

Charakterystyka hydrogeochemiczna wód podziemnych rejonu Przylądka Rozewie na podstawie badań ich naturalnych wypływów

Dawid Potrykus¹

Hydrogeochemical characteristics of groundwater in the Przyladek Rozewie region based on their natural outflows researches.
Prz. Geol., 63: 1015–1020.

Abstract. The results of researches conducted in coastal area of the Przyladek Rozewie, were presented in this paper. The monitoring of physicochemical properties and ionic composition of groundwater outflows was carried out in the years 2013–2014 in the investigated area. Hydrogeochemical conditions of the Przyladek Rozewie region is mainly formed by lots of factors like specific marine climate, mineral composition of groundwater medium, depth of groundwater circulation and time of contact between water and rock.

Keywords: groundwater outflows, water chemistry, hydrogeological investigation, Przyladek Rozewie

Region Przylądka Rozewie ze względu na swoje wyjątkowe walory przyrodnicze od kilkudziesięciu lat stanowi przedmiot interdyscyplinarnych badań naukowych. Jednym z cenniejszych obiektów przyrodniczych i krajobrazowych analizowanego obszaru są naturalne wypływy wód podziemnych, które stanowią urozmaicenie tutejszej strefy brzegowej. Przeprowadzone w latach 2013–2014 badania naturalnych wypływów wód podziemnych okazały się mieć istotne znaczenie poznawcze i dostarczyły wiele cennych informacji hydrogeologicznych na temat badanego obszaru.

Podstawowym celem tego artykułu jest określenie chemizmu wód podziemnych wypływających ze zbocza w rejonie Przylądka Rozewie. Niezbędne do osiągnięcia tego celu było zbadanie zespołów zależnych od siebie parametrów i cech charakteryzujących środowisko hydrogeologiczne, a także ocena wpływu na nie czynników zewnętrznych. Jest to pierwsze publikowane opracowanie przedstawiające chemizm wód podziemnych rejonu Przylądka Rozewie na podstawie badań ich naturalnych wypływów.

ZAKRES I METODYKA BADAŃ

Prace terenowe były wykonywane podczas dziewięciu sesji pomiarowych w okresie od 30 marca 2013 r. do 3 marca 2014 r. W ich trakcie stosowano standardową metodykę badawczą. Badania terenowe rozpoczęły się od szczegółowego rozpoznania krenologicznego analizowanego obszaru z użyciem odbiornika GPS (GARMIN 60CSx) oraz różnych map tematycznych (topograficznych, geodynamicznych, turystycznych). Prowadzone badania terenowe polegały głównie na monitoringu podstawowych parametrów fizykochemicznych wody za pomocą wielofunkcyjnego przyrządu mierniczego CX-401 firmy Elmetron. W ich trakcie dwukrotnie pobrano próbki wody do oznaczenia składu chemicznego, które wykonano w laboratoriach Wydziału Geologii Uniwersytetu Warszawskiego. Do oznaczenia jonów Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- oraz Cl^- wykorzystano metody wolumetryczne, oznaczenia SO_4^{2-} i NO_3^- przeprowadzono, korzystając ze spektrofotometru Hach

DR-2000, zaś pozostałe jony oznaczono metodą ICP-AAS. Uzupełnieniem przeprowadzonych badań terenowych i laboratoryjnych było modelowanie hydrogeochemiczne z użyciem programu PHREEQC (Parkhurst, Apello, 1999), którego celem było określenie stanu nasycenia badanego roztworu wodnego względem wybranych faz mineralnych i gazowych.

POŁOŻENIE TERENU BADAŃ

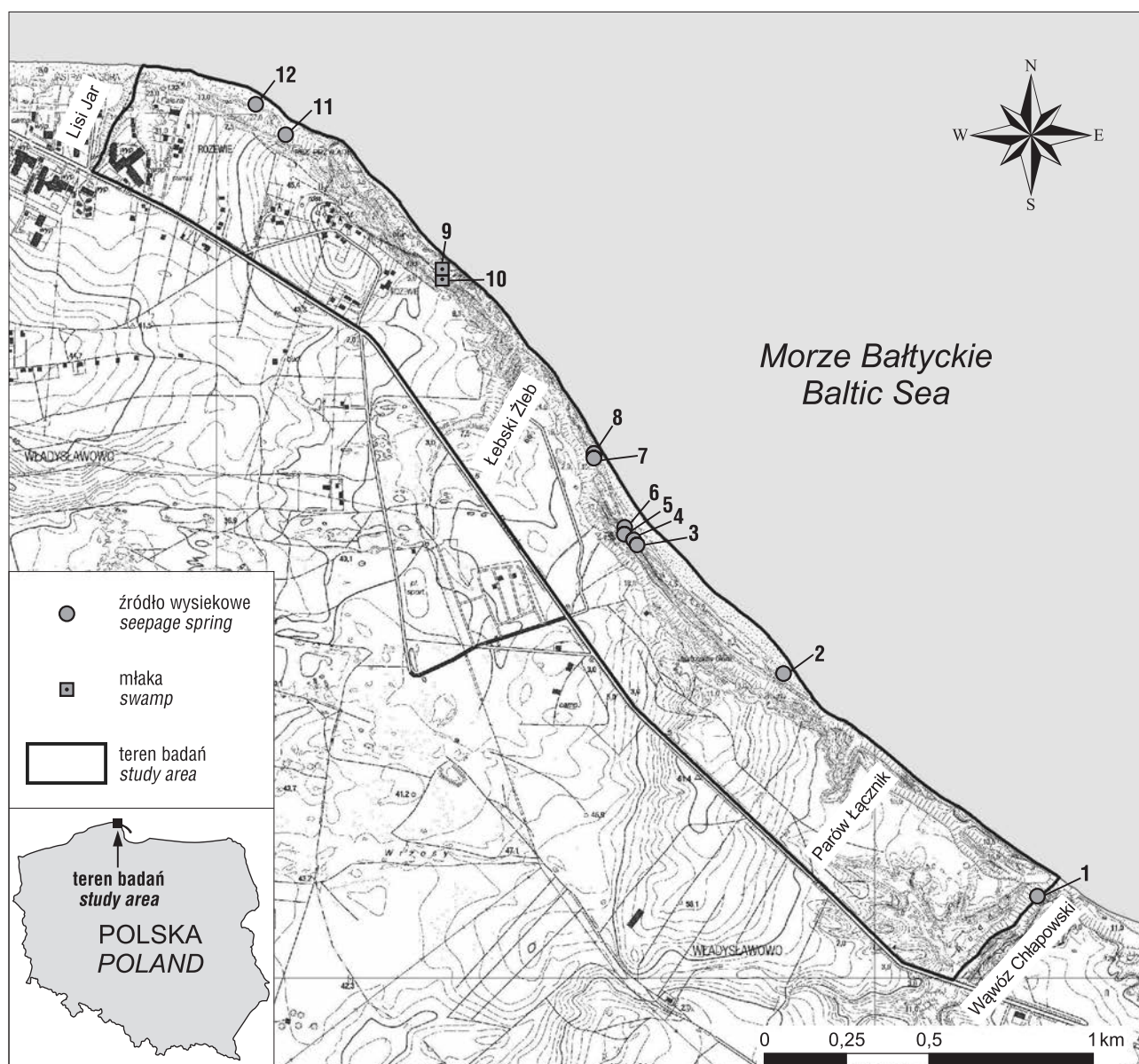
Teren, na którym prowadzono badania, jest położony w nadmorskiej strefie północnej Polski, jednostce geomorfologicznej Pobrzeże Kaszubskie. Morfologicznie obejmuje on urozmaiconą północną część Kępy Swarzewskiej, której cały odcinek wybrzeża – od Jastrzębiej Góry do Władysławowa – ma klifowy charakter.

Pod względem administracyjnym omawiany obszar znajduje się w województwie pomorskim, powiecie puckim, gminie Władysławowo. Ma on kształt wydłużonego pasa o łącznej powierzchni 1,5 km². Granice terenu badań zostały poprowadzone w sposób wykorzystujący naturalne lineamenty, przy czym pokrywają się one także z przebiegiem szlaków turystycznych. Północno-wschodnia granica jest wyznaczona zgodnie z kształtem linii brzegowej morza, zaś równoległa do niej południowo-zachodnia zgodnie z przebiegiem granicy Nadmorskiego Parku Krajobrazowego, a także drogą wojewódzką nr 215. Granicę południowo-wschodnią wyznacza okresowo płynący potok Rudnik w obrębie Wąwozu Chłapowskiego, natomiast północno-zachodnia pokrywa się z płynącym wewnątrz Lisiego Jaru okresowym ciekim powierzchniowym (ryc. 1).

ZARYS BUDOWY GEOLOGICZNEJ I WARUNKÓW HYDROGEOLOGICZNYCH

Wybrzeże klifowe w obrębie badanego terenu jest zbudowane z utworów czwartorzędu oraz neogenu (miocenu). Wykształcenie litologiczne oraz położenie morfologiczne tych utworów, a także zachodzące w strefie klifowej procesy stokowe pełnią istotną rolę w kształtowaniu się warunków krenologicznych.

¹ Ul. Spacerowa 17, 84-110 Dębki; dawpotr@gmail.com.

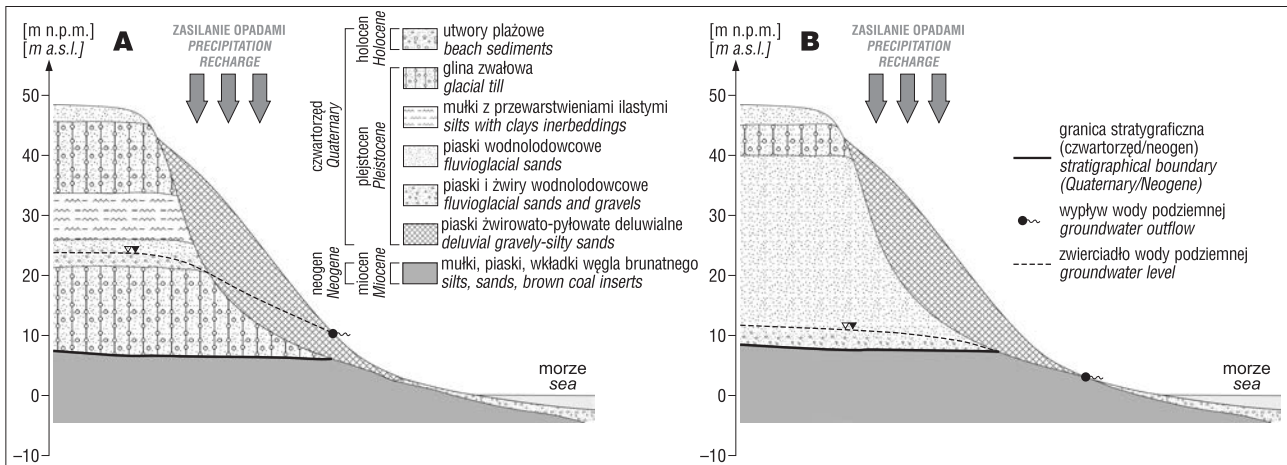


Ryc. 1. Położenie obszaru badań
Fig. 1. Location of investigated area

Odślaniające się w rejonie Chłapowa, w najniższej części zbocza klifu, warstwy miocenu są wykształcone w postaci piasków oraz zwięzłych mułów z wkładkami węgla brunatnego (Subotowicz, 1982). Zależnie od ukształtowania ich powierzchni występują tu różne osady czwartorzędowe, pośród których jest widoczna wyraźna granica w budowie geologicznej znajdująca się w pobliżu Łebskiego Żlebu (Passendorfer & Zabłocki, 1946; Rudowski, 1965). Przylądek Rozewie budują trzy poziomy glin zwałowych, które są przewarstwione piaskami wodnolodowcowymi ze żwirem oraz serią zastoiskową w postaci piasków drobnoziarnistych, mułków i iłów. Kolejno, w kierunku południowo-wschodnim na obszarze rozciągającym się od okolic Łebskiego Żlebu do Wąwozu Chłapowskiego występuje już tylko jeden poziom gliny zwałowej, który podściela znacznej miąższości warstwa piasków wodnolodowcowych ze żwirem. Górny poziom gliny zwałowej jest prawie w całości przykryty piaskami postglacjalnymi (Subotowicz, 1982). Wśród wodnolodowcowych utworów piaszczysto-żwirowych mogą występować iły warwowe, które stwier-

dzone w kilku miejscach klifu chłapowskiego (Rudowski, 1965). Dna jarów oraz parówów rozcinających zbocza są lokalnie wypełnione osadami deluwalnymi. W strefie plaży występują osady plażowe o zróżnicowanej granulacji, głównie piaski, miejscami ze żwirami i otoczkami. Miąższość tych utworów nie jest duża, dlatego podczas okresu sztormowego zauważono lokalne odsłonięcia mułków miocenijskich (ryc. 2).

W rejonie badanego terenu występują dwa poziomy wodonośne: neogeński (miocenijski) i czwartorzędowy. Głównym poziomem użytkowym jest poziom neogeński (miocenijski), który budują piaski o zróżnicowanej granulometrii. Znajduje się on na głębokości ok. 20 m, przy czym zwierciadło wody ma charakter napięty i stabilizuje się na poziomie zbliżonym do poziomu morza. Czwartorzędowy poziom wodonośny, który drenują badane wypływy, jest zbudowany z piasków wodnolodowcowych ze żwirem i otoczkami. Jego zwierciadło ma swobodny charakter i plasuje się na wysokości kilku metrów ponad poziom morza. Zasilanie tego poziomu odbywa się wsku-



Ryc. 2. Schematy zasilania wypływów wód podziemnych w obrębie terenu badań: **A** – obszar na zachód od Łebskiego Żlebu; **B** – obszar na wschód od Łebskiego Żlebu

Fig. 2. Diagrams of recharging groundwater outflows of investigated area: **A** – area west of Łebski Żleb; **B** – area east of Łebski Żleb

tek infiltracji opadów atmosferycznych, zwłaszcza powyżej krawędzi klifu, na obszarach płaskich i niezalesionych, a także wśród wychodni piasków wodnolodowcowych. Infiltracji nie sprzyja natomiast pokrywająca znaczny obszar dwumetrowa warstwa gliny zwałowej, która stanowi barierę dla bezpośredniego zasilania tego wodonosia. Kierunek splotu wód podziemnych na ogół odbywa się po opadającej w stronę Morza Bałtyckiego warstwie utworów mioceńskich. Poziom czwartorzędowy nie jest ujęty pobliskimi otworami, gdyż nie spełnia on kryterium poziomu użytkowego, co wiąże się z brakiem szczegółowych informacji na temat obecnego położenia zwierciadła wody oraz jej chemizmu. W pobliżu ujęcia we Władysławowie oba poziomy wodonosie znajdują się w więzi hydraulicznej ze sobą (Frączek, 1998).

WARUNKI WYSTĘPOWANIA BADANYCH WYPLYWÓW

Specyficzne warunki krenologiczne badanego terenu zostały zainicjonowane w wyniku działania szeregu różnorodnych procesów geologicznych. Silnie zaznaczająca się na tym obszarze abrazja morska doprowadziła do przerwania ciągłości czwartorzędowej warstwy wodonosnej, a zachodzące kolejno w strefie klifowej procesy stokowe uformowały miejsca wypływu wody podziemnej. Równie ważnymi czynnikami determinującymi powstanie badanych wypływów były odpowiednia budowa geologiczna oraz morfologia omawianego obszaru, a także dogodnie możliwości zasilania warstwy wodonosnej. Jednorodność wymienionych czynników przyrodniczych sprawia, że badane wypływy charakteryzują się szczególnie małą różnorodnością klasyfikacyjną względem siebie.

Dzięki wykonanym badaniom terenowym stwierdzono, że omawiane wypływy wody podziemnej są zasilane wodami pochodzącymi z dwóch stref, na które składa się czwartorzędowa warstwa wodonosna oraz osuwisko (ryc. 2). Wzdłuż badanego wybrzeża klifowego, czwartorzędowa warstwa wodonosna nie odsłania się bezpośrednio w ścianie klifu, gdyż na całej jego długości przykryta jest zmien-

nej miąższości koluwium. W toku realizowanych badań stwierdzono, że takie warunki utrudniają swobodny wypływ wody podziemnej na powierzchnię terenu, powodując okresowo (zależnie od wahań wydajności wypływów) zmianę charakteru wypływu wody podziemnej ze skoncentrowanego na nieskoncentrowany. Powyższe obserwacje pozwalają zaliczyć badane wypływy (z wyjątkiem nr 9 i 10) do źródeł wysiękowych². W punktach nr 9 i 10 (ryc. 1) stwierdzono, że wypływ wody podziemnej następuje w sposób charakterystyczny dla młak. Jest on nieskoncentrowany, powierzchniowy i rozlewny, a obecność opaski brzegowej powoduje częściowe zatamowanie swobodnego odpływu wody ku morzu, i w efekcie zabagnienie tego obszaru. Badane wypływy wody podziemnej cechują się bardzo małą wydajnością (VII i VIII klasa Meinzera), co powoduje, że wypływająca ze zbocza woda nie odpływa w pełni powierzchniowo w kierunku morza, lecz uprzednio infiltruje w utwory plażowe.

WARUNKI HYDROGEOCHEMICZNE

Charakterystyka hydrogeochemiczna wód podziemnych wypływających ze zbocza klifowego w rejonie Przylądka Rozewie została przygotowana na podstawie pomiarów właściwości fizykochemicznych (tab. 1) oraz analizy składu chemicznego badanych wód (ryc. 3). Zakres przeprowadzonych badań został przedstawiony we wstępnej części artykułu.

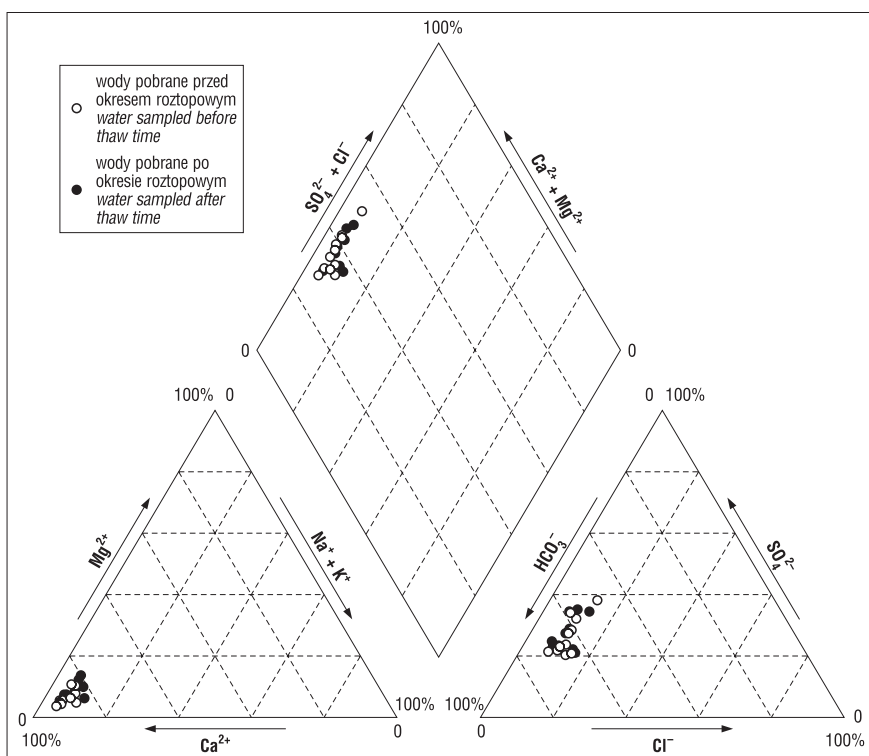
Otrzymane wyniki pomiarów temperatury wody (tab. 1) potwierdzają, że zasilanie badanych wypływów jest dwudrożne i następuje z dwóch stref. Świadczy o tym wielkość zróżnicowania uzyskanych wyników w obrębie konkretnego wypływu w czasie prowadzonych badań. Jeśli otrzymane wartości nie odbiegają zbyt od siebie, to można mówić o większym udziale w zasilaniu danego wypływu wodami pochodzącymi z głębszej strefy krążenia, które tworzą czwartorzędową warstwę wodonosną. Natomiast w odwrotnym przypadku, gdy otrzymane wartości znacznie się od siebie różnią, świadczy to o dopływie do danego wypływu wód infiltrujących głównie w obrębie osuwiska,

² Nazewnictwo zgodne z „Międzynarodowym Słownikiem Hydrologicznym” (Magnuszewski & Soczyńska, 2011)

Tab. 1. Charakterystyka statystyczna wybranych parametrów fizykochemicznych wód z badanych wypływów
Table 1. Statistical characteristics of selected physicochemical parameters of researched groundwater outflows

Numer wypływu Groundwater outflow No.		1	2*	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Temp. [C°]	Zakres Range	1,3–17,7	17,7	5,9–14,2	2,0–17,9	5,9–10,8	4,4–12,5	5,6–12,6	5,9–12,8	6,9–10,6	6,1–13,2	7,5–9,7	7,4–11,4
	Średnia Average	8,2	-	9,5	9,2	8,8	9	9,7	9,1	9,4	9,8	8,7	9,2
	Odchylenie standar- dowe Standard deviation	4,6	-	3	5,4	2	3	2,6	2,3	1,4	2,6	0,8	1,6
pH [-]	Zakres Range	6,33–7,78	6,45	6,90–7,55	6,97–7,58	7,07–7,4	7,16–7,69	7,28–7,74	7,00–7,53	6,99–7,58	7,14–8,05	6,62–7,15	6,61–7,63
	Średnia Average	6,95	-	7,25	7,35	7,16	7,28	7,52	7,3	7,26	7,59	7,02	7,13
	Odchylenie standar- dowe Standard deviation	0,5	-	0,24	0,21	0,16	0,2	0,24	0,21	0,24	0,34	0,18	0,38
PEW [μS/cm]	Zakres Range	501–624	4473	714–766	587–798	6368–17	664–746	622–633	579–623	628–667	448–525	570–615	799–1264
	Średnia Average	559	-	732	693	720	714	628	602	647	499	595	971
	Odchylenie standar- dowe Standard deviation	44	-	18	66	58	29	4	15	16	31	18	152

* ze względu na okresowy charakter wypływu nr 2, wykonany został jeden pomiar właściwości fizykochemicznych



Ryc. 3. Chemizm w wypływach wód podziemnych w rejonie Przylądka Rozewie. Podział zbioru na okres poboru próbek

Fig. 3. Chemistry of groundwater outflows in the Przylądek Rozewie region. Division into sampling time

które stanowi płytką strefę krążenia. Na podstawie przeprowadzonych pomiarów stwierdzono, że najmniej zależne od temperatury powietrza są wody wydobywające się z wypływów nr 9 i 11, zaś najbardziej zależne – wody pochodzące z wypływów nr 1 i 4 (ryc. 1; tab. 1).

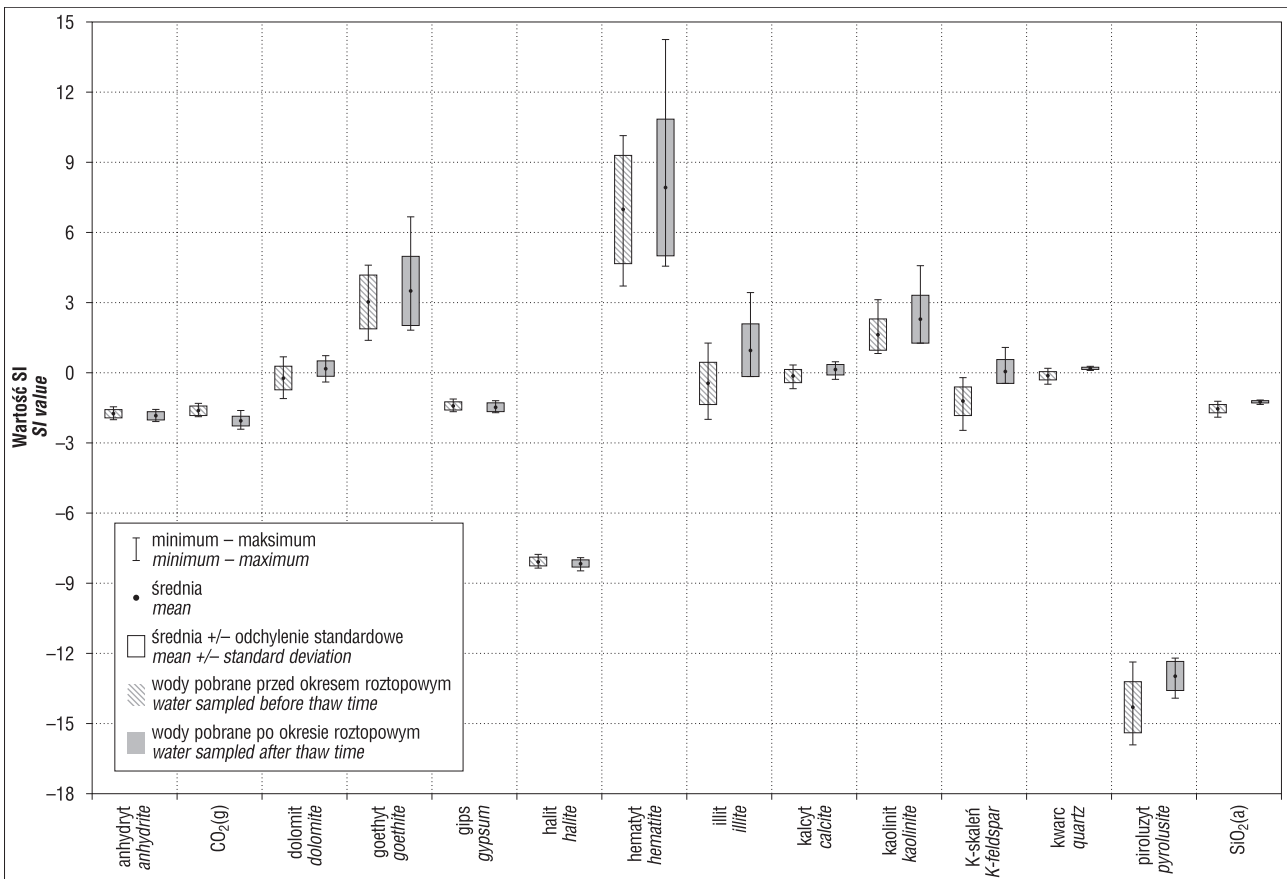
Najczęściej występujące wartości pH badanych wód mieszczą się w przedziale 7,0–7,5, co wynika z ich krążenia w obrębie utworów lodowcowych bogatych w CaCO_3 (Macioszczyk & Dobrzyński, 2007). Przypadający na okres zimowy zauważalny spadek odczynu wód we wszystkich badanych wypływach jest związany z dopływem wód roztopowych o niższym odczynie, a także z intensywnością rozpuszczalności CO_2 , która wzrasta wraz ze spadkiem temperatury. Niski odczyn badanych wód może dodatkowo wynikać z faktu ich krążenia w obrębie lokalnie występujących serii zastoiskowych, co jest szczególnie widoczne w przypadku wód pochodzących z wypływów nr 1, 11 oraz 12 (ryc. 1), gdzie momentami przyjmują one odczyn słabo kwaśny (tab. 1).

Wykonane pomiary przewodności elektrolitycznej właściwej badanych wód na wypływie wskazują, że najczęściej występujące wartości kształtują się w przedziale 600–720 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Najmniejsze zróżnicowanie pomierzonych wartości PEW otrzymano w wodzie wydobywającej się z wypływu nr 7, zaś największe – z wypływu nr 12 (ryc. 1; tab. 1). W trakcie badań stwierdzono, że pomierzone wartości PEW w wodach z wypływów nr 2 i 12 znacznie odbiegają od pozostałych. Wysoka wartość konduktywności w obrębie okresowego wypływu nr 2 wynika z obecności dużej ilości jonów chlorkowych, które do badanego wypływu dostały się wskutek dopływu wód morskich. Natomiast, zauważalny w strefie wypływu nr 12 wzrost konduktywności w sezonie letnio-jesiennym może być związany z dopływem zanieczyszczeń pochodzących z terenów rekreacyjnych. Podobnie jak w pozostałych mierzonych parametrach, zauważalny jest spadek wartości PEW badanych wód przypadający na okres zimowy spowodowany dopływem wód pochodzących z topniejącej pokrywy śnieżnej.

W obrębie opisywanego obszaru występują wody typu $\text{HCO}_3\text{--SO}_4\text{--Ca}$. Wśród anionów największy udział ma jon wodorowęglanowy, który stanowi 50–70% ich ogólnej zawartości. Stężenia jonu siarczanowego kształtują się w granicach 20–40% zawartości wszystkich anionów, zaś chlorki stanowią zazwyczaj ok. 10% anionów. Dominującym kationem jest jon wapniowy, którego wielkość stanowi co najmniej 80% całej zawartości kationów. Stężenie jonu magnezowego mieści się w przedziale 4–14% kationów, zaś łączny udział sodu i potasu stanowi od 5 do 11% całej zawartości kationów (ryc. 3).

Badane wody charakteryzują się mineralizacją na poziomie co najmniej 500,0 mg/dm^3 , co zgodnie z podziałem Pätzold i Kozerskiego (1990) klasyfikuje je jako akrotapegi ($0,5 \leq M \leq 1,0 \text{ g}/\text{dm}^3$). W wodach pobranych dla pierwszej serii pomiarowej, odnotowano stężenia wodorowęglanów występujące w przedziale 235,0–375,3 mg/dm^3 , siarczanów 70,0–175,0 mg/dm^3 , a chlorków 19,0–40,2 mg/dm^3 . Zawartość kationów dla tej samej serii pomiarowej wynosiła, dla: wapnia 98,0–180,3 mg/dm^3 , magnezu 4,7–18,7 mg/dm^3 , sodu 7,7–14,8 mg/dm^3 , a potasu 1,4–4,1 mg/dm^3 . Podczas drugiej serii oznaczeń stwierdzono spadek stężenia wszystkich oznaczonych składników głównych w pobranych wodach, w związku z czym zawartość wodorowęglanów miała zakres 202,4–326,1 mg/dm^3 , siarczanów 62,0–150,0 mg/dm^3 , a chlorków 17,7–35,2 mg/dm^3 . Natomiast odnotowane stężenia kationów mieściły się w granicach: dla wapnia 94,7–168,9 mg/dm^3 , magnezu 2,9–13,2 mg/dm^3 , sodu 6,3–11,4 mg/dm^3 , a potasu 1,3–3,2 mg/dm^3 . Podczas drugiej serii oznaczeń odnotowano wysokie stężenie jonów żelaza w wodzie z wypływu nr 1 (6,4 mg/dm^3), który znajduje się w Parowie Rudnik (Wąwóz Chłapowski; ryc. 1). Może to być tłumaczone krążeniem badanej wody w obrębie utworów formacji burowęglowej miocenu. Duża zawartość żelaza w badanej wodzie jest odpowiedzialna za brunatnoczerwone zabarwienie gruntu charakterystyczne dla Parowy Rudnik.

Obserwacje stałości składu chemicznego oraz parametrów fizykochemicznych wód wskazują na zmienność sezonową, która z podobną tendencją zachodzi we wszystkich badanych wypływach. Wzmoczona dostawa wód roztopowych z okresu wczesnej wiosny zaznaczyła się w chemiz-



Ryc. 4. Wartości SI dla wybranych faz w wypływach wód podziemnych Przyładek Rozewie
Fig. 4. SI values of chosen phases in groundwater outflows of Przyładek Rozewie

mie badanych wód niewielkim spadkiem stężenia niemal wszystkich rozpuszczonych w nich składników. Jednak spadek zawartości poszczególnych jonów nie spowodował wielkich zmian w procentowym udziale anionów i kationów. W przypadku wszystkich wypływów, w okresie po roztopowym jest zauważalny spadek udziału procentowego kationu wapniowego na korzyść magnezu, sodu i potasu. Natomiast, spadek procentowego udziału jonów wodorowęglanowych oraz chlorkowych spowodował wzrost udziału siarczanów w ogólnej zawartości anionów.

Przeprowadzone modelowanie hydrogeochemiczne wykazało, że badane wody są silnie niedosycone względem piroluzytu, halitu i syderytu, co wskazuje na warunki sprzyjające ich rozpuszczaniu i przeobrażaniu. Natomiast, względem hematytu i getytu badany roztwór jest silnie przesycony. Wskaźniki nasycenia dla pozostałych składników oscylują wokół wartości zerowej, z nieznacznym przesunięciem ku wartościom ujemnym. Świadczy to o tym, że wybrane fazy znajdują się w warunkach równowagi z roztworem lub nieznacznie są niedosycone względem niego (ryc. 4).

W wodach pobranych po okresie roztopowym (marzec 2014 r.) są widoczne mniejsze wahania wartości wskaźnika nasycenia wybranych faz niż w wodach, które zostały pobrane przed tym okresem (listopad 2013 r.). Wynika to ze wzmożonego zasilania wypływów wodami pochodzącymi z topniejącej pokrywy śnieżnej, które charakteryzują się jednakowym składem chemicznym.

PODSUMOWANIE

Chemizm badanych wód podziemnych kształtuje się pod wpływem wielu czynników, do których można zaliczyć: specyficzny nadmorski klimat, skład mineralny ośrodka skalnego, a także głębokość krążenia wód podziemnych oraz czas ich kontaktu z ośrodkiem skalnym.

Badane wypływy wykazują zmienność sezonową i cechują się typową reakcją na warunki atmosferyczne. Ogól-

nie można stwierdzić, że najwyższe stężenia większości jonów oraz wartości mierzonych parametrów fizykochemicznych występowały przed okresem roztopowym. Natomiast, dopływ do badanych wypływów wód pochodzących z topniejącej pokrywy śnieżnej spowodował zniżenie ich wartości.

Różnice w chemizmie badanych wód nie wydają się być zbyt duże, co wynika głównie z panujących w obrębie Przylądka Rozewie jednorodnych warunków przyrodniczych. W związku z tym można przypuszczać, że chemizm badanych wód jest kształtowany przez te same grupy procesów, które zachodzą z nieco inną intensywnością.

Niniejszy artykuł powstał na podstawie pracy magisterskiej (Potrykus, 2014), wykonanej pod kierunkiem dr Marzeny Szostakiewicz-Hołownia w Zakładzie Hydrogeologii UW. Autor pracy pragnie złożyć serdeczne podziękowania za możliwość wykonania badań oraz cenne wskazówki udzielone na etapie przygotowania publikacji.

LITERATURA

- FRĄCZEK E. 1998 – Objaśnienia do mapy hydrogeologicznej Polski w skali 1 : 50 000, arkusz Puck (6). Nar. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa.
- MACIOSZCZYK A. & DOBRZYŃSKI D. 2002 – Hydrogeochemia strefy aktywnej wymiany wód podziemnych. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa.
- MAGNUSZEWSKI A. & SOCZYŃSKA U. (red.), 2001 – Międzynarodowy słownik hydrologiczny. PWN, Warszawa.
- PARKHURST D.L. & APPELO C.A.J. 1999 – User's guide to PHREEQC (version 2) – a computer program for speciation, batch-reaction, one-dimensional transport, and inverse geochemical calculations. U.S. Geol. Survey, WRI Report 99–4259.
- PASSENDORFER E. & ZABŁOCKI J. 1946 – O trzeciorzędowych i czwartorzędowych utworach brzegu Bałtyku pomiędzy Wielką Wsią a Jastrzębią Górą. Roczn. Pol. Tow. Geol., 16: 169–176.
- PAZDRO Z. & KOZERSKI B. 1990 – Hydrogeologia ogólna. Wyd. Geol., Warszawa.
- POTRYKUS D. 2014 – Reżim źródeł występujących w pasie nadmorskim w rejonie Jastrzębiej Góry [praca magisterska]. Arch. IHiGI UW.
- RUDOWSKI S. 1965 – Geologia kłifu Kępy Swarzewskiej. Roczn. Pol. Tow. Geol., 35 (2): 301–322, Kraków.
- SUBOTOWICZ W. 1982 – Litodynamika brzegów klifowych wybrzeża Polski. Wyd. Ossolineum, Wrocław.