1	(+1,85)	1	(+2,38)	1
	Depułtycze (218,5)	1979–82	104–114	72	1–7	72	290–336	72	5,4–6,1	72	305–360	72	4,8–40,8	72	–	–	–	–
		1996	116	1	6	1	299	1	5,9	1	366	1	19,8	1	(+1,79)	1	(+4,74)	1
PAGÓRY CHEŁMSKIE			94–122	374	0–8	374	259–396	374	4,9–6,4	374	296–415	374	4,8–43,2	374	(–4,22) – (+1,85)	4	(–0,73) – (+4,74)	4

Tab. 3. Zróżnicowanie wybranych elementów hydrochemicznych oraz składu izotopowego siarki ($\delta^{34}\text{S}$) i tlenu ($\delta^{18}\text{O}$) w siarczanach (SO_4^{2-}) wód źródłanych Roztocza Gorajskiego
 Differentiation of selected hydrochemical components, sulphur ($\delta^{34}\text{S}$) and oxygen ($\delta^{18}\text{O}$) isotopic composition of sulphates (SO_4^{2-}) in spring waters of the Goraj Roztocze

Subregion	Lokalizacja źródeł (m n.p.m.) Location of springs (m. A.s.l.)	Okres badań Period of studies	Wybrane elementy hydrochemiczne Selected hydrochemical components										Skład izotopowy siarki i tlenu w siarczanach Sulphur and oxygen composition of sulphates						
			Ca^{2+}		Mg^{2+}		HCO_3^-		Twardość ogólna Total hardness		Mineralizacja ogólna Solute concentration		SO_4^{2-}		$\delta^{34}\text{S}_{\text{VCDT}}$		$\delta^{18}\text{O}_{\text{VSMOW}}$		
			zakres notowań mg/l scope of research	ilość danych num- ber of meas- urement	zakres notowań mg/l scope of research	ilość danych num- ber of meas- urement	zakres notowań mg/l scope of research	ilość danych num- ber of meas- urement	zakres notowań mval/l scope of research	ilość danych num- ber of meas- urement	zakres notowań mg/l scope of research	ilość danych num- ber of measur- ement	zakres notowań mg/l scope of research	ilość danych num- ber of meas- urement	zakres notowań ‰ scope of research ‰	ilość danych num- ber of meas- urement	zakres notowań ‰ scope of research ‰	ilość danych num- ber of meas- urement	
ROZTOCZE GORAJSKIE GORAJ ROZTOCZE	Zaporze (205, 0)	1990-92	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		1993	110	2	12-13	2	406-412	2	6,5-6,6	2	384-387	2	2,4-4,1	2	(-8,60)-(-8,49)	2	(+5,07)-(+5,08)	2	
		1998-99	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Szczepreszyn (210,0)	1990-92	85-95	59	8-13	59	293-320	59	5,1-5,6	59	308-345	59	-	-	-	-	-	-	-
		1993	87-88	2	10-11	2	305-311	2	5,2-5,3	2	308-314	2	5,7-9,0	2	(-9,67)-(-9,46)	2	(+1,35)-(+1,59)	2	
		1998-99	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Janów Lubelski (215,0)	1990	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	1	(+4,54)	1	(+2,70)	1	
		1993	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		1998-99	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Wierchowiska (222,0)	1991	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	1	(-10,57)	1	(+1,44)	1	
		1993	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		1998-99	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	ROZTOCZE GORAJSKIE		85-110	63	8-13	63	293-412	63	5,1-6,6	63	308-387	63	2,4-9,0	6	(-10,57)-(+4,54)	6	(+1,35)-(+5,08)	6	

Tab. 4. Zróżnicowanie wybranych elementów hydrochemicznych oraz składu izotopowego siarki ($\delta^{34}\text{S}$) i tlenu ($\delta^{18}\text{O}$) w siarczanach (SO_4^{2-}) wód źródłanych Roztocza Rawskiego
 Differentiation of selected hydrochemical components, sulphur ($\delta^{34}\text{S}$) and oxygen ($\delta^{18}\text{O}$) isotopic composition of sulphates (SO_4^{2-}) in spring waters of the Rawa Roztocze

Subregion	Lokalizacja źródeł (m n.p.m.) Location of springs (m. A.s.l.)	Okres badań Period of studies	Wybrane elementy hydrochemiczne Selected hydrochemical components										Skład izotopowy siarki i tlenu w siarczanach Sulphur and oxygen composition of sulphates					
			Ca^{2+}		Mg^{2+}		HCO_3^-		Twardość ogólna Total hardness		Mineralizacja ogólna Solute concentration		SO_4^{2-}		$\delta^{34}\text{S}_{\text{VCDT}}$		$\delta^{18}\text{O}_{\text{VSMOW}}$	
			zakres notowań mg/l scope of research mg/l	ilość danych num- ber of meas- urement	zakres notowań mg/l scope of research mg/l	ilość danych num- ber of meas- urement	zakres notowań mg/l scope of research mg/l	ilość danych num- ber of meas- urement	zakres notowań mval/l scope of research mval/l	ilość danych num- ber of meas- urement	zakres notowań mg/l scope of research mg/l	ilość danych num- ber of meas- urement	zakres notowań mg/l scope of research mg/l	ilość danych num- ber of meas- urement	zakres notowań ‰ scope of research ‰	ilość danych num- ber of meas- urement	zakres notowań ‰ scope of research ‰	ilość danych num- ber of meas- urement
ROZTOCZE RAWSKIE RAWA ROZTOCZE	Rebizanty (246,0)	1978	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17	1	(-7,50)	1	(+1,51)	1
		1993	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		1998-99	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Siedliska (249,0)	1978	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		1993	96	2	2-3	2	272	2	5,0-5,1	2	294-296	2	21,0-25,8	2	(-2,19)-(-2,17)	2	(+1,35)-(+1,39)	2
		1998-99	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Płazów (260,0)	1978	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15	1	(+1,84)	1	(+2,69)	1
		1993	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		1998-99	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Łukawica (287,0)	1978	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	22	1	(-4,87)	1	(+4,85)	1
		1993	90-91	2	2-4	2	241-244	2	4,7-4,9	2	289-290	2	22,0-28,8	2	(-3,30)-(-2,15)	2	(+1,37)-(+2,09)	2
		1998-99	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Nowiny Horynieckie (320,0)	1978	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	31	1	(-8,92)	1	(-0,73)	1
		1993	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		1998-99	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	ROZTOCZE RAWSKIE		90-96	4	2-4	4	241-272	4	4,7-5,1	4	289-296	4	15-31	8	(-8,92)-(+1,84)	8	(-0,73)-(+4,85)	8

Tab. 5. Zróżnicowanie wybranych elementów hydrochemicznych oraz składu izotopowego siarki ($\delta^{34}\text{S}$) i tlenu ($\delta^{18}\text{O}$) w siarczanach (SO_4^{2-}) wód źródłanych Roztocza Tomaszowskiego
Differentiation of selected hydrochemical components, sulphur ($\delta^{34}\text{S}$) and oxygen ($\delta^{18}\text{O}$) isotopic composition of sulphates (SO_4^{2-}) in spring waters of the Tomaszów Roztocze

Subregion	Lokalizacja źródeł (m n.p.m.) Location of springs (m. a.s.l.)	Okres badań Period of studies	Wybrane elementy hydrochemiczne Selected hydrochemical components										Skład izotopowy siarki i tlenu w siarczanach Sulphur and oxygen composition of sulphates					
			Ca^{2+}		Mg^{2+}		HCO_3^-		Twardość ogólna Total hardness		Mineralizacja ogólna Solute concentration		SO_4^{2-}		$\delta^{34}\text{S}_{\text{VCDT}}$		$\delta^{18}\text{O}_{\text{VSMOW}}$	
			zakres notowań mg/l scope of research mg/l	ilość danych number of meas- urement	zakres notowań mg/l scope of research mg/l	ilość danych number of meas- urement	zakres notowań mg/l scope of research mg/l	ilość danych number of meas- urement	zakres notowań mval/l scope of research mg/l	ilość danych number of meas- urement	zakres notowań mg/l scope of research mg/l	ilość danych number of meas- urement	zakres notowań mg/l scope of research mg/l	ilość danych number of meas- urement	zakres notowań ‰ scope of research ‰	ilość danych number of meas- urement	zakres notowań ‰ scope of research ‰	ilość danych number of meas- urement
ROZTOCZE TOMASZOWSKIE TOMASZÓW ROZTOCZE	Obrocz (232,5)	1989–92	78–85	79	4–10	79	232–265	79	4,4–4,9	79	259–284	79	–	–	–	–	–	–
		1993	80–82	2	6–9	2	244–247	2	4,6–4,8	2	268–270	2	18,3–20,6	2	(–12,07)–(–12,00)	2	(+0,55)–(+0,73)	2
		1998–99	70–84	7	3–10	7	226–286	7	–	–	–	–	4,8–36,3	6	(–12,30)–(–7,44)	6	(–0,16)–(+3,16)	6
	Stokowa Góra (234,0)	1989–92	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
		1993	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
		1998–99	60–76	6	2–7	6	208–272	8	3,3–4,4	6	227–275	8	11,1–30,7	6	(–9,58)–(–6,73)	6	(–0,92)–(+4,15)	6
	Hutki (252,0)	1989–92	72–77	21	4–7	21	217–229	21	4,0–4,3	21	240–246	21	–	–	–	–	–	–
		1993	73–74	2	5–7	2	220	2	4,1–4,2	2	241–246	2	20,0–20,6	2	(–9,61)–(–9,15)	2	(+0,55)–(+1,04)	2
		1998–99	64–84	6	2–10	6	214–269	8	3,5–4,6	6	239–267	8	12,5–19,6	7	(–10,39)–(–8,04)	7	(–0,80)–(+3,06)	7
	Krasnobród (261,5)	1989–92	78–84	16	3–8	16	214–244	16	4,2–4,6	16	254–275	16	–	–	–	–	–	–
		1993	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
		1998–99	76–92	6	2–10	6	225–300	8	3,8–5,0	7	264–292	8	6,7–18,0	7	(–5,73)–(–1,18)	7	(–1,67)–(+4,68)	7
	Nowiny Sopotckie (258,0)	1978	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	30	1	(–3,60)	1	(+1,53)	1
		1993	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
		1998–99	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	Solokije (259,0)	1978	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
		1993	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	21,0–28,8	2	(–2,61)–(–2,58)	2	(+1,66)–(+1,65)	2
		1998–99	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	Susiec (263,0)	1978	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	27	1	(–3,16)	1	(+1,48)	1
		1993	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
		1998–99	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	ROZTOCZE TOMASZOWSKIE		64–92	145	2–10	145	208–300	151	3,3–5,0	139	227–292	144	4,8–36,3	34	(–12,30)–(–1,18)	34	(–1,67)–(+4,68)	34

go (1973); kilka analiz z lat 1965–1967 wykazało średnią mineralizację 351 mg/dm³. Dla Rostocza Gorajskiego i południowo-zachodniej krawędzi Wyżyny Lubelskiej Janiec i Michalczyk (1986) podają dla wód kredowych mineralizację w zakresie 330–450 mg/dm³. Tak znaczne zróżnicowanie może wynikać z różnego wykształcenia utworów kredowych, charakteru i miąższości utworów pokrywowych, a być może także innych powiązań z bardziej zmineralizowanymi wodami głębszymi.

Wody kredowe Rostocza Gorajskiego w świetle wyników badań w Szczepieszynie (Świeca 1998) wyróżniają się najwyższym stężeniem jonów: wodorowęglanowego (najczęściej 300,1–320,0 mg/dm³), magnezowego (najczęściej 10,1–12,5 mg/dm³) oraz sodowego i potasowego (najczęściej 5,1–10,0 mg/dm³), a także najwyższą twardością ogólną (najwięcej 5,1–5,4 mval/dm³). Zawierają najmniej siarczanów (najczęściej 10,1–15,0 mg/dm³).

W podejmowanych próbach analiz składu izotopowego wód źródłanych tego mezoregionu stężenia siarczanów notowano w zakresie 2,4–9,0 mg/dm³, a izotopy przyjmowały wielkości: $\delta^{34}\text{S}$ od (-10,57‰) do (+4,54‰) i $\delta^{18}\text{O}$ od (+1,35‰) do (+5,08‰).

Niższą mineralizacją charakteryzują się wody Rostocza Rawskiego, z głównym poziomem wodonośnym w górnokredowych skałach typu opok i gez, gdzie zasilanie odbywa się na znacznych powierzchniach pośrednio przez wapienie oraz węglanowe piaskowce i piaski trzeciorzędowe (Świeca 1998). Według Chodorowskiej-Kwiecień i Kowalca (1977) średnia z analiz 36 próbek wód źródłanych, wykonanych w latach 1970–1972, wynosiła 294 mg/dm³. Własne wyniki dwukrotnych pomiarów z 1993 roku wykazały średnie wielkości w zakresie 289–296 mg/dm³ (tab. 5). Wody górnokredowe mają niższe stężenie jonu wapniowego (90–96 mg/dm³) i wodorowęglanowego (241–272), niższą twardość ogólną (4,7–5,1 mval/dm³). W skali całego Rostocza wyróżniają się najniższym stężeniem jonu magnezowego (2–4 mg/dm³).

W podejmowanych próbach analiz składu izotopowego w pięciu źródłach Rostocza Rawskiego w latach 1978–1993 stężenia siarczanów notowano w zakresie 15–31 mg/dm³, a skład izotopowy siarki i tlenu w siarczanach zmieniał się: $\delta^{34}\text{S}$ od (-8,92‰) do (+1,84‰) i $\delta^{18}\text{O}$ od (-0,73‰) do (+4,85‰).

Według Krajewskiego (1995) podwyższone zawartości siarczanów w wodach podziemnych południowej części niecki lubelsko-radomskiej wiążą się z emisją zanieczyszczeń pyłowych i gazowych z Lwowsko-Wołyńskiego Zagłębia Węglowego. Wydaje się, że wyniki badań izotopowych raczej by tego nie potwierdzały. Skład izotopowy tlenu siarczanów o wartościach $\delta^{18}\text{O}$ mniejszych niż +10‰ (przeciętnie mniejszy niż +5‰) sugeruje, że powstają one w środowisku wodnym (lub w glebie) w wyniku procesów utleniających organiczne lub nieorganiczne związki siarki. Mogą być to szczątki organiczne w glebie lub rozproszone siarczki uwolnione np. ze skał węglanowych. Ujemne wartości $\delta^{18}\text{O}$

Tab. 6b. Zróżnicowanie wybranych elementów hydrochemicznych oraz składu izotopowego siarki ($\delta^{34}\text{S}$) i tlenu ($\delta^{18}\text{O}$) w siarczanach (SO_4^{2-}) wód źródłanych górnej części dorzecza Wieprza
 Differentiation of selected hydrochemical components, sulphur ($\delta^{34}\text{S}$) and oxygen ($\delta^{18}\text{O}$) isotopic composition of sulphates (SO_4^{2-}) in spring waters of the upper part of the Wieprz river basin

Subregion	Lokalizacja źródeł (m n.p.m.) Location of springs (m. A.s.l.)	Okres badań Period of studies	Wybrane elementy hydrochemiczne Selected hydrochemical components										Skład izotopowy siarki i tlenu w siarczanach Sulphur and oxygen composition of sulphates					
			Ca^{2+}		Mg^{2+}		HCO_3		Twardość ogólna Total hardness		Mineralizacja ogólna Solute concentration		SO_4^{2-}		$\delta^{34}\text{S}_{\text{VCDT}}$		$\delta^{18}\text{O}_{\text{VSMOW}}$	
			zakres notowań mg/l scope of research mg/l	ilość danych number of measurement	zakres notowań mg/l scope of research mg/l	ilość danych number of measurement	zakres notowań mg/l scope of research mg/l	ilość danych number of measurement	zakres notowań mval/l scope of research mval/l	ilość danych number of measurement	zakres notowań mg/l scope of research mg/l	ilość danych number of measurement	zakres notowań mg/l scope of research mg/l	ilość danych number of measurement	zakres notowań ‰ scope of research ‰	ilość danych number of measurement	zakres notowań ‰ scope of research ‰	ilość danych number of measurement
GÓRNA CZĘŚĆ DORZECZA WIEPRZA THE UPPER PART OF THE WIEPRZ RIVER BASIN	Hutki (252,0)	27.06.01	77	1	4,4	1	223	1	4,2	1	–	–	17,7	1	(-10,77)	1	(+2,32)	1
		02.10.01	78	1	3,9	1	229	1	4,2	1	–	–	12,8	1	(-10,95)	1	(+1,66)	1
		19.12.01	80	1	3,4	1	232	1	4,4	1	–	–	22,0	1	(-8,30)	1	(+1,94)	1
		06.03.02	79	1	3,7	1	227	1	4,3	1	–	–	19,8	1	(-8,39)	1	(+1,84)	1
		18.06.02	79	1	3,4	1	226	1	4,2	1	–	–	–	–	–	–	–	–
		23.09.02	79	1	3,1	1	224	1	4,2	1	–	–	16,0	1	(-8,36)	1	(+1,59)	1
		09.12.02	77	1	3,8	1	221	1	4,2	1	–	–	20,6	1	(-3,78)	1	(+2,30)	1
		03.04.03	78	1	3,2	1	214	1	4,2	1	–	–	18,2	1	(-9,64)	1	–	–
		2001–03	77–80	8	3,1–3,9	8	214–232	8	4,2–4,4	8	–	–	12,8–22,0	7	(-10,95) – (-3,78)	7	(+1,59) – (+2,32)	6
		1993–99	64–84	8	2–10	8	214–269	10	3,5–4,6	8	239–267	10	12,5–20,6	9	(-10,39) – (-8,04)	9	(-0,80) – (+3,06)	9
	1989–92	72–77	21	3,6–7,3	21	217–229	21	4,0–4,3	21	240–246	21	16,8–38,4	21	–	–	–	–	
	Krasnobród (261,5)	27.06.01	88	1	4,5	1	238	1	4,7	1	–	–	16,6	1	(+0,55)	1	(+3,50)	1
		02.10.01	87	1	3,0	1	250	1	4,6	1	–	–	12,7	1	(-1,20)	1	(+1,89)	1
		19.12.01	88	1	2,9	1	245	1	4,7	1	–	–	13,8	1	(-1,71)	1	(+2,19)	1
		06.03.02	88	1	3,0	1	241	1	4,6	1	–	–	11,0	1	(-5,36)	1	(+2,08)	1
		18.06.02	89	1	3,4	1	242	1	4,8	1	–	–	–	–	–	–	–	–
		23.09.02	87	1	3,4	1	244	1	4,6	1	–	–	14,1	1	(-2,06)	1	(+0,85)	1
		09.12.02	85	1	4,1	1	234	1	4,6	1	–	–	17,6	1	(+0,45)	1	(+1,68)	1
		03.04.03	84	1	4,1	1	221	1	4,5	1	–	–	15,5	1	(-1,93)	1	–	–
		2001–03	84–89	8	2,9–4,5	8	221–250	8	4,5–4,8	8	–	–	11,0–17,6	7	(-5,36) – (+0,55)	7	(+0,85) – (+3,50)	6
1993–98		76–92	6	2–10	6	225–300	8	3,8–5,0	7	264–292	8	6,7–18,0	7	(-5,73) – (-1,18)	7	(-1,67) – (+4,68)	7	
1989–92	78–84	16	3,0–7,9	16	214–244	16	4,2–4,6	16	254–275	16	9,6–31,2	16	–	–	–	–		

siarczanów dowodzą, że powstały one podczas utleniania związków siarki w wodzie, z małym dostępem powietrza. Siarczany wyróżniające się lekką izotopowo siarką (ujemne wartości $\delta^{34}\text{S}$) nie mogą pochodzić z emisji pyłowych, ujemne wartości $\delta^{34}\text{S}$ są charakterystyczne dla siarczków.

Najsłabszą mineralizacją (227–292 mg/dm³) wyróżniają się wody kredowe Roztocza Tomaszowskiego. Alimentowane są one z opok i gez, które są tylko częściowo przykryte przez osady czwartorzędowe, w tym głównie przez piaski bezwęglanowe. Wyróżniają się niskim stężeniem jonu wapniowego (64–92 mg/dm³); mają małą twardość ogólną (3,3–5,0 mval/dm³).

Wyniki badań składu izotopowego w siedmiu źródłach wykazały w latach 1993–1999 koncentracje jonu siarczanowego w zakresie 4,8–36,3 mg/dm³. Skład izotopowy siarczanów charakteryzowały wielkości: $\delta^{34}\text{S}$ od (–12,30‰) do (–1,18‰) i $\delta^{18}\text{O}$ od (–1,67‰) do (+4,68‰). Wielkości skrajne w zakresach składu izotopowego $\delta^{34}\text{S}$ i $\delta^{18}\text{O}$ przytoczonej dla Roztocza Tomaszowskiego określono w wodach źródłanych (Obrocz, Stokowa Góra, Hutki, Krasnobród) położonych w zlewni górnego Wieprza. Pomiary w tych źródłach wykonane w latach 2001–2003 wykazały wielkości zasadniczo mieszczące się w powyższych przedziałach (tab. 6a, 6b). Stężenie jonu siarczanowego wahało się wówczas od 11,0 do 22,9 mg/dm³; $\delta^{34}\text{S}$ od (–13,69‰) do (+0,55‰) i $\delta^{18}\text{O}$ od (+0,85‰) do (+3,50‰). Dane składu izotopowego siarczanów w zlewni górnego Wieprza z lat 90. XX wieku i początków XXI wieku charakteryzują określone, stabilne warunki naturalne, pozostające jeszcze w minimalnym stopniu oddziaływania antropogenicznego.

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

W świetle wyników badań zaznacza się znaczne zróżnicowanie przestrzenne, wynikające z charakteru skał strefy aeracji i saturacji.

Najbardziej zmineralizowane wody (299–589 mg/dm³) występują na Płaskowyżu Nałęczowskim, gdzie w głównym poziomie wodonośnym duży udział mają opoki, opoki margliste i margle, a zasilanie odbywa się pośrednio przez miększą pokrywę czwartorzędowych lessów i trzeciorzędowych wapieni. Wody źródlane charakteryzują się największym stężeniem węglanów. Wyniki badań składu izotopowego wskazują na dużą rolę utleniania siarczków rozproszonych w strefie aeracji i saturacji; $\delta^{34}\text{S}$ wahała się od (–27,73‰) do (–6,00‰), a $\delta^{18}\text{O}$ notowano w przedziale od (–2,47‰) do (+5,00‰).

Wysokie wskaźniki mineralizacji ogólnej (296–415 mg/dm³) charakteryzują również wody w skałach górnokredowych, w obrębie Pagórów Chełmskich, gdzie udział kredy piszącej w profilu strefy zawodnienia jest dominujący. Na górnokredowych wapieniach typu kredy piszącej zalegają tam mało miększe, nieciągle pokrywy utworów czwartorzędowych. Analiza składu izotopowego siarczanów

sugeruje większy niż w wodach Płaskowyżu Nałęczowskiego udział siarczanów genezy atmosferycznej; $\delta^{34}\text{S}$ od (-4,22‰) do (+1,85‰) i $\delta^{18}\text{O}$ od (-0,73‰) do (+4,74‰).

Wody Roztocza cechują się dość znacznie zróżnicowaną mineralizacją ogólną, wykazują różny stopień koncentracji produktów dysocjacji minerałów węglanowych. Najbardziej zmineralizowane są one na Roztoczu Gorajskim (308–387 mg/dm³), gdzie w głównym poziomie wodonośnym przeważają opoki, ale często z przewarstwieniami margli zasilanie ich odbywa się pośrednio przez miąższą pokrywę węglanowych lessów, wrażliwych na ługowanie. Izotopy przyjmowały wielkości: $\delta^{34}\text{S}$ od (-10,57‰) do (+4,54‰) i $\delta^{18}\text{O}$ od (+1,35‰) do (+5,08‰).

Niższą mineralizacją (289–296 mg/dm³) charakteryzują się wody Roztocza Rawskiego, z głównym poziomem wodonośnym w górnokredowych skałach typu opok i gez, gdzie zasilanie odbywa się na znacznych powierzchniach pośrednio przez wapienie oraz węglanowe piaskowce i piaski trzeciorzędowe. Skład izotopowy siarki i tlenu w siarczanach zmieniał się: $\delta^{34}\text{S}$ od (-8,92‰) do (+1,84‰) i $\delta^{18}\text{O}$ od (-0,73‰) do (+4,85‰).

Najsłabszą mineralizacją (227–292 mg/dm³) wyróżniają się wody kredowe Roztocza Tomaszowskiego, mają one znacznie mniejsze ilości węglanów. Alimentowane są one z opok i gez, które są tylko częściowo przykryte przez osady czwartorzędowe, w tym głównie przez piaski bezwęglanowe. Skład izotopowy siarczanów charakteryzowały wielkości: $\delta^{34}\text{S}$ od (-12,30‰) do (-1,18‰) i $\delta^{18}\text{O}$ od (-1,67‰) do (+4,68‰).

LITERATURA

- Chodorowska-Kwiecień M., Kowalec B. 1977: Składniki chemiczne wód podziemnych Roztocza Rawskiego i ich tło. Biul. Geol. Uniw. Warsz., 21: 241–263.
- Durakiewicz T., Hałas S. 1994: Triple collector system for isotope ratio mass spectrometer. I. F. UMCS Report, IF UMCS Lublin, Poland: 131–132.
- Hałas S., Wołacewicz W. 1981: Direct extraction of sulfur dioxide from sulfates for isotopic analysis. Anal. Chem. 53: 685–689.
- Harasimiuk M., Henkiel A. 1978: Wpływ budowy geologicznej i rzeźby podłoża na ukształtowanie pokrywy lessowej w zachodniej części Płaskowyżu Nałęczowskiego. Annales UMCS, sec. B, 30/31(1975/1976): 55–80.
- Herbich P. 1992: Zasoby i stan zagospodarowania wód podziemnych zlewni Uherki po Rude Opalin. Archiwum Wydziału Ochrony Środowiska UW, Chełm: 62.
- Janiec B. 1995: Zróżnicowanie warunków przenikania zanieczyszczeń do wód podziemnych na Roztoczu. Prz. Geol., 43, 5: 393–398.
- Janiec B. 1997: Transformacje i translokacje jonowe w wodach naturalnych Roztocza Zachodniego. Rozpr. habilit., 57, Lublin: 214.
- Janiec B., Michalczyk Z. 1986: Charakterystyka wybranych źródeł Roztocza Zachodniego i południowego zachodniej krawędzi Wyżyny Lubelskiej. Sesja naukowa: Rozwój regionalny badań hydrogeologicznych w Polsce, Wydawnictwo AGH, Kraków: 209–215.
- Janiec B., Michalczyk Z. 1991: Wydajność i skład chemiczny wód największych źródeł Roztocza i Wyżyny Lubelskiej. [W:] Współczesne problemy hydrogeologii. Wyd. SGGW AR, Warszawa: 134–139.

- Jędrysek M. O. 1997: SO_4^{2-} as an indicator of the impact of acid rain in the urban environment. *CoGeoEnvironment Newsletter*, Intern. Union Geol. Sci., 12: 12–15.
- Jędrysek M. O. 1998: Skład izotopowy SO_4^{2-} i CH_4 jako nowy ilościowy wskaźnik antropopresji, degradacji i trofii środowisk jeziornych: model wstępny. Zagrożenia degradacyjne a ochrona jezior. *Bad. Limnol.*, 1: 73–84.
- Krajewski S. 1995: Antropogeniczne zmiany chemizmu wód podziemnych w południowej części niecki lubelskiej. *Mat. konf.*, „Współczesne problemy hydrogeologii”, 7, 1, Kraków–Krynica: 235–243.
- Krawczyk E. 1996: Manual for karst water analysis. *Intern. Journal of Speleology*, Handbook 1, Physical Speleology: 51.
- Krouse H. R. 1980: Sulphur isotopes in our environment. [W:] P. Fritz, J. Ch. Fontes (red.), *Handbook of Environmental Isotope Geochemistry*, vol. I. The Terrestrial Environment, A, Elsevier, Amsterdam, Netherlands: 435–471.
- Krouse H. R. 1989: Sulfur isotope studies of the pedosphere and biosphere, in *Ecological Studies*. [W:] P. W. Rundel, J. R. Ehleringer, K. A. Nagy (red.), *Stable Isotopes in Ecological Research*. Springer-Verlag, New York, Inc. *Ecological Studies*, 68: 422–444.
- Krouse H. R., Grinenko V. A. 1991: *Stable Isotopes: Natural and Anthropogenic Sulphur in the Environment*. SCOPE 43, John Wiley & Sons, Chichester, UK: 464.
- Krouse H. R., Mayer B. 2000: Sulphur and Oxygen Isotopes in Sulphate. [W:] P. C. Andrew, E. Herczeg (red.), *Environmental Tracers in Subsurface Hydrology*. Kluwer Academic Publishers: 195–231.
- Krouse H. R., Tabatabai M. A. 1986: Stable Sulfur Isotopes. [W:] M. A. Tabatabai (red.), *Sulfur in Agriculture*. Amer. Soc. Agron. Crop. Sci. Soc. Amer.
- Malinowski J. 1973: Charakterystyka hydrogeologiczna źródeł Roztocza Zachodniego. *Biul. Inst. Geol.*, 227: 87–106.
- Malinowski J. 1988: Hydrogeologia odpływu podziemnego Roztocza Środkowego. *Acta Univ. Wratisl.*, 964, *Prace Geol.-Mineral.*, 11, 2, Wrocław: 7–24.
- Malinowski J. 1989: Problemy wodonośności utworów kredowych niecki lubelsko-radomskiej w świetle dotychczasowych badań. *Acta Univ. Wratisl.*, 1113, *Prace Geol.-Mineral.*, 17, Wrocław: 211–223.
- Markowicz M., Pulina M. 1979: Ilościowa półmikroanaliza chemiczna wód w obszarach krasu węglowego. Uniwersytet Śląski, Katowice: 67.
- Michalczyk Z. 2001: *Źródła Wyżyny Lubelskiej i Roztocza*. Wydawnictwo UMCS, Lublin: 266.
- Michalczyk Z., Łoś M. J. 1996: Przemiany stosunków wodnych w okolicy Lublina. [W:] A. T. Jankowski, A. Kaniecki (red.), *Dziejowe przemiany stosunków wodnych na obszarach zurbanizowanych*. Poznań–Sosnowiec: 96–107.
- Michalczyk Z., Wilgat T. 1994: Wody w rejonie Roztoczańskiego Parku Narodowego. [W:] T. Wilgat (red.), *Roztoczański Park Narodowy*. Kraków: 68–81.
- Mizutani Y. 1971: An improvement in the carbon – reduction method for the oxygen isotopic analysis of sulphates. *Geochem. Journal*, 5: 69–77.
- Pondel H., Terelak H., Sadurska E. 1978: Skład chemiczny wód w dorzeczu Bystrej, Wyżyna Lubelska. *Pam. Puław.*, 70: 7–22.
- Świeca A. 1998: Wpływ czynników antropogenicznych na rzeczny odpływ roztworów i zawiesin na międzyrzeczu Wisły i Bugu. *Rozpr. habilit.*, 61, UMCS, Lublin: 326.
- Trembaczowski A. 1991: Sulphur and oxygen isotopes behaviour in sulphates of atmospheric groundwater system. *Observations and Model*. *Nordic Hydrology*, 22: 49–66.
- Wyrwicka K. 1977: Obecny stan rozpoznania i perspektywy rozwoju bazy kredowych surowców węglanowych na Wyżynie Lubelskiej. *Prz. Geol.*, 25, 12: 643–651.

SUMMARY

On the basis of data collected in different years – over the period of 1979–2003 – the physico-chemical properties of waters from 27 springs in the middle and upper parts of the Vistula and the Bug interfluvium were analysed (Fig. 1).

The study involved an analysis of the regional aspect of the differentiation of, among other things, the total mineralisation and the concentration of carbonate mineral dissociation products (elements of low variability in the time system). It allowed for the peculiarities of the geological structure of the Nałęczów Plateau, the Chełm Hills and the three mesoregions of Roztocze: the Goraj Roztocze, the Tomaszów Roztocze and the Rawa Roztocze.

In the central part of the Vistula and the Bug interfluvium, the most mineralised waters (299–589 mg/dm³) can be found in the Nałęczów Plateau (Tab. 1), where opokas, marly opokas and marls form a large part of the water-bearing horizon and the feeding, occurs via a thick cover of Quaternary loess and Tertiary limestone. Spring waters are characterised by the highest concentration of carbonates. A lower total mineralisation (296–415 mg/dm³) was observed in the spring waters of the Chełm Hills (Tab. 2), where the proportion of chalkstone in the profile of the water-logged zone of upper-Cretaceous rocks is dominant, and thin covers of Quaternary deposits overlying chalk-like upper-Cretaceous limestone can only be found in some places.

In the southern part of the interfluvium area – in Roztocze – a relatively high differentiation of the analysed parameters was established. The most highly mineralised waters (308–387 mg/dm³) were to be found in the Goraj Roztocze (Tab. 3), where opokas, frequently interbedded with marls, prevail in the main water-bearing horizon, fed via a thick cover of leaching-sensitive carbonate loess. A lower mineralization level (289–296 mg/dm³) typified the waters of the Rawa Roztocze (Tab. 4), with the main water-bearing horizon in upper-Cretaceous rocks of the opoka and gaize type, fed in vast areas via limestone, carbonate sandstone and Tertiary sands. The lowest mineralisation (227–292 mg/dm³) was observed in the Cretaceous waters of the Tomaszów Roztocze (Tab. 5) which contain considerably smaller amounts of carbonates. Their alimentation comes from opokas and gaizes, which are only partly covered by Quaternary deposits, mostly carbonate-free sands.

The study also attempted an evaluation of the isotopic composition of sulphate in spring waters (Tab. 1, 2, 3, 4, 5, 6A, 6B). The findings indicate a high differentiation of sulphate concentration in groundwaters. The isotopic composition of sulphates reflects a considerable differentiation of waters (Fig. 2). The assessment in regional terms distinguished the waters of the Nałęczów Plateau and the Chełm Hills. Results of the analysis of isotopic composition of sulphate in the springs of the Nałęczów Plateau point to a significant role of the oxidation of sulphides dispersed in the aeration and saturation zone. The analysis of the isotopic composition of sulphates in the waters of the Chełm Hills reveals a higher proportion of sulphates of atmospheric origin.