

Chemizm wypływów wód podziemnych w zlewni potoku Ryjak (Magurski Park Narodowy)

JUDYTA LASEK

Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej, Uniwersytet Jagielloński, Studia Doktoranckie,
ul. Gronostajowa 7, 30-387 Kraków, j.lasek@gmail.com

Zarys treści: Celem opracowania jest ukazanie rozkładu przestrzennego cech fizyczno-chemicznych wód wypływów zlokalizowanych na obszarze zlewni potoku Ryjak, znajdującej się w południowej części Magurskiego Parku Narodowego. Wody podziemne na terenie zlewni potoku Ryjak charakteryzowały się mineralizacją ogólną od około 70 do 650 mg-dm⁻³. Wypływy o najwyższej mineralizacji występowały w dwóch częściach badanego obszaru: zachodniej, w okolicach góry Dąb (w obrębie warstwy piaskowców gruboławicowych) oraz północnej, w okolicach Rozstajnego (na styku łupków pstrych z piaskowcami gruboławicowymi). Zawartość wolnego CO₂ w źródłach sięgała około 80 mg-dm⁻³, co stwarzało dogodne warunki do wytrącania się martwicy wapiennej oraz związków żelaza.

Słowa kluczowe: hydrochemia, wypływy wód podziemnych, Magurski Park Narodowy

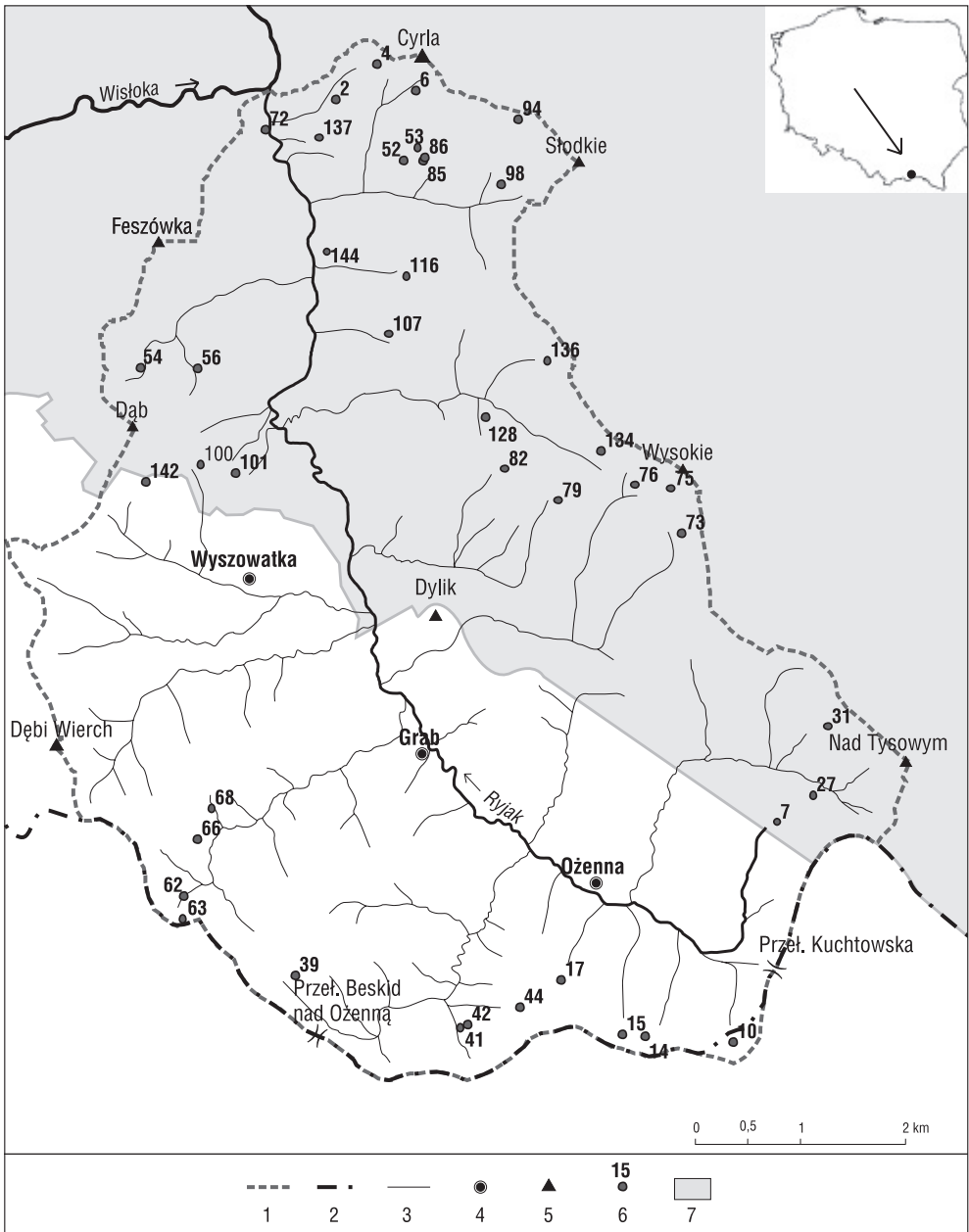
Key words: hydrochemistry, springs, Magurski National Park

Wprowadzenie

Cechy fizyczno-chemiczne wód źródłanych na terenie Magurskiego Parku Narodowego (MPN) nie były przedmiotem licznych badań. Poza opracowaniem M. Migaszewskiego i in. (2003), który dokonał m.in. charakterystyki wybranych źródeł pod kątem możliwości występowania wód mineralnych, istnieją publikacje poświęcone składowi chemicznemu pojedynczych źródeł z obszaru parku (Chowaniec 2002, Czaderna 2000, Witczak 1994) oraz wynikom kartowania hydrograficznego zlewni potoku Krempna (Bors 2006). Celem niniejszej pracy jest ukazanie rozkładu przestrzennego cech fizyczno-chemicznych wód wypływów zlokalizowanych w zlewni Ryjaka, której dolna część leży w obrębie MPN.

Obszar i metodyka badań

Badaniami objęto zlewnię Ryjaka, który swój bieg zaczyna w otulinie Magurskiego Parku Narodowego i uchodzi do Wisłoki na terenie Parku – na 153,7 km jej biegu. Południowe krańce obszaru wyznacza granica państwowa ze Słowacją, wschodnie – grzbiet łączący góry: Wysokie, Słodkie i Cyrła, zaś zachodnia granica przebiega przez szczyty:



Ryc. 1. Zlewnia Ryjaka z punktami poboru prób wód podziemnych

1 – granica zlewni, 2 – granica państwa, 3 – cieki, 4 – miejscowości, 5 – główne szczyty, 6 – punkty poboru próbek wód podziemnych, 7 – Magurski Park Narodowy

Fig. 1. Location of Ryjak stream catchment area with marked sampled outflows

1 – watershed, 2 – boundary of the country, 3 – streams, 4 – villages, 5 – main peaks, 6 – sampled outflows, 7 – the Magurski National Park

Dębi Wierch, Dąb i Feszówka (ryc. 1).

W ramach badań terenowych skartowano 120 wypływów i pobrano dwie serie prób wody: pierwszą – na przełomie lipca i sierpnia 2006 r. oraz drugą – w sierpniu 2007 r. Pierwsza seria obejmowała 42 próby z wypływów wód podziemnych oraz 4 próby wód opadowych pobranych po opadach deszczu na posterunku obok stacji badawczej Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krempnej. Pozycja każdego wypływu wyznaczana była za pomocą odbiornika Garmin GPS Map 76 CS. Druga seria pomiarowa obejmowała pobór 5 prób z wypływów, charakteryzujących się wyjątkowo wysoką mineralizacją w porównaniu z resztą wypływów na badanym obszarze. Ze względu na duże zawartości jonów Ca^{2+} oraz HCO_3^- wykonano pomiar $\text{CO}_{2(\text{aq})}$. Podczas kartowania dokonano pomiaru lub oszacowania wydajności wypływów. Stosowano metodę wolumetryczną. Każdemu wypływowi przypisano klasę wydajności według Meinzera (Pazdro, Kozerski 1990).

W terenie dokonano pomiaru temperatury wody, przewodności elektrolitycznej właściwej (SEC_{25}) oraz odczynu za pomocą miernika wielofunkcyjnego Elmetron CPC-401. Oznaczenia stężeń jonów: Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , NH_4^+ , Li^+ , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^- , NO_2^- , PO_4^{3-} , F^- , Br^- wykonano w Laboratorium Hydrochemicznym Instytutu Geografii i Gospodarki Przestrzennej UJ na chromatografie jonowym firmy Dionex, typ ICS-2000 przy użyciu kolumny analitycznej AS18 (4mm) – do oznaczenia anionów – i kolumny CS16 (5mm) – do kationów. Natomiast oznaczenia $\text{Fe}_{(\text{og})}$ wykonano spektrofotometrem Merck SQ 118 po uprzednim zakwaszeniu prób. Oznaczenie $\text{CO}_{2(\text{aq})}$ wykonano metodą miareczkowania według Polskiej Normy PN-74/C-045547/01. Próby wody przewożono na stację badawczą w Krempnej, schładzano, a następnie miareczkowano. Czas od poboru próby, do wykonania analizy nie przekraczał 4 godzin.

Do analizy zależności pomiędzy badanymi parametrami oraz sporządzenia mapy zróżnicowania przestrzennego poszczególnych parametrów wykorzystano programy ArcGIS 9.2 oraz Statistica 7.0. Za obserwacje odstające uznano te wartości zmiennych, które miały wartość powyżej 1,5 lub poniżej -1,5 rozstępu kwartylowego, zaś obserwacje ekstremalne – powyżej 3 lub poniżej -3 rozstępu kwartylowego.

Wyniki

Na badanym obszarze wypływy wód podziemnych występują w większości przypadków w postaci źródeł i młak (odpowiednio 83% i 16%) – rzadziej wysięków (1%). Skartowane źródła sklasyfikowano ze względu na położenie w stosunku do morfologii terenu; większość z nich należy do źródeł zboczowych. Wszystkie źródła są descensyjne.

Na obszarze zlewni Ryjaka przeważają wypływy o niewielkiej wydajności tj. poniżej $0,01 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Spośród 120 wypływów zaledwie 11 miało wydajność umożliwiającą zaliczenie ich do klas wyższych niż VII według klas wydajności Meinzera (tab. 1). W układzie przestrzennym, źródła o dużej wydajności znajdują się głównie we wschodniej i północno-wschodniej części obszaru i w większości wypływają z oligoceńskich warstw piaskowców gruboławicowych. Wydajność źródeł badanych po upływie roku nie ulega istotnej zmianie.

Temperatura wód wszystkich zinwentaryzowanych wypływów ($n = 120$) mieściła się w przedziale $7\text{--}19^\circ\text{C}$, z czego 63% przypadków znajdowało się w przedziale $12\text{--}16^\circ\text{C}$.

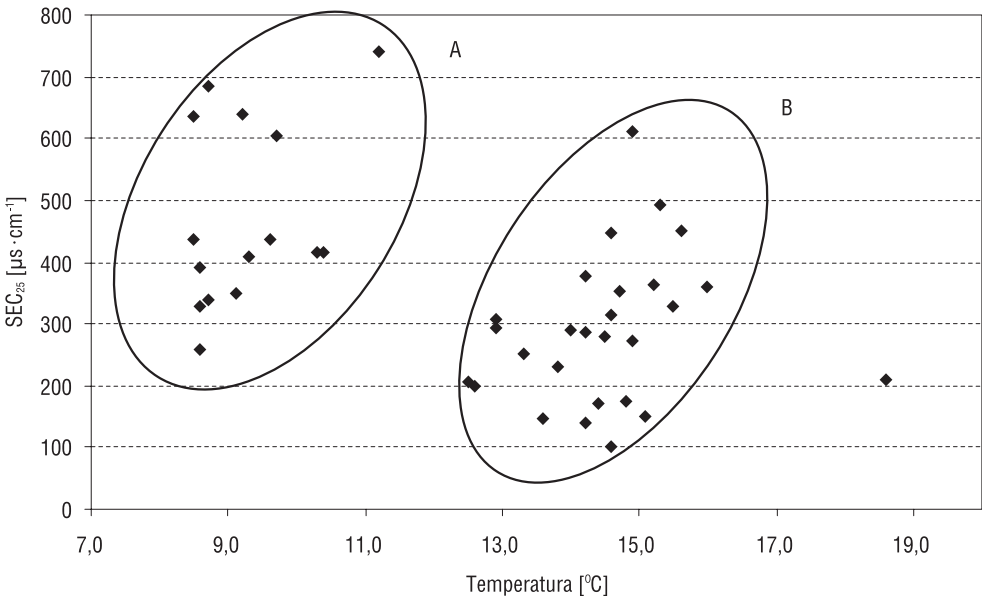
Tab. 1. Liczba wypływów w klasach wydajności według Meinzera

Table 1. Number of springs in Meinzer's classes of discharge

Klasa wydajności wg Meinzera Meinzer's classes of discharge	Liczba wypływów Number of outflows	Udział procentowy Percentage
Klasa V ($1-10 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	1	1%
Klasa VI ($0,1-1 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	10	8%
Klasa VII ($0,01-0,1 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	109	91%

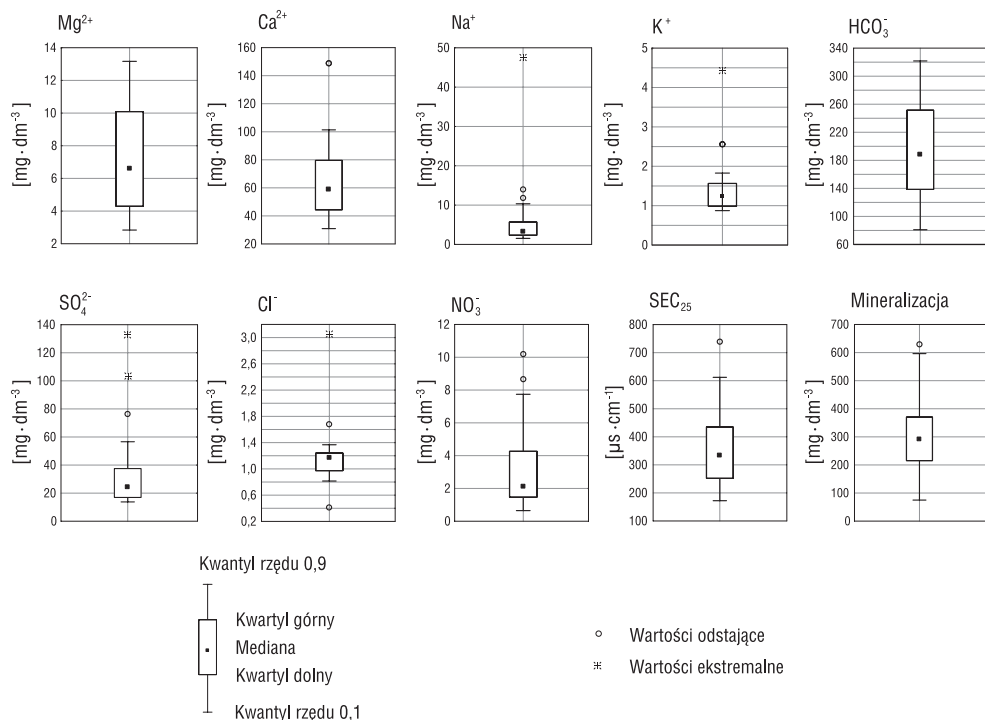
Nie stwierdzono istotnej statystycznie korelacji temperatury wypływów z wysokością bezwzględną. Termika wypływów może wskazywać na głębokość zasilania źródeł w okresie letnim. Im niższa temperatura wody i bardziej zbliżona do średniej rocznej temperatury powietrza obszaru – tym wyższe prawdopodobieństwo, że analizowana woda długo krążyła w skałach (Macioszczyk 2006, Majewski 1974). Na wykresie, ilustrującym zależność przewodnictwa właściwego od temperatury, można wizualnie wyodrębnić dwie grupy wypływów: pierwsza (A) to grupa wypływów o wysokim przewodnictwie (SEC_{25}) – z zakresu 600–740 μS – i niskiej temperaturze (7–11°C). W skład drugiej grupy (B) wchodzi 62% wypływów o nieco niższych wartościach SEC_{25} , przy jednocześnie wyższych temperaturach wody względem wypływów z grupy A (ryc. 2). Jednak tylko dla grupy B współczynnik korelacji był istotny statystycznie i wynosił $r = 0,40$ ($p \leq 0,05$).

W 2006 r. wody analizowanych wypływów charakteryzowały się mineralizacją ogólną od 74 do 629 $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ i przewodnictwem właściwym od 102 do 739 $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$. Pomimo



Ryc. 2. Zależność między przewodnością elektrolityczną właściwą (SEC_{25}) a temperaturą wód wypływów
Fig. 2. Conductivity and water temperature of outflows

niewielkiej powierzchni zlewni (45,22 km²) badany obszar charakteryzuje się dużym zróżnicowaniem składu chemicznego wód wypływów, zwłaszcza kationów Na⁺ i K⁺ oraz anionów SO₄²⁻ i Cl⁻ (ryc. 3). Wypływy o najwyższej mineralizacji występowały w dwóch częściach badanego obszaru: zachodniej, w okolicach góry Dąb (w obrębie warstwy piaskowców gruboławicowych) oraz północnej, w okolicach Rozstajnego (na styku łupków pstrych z piaskowcami gruboławicowymi i wzdłuż linii uskoku; ryc. 1, 4).

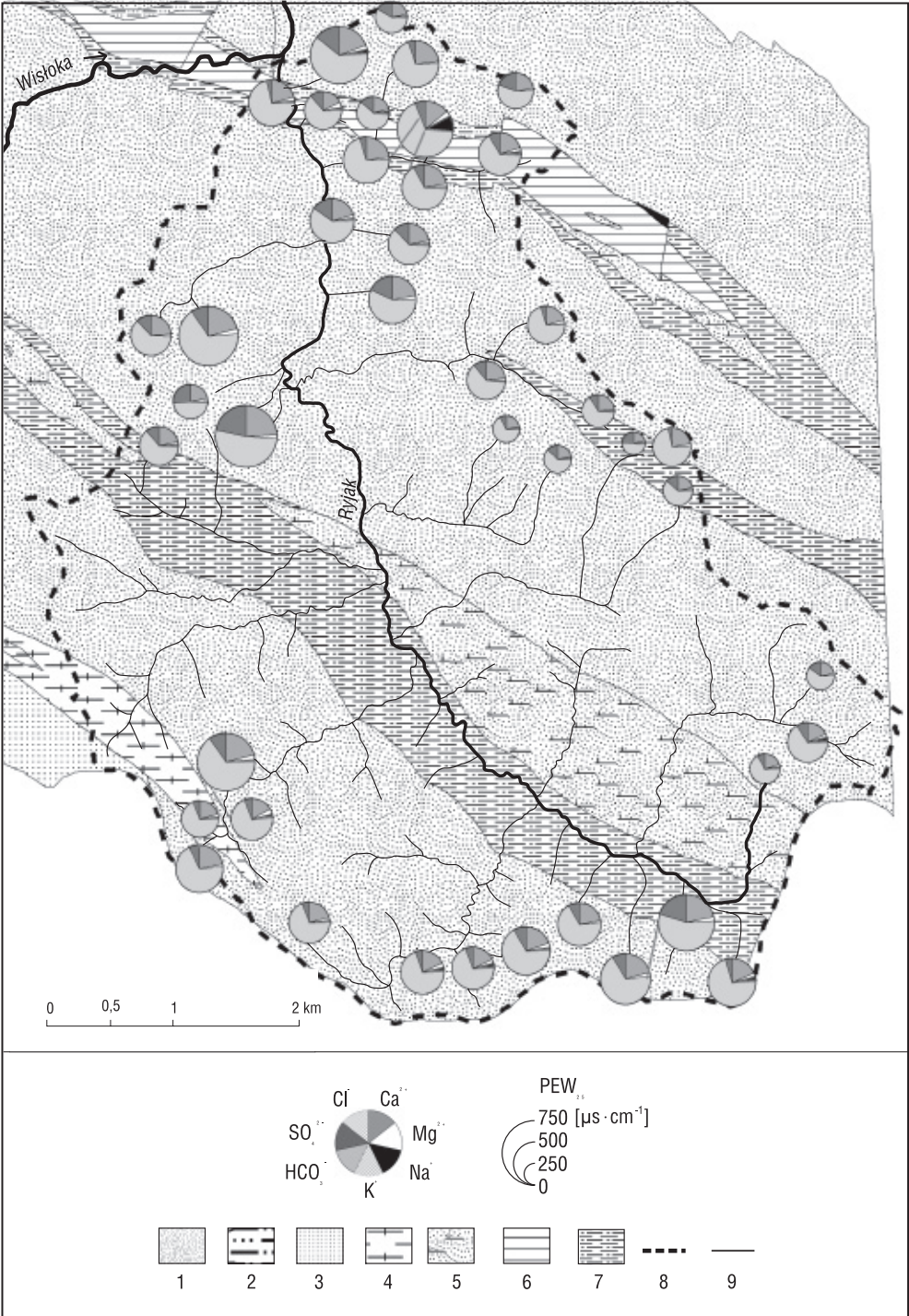


Ryc. 3. Parametry statystyczne cech fizyczno-chemicznych wód wypływów

Fig. 3. Statistical characteristics of outflows-water physical and chemical properties

Wody większości wypływów w zlewni Ryjaka są prostymi wodami dwujonowymi i według klasyfikacji Szczukariewa-Prikłońskiego należą do klasy HCO₃-Ca. Zanotowano również 17 wypływów zaliczających się do klas złożonych – głównie SO₄-HCO₃-Ca, z czego trzy odznaczały się dużym udziałem magnezu i sodu (tab. 2, ryc. 5).

Wskaźnik rCa/(rCa+rHCO₃) we wszystkich analizowanych przypadkach znajdował się w przedziale od 0,5 do 1, co wskazuje na zachodzący proces wietrzenia kalcytu, a także innych minerałów (Razowska 1999). Wartość stosunku rCa/rHCO₃ dzieli populację badanych wypływów na dwie części (tab. 3). Oznacza to, że wapń jest odprowadzany ze zlewni również z innymi związkami – najprawdopodobniej z siarczanami – lecz ta prawidłowość nie dotyczy wszystkich wypływów, a uzasadnienie dla rozkładu przestrzennego tego wskaźnika trudno znaleźć w budowie geologicznej obszaru.



Tab. 2. Liczba wypływów w klasach hydrochemicznych według Szczukariewa-Prikońskiego

Table 2. Number of according to hydrochemical classification by Szczukariew-Priklonski

Klasa Hydrochemical class	Liczba wypływów Number of outflows	Udział procentowy Percentage
HCO ₃ -Ca	25	60%
SO ₄ -HCO ₃ -Ca	14	33%
HCO ₃ -Mg-Ca	2	5%
HCO ₃ -Na-Ca	1	2%

Tab. 3. Liczba wypływów w klasach poszczególnych wskaźników hydrochemicznych

Table 3. Number of outflows in classes of hydrochemical indexes

Wskaźnik Index	Klasa Class	Liczba wypływów Number of outflows
rCa/(rCa+rHCO ₃)	>0,5 i <1	42
	<0,5 lub >1	0
rCa/rHCO ₃	≥1	19
	<1	23
rMg/(rCa+rMg)	≥0,5	0
	<0,5	42
rMg/rCa	≥0,1	40
	<0,1	2

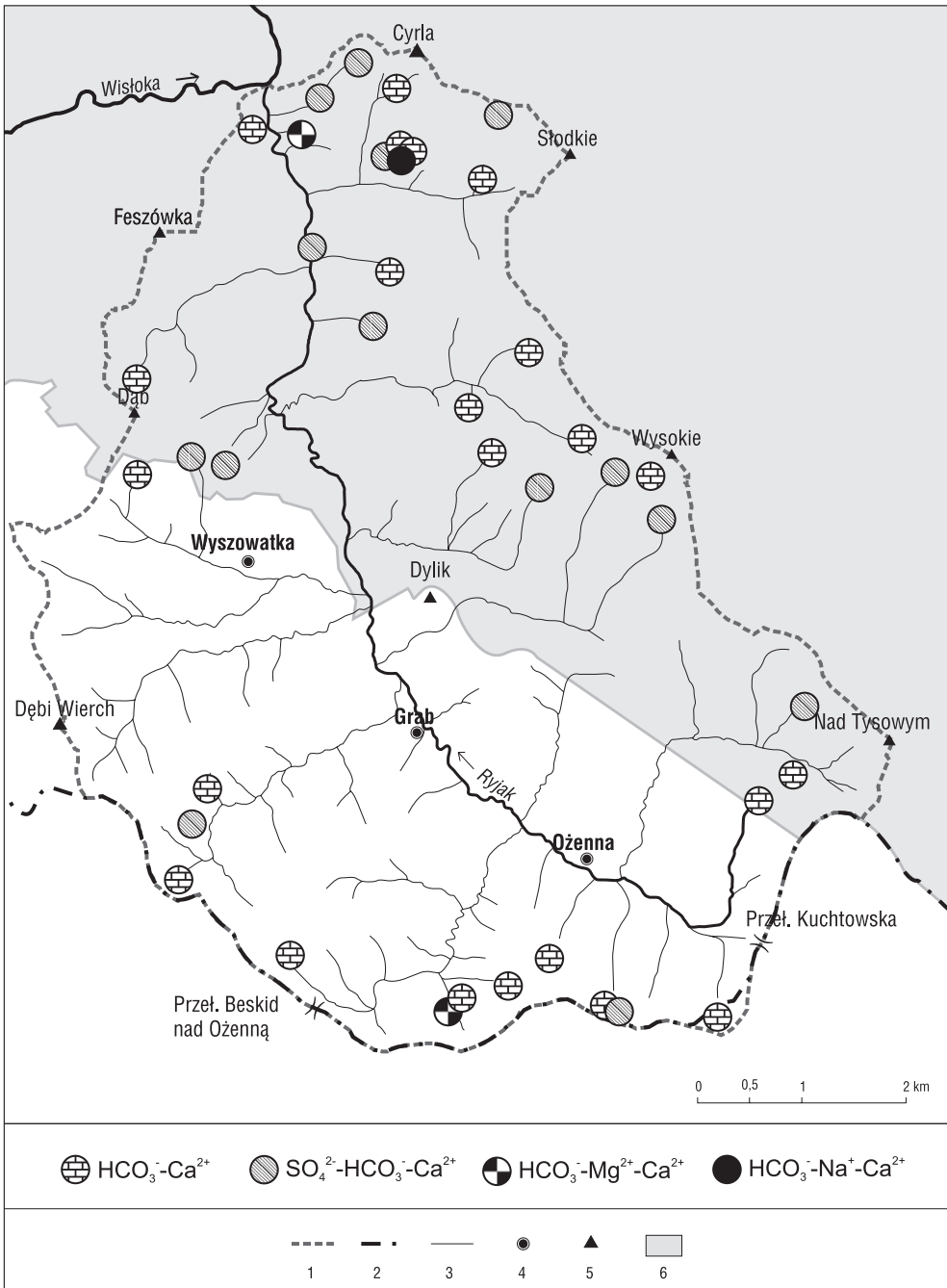
O rozpuszczaniu minerałów wapniowych świadczy również wskaźnik rMg/(rCa+rMg), którego wartość nie przekraczała 0,5, zaś stosunek rMg/rCa w prawie wszystkich przypadkach był wyższy od 0,1, co wskazuje na dużą zawartość magnezu w analizowanych wypływach (do 16,9 mg·dm⁻³). Zawartość wolnego dwutlenku węgla w badanych próbkach wód podziemnych wynosiła od 4 do 77 mg·dm⁻³. Najwyższą zawartość CO_{2(aq)} odnotowano w źródłach wokół których obserwowano obfite wytrącenia żelaziste. Na badanym obszarze znaleziono cztery wypływy wód (nr 2, 144, 85 i 86) odróżniające się

Ryc. 4. Skład chemiczny wód podziemnych zlewni Ryjaka na tle budowy geologicznej obszaru wg A. Ślączi (1968)

1- oligocenyjskie piaskowce gruboławicowe i łupki (warstwy magurskie), 2 – eocenyjskie łupki z wkładkami piaskowców (warstwy magurskie), 3 – eocenyjskie piaskowce gruboławicowe (warstwy magurskie), 4 – eocenyjskie łupki i piaskowce cienkoławicowe (warstwy hieroglifowe i magurskie), 5 – eocenyjskie łupki i piaskowce cienkoławicowe (warstwy hieroglifowe i warstwy beloweskie), 6 – eocenyjskie łupki pstrę, 7 – eocenyjskie łupki z wkładkami piaskowców oraz łupki z piaskowcami cienkoławicowymi (warstwy magurskie i hieroglifowe), 8 – granica zlewni, 9 – cieki

Fig. 4. Chemical composition of groundwater in Ryjak stream catchment area according to geology after A. Ślączi 1968

1 – oligocen thick-layered sandstones and shales (magura layers), 2 – eocenic shales with sandstone insert (magura layers), 3 – eocenic thick-layered sandstones (magura layers), 4 – eocenic shales and thin-layered sandstones (hieroglific and magura layers), 5 – eocenic shales and thin-layered sandstones (hieroglific and beloweskie layers), 6 – eocenic varicolored shales, 7 – eocenic shales with sandstones-insert and shales with thin-layered sandstones (magura and hieroglific layers), 8 – watershed, 9 – streams



Ryc. 5. Klasy hydrochemiczne wód podziemnych według klasyfikacji Szczukariewa-Prıklńskiego w zlewni potoku Ryjak

Fig. 5. Hydrochemical types of water according to Szczukariew-Prıklński classification in Ryjak stream catchment area

swoim składem chemicznym od reszty skartowanych wypływów. Różnice dotyczyły głównie zawartości jonów HCO_3^- , SO_4^{2-} , a także Na^+ oraz dwutlenku węgla (tab. 4).

Temperatura źródła nr 2 – sklasyfikowanego jako źródło zboczowe, descencyjne – wynosiła $8,5^\circ\text{C}$, a wydajność $1,1 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (ryc. 1). Poniżej wypływu wytrąca się martwica wapienna, wskazująca na taką zawartość dwutlenku węgla w wodzie krążącej w górotworze, która umożliwia rozpuszczenie się CaCO_3 dzięki przekształceniu go w dwuwęglan wapniowy ($\text{Ca}(\text{HCO}_3^-)_2$). Zawartość wolnego CO_2 wynosiła $40 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$. Według klasyfikacji Szczukariewa-Prikłońskiego wody z tego źródła zaliczały się do klasy $\text{HCO}_3-\text{SO}_4-\text{Ca}$.

Źródło nr 144, położone w zakolu Ryjaka jest źródłem przykorytowym descencyjnym. Jego temperatura wynosi $14,2^\circ\text{C}$, a wydajność nie przekracza $0,1 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Wokół źródła występują obfite, galaretowate wytrącenia wodorotlenków żelaza, wskazujące na wietrzenie węglanów, o czym świadczy również skład chemiczny wody (tab. 4). Stężenie żelaza w 2006 r. wynosiło $8,45 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$, natomiast w 2007 r. – $9,22 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$, zaś dwutlenku węgla – $77 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$. Wody z tego źródła zaliczają się do klasy $\text{HCO}_3-\text{SO}_4-\text{Ca}$.

Wypływy nr 85 (źródło zboczowe, descencyjne) i nr 86 (młaka) położone są w odległości około 5 metrów i miały wydajność – odpowiednio – $0,4$ i $0,1 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Oba wypływy łączyły się tworząc niewielki ciek, na którego dnie widoczna była martwica wapienna. Jej ślady zaczynały się w miejscu wpływu wód z młaki do wód odprowadzanych ze źródła nr 85. Mimo tak bliskiego położenia, wody z obu wypływów znacznie się różniły składem chemicznym, co wynikało z ich położenia na granicy dwóch jednostek: pierwszej, zbudowanej z łupków pstrych i drugiej – z łupków z wkładem piaskowców (tab. 4). Ze źródła nr 85 wypływała woda dwujonowa HCO_3-Ca , zaś z młaki (nr 86) woda o złożonym składzie typu $\text{HCO}_3-\text{Na}-\text{Ca}$ z dużym udziałem magnezu (19% sumy kationów w mval). M. Migaszewski i in. (2003) opisali źródło o podobnym składzie leżące około 3 km na północ w Świątkowej Wielkiej (tab. 5).

Podsumowanie

Wody wypływów wód podziemnych na terenie zlewni potoku Ryjak charakteryzowały się mineralizacją ogólną od około 70 do $650 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$. Na uwagę zasługuje stosunkowo duży udział akratepogów (14,3%). Dominowały proste wody dwujonowe HCO_3-Ca , którym towarzyszyły wody trzyjonowe $\text{SO}_4-\text{HCO}_3-\text{Ca}$, a w pojedynczych przypadkach także $\text{HCO}_3-\text{Mg}-\text{Ca}$ i $\text{HCO}_3-\text{Na}-\text{Ca}$. Stwierdzono duże zróżnicowanie przestrzenne składu chemicznego wypływów wód podziemnych, które najsilniej zaznaczało się w odniesieniu do jonów: HCO_3^- , SO_4^{2-} , Mg^{2+} , Ca^{2+} i Na^+ . Zawartość wolnego CO_2 w wodach źródłanych sięgała około $80 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$, co stwarzało dogodne warunki do wytrącania się martwicy wapiennej oraz związków żelaza. Na badanym obszarze stwierdzono istnienie czterech wypływów nietypowych pod względem hydrochemicznym, które wyróżniały się zawartością jonów: HCO_3^- , SO_4^{2-} , Na^+ oraz $\text{CO}_{2(aq)}$.

Nie we wszystkich przypadkach skład chemiczny wody wypływu był charakterystyczny dla jednostki geologicznej, w obrębie której był zlokalizowany. Może to świadczyć o skomplikowanych warunkach krążenia wody w obrębie górotworu lub mieszaniu się wód z różnych obszarów alimentacyjnych.

Tab. 4. Cechy fizykochemiczne wód wypływów nietypowych pod względem hydrochemicznym
 Tab. 4. Chemical composition of atypical outflows with respect to chemistry of water

Obiekt Object	pH [b.m.]	SEC ₂₅ [$\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$]	TEMP [°C]	Aniony – Anions			Kationy – Cations				
				Ca ²⁺ [mg·dm ⁻³]	Mg ²⁺ [mg·dm ⁻³]	Na ⁺ [mg·dm ⁻³]	K ⁺ [mg·dm ⁻³]	HCO ₃ ⁻ [mg·dm ⁻³]	SO ₄ ²⁻ [mg·dm ⁻³]	Cl ⁻ [mg·dm ⁻³]	NO ₃ ⁻ [mg·dm ⁻³]
Źródło 2 Spring 2	6,78	636	8,5	101,48	12,45	14,01	1,49	325,73	76,28	1,19	4,34
Źródło 85 Spring 85	7,60	393	8,6	72,59	7,37	4,22	1,18	215,39	25,23	1,35	10,18
Młaka 86 Bog-spring 86	7,25	606	9,7	72,89	15,99	47,45	1,59	348,82	30,92	1,11	2,13
Źródło 144 Spring 144	6,81	379	14,2	62,06	7,13	4,10	4,42	180,23	47,12	1,42	0,63

Tab. 5. Porównanie składu chemicznego studni w Świątkowej Wielkiej (Migaszewski i in. 2003) i młaki nr 86
 Table 5. Comparison of chemical composition of well-water in Świątkowa Wielka (after Migaszewski et al. 2003) and bog-spring no. 86

Obiekt Object	pH [b.m.]	SEC ₂₅ [$\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$]	TEMP [°C]	Aniony – Anions				Kationy – Cations				
				Ca ²⁺ [mg·dm ⁻³]	Mg ²⁺ [mg·dm ⁻³]	Na ⁺ [mg·dm ⁻³]	K ⁺ [mg·dm ⁻³]	L ⁺ [mg·dm ⁻³]	HCO ₃ ⁻ [mg·dm ⁻³]	SO ₄ ²⁻ [mg·dm ⁻³]	Cl ⁻ [mg·dm ⁻³]	F ⁻ [mg·dm ⁻³]
Młaka 86 Bog-spring 86	7,25	606	9,7	72,89	15,99	47,45	1,58	0,043	348,82	30,91	1,11	0,035
Studnia Świątkowa Well in Świątkowa	7,40	659	12,4	64,70	23,00	47,10	3,00	0,041	422,00	9,20	3,73	0,130

Literatura

- Bors P., 2006, *Inwentaryzacja naturalnych wypływów wód podziemnych oraz analiza jakości wód zlewni potoku Krempana*, Praca inżynierska, Archiwum Instytutu Politechnicznego Państwowej Wyższej Szkoły Zawodowej, Krosno, ss. 94.
- Chowaniec J., 2002, *Mapa hydrogeologiczna Polski 1:50 000*, Arkusz M-34-91-D Zborów, PIG, Kraków.
- Czaderna A., 2000, *Ocena jakości powietrza i wód na obszarze Magurskiego Parku Narodowego w świetle dotychczasowych badań*, Archiwum Magurskiego Parku Narodowego, Jasło.
- Macioszczyk A. (red.), 2006, *Podstawy hydrogeologii stosowanej*, Wyd. Nauk. PWN, Warszawa, ss. 571.
- Majewski J., 1974, *Hydrogeologia*, Wyd. Geologiczne, Warszawa, ss. 650.
- Migaszewski Z., Gałuszka A., Styrzyc K., 2003, *Chemizm i jakość wód z wybranych źródeł na obszarze Magurskiego Parku Narodowego*, [w:] *Ocena stopnia skażenia środowiska przyrodniczego w wybranych parkach narodowych w Polsce w świetle badań geochemicznych i biogeochemicznych*, Państwowy Instytut Geologiczny, Archiwum Magurskiego Parku Narodowego, Kielce, 1–16.
- Pazdro Z., Kozerski B., 1990, *Hydrogeologia ogólna*, Wyd. Geologiczne, Warszawa, ss. 624.
- Razowska L., 1999, *Wskaźniki hydrochemiczne – mało przydatne czy niedoceniane?*, [w:] *Współczesne problemy hydrogeologii*, 9, Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa, 307–313.
- Ślęczka A., 1968, *Szczegółowa mapa geologiczna Polski 1:50 000*, Arkusz Zborów, Państwowy Instytut Geologiczny.
- Witczak S., 1994, *Monitoring jakości wód podziemnych w dorzeczu górnej Wisły*, Maszynopis w Zakładzie Hydrogeologii i Ochrony Wód AGH, Kraków.

Judyta Lasek

Chemistry of groundwater outflows in the Ryjak stream catchment (Magurski National Park)

Summary

The aim of this study was to discuss the spatial distribution and hydrochemical properties of groundwater outflows in the Ryjak stream catchment located in the southern part of the Magurski National Park (southern Poland, Fig. 1). The springs of interest were mapped and their discharge and basic physical and chemical properties were measured. The total ion content of groundwater outflows was determined to be within 70–650 mg·dm⁻³. The chemical composition varies spatially, especially in the case of Na⁺, K⁺, SO₄²⁻ and Cl⁻ (Fig. 3, 4). The carbon dioxide level detected in the springs approaches 80 mg·dm⁻³, which creates favorable conditions for the precipitation of travertine and ferrous species. The maximum discharge of the outflows was found to be 1 dm³·s⁻¹, however, most of the springs produce much smaller levels of discharge (Table 1). Four outflows demonstrated the atypical chemical composition of water with respect to HCO₃⁻, SO₄²⁻, Na⁺ and CO_{2(aq)} (Table 4).

