

Skład chemiczny wód podziemnych i powierzchniowych w zlewni Świerszcza (Roztoczański Park Narodowy)

Małgorzata Malata¹, Jacek Motyka¹, Bogusław Radliński²,
Agata Rogala¹, Andrzej Sokołowski²

The chemical composition of groundwater and surface water in the Świerszcz catchment area (Roztocze National Park).
Prz. Geol., 65: 1319–1328.

Abstract. The aim of the study was to evaluate the status of the aquatic environment in the Świerszcz Basin in the Roztocze National Park. Within the framework of the measuring programs (conducted in 2011–2015) we performed F2 groundwater and H1 river and indicator studies conducted in 2014–2015, chemical analyses of major cations, anions, micronutrients, and analyses of selected physical characteristics of groundwater and surface waters. Due to the exceedances of NO_3 , PO_4 , Tl , Se , Mo and Al concentrations in the water from springs and wells during the indicator surveys, it was assessed to require purification. The high levels of NO_3 and PO_4 testify to the effect of anthropoprotection, while the high content of the remaining components is most probably due to natural geochemical processes.

Keywords: Roztocze National Park, Świerszcz, chemical composition, groundwater, surface water

Roztoczański Park Narodowy jest objęty ochroną prawną (Rezerwat Biosfery UNESCO, Natura 2000), mimo to nadal może podlegać silnej antropopresji. W związku z tym niezbędny jest stały monitoring wód podziemnych i powierzchniowych. W ramach tych działań wybrano zlewnię rzeki Świerszcz, jako jeden z głównych dopływów rzeki Wieprz.

Do największych zagrożeń dla wód Roztoczańskiego Parku Narodowego należą (Bartoszewski, 2004):

- przekształcenia jakości wody w wyniku dopływu związków chemicznych, biogenów, ścieków komunalnych i innych substancji ze zlewni górnego Wieprza oraz zanieczyszczeń miejscowych rolniczych i komunalnych;
- lokalne zanieczyszczenie atmosfery pochodzące z niskiej emisji;
- degradacja torfowisk wskutek murszenia gleb organicznych na obszarach poddanych melioracjom odwadniającym;
- malejąca zasobność górnych poziomów wodonośnych;
- zaburzenie naturalnego kierunku spływu wód w z powodu melioracji przeprowadzonych w latach 60. i 70. XX w.

W ramach programów pomiarowych (prowadzonych w latach 2011–2015): „Wody podziemne – F2” oraz „Wody powierzchniowe – rzeki – H1”, Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego oraz badań wskaźnikowych (przeprowadzonych w latach 2014–2015), wykonano ocenę stopnia zmienności składu chemicznego oraz wybranych cech fizycznych wód podziemnych i powierzchniowych. Dla parametrów odznaczających się największym zróżnicowaniem dokonano analizy zmienności czasowej, która umożliwiła wskazanie cykliczności zachodzących zmian.

Celem pracy jest ocena stanu środowiska wodnego w zlewni Świerszcza w Roztoczańskim Parku Narodowym. Objęła ona charakterystykę zlewni pod kątem litologii skał podłoża, tektoniki, rzeźby terenu, warunków klimatycz-

nych, pokrycia szatą roślinną oraz czynników antropogenicznych, m.in. charakteru zagospodarowania powierzchni terenu.

OBSZAR BADAŃ

Zlewnia Świerszcza jest położona w województwie lubelskim w granicach powiatów: biłgorajskiego i zamojskiego. Obejmuje gminy Zwierzyniec, Krasnobród, Tereźpol oraz Józefów (ryc. 1). Powierzchnia zlewni wynosi 46,5 km², w tym długość samego cieką bez dopływów to 9 km. Jest ona objęta ochroną prawną, ok. 40% jej powierzchni leży w granicach Roztoczańskiego Parku Narodowego, pozostała część zawiera się w jego otulinie. Cały obszar zlewni należy do programu sieci obszarów objętych ochroną przyrody Natura 2000.

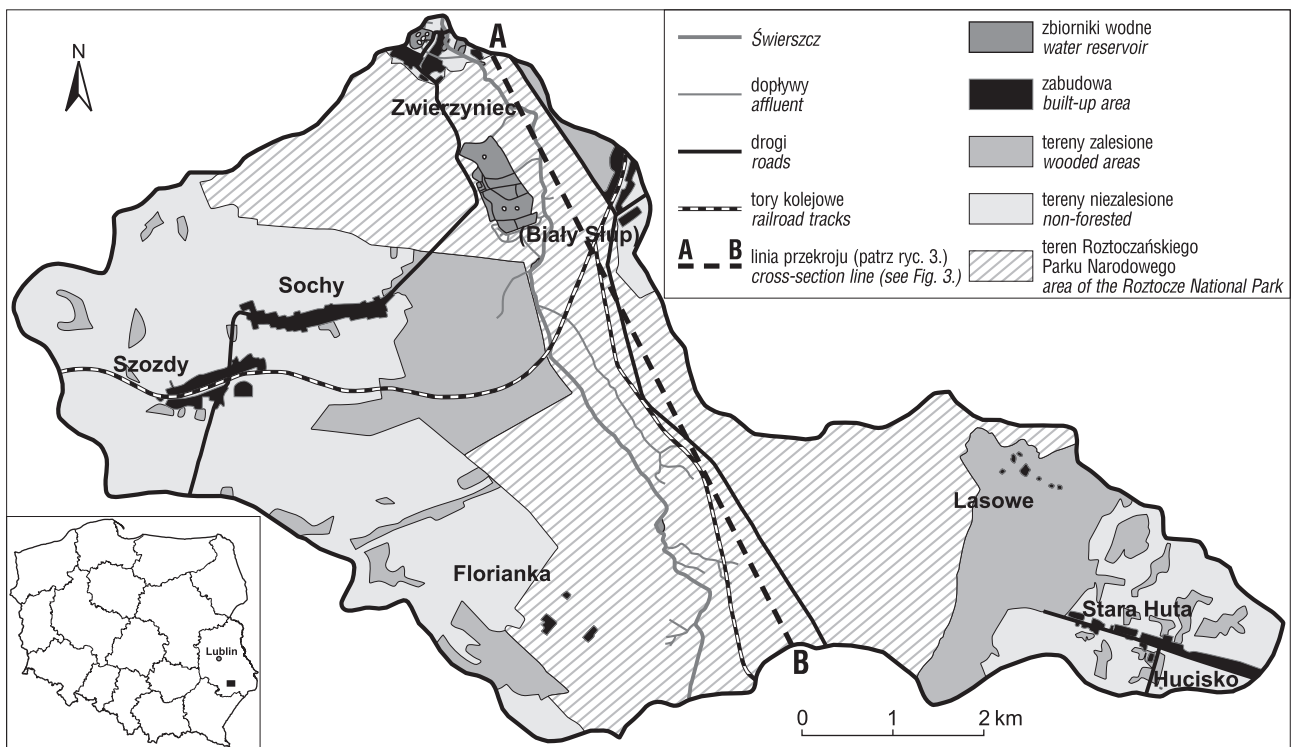
Zlewnia Świerszcza znajduje się w regionie Roztocza Szczebrzeszyńskiego oraz Roztocza Tomaszowskiego. Makroregion odznacza się klimatem umiarkowanym, przejściowym między oceanicznym a kontynentalnym, i należy do najchłodniejszego obszaru Lubelszczyzny (Kaszewski, Siwek, 2013). Roczna suma opadów wynosi 650–750 mm (średnio 700 mm), najwięcej w lipcu, natomiast najmniej w styczniu i lutym.

Świerszcz należy do cieków śródleśnych. Swój początek ma w borach bagiennych oraz torfowiskach wysokich. Tereny niezalesione stanowią ok. 36% powierzchni zlewni (ryc. 1).

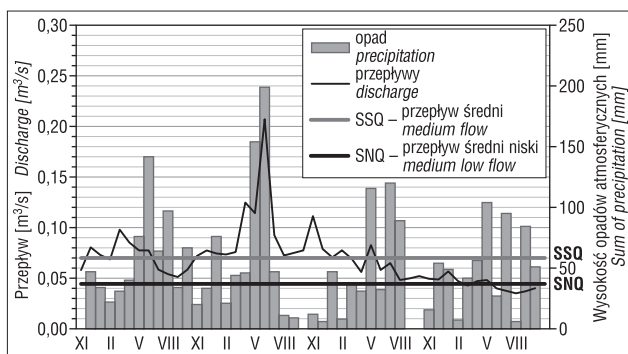
Wszystkie miejscowości na terenie badań posiadają sieć wodociągową, oprócz osad leśnych Lasowe oraz Florianka. Stopień skanalizowania jest niewielki. Sieć kanalizacyjną posiada jedynie Zwierzyniec. W niektórych gospodarstwach zostały zainstalowane przydomowe oczyszczalnie ścieków, ale ich ilość jest niewielka. Na obszarze zlewni przeważa depozycja ścieków w bezodpływowych przydomowych zbiornikach (szambach).

¹ AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Wydział Geologii Geofizyki i Ochrony Środowiska al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków; malatamalgorzata@wp.pl, motyka@agh.edu.pl.

² Roztoczański Park Narodowy, ul. Plażowa 2, 22-470 Zwierzyniec; sekretariat@roztoczanski.pn.pl.



Ryc. 1. Zagospodarowanie powierzchni terenu zlewni Świerszcza
 Fig. 1. Land use of the Świerszcz catchment area



Ryc. 2. Średnie miesięczne natężenie przepływu rzeki Świerszcz w profilu Malowany Most na tle miesięcznej sumy opadów w latach 2011–2015
 Fig. 2. Average monthly flow in the Malowany Most profile against the monthly rainfall in 2011–2015

Występuje tutaj typowo leśno-rolniczy charakter użytkowania powierzchni terenu.

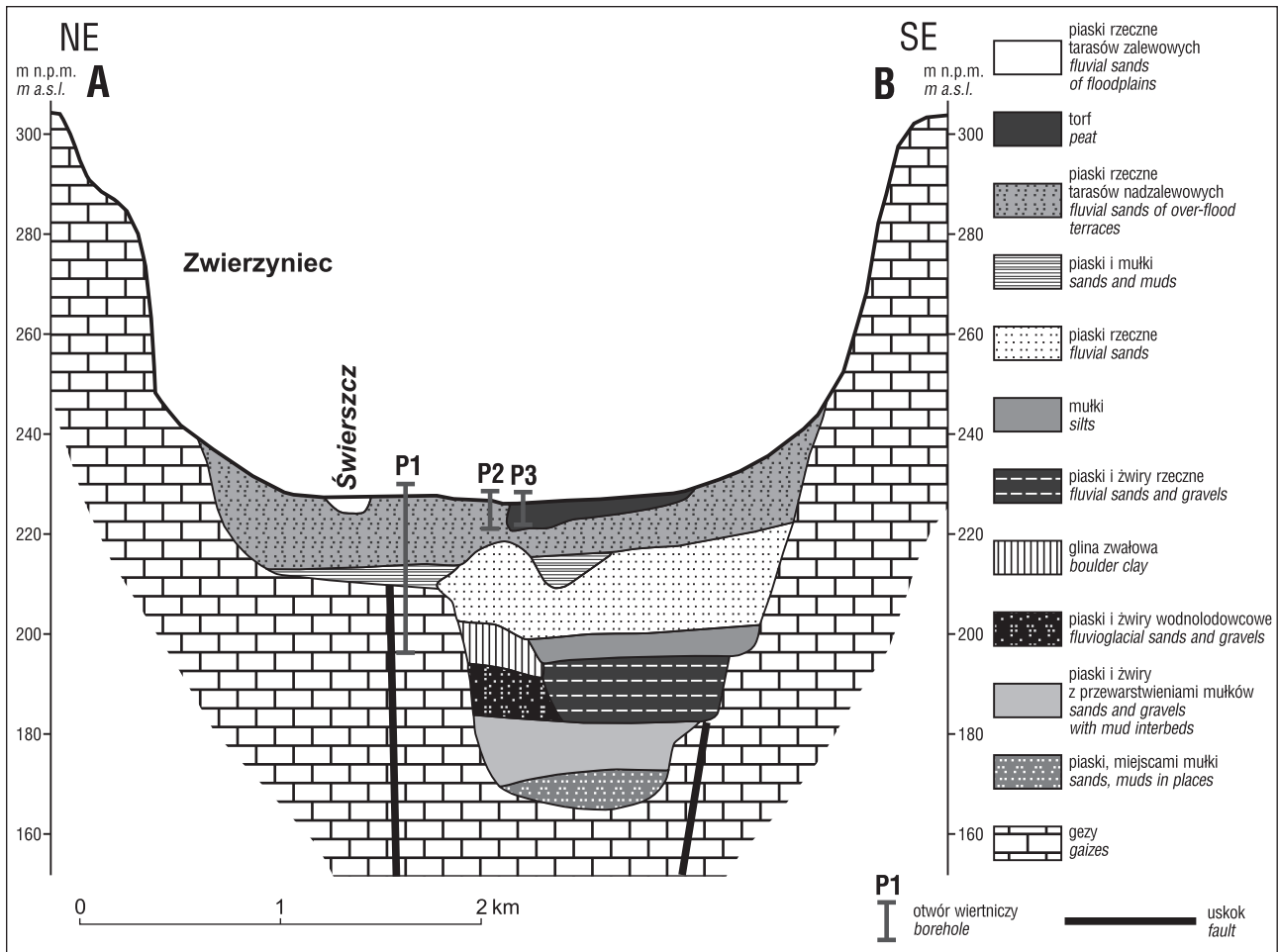
Zlewnia Świerszcza ma swoje początki w padole Zwierzynica na wysokości 250 m n.p.m. Przebiega tutaj dział wodny, który rozdziela dorzecze Wieprza od dorzecza Tanwi. Średni roczny przepływ wody w górnej części zlewni w profilu Wygoda I i Wygoda II wynosi 0,011 m³/s, a w części dolnej w profilu Malowany Most – 0,095 m³/s (Radliński i in., 2014). Poza okresami wiosennych i letnich wezbrań, przepływ wody jest wyrównany, jest to spowodowane śnieżno-deszczowym typem zasilania. Podczas okresów bezopadowych zlewnia Świerszcza jest zasilana przez wody pochodzące jedynie z kilku przykorytowych źródeł o niewielkiej wydajności. Ujście zlewni Świerszcza jest zlokalizowane na wysokości 220 m n.p.m., gdzie uchodzi do Wieprza (Grabowski i in., 2014). W górnym biegu Świerszcza występują liczne tamy i zapory wodne, co przyczyniło się do zwiększenia powierzchni obszarów

podmokłych i odtworzenia naturalnych warunków zmeliorowanego niegdys obszaru.

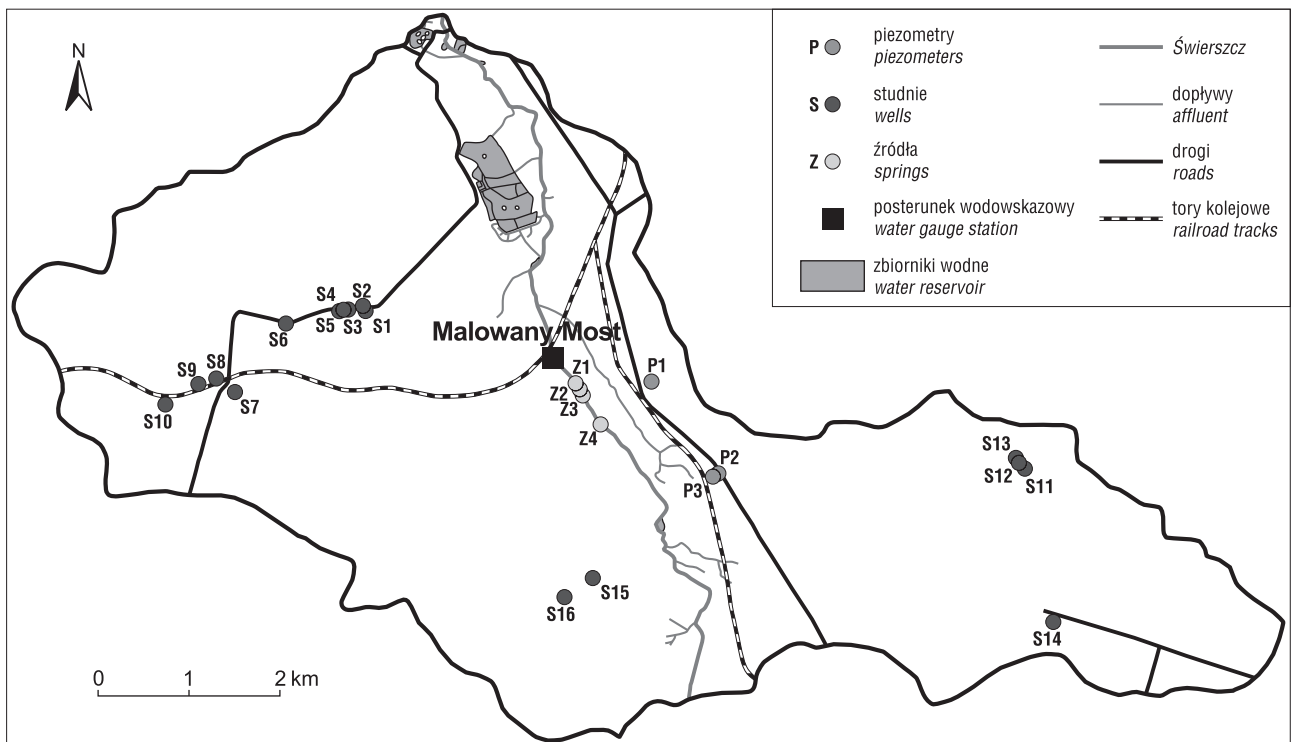
Natężenie przepływu Świerszcza jest zmienne i zależne od wysokości opadów atmosferycznych (ryc. 2). W profilu Malowany Most różnią się one między sobą w poszczególnych latach hydrologicznych. Największe przepływy zostały odnotowane w 2013 r., maksymalny przepływ dobowy wynosił 0,575 m³/s, a minimalny – 0,056 m³/s. Najmniejszymi przepływami odznaczał się rok 2015. Wtedy to wysoka temperatura i niskie opady doprowadziły do wystąpienia suszy hydrologicznej. Przepływ spadł poniżej 0,045 m³/s i jego najniższa wartość wynosiła 0,034 m³/s, a najwyższa – 120 m³/s. Średni przepływ w profilu Malowany Most w latach 2011–2015 wynosił natomiast 0,070 m³/s.

BUDOWA GEOLOGICZNA I WARUNKI HYDROGEOLOGICZNE

Największą rolę w budowie geologicznej zlewni Świerszcza odgrywają utwory kredy reprezentowane przez gezy (ryc. 3), ich miąższość wynosi 250–300 m. Osady czwartorzędu osiągają tutaj bardzo zróżnicowane miąższości (Buraczyński, 2002). W granicach zlewni w okolicach miejscowości Lasowe znajdują się piaski lodowcowe i wodnolodowcowe, zalegające bezpośrednio na gezach kredowych (ryc. 3), o miąższości ok. 1,5 m. W Dolinie Prawieprza osadziły się średnioziarniste piaski rzeczne z przewarstwieniami piasków drobnoziarnistych i mułkowatych o miąższości od 2 do 15 m. Piaski te są przykryte aluwiami od 4 do 16 m, budującymi wyższe tarasy nadzalewowe. Piaski rzeczne tarasów nadzalewowych są umiarkowanie i średnio wysortowane. W granicach zlewni występują niewielkie płyty utworów lessowatych. W sposób ciągły ciągną się one na NE od granic zlewni, a ich miąższość



Ryc. 3. Przekrój geologiczny przez zlewnię Świerszcza
 Fig. 3. Geological cross-section through the Świerszcz catchment area



Ryc. 4. Rozmieszczenie punktów badawczych
 Fig. 4. Location of research points

Tab. 1. Zawartość wybranych kationów i anionów w wodzie z piezometrów, pomiary w latach 2011–2015
Table 1. Contents of selected cations and anions in water from piezometers in 2011–2015

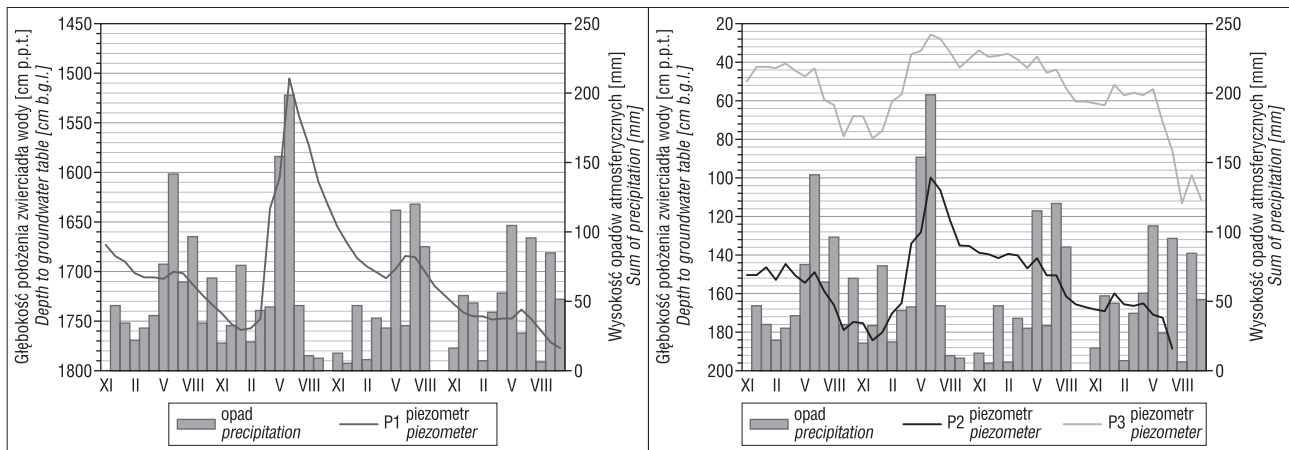
Oznaczenie punktu badawczego <i>Designation of the test point</i>	Parametr statystyczny <i>Statistical parameters</i>	Wskaźnik <i>Indicator</i> [mg/dm ³]										Typ wody <i>Water type</i>	
		Ca	Mg	K	Na	NH ₄	HCO ₃	Cl	NO ₃	SO ₄	PO ₄		
Piezometr <i>Piezometer</i>	P1	liczebność <i>population</i>	94										Ca-HCO ₃
		średnia <i>mean</i>	73,08	1,31	1,08	2,69	0,12	187,56	6,74	0,55	29,2	0,09	
		mediana <i>median</i>	73,3	1,3	1,01	2,62	0,05	187,25	6,71	0,54	29,3	0,09	
		moda <i>mode</i>	63,33	1,03	0,87	2,29	0	186,5	5,7	0,08	6,35	0	
		odchylenie standardowe <i>std. deviation</i>	3,12	0,18	0,28	0,43	0,17	2,79	1,61	0,35	4,47	0,08	
		wariancja <i>variance</i>	9,75	0,03	0,08	0,18	0,03	7,75	2,6	0,13	19,94	0,01	
		minimum <i>minimum</i>	63,33	0,99	0,68	0,52	0	178,6	1,47	0,03	6,35	0	
		maksimum <i>maximum</i>	79,61	1,98	2,62	4,13	0,92	195,3	11,54	1,73	37,53	0,3	
	P2	liczebność <i>population</i>	87										SO ₄ -Ca-Mg
		średnia <i>mean</i>	8,16	1,88	1,51	2,48	0,08	7,78	4,07	0,11	31,22	0,04	
		mediana <i>median</i>	8,23	1,83	1,46	2,35	0,06	7,3	3,68	0,03	31,02	0,01	
		moda <i>mode</i>	3,20	2,34	1,54	1,72	0	7,3	0,13	0	14,8	0	
		odchylenie standardowe <i>std. deviation</i>	2,78	0,52	0,37	1,08	0,07	3,58	1,88	0,37	6,36	0,09	
		wariancja <i>variance</i>	7,71	0,27	0,14	1,16	0,01	12,78	3,52	0,14	40,45	0,01	
		minimum <i>minimum</i>	3,2	0,69	0,97	1,24	0	0,6	0,13	0	14,8	0	
	maksimum <i>maximum</i>	17,01	3,19	3,03	11,34	0,31	23,2	9	3,38	42,04	0,49		
	P3	liczebność <i>population</i>	89										Ca-HCO ₃ -SO ₄ -Cl
		średnia <i>mean</i>	6,1	0,48	0,74	0,88	0,2	6,37	2,22	0,1	4,49	0,07	
		mediana <i>median</i>	5,62	0,39	0,43	0,86	0,11	5,8	1,77	0,02	1,66	0,02	
		moda <i>mode</i>	1,05	0,31	0,36	0,68	0,03	0	0,35	0,01	0,52	0,01	
		odchylenie standardowe <i>std. deviation</i>	3,05	0,29	0,96	0,3	0,28	6,36	1,46	0,41	7,15	0,2	
		wariancja <i>variance</i>	9,31	0,08	0,92	0,09	0,08	40,48	2,14	0,17	51,05	0,04	
		minimum <i>minimum</i>	1,05	0,13	0,1	0,28	0	0	0,35	0	0,19	0	
		maksimum <i>maximum</i>	16,8	1,99	7,48	1,84	1,8	40,3	6,43	3,57	36,58	1,35	

dochodzi do 20 m. Doliny denudacyjne oraz zrównania dolinne wypełniają piaski deluwialno-eoliczne stokowe i dolinne. Osady te to różnoziarniste piaski przewarstwione piaskami pylastymi z domieszką żwirów, występujące powszechnie w granicach zlewni Świerszcza. Miąższość tych osadów waha się od 1–2 m, dochodząc do 20 m (Popielski, 1992; Kurkowski, 1993).

Zlewnia Świerszcza to obszar o znacznym zróżnicowaniu tektonicznym, występują tutaj liczne dyslokacje (Buraczyński, 2002). Buduje ją synklina utworów kredy

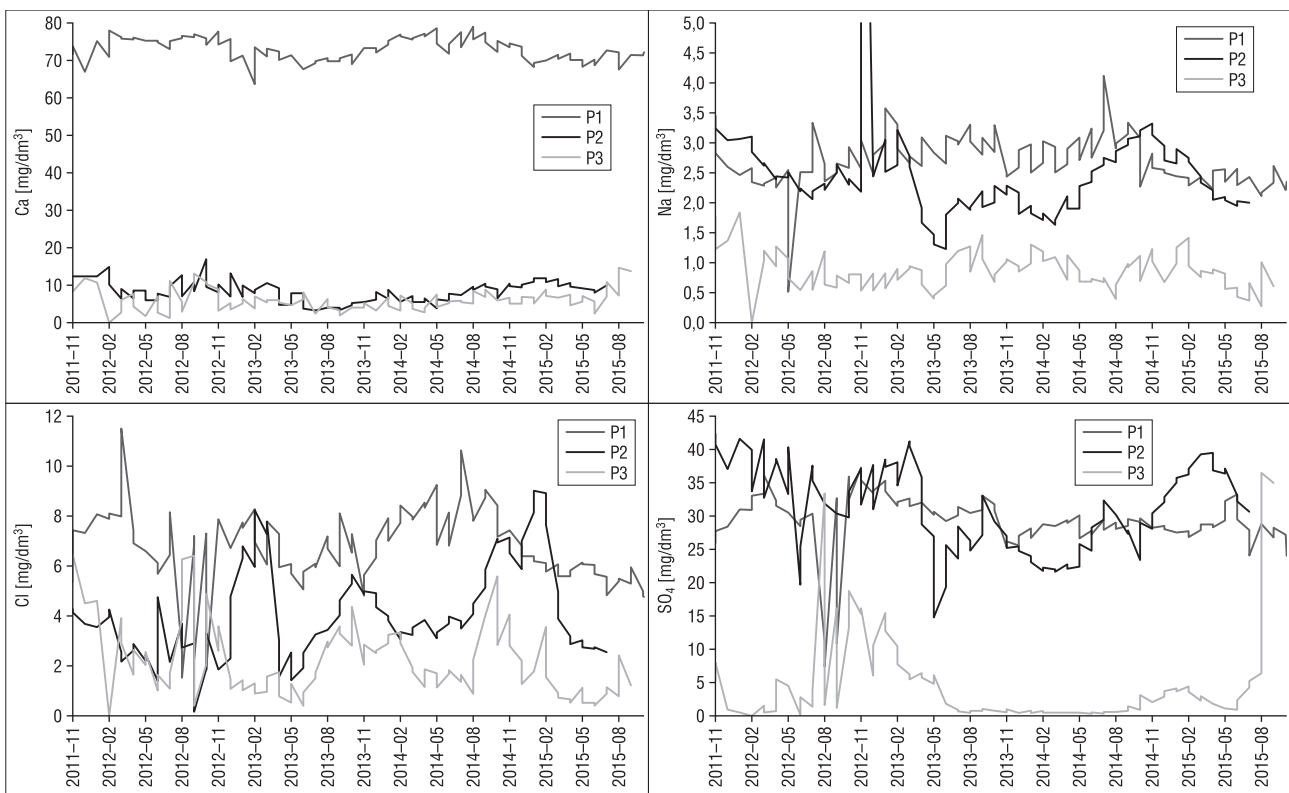
(Popielski, 1992; Kurkowski, 1993). Liczne uskoki i spękania tworzą tu swoistą sieć drenażu, gdzie zachodzi skoncentrowany przepływ wód podziemnych (ryc. 3). Dużą rolę w ich przepływie odgrywają także spękania ciosowe oraz szczeliny typu wietrzeniowego.

Według regionalizacji hydrogeologicznej Polski (Paczyński, Sadurski, 2007) zlewnia Świerszcza należy do prowincji wyżynnej Wisły, regionu lubelsko-radomskiego VII, subregionu środkowo-wschodniej Wisły. Obszar zlewni jest położony w obrębie porowo-szczelinowego



Ryc. 5. Średnia miesięczna głębokość położenia zwierciadła wody w piezometrach P1, P2, P3 na tle miesięcznej sumy opadów w latach 2011–2015

Fig. 5. Average monthly depth of the water table in piezometers P1, P2, P3 against the monthly rainfall in 2011–2015



Ryc. 6. Zmiany stężenia Ca, Na, Cl oraz SO_4 w wodzie z piezometru P1, P2 oraz P3 w ciągu lat 2011–2015

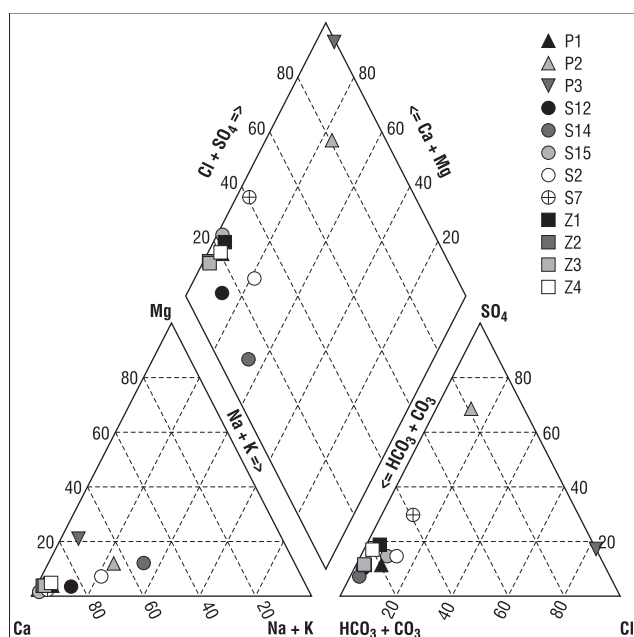
Fig. 6. Changes in the concentration of Ca, Na, Cl and SO_4 in water from piezometers P1, P2 and P3 in 2011–2015

kredowego zbiornika Niecki Lubelskiej. Znajdują się tutaj dwa Główne Zbiorniki Wód Podziemnych (GZWP) (Kleczkowski, 1990) – 406 „Lublin” oraz 407 „Zamość–Chełm”. Analizowany obszar leży w granicach jednolitej części wód podziemnych JCWPd 90. Główny użytkowy poziom wodonośny stanowią silnie spękane utwory kredy. Wody w nich występujące pozostają w łączności hydraulicznej z wodami utworów czwartorzędowych, tworząc wspólne kredowo-czwartorzędowe piętro wodonośne (Belcarz-Rolewska, 1998). Średnia miąższość kredowej warstwy wodonośnej to ok. 90 m. Zwierciadło wód podziemnych jest położone na głębokości od 0 (przy korycie Świerszcza) do 40 m (na wierzchołkach). Wydajność potencjalna studni mieści się najczęściej w przedziale

30–50 m^3/h oraz 10–30 m^3/h , przy czym w strefie rowu tektonicznego może przekraczać 70 m^3/h (Belcarz-Rolewska, 1998). Średnia miąższość czwartorzędowej warstwy wodonośnej sięga 20 m. Zwierciadło wód podziemnych jest położone na głębokości 15–50 m. Wydajność potencjalna studni poziomu czwartorzędowego jest niewielka i wynosi 2,5–40 m^3/h (Belcarz-Rolewska, 1998).

METODY BADAŃ

W skład sieci programu pomiarowego „Wody podziemne – F2” wchodzi trzy piezometry. Głębokość piezometru P1, ujmującego wodę z utworów kredowych (gezy), wynosi 28,5 m. Pozostałe dwa piezometry ujmują wodę w



Ryc. 7. Diagram Piper dla wód w punktach badawczych
Fig. 7. Piper Diagram for waters at test points

Tab. 2. Wyniki terenowe badań wskaźnikowych oraz typy hydrogeochemiczne wód podziemnych

Table 2. Results of field indicator surveys and the hydrogeochemical types of groundwater

Oznaczenie punktu Points	Głębokość do zwierciadła [cm p.p.t.] Depth to groundwater table [cm b.g.s.]	pH	PEW [μS/cm]	Typ wód Water Type
P1	1770	7,47	363	Ca-HCO ₃
P2	–	5,49	77,3	SO ₄ -HCO ₃ -Ca-Na
P3	98	4,53	28,9	Cl-SO ₄ -Ca-Mg
Z1	0	6,87	223	Ca-HCO ₃ -SO ₄
Z2	0	7,25	380	Ca-HCO ₃
Z3	0	7,30	336	Ca-HCO ₃
Z4	0	7,13	224	Ca-HCO ₃ -SO ₄
S2	535	7,31	447	HCO ₃ -Ca
S7	1905	7,67	326	Ca-HCO ₃ -SO ₄
S12	450	7,42	158	HCO ₃ -Ca
S14	305	7,06	94	HCO ₃ -Ca-K
S15	720	7,59	–	Ca-HCO ₃

PEW – przewodność elektrolityczna właściwa / electrolytic conductivity of water

utworach czwartorzędowych: P2 z piasków na głębokości 6 m oraz P3 z torfów na 4 m (ryc. 3 i 4). Program pomiarowy „Wody powierzchniowe – rzeki – H1” obejmował ciek bez dopływów do profilu Malowany Most. W czasie programu „Wody podziemne – F2” raz na miesiąc prowadzono pomiary głębokości poziomu zwierciadła wody w piezometrach. Kolejno za pomocą pomp przenośnych wykonywano pompowanie oczyszczające. Pobór próbek wody do analiz fizykochemicznych odbywał się dwa razy w miesiącu. Program „H1 rzeki” obejmował pomiary natężenia przepływu i analizy chemiczne dla punktu wodowskazowego. Badania wskaźnikowe w latach 2014–2015 polegały na inwentaryzacji 16 studni gospodarskich (w tym trzy okazały się czynne stale, jedna okresowo), trzech piezometrów (P1, P2, P3), oraz czterech źródeł

przykorytowych (ryc. 4). Prowadzono pomiary głębokości położenia zwierciadła wodnego w studniach i piezometrach, odczynu oraz przewodności elektrolitycznej właściwej (PEW), kolejno pobierano próbki do analiz fizykochemicznych. Badania laboratoryjne wykonano w laboratorium Stacji Bazowej ZMŚP Roztocze, a w laboratorium AGH w Krakowie w latach 2014–2015 wykonano analizy stężeń głównych kationów, anionów oraz pierwiastków śladowych.

W ramach programu pomiarowego „Wody podziemne – F2” w latach 2011–2015 przeprowadzono 269 analiz chemicznych próbek wód z piezometrów P1, P2 oraz P3 (tab. 1). Wody badano pod kątem głównych kationów oraz anionów występujących powszechnie w środowisku, które nie jest znacząco przekształcone przez człowieka. Analiza głównych kationów obejmowała stężenia: Ca, Mg, K, NH₄ oraz anionów: HCO₃, Cl, NO₃, SO₄ oraz PO₄.

W celu oceny wskaźnikowej jakości wód podziemnych w wybranych punktach z obszaru zlewni Świerszcza wykorzystano wartości graniczne, które zostały podane w załączniku do Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 21 grudnia 2015 r. w sprawie kryteriów i sposobu oceny stanu jednolitych części wód podziemnych (Rozporządzenie MŚ, 2015). Dodatkowo dokonano oceny wód na podstawie Rozporządzenia Ministra Zdrowia z dnia 13 listopada 2015 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi (Rozporządzenie MZ, 2015).

WYNIKI BADAŃ

Według klasyfikacji Szczukariewa-Prikłonskiego (Macioszczyk, 1987) wody z piezometru P1 reprezentowały typ hydrogeochemiczny Ca-HCO₃; P2 – SO₄-Ca-Mg; P3 – Ca-HCO₃-SO₄-Cl (tab. 1).

W latach 2011–2015 analizowano dynamikę zmiany położenia zwierciadła wody w piezometrach względem zasilania infiltracyjnego (ryc. 5). Maksymalna średnia miesięczna głębokość położenia zwierciadła wody w piezometrze P1 wyniosła 17,77 m, z kolei minimalna 15,05 m. Amplituda wahań stanów wody z okresu 2011–2015 osiągnęła 0,03 m i była ściśle zależna od wysokości średnich miesięcznych głębokości położenia zwierciadła wody wskazuje zarówno na bardzo łatwe uzupełnianie zasobów warstwy wodonośnej, jak i na równie szybki odpływ wód podziemnych.

Maksymalna średnia miesięczna głębokość położenia zwierciadła wody w piezometrze P2 kształtowała się na poziomie 18,8 m, natomiast minimalna 1 m. Amplituda wahań stanów wody z okresu 2011–2015 wyniosła 88 cm. W przypadku piezometru P3 maksymalna miesięczna głębokość położenia zwierciadła wody to 1,13 m, a minimalna 0,25 m. Amplituda wahań to 0,88 m.

Wahania położenia zwierciadła wody w piezometrze P2 oraz P3 są znacznie mniejsze niż w przypadku piezometru P1. Wynika to z różnej lokalizacji piezometrów. Wody podziemne w strefie drenażu wykazują bowiem dużo mniejsze wahania niż te występujące w strefie zasilania

Tab. 3. Skład chemiczny badanych wód w stosunku do wartości tła hydrogeochemicznego (zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska, 2016)**Table 3.** Chemical constituents of tested waters relative to hydrogeochemical background values (according to the Regulation of the Minister of Environment, 2016)

Wskaźnik Indicator	Jednostka Unit	Oznaczenie punktu badawczego / Designation of the test point											Tło hydrogeochemiczne Hydrogeochemical background	
		P1	P2	P3	Z1	Z2	Z3	Z4	S2	S7	S12	S14		S15
Jony główne / Main ions	Ca	79,09	8,89	4,7	41,29	81,49	73,15	45,23	54,71	69,66	17,68	5,59	95,23	2–200
	Mg	2,17	1,03	0,83	1,3	2,09	1,9	1,53	3,39	1,13	0,46	0,77	1,06	0,5–30
	K	3,85	1,56	0,25	0,9	0,76	0,79	0,74	12,1	1,11	3,26	5,35	0,76	0,5–10
	Na	3,06	2,75	0,31	1,64	1,51	1,85	2,12	11,67	3,23	1,08	0,92	1,81	1–60
	NH ₄	–	–	–	<0,001	0,02	<0,001	<0,001	–	<0,01	–	–	–	0–1
	HCO ₃	235,1	7,8	–	117,5	229,8	206,3	125,4	138,4	96,6	91,4	60,1	141,1	60–360
	Cl	15,42	3,01	8,51	4,25	4,61	3,91	2,84	14,35	10,64	1,96	1,31	10,44	2–60
	NO ₃	–	–	–	4,7	6,7	5,9	1,6	–	55,4	–	–	–	0–5
	SO ₄	27,43	22,51	2,43	23	24,5	22,3	21,3	22,3	38,6	8,5	3,9	21,5	5–60
	PO ₄	0,22	0,16	0,28	0,08	0,25	0,19	0,25	7,22	0,41	0,58	0,35	0,1	0,01–1,0
Mikroskładniki / Micronutrients	Fe	16	286	7884	8	1	<1	132	10	2	90	3404	444	20–5000
	Al	12,2	14,2	165	52	3	<1	5	2	8	76	3671	<1	50–100
	Ba	6,19	7,76	35,7	9	19	19	16	20	71	<1	<1	<1	10–300
	Mn	3	51	71	1	2	1	6	2	6	3	14	30	10–400
	Zn	<1	2	32	<1	<1	<1	<1	<1	17	<1	1	73	5–50
	Cu	<1	<1	1	<1	<1	<1	<1	1	<1	<1	2	1	1–20
	Pb	<1	<1	1,29	<1	3	<1	<1	1	<1	4	<1	8	1–10
	Ni	1	1	7,5	<1	<1	<1	<1	2	1	2	7	3	1–5
	Co	<1	<1	1,65	<1	1	<1	2	<1	<1	<1	1	<1	0–1
	As	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	21	16	<1	<1	0,05–20
	Tl	<1	<1	<1	<1	2	6	5	10	67	1	5	<1	0–0,01
	V	<1	<1	<1	1	4	3	4	3	7	<1	8	<1	0,006–4
	Mo	<1	<1	<1	38	16	9	5	13	4	5	3	12	0–3
	Cd	<0,01	<0,01	0,05	<0,01	<0,01	<0,01	1	<0,01	<0,01	<0,01	1	<0,01	0,01–0,05
	B	24,2	21,1	15,2	68	60	55	57	62	19	8	7	28	10–500
	Sn	0,08	0,05	0,19	9	12	7	11	7	32	5	1	15	0–20
	Cr	<1	<1	<1	1	1	1	<1	1	<1	5	8	4	0,1–10
	Ti	<1	2,22	5,03	2	1	1	1	<1	1	3	94	<1	0–10
	Sb	1,36	1,27	0,93	10	<0,01	16	15	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	14	0–10
	Be	14,1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	0–0,5
	Hg	1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	1	<1	<1	<1	<1	0,05–1
	Se	<1	<1	<1	98	68	65	<1	391	<1	714	668	210	0,01–5
Ag	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	2	<1	<1	<1	<1	0–1	
U	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	2	<1	5	14	4	0,003–3	

(Michalczyk, 1998). Korelacja krzywych głębokości położenia zwierciadła wód podziemnych w piezometrze P1 oraz P2 i P3 dowodzi natomiast istnienia łączności hydraulicznej ujmowanych warstw wodonośnych.

Najwyższą zmiennością odznacza się stężenie Ca, Na, Cl oraz SO₄ (ryc. 6). Świadczą o tym miary rozrzutu, m.in. odchylenie standardowe stężeń tych składników (tab. 1). Najwyższe stężenia Ca, Na, Cl ma woda z piezometru P1. Najniższe stężenia jonów Na i Cl cechuje wodę z piezometru P3. Największymi wahaniami względem stężeń Ca, Na, Cl oraz SO₄ wyróżniała się woda z piezometru P2. Zaburzenia stabilności stężeń jonów miało miejsce w półroczu zimowym, na początku i końcu okresu obserwacyjnego.

Najmniejszymi wahaniami ww. jonów odznaczała się woda z piezometru P1, a więc z piętra kredowego. Woda z piezometru P2 miała silnie wyczuwalny zapach siarkowodoru, co wskazuje na redukcyjne warunki środowiska wód podziemnych oraz duże nagromadzenie substancji organicznej w podłożu glebowym.

W latach 2014–2015 pobrano próbki wody z trzech piezometrów (P1, P2, P3), źródeł przykorytowych oraz studni gospodarskich (ryc. 4). Rozszerzone analizy tych próbek wykonano w AGH w Krakowie. Według podziału na typy hydrochemiczne Szczukariewa-Prikłonskiego (Macioszczyk 1987), wśród zbadanych próbek wody przeważa woda o typie Ca–HCO₃, Ca–HCO₃–SO₄ oraz

Tab. 4. Klasyfikacja jakości oraz ocena stanu chemicznego wód podziemnych w układzie punktowym (wg Rozporządzenia Ministra Środowiska, 2015)**Table 4.** Classification of groundwater quality and assessment of groundwater chemical status in a point configuration (according to Environment Ministry Regulation, 2015)

Oznaczenie punktu Points	Klasy jakości oraz wskaźniki decydujące Quality class and determining indicators	Stan chemiczny Chemical status
P1	I (Ca, HCO ₃ , Be – II klasa)	dobry / good
P2	I (Fe, Mn – II klasa; pH – IV klasa)	dobry / good
P3	III (Al, Mn – II klasa; pH, Fe – IV klasa)	dobry / good
Z1	V (Ca – II klasa; Sb – IV klasa; Mo, Se – V klasa)	słaby / poor
Z2	V (Ca, HCO ₃ , Tl, Mo – II klasa; Se – V klasa)	słaby / poor
Z3	V (Ca, HCO ₃ , Tl, Mo – II klasa; Sb – IV klasa; Se – V klasa)	słaby / poor
Z4	IV (Tl, Mo – II klasa; Sb – IV klasa)	słaby / poor
S2	V (Ca, Tl, Mo, Ag – II klasa; K – III klasa; Se, PO ₄ – V klasa)	słaby / poor
S7	IV (Ca, V, Mo, Sn – II klasa; Tl, NO ₃ – IV klasa)	słaby / poor
S12	V (Mo – II klasa; As, PO ₄ – III klasa; Se – V klasa)	słaby / poor
S14	V (Ni, Tl, V – V klasa; Fe, Ti, U – III klasa; Se, Al – V klasa)	słaby / poor
S15	V (Ca, Zn, Mo – II klasa; Sb – IV klasa; Se – V klasa)	słaby / poor

Tab. 5. Przekroczenia dopuszczalnych zakresów wartości dla wód przeznaczonych do spożycia przez ludzi (zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Zdrowia, 2015)**Table 5.** Exceedances of threshold values for water intended for human consumption (according to the Resolution of the Minister of Health, 2015)

Wskaźnik Indicator	Jednostka Unit	Dopuszczalny zakres (granica) Permissible level (limit)	Przekroczenia dopuszczalnego zakresu (oznaczenie punktu, wartość) Exceedances of the permissible level (point, value)
pH		6,5–9,5	P2 (5,49); P3 (4,53)
NO ₃		50	S7 (55,4)
Fe		0,2	P2 (0,286); P3 (7,884); S14 (3,404); S15 (0,444)
Al		0,2	S14 (3,671)
Mn	mg/dm ³	0,05	P2 (0,051); P3 (0,071)
As		0,01	S7 (0,021); S12 (0,016)
Sb		0,005	Z1 (0,01); Z3 (0,016); Z4 (0,015); S15 (0,014)
Se		0,01	Z1 (0,098); Z2 (0,068); Z3 (0,065); S2 (0,391); S12 (0,714); S14 (0,668); S15 (0,21)

HCO₃–Ca (ryc. 7). W przypadku wody z punktu P2 i P3 jej skład chemiczny jest bardziej złożony. Jest to odpowiednio woda o typie SO₄–HCO₃–Ca–Na oraz Cl–SO₄–Ca–Mg (ryc. 7). Położenie zwierciadła wód podziemnych w punktach, z których została pobrana woda, wahała się od 19,05 m w jednej ze studni do 0 m przy źródłach przykorytowych (tab. 2).

Występowanie I klasy jakości wody zostało stwierdzone jedynie w punkcie P1 oraz P2, co świadczy o jej dobrym stanie chemicznym. Woda w punkcie P3 należy do III klasy jakości wody ze względu na stężenie Fe oraz wartość pH, a jej stan chemiczny można określić jako dobry. Woda z pozostałych punktów pomiarowych należy do IV i V klasy jakości. Świadczy to o jej słabym stanie chemicznym (tab. 3 i 4). Biorąc pod uwagę Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 13 listopada 2015 r. w sprawie jakości

wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi (Rozporządzenie MZ, 2015), woda w żadnym z punktów nie spełnia wymagań chemicznych w nim zawartych (tab. 5).

Do programu pomiarowego „Wody powierzchniowe – rzeki – H1” wchodzi profil wodowskazowy Malowany Most. W latach 2011–2015 przeprowadzono w nim 219 analiz składu chemicznego wody, wg podziału Szczukariewa-Prikołńskiego wyodrębniono typ hydrogeochemiczny (Macioszczyk, 1987) Ca–HCO₃ (tab. 6).

DYSKUSJA WYNIKÓW

Wpływ na skład chemiczny zbadanych próbek wody miała przede wszystkim litologia warstwy wodonośnej oraz głębokość do zwierciadła wody, na co wskazują wyniki badań fizykochemicznych z otworów studziennych i piezometrów. W przypadku podniesienia się poziomu zwierciadła wody następował spadek stężenia poszczególnych składników, w wyniku rozcieńczenia przez niskomineralizowane wody opadowe. Istotna jest również łączność hydrauliczna wód piętra kredowego oraz czwartorzędowego, w wyniku której następuje mieszanie się wód występujących w utworach skalnych o różnych właściwościach (tab. 3, ryc. 7). Wpływ działalności człowieka można natomiast przypisać zmianom stężenia azotanów i chlorków. Wzrost ich stężenia jest obserwowany w czasie półroczy zimowych, co biorąc pod uwagę bliskość drogi powiatowej, może wskazywać na przesączanie się do wód soli drogowej. Zmiany natężenia przepływu na wodowskazie wskazują na śnieżno-deszczowy reżim rzeki. W efekcie największe natężenie przepływu jest obserwowane podczas wiosennych roztopów oraz letnich opadów.

Woda z piezometrów różniła się odczynem – od słabo zasadowego (P1), słabo kwaśnego (P2) do kwaśnego (P3). Środowisko kwaśne tworzą torfy składające z nagromadzenia materii organicznej, piasków oraz kredy jeziornej w spągowej części. Torf przesycony kwasami humusowymi powoduje zakwaszanie wody oraz mobilność metali ciężkich, m.in. Fe, Mn, co zaznacza się w ich wyższych stężeniach (tab. 3 i 5).

Tab. 6. Wyniki oznaczeń zawartości wybranych kationów i anionów w wodzie w profilu wodowskazowym Malowany Most
Table 6. Contents of selected anionic and cations in water in the watermark profile of the Malowany Most

Oznaczenie punktu Points	Parametr statystyczny Statistical parameters	Wskaźnik / Indicator [mg/dm ³]										Typ wody Water type
		Ca	Mg	K	Na	NH ₄	HCO ₃	Cl	NO ₃	SO ₄	PO ₄	
Profil wodowskazowy „Malowany Most” Watermark profile “Malowany Most”	liczebność population	219										Ca-HCO ₃
	średnia mean	50,14	1,25	1,12	2,48	0,25	141,91	3,43	1,32	16,94	0,06	
	mediana median	52,32	1,24	1,04	2,46	0,17	148,9	3,41	1,32	17,05	0,04	
	moda mode	44,96	1,18	1,01	2,39	0,07	148,9	2,59	1,47	18,07	0	
	odchylenie standardowe std. deviation	8,15	0,25	0,59	0,36	0,21	22,43	0,81	0,39	3,26	0,09	
	wariancja variance	66,38	0,06	0,35	0,13	0,04	503,25	0,65	0,15	10,6	0,01	
	minimum minimum	9,05	0,26	0,57	1,41	0,01	35	0,46	0,02	1,99	0	
	maksimum maximum	62,46	1,94	5,29	3,98	1,04	172,3	9,65	2,51	27,2	1,03	

Ze względu na przekroczenie dopuszczalnych wartości stężenia NO₃, PO₄, Tl, Se, Mo oraz Al woda ze źródeł oraz studni gospodarskich podczas badań wskaźnikowych wymaga oczyszczenia. Wysokie stężenia NO₃ i PO₄ świadczą o wpływie antropopresji, natomiast wysoka zawartość pozostałych składników jest najprawdopodobniej spowodowana naturalnymi procesami biogeochemicznymi.

PODSUMOWANIE

Zlewnia Świerszcza jest w niskim stopniu przekształcona przez człowieka, ponieważ znaczna jej część znajduje się w granicach Roztoczańskiego Parku Narodowego, natomiast pozostała w jego otulinie. Właściwości fizykochemiczne analizowanych wód były kształtowane głównie pod wpływem: geochemii środowiska, dopływu wód ze zbiorników kredowego i czwartorzędowego, zabudowy i użytkowania terenu oraz spływu powierzchniowego. Świadczą o tym wyniki badań wód z piezometrów, utworów studziennych oraz źródeł.

Odczyn wody w piezometrach wahał się od słabo zasadowego w piezometrze P1 ujętego w utworach kredy, słabo kwaśnego w piezometrze P2 w piaskach do kwaśnego w piezometrze P3 w torfach. Przewodność elektrolityczna właściwa wahała się od 363 μS/cm w piezometrze P1, 77,3 μS/cm w P2 do 28,9 μS/cm w P3. Typy hydrogeochemiczne wód to:

- w piezometrze P1 – Ca-HCO₃,
- P2 – od SO₄-Ca-Mg do SO₄-HCO₃-Ca-Na,
- P3 – od Ca-HCO₃-SO₄-Cl do Cl-SO₄-Ca-Mg.

W piezometrze P1 klasę jakości oceniono na I, w P2 – II, w P3 – III. Stan chemiczny wód z piezometrów oceniono jako dobry.

Odczyn wody w otworach studziennych zaliczał się do słabo zasadowego. Przewodność elektrolityczna właściwa wahała się od 447 μS/cm w studni S2, 326 μS/cm w S7, 158 μS/cm w S12 do 94 μS/cm w S14. Typ hydrogeochemiczny w studni:

- S2 to HCO₃-Ca,

- S7 – Ca-HCO₃-SO₄,
- S12 – HCO₃-Ca,
- S14 – HCO₃-Ca-K,
- S15 – Ca-HCO₃.

Wody podziemne w studniach zaliczono do V klasy jakości, z wyjątkiem otworu S7 do IV. Stan chemiczny wód z otworów studziennych oceniono jako słaby.

Odczyn wody ze źródeł wahał się od słabo zasadowego w źródłach Z2, Z3, Z4 do obojętnego w wodzie źródła Z1. Przewodność elektrolityczna właściwa wahała się od 380 μS/cm w wodzie źródła Z2, 336 μS/cm w Z3, 224 μS/cm w Z4 do 223 μS/cm w Z1. Typy hydrogeochemiczne w źródle Z1 i Z4 kształtowały się, jako Ca-HCO₃-SO₄, a Z2 i Z3 – Ca-HCO₃. Wody podziemne pobrane ze źródeł zaliczono do V klasy jakości, z wyjątkiem otworu Z4 – do IV. Stan chemiczny wód ze źródeł oceniono jako słaby.

Stwierdzono mało przekształcony skład naturalny wód rzecznych i podziemnych na obszarach leśnych, natomiast więcej zanieczyszczeń notowano na obszarach użytkowanych rolniczo oraz zabudowanych. Mimo podwyższonych wartości niektórych parametrów większość z nich wynika z oddziaływania naturalnych procesów wodno-gruntowych, jakie zachodzą w środowisku. Mając jednak na uwadze bardzo dobre warunki infiltracji, wpływające na łatwość migracji zanieczyszczeń z powierzchni, należy zachować szczególną dbałość o eliminację potencjalnych ognisk zanieczyszczeń. Jest to ważne tym bardziej, że zlewnia jest położona na obszarze dwóch GZWP wydzielonych w obrębie zbiornika Niecki Lubelskiej, który należy do najbardziej zasobnych zbiorników słodkich wód podziemnych w Polsce.

Ochrona jakości wód podziemnych i powierzchniowych w obrębie zlewni Świerszcza powinna zmierzać do utrzymania obecnego jej stanu. Niekorzystne zmiany mogą być związane z obszarami torfowisk, gdzie w okresach niskiego zasilania atmosferycznego, możliwe są zmiany jakości wody spowodowane procesami mineralizacji substancji organicznej.

Autorzy serdecznie dziękują recenzentowi prof. Stanisławowi Staśko oraz redaktorowi naczelnemu Przeglądu Geologicznego prof. Andrzejowi Gąsiewiczowi za niezwykle cenne i przydatne uwagi, spostrzeżenia oraz wskazówki. Praca została zrealizowana w ramach badań statutowych Katedry Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej AGH – umowa: 11.11.140.797.

LITERATURA

- BELCARZ-ROLEWSKA L. (red.) 1998 – Objaśnienia do Mapy Hydrogeologicznej Polski 1 : 50 000, ark. Terespol (893). Przeds. Geol. w Kielcach, Warszawa.
- BARTOSZEWSKI S. 2004 – Stan i zagrożenia stosunków wodnych Roztoczańskiego Parku Narodowego. [W:] Michalczyk Z. (red.), Badania geograficzne w poznawaniu środowiska. Materiały 53 Zjazdu Polskiego Tow. Geograf., Lublin, 24–26 czerwca 2004 r. Wyd. UMCS, 273–277.
- BURACZYŃSKI J. 2002 – Budowa geologiczna. [W:] Buraczyński J. (red.), Roztocze. Środowisko Przyrodnicze. Wyd. Lubelskie, Lublin: 18–32, 40–43.
- GRABOWSKI T. 2014 – Uwarunkowania społeczne i gospodarcze zlewni. [W:] Stachyra P., Radliński B. (red.), Raport z realizacji programu badawczo-pomiarowego Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w Stacji Bazowej ZMŚP Roztocze Roztoczańskiego Parku Narodowego w roku 2013. Roztoczański Park Narodowy, Stacja Bazowa ZMŚP Roztocze, Zwierzyniec, s. 18. Mat. arch. Roztoczańskiego Parku Narodowego (niepubl.).
- KASZEWSKI M., SIWEK K. 2013 – Klimat. [W:] Grądział T., Reszel R. (red.), Roztoczański Park Narodowy – przyroda i człowiek. Wyd. Roztoczański Park Narodowy, Zwierzyniec: 61–65.
- KLECKOWSKI A.S. (red.) 1990 – Mapa obszarów Głównych Zbiorników Wód Podziemnych (GZWP) w Polsce wymagających szczególnej ochrony w skali 1 : 500 000. Inst. Hydrogeol. i Geol. Inż. AGH, Kraków.
- KURKOWSKI S. (red.) 1993 – Objąsnienia do Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski 1 : 50 000, ark. Krasnobród (894). Przeds. Geol. w Kielcach.
- MACIOSZCZYK A. (red.) 1987 – Hydrogeochemia, Wyd. Geol., Warszawa.
- MICHALCZYK Z. (red.) 1998 – Warunki występowania i krążenia wody na Roztoczu. [W:] LXIX Zjazd Naukowy Polskiego Towarzystwa Geologicznego. Budowa geologiczna Roztocza (100-lecie badań Polskich Geologów). Wyd. UMCS, Lublin, s. 96.
- PACZYŃSKI B., SADURSKI A. (red.) 2007 – Hydrogeologia regionalna Polski, t. 1. Wody słodkie, Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- POPIELSKI W. (red.) 1992 – Objąsnienia do Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski 1 : 50 000, ark. Terespol (893). Państw. Inst. Geol. Kielce, Kielce.
- RADLIŃSKI B., GŁOWACKI S., SOKOŁOWSKI A., RAWIAK A., MACIEJEWSKI Z., STACHYRA P., CHMIEL S. 2014 – Programy pomiarowe F2 – wody gruntowe oraz H1 – rzeki [W:] Stachyra P., Radliński B. (red.), Raport z realizacji programu badawczo-pomiarowego Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w Stacji Bazowej ZMŚP Roztocze Roztoczańskiego Parku Narodowego w roku 2013. Roztoczański Park Narodowy, Stacja Bazowa ZMŚP Roztocze. Zwierzyniec, s. 110. Mat. arch. Roztoczańskiego Parku Narodowego (niepubl.).
- ROZPORZĄDZENIE Ministra Środowiska z dnia 21 grudnia 2015 r. w sprawie kryteriów i sposobu oceny stanu jednolitych części wód podziemnych. Dz.U. z 2016 r. poz. 85.
- ROZPORZĄDZENIE Ministra Zdrowia z dnia 13 listopada 2015 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi. Dz.U. 2015 r. poz. 1989.