

ZMIENNOŚĆ STĘŻENIA ŻELAZA I SIARCZANÓW W PROFILACH PIONOWYCH KOLOROWYCH JEZIOREK W WIEŚCISZOWICACH (RUDAWY JANOWICKIE) – WYNIKI WSTĘPNE

CHANGES IN THE CONCENTRATION OF SULPHATES AND IRON IN THE VERTICAL SECTIONS OF KOLOROWE JEZIORKA IN WIEŚCISZOWICE (RUDAWY JANOWICKIE MTS.) – PRELIMINARY RESULTS

DOMINIKA KONSENCJUSZ¹, KRZYSZTOF CHUDY^{1,2}, MAGDALENA WORSA-KOZAK¹

Abstrakt. Na obszarze dawnego górnictwa kruszcowego w rejonie Rudaw Janowickich występują sztuczne zbiorniki wód powierzchniowych powstałe w nieckach poeksploatacyjnych – Kolorowe Jeziorka w Wieściszowicach. Nazwy poszczególnych zbiorników pochodzą od pozornej barwy występującej w nich wody: Błękitne Jezioro, Purpurowe Jezioro oraz Zielone Jezioro. Jednym z elementów prac badawczych prowadzonych w rejonie Miedzianka–Czarnów–Wieściszowice jest ocena stratyfikacji składu chemicznego w profilu pionowym wód wymienionych zbiorników. W artykule przedstawiono wstępne wyniki badań zmienności stężeń jonów żelaza oraz siarczanów. Przeprowadzono również analizę specyjalną tych jonów z wykorzystaniem programu PHREEQC.

Słowa kluczowe: skład chemiczny, wody powierzchniowe, jednostka Leszczyńca, Kolorowe Jeziorka, Rudawy Janowickie.

Abstract. Mining activity in the Rudawy Janowickie Mountains results in the transformation of the environment including surface and ground waters. The most important are those related to the formation of artificial lakes of Kolorowe Jeziorka in Wieściszowice. The lakes take their names from the colour of water: Blue Lake, Purple Lake and Green Lake. Investigation of the changes in the concentration of sulphates and iron in the vertical section of Kolorowe Jeziorka is part of a scientific project carried out in the Miedzianka–Czarnów–Wieściszowice region. In this article, the authors show the preliminary result of this investigation as well as of hydrochemical modelling using the PHREEQC code.

Key words: chemical composition of water, surface water, Leszczyńiec Unit, Kolorowe Jeziorka, Rudawy Janowickie Mts..

WSTĘP

Obszary historycznego górnictwa rud metali, węgla kamiennego czy surowców skalnych stanowią nie tylko ciekawe dziedzictwo kulturowe, które coraz częściej jest zagospodarowywane do celów turystycznych, lecz przede wszystkim pozwalają na zbadanie procesów zachodzących w środowisku skalnym i wodnym kilkadziesiąt, a nawet

kilkaset lat po zakończeniu eksploatacji. Daje to możliwość do prognozowania na podstawie modeli geochemicznych przemian środowiskowych, do jakich może dochodzić po zaprzestaniu eksploatacji w obecnie czynnych zakładach górniczych.

¹ KGHM CUPRUM sp. z o.o. Centrum Badawczo-Rozwojowe, ul. gen. Władysława Sikorskiego 2-8, 53-659 Wrocław; e-mail: dkonsencjusz@cuprum.wroc.pl, kchudy@cuprum.wroc.pl, mworsa@cuprum.wroc.pl

² Uniwersytet Wrocławski, Instytut Nauk Geologicznych, pl. Maksy Borna 9, 50-204 Wrocław; e-mail: krzysztof.chudy@ing.uni.wroc.pl

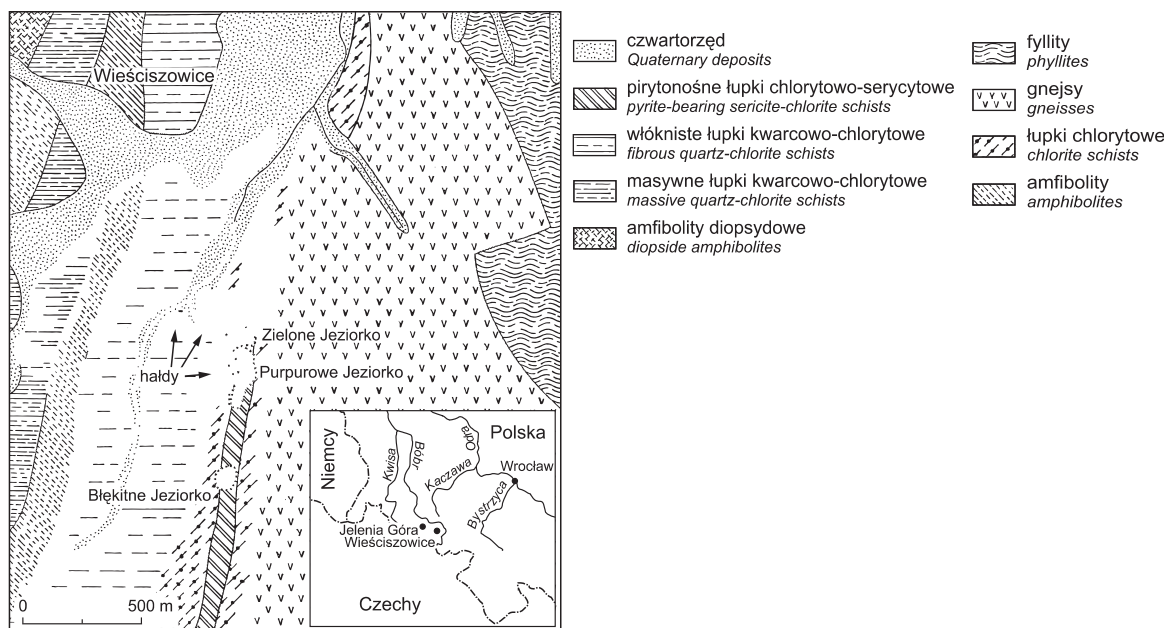


Fig. 1. Budowa geologiczna rejonu Wieściszowice (wg Berga, 1913 w Balcerzak i in., 1992, zmodyfikowane)

Location of the study area on geological background (according to Berg, 1913 after Balcerzak *et al.*, 1992, modified)

Województwo dolnośląskie, a zwłaszcza rejon sudecki, cechuje różnorodność występujących tu bogactw naturalnych oraz mnogość obiektów pogórnich, zarówno podziemnych, jak i powierzchniowych. W ramach projektów finansowanych z Funduszu Badawczego KGHM CUPRUM Sp. z o.o. Centrum Badawczo-Rozwojowego obecnie są prowadzone prace mające na celu rozpoznanie procesów formowania się składu chemicznego wód podziemnych w rejonach

dawnej działalności górniczej w Sudetach – rejon Czarnowa, Wieściszowice i Miedzianki oraz rejon Bystrzycy Górnej. Projekt badawczy „Modele hydrogeochemiczne wód w obszarach dawnego górnictwa kruszców w rejonie Sudetów” jest realizowany od czerwca 2011 r. i potrwa do grudnia 2012 r. W artykule przedstawiono wstępne wyniki I etapu tego projektu.

CHARAKTERYSTYKA OBSZARU BADAŃ

Kolorowe Jezioroko w Wieściszowicach to potoczna nazwa kompleksu trzech antropogenicznych zbiorników wodnych będących pozostałością po prowadzonej w XVIII–XIX w. eksploatacji odkrywkowej surowców mineralnych. Położone są one w paśmie Rudaw Janowickich we wschodnich Sudetach, ok. 20 km na południowy wschód od Jeleniej Góry (fig. 1).

Pod względem geologicznym Kolorowe Jezioroko są zlokalizowane w pasie występowania pirytonośnych łupków serycytowo-chlorytowych (fig. 1) stanowiących fragment większej jednostki – formacji wulkanitów z Leszczyńca, która jest zbudowana głównie z przeobrażonych w trakcie procesów metamorficznych skał serii spilitowo-keratofrowej. Wschodnie łupków pirytonośnych tworzą na powierzchni pas o szerokości ok. 200 m i długości 4 km pomiędzy miejscowością Wieściszowice a górą Wielka Kopa. Średnia zawartość pirytu w złożu wynosi 10%, w niektórych partiach dochodzi do 30%. Szczegółową charakterystykę jednostki

Leszczyńca, jak też samego rejonu występowania pirytonośnych łupków, można znaleźć m.in. w pracach Nielubowicza i Jaskólskiego (1957), Jaskólskiego (1964), Teisseyra (1973), Piestrzyńskiego i Salomona (1977), Balcerzaka i in. (1992), Uzarowicza i in. (2008, 2011) oraz Oberc-Dziedzic i in. (2011).

Geneza Kolorowych Jeziorok jest związana z eksploatacją pirytonośnych łupków serycytowo-chlorytowych w XVIII i XIX w. Z łupków tych w witrioletni zlokalizowanej na terenie przysiółka Płuszów wytwarzano kwas siarkowy.

Zielone Jezioroko leży na wysokości ok. 555 m n.p.m., ma wymiary ok. 20 × 30 m, głębokość 3,8 m i jest najmniejszym spośród trzech opisywanych zbiorników. Purpurowe Jezioroko powstało w wyniku wypełnienia porzuconych wyrobisk kopalni „Hoffnung” (Nadzieja), w której prowadzono eksploatację od 1785 r. przez okres 100 lat. Staw ten znajduje się na wysokości 560 m n.p.m., rozciąga się południkowo na przestrzeni ok. 400 m, ma średnią szerokość 60–

100 m, a jego maksymalna głębokość osiąga 3 m. Błękitne Jezioro (nazywane również Szmaragdowym, Niebieskim lub Lazurowym) znajduje się na wysokości 635 m n.p.m. i powstało wskutek wypełnienia wodą wyrobisk kopalni „Neues Glück” (Nowe Szczęście), która działała przez kilka lat od 1893 r. Zbiornik ten ma wymiary ok. 130 × 40 m i głębokość dochodzącą do 8 m.

Podczas intensywnych opadów i powodzi w 1997 r. wody z wyrobiska Purpurowego Jezioroka spłynęły doliną Rdzawe-

go Potoku, opróżniając wyrobisko. Z informacji uzyskanych od pracownika gminy Marciszów opiekującego się tym terenem wynika, że na skutek szybkiego wypełniania się wyrobiska wodami opadowymi, a co za tym idzie wzrostu ciśnienia hydrostatycznego, udroźniona została stara sztolnia odwadniająca, którą odpłynęły wody. W późniejszym okresie sztolnię ponownie uszczelniono i po około roku Purpurowe Jezioro znów wypełniło się wodą do obecnego poziomu.

METODYKA BADAŃ

Opróbowanie Kolorowych Jeziorok w Wieściszowicach wykonano dotychczas jednokrotnie – we wrześniu 2011 r. Do poboru próbek wody z różnych głębokości wykorzystano próbniki Ruttnera. Próbnik ten jest zbudowany z akrylowego cylindra zamykanego szczelnie na żądanych głębokościach. Wewnątrz cylindra znajduje się termometr (dokładność 1°C) do pomiaru temperatury wody. Próbnik posiada zawór spustowy do opróżniania komory w sposób kontrolowany. W terenie wykonano również pomiary podstawowych właściwości fizykochemicznych, tj.: temperatury wody, odczynu pH, przewodnictwa właściwego wody (PEW) oraz Eh. Wykorzystano wieloparametryczny miernik elektroniczny CPC-401 firmy Elmetron mający kompensację temperaturą oraz elektrody: uniwersalną elektrodę kombinowaną IJ44C, czujnik konduktometryczny CD-210, zespoloną elek-

trodę platynową ERPt-13 i czujnik temperaturowy CT2B-121. Przed każdą serią pomiarową pH-metr był kalibrowany, a błąd oznaczenia nie przekraczał 0,5%.

Oznaczenia składu chemicznego wykonano w Pracowni Gruntoznawczej Zakładu Geografii Fizycznej Uniwersytetu Wrocławskiego z zastosowaniem metody adsorpcyjnej spektrofotometrii atomowej (AAS) za pomocą urządzenia Avanta Σ firmy GBC. W badanych próbkach oznaczono suchą pozostałość, barwę, chemiczne zapotrzebowanie tlenu metodą nadmanganianową (Mn) oraz skład podstawowy, w tym żelazo i siarczany. Analiza specjacyjna oraz wartości wskaźnika nasycenia (SI) analizowanych wód w stosunku do wybranych faz mineralnych obliczono w programie PHREEQC z wykorzystaniem bazy MINTEQ (Parkhurst, Appelo, 1999) oraz terenowych oznaczeń pH i Eh.

WYNIKI BADAŃ

Wodę do analiz chemicznych pobrano ze wszystkich trzech jeziorok: Błękitnego Jezioroka, Purpurowego Jezioroka oraz Zielonego Jezioroka. Błękitne Jezioro opróbowano na

głębokościach: 0,2; 1,7; 2,7; 3,7; 4,7; 5,7; 6,7 oraz 7,7 m poniżej zwierciadła wody, Purpurowe Jezioro opróbowano na głębokościach: 0,2; 1,7; 2,5 m poniżej zwierciadła wody, a Zielone Jezioro na głębokościach: 0,2; 2,2 i 3,5 m poniżej zwierciadła wody.

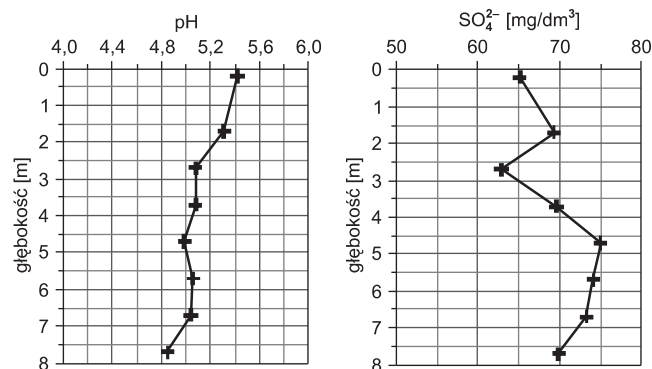


Fig. 2. Zmienność pH oraz koncentracji jonów SO_4^{2-} w profilu pionowym Błękitnego Jezioroka

Distribution of pH and SO_4^{2-} concentrations in vertical section of the Blue Lake

BŁĘKITNE JEZIOROKO

Wody Błękitnego Jezioroka opróbowano na ośmiu poziomach głębokościowych. W zbiorniku występują wody słabo zmineralizowane o PEW w granicach od 160 (strefa przypowierzchniowa) do 179 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (strefa przydenna). Odczyn pH wody w tym jezioroku wykazuje niewielką zmienność wraz ze wzrostem głębokości (fig. 2) od wartości 5,42 w strefie najpłytszej do wartości 4,85 w najgłębszej. Są to najwyższe wartości pH spośród trzech omawianych zbiorników.

Jony żelaza nie występują w badanych wodach na żadnej z opróbowanych głębokości.

W pobranych próbkach wody jony SO_4^{2-} występują w koncentracjach od 62 do 75 mg/dm^3 . W profilu pionowym

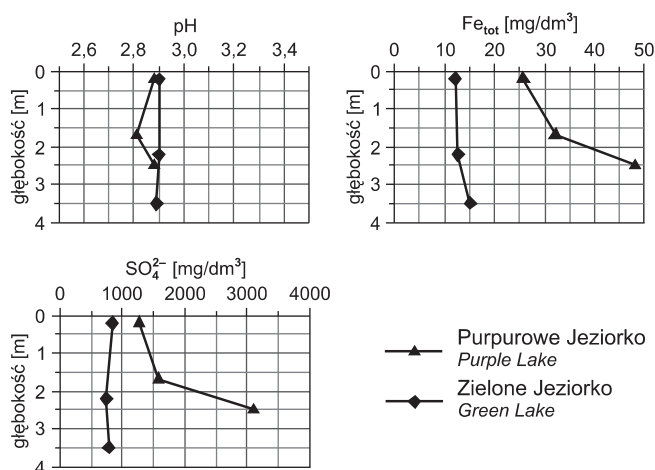


Fig. 3. Zmienność pH oraz koncentracji jonów Fe_{tot} i SO_4^{2-} w profilach pionowych Purpurowego Jeziorka i Zielonego Jeziorka

Distribution of pH, Fe_{tot} and SO_4^{2-} concentrations in vertical sections of the Purple Lake and Green Lake

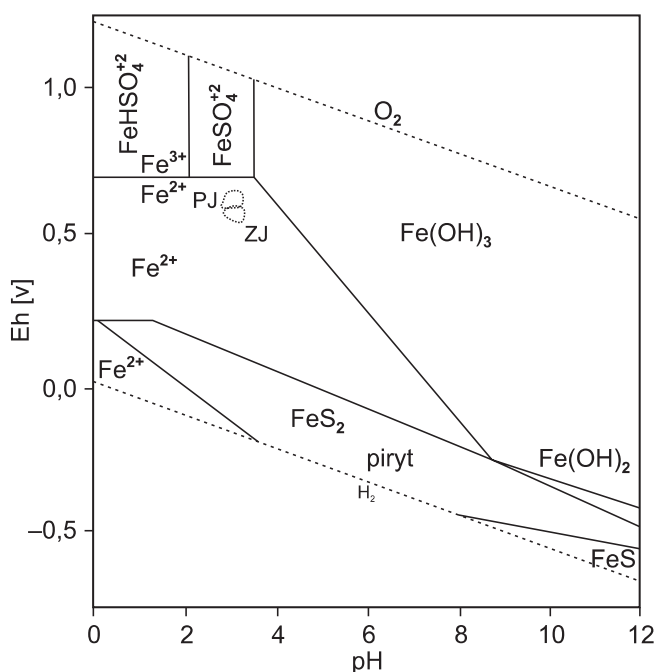


Fig. 4. Diagram pól stabilności Eh–pH dla układu Fe–O–H–S w temp. 25°C. Granice pól stabilności fazy stałej oraz fazy rozpuszczonej (kursywa) wyznaczone dla $\text{Fe} = 2 \cdot 10^{-5}$, $\text{S} = 3 \cdot 10^{-3}$, $\text{pK} = 37,5$ dla $\text{Fe}(\text{OH})_3$

PJ – Purpurowe Jeziorko, ZJ – Zielone Jeziorko (na podstawie Rose, Cravotta, 1998)

Eh–pH diagram showing stability fields for system Fe–O–H–S at 25°C. Boundaries for stability fields of solid phases and dissolved species (italics letters) calculated for $\text{Fe} = 2 \cdot 10^{-5}$, $\text{S} = 3 \cdot 10^{-3}$, $\text{pK} = 37,5$ for $\text{Fe}(\text{OH})_3$

PJ – Purple Lake, ZJ – Green Lake (after Rose, Cravotta, 1998)

SO_4^{2-} można wydzielić trzy strefy. Do głębokości ok. 3,7 m znajduje się strefa o obniżonej (62–69 mg/dm^3) koncentracji tych jonów. Poniżej, w przedziale głębokościowym 3,7–7,0 m, obserwujemy wzrost koncentracji jonów SO_4^{2-} do wartości 72–75 mg/dm^3 . W strefie przydennej następuje spadek ilości jonów SO_4^{2-} do wartości 69,8 mg/dm^3 .

Analiza specjacyjna siarki wskazuje, że występuje ona głównie w postaci jonu SO_4^{2-} (92–93%), podrzędnie w formie CaSO_4^0 (5–6%) oraz MgSO_4^0 (1,2–1,8%). Brak jest widocznego zróżnicowania form występowania tego jonu w zależności od głębokości.

PURPUROWE JEZIORKO

Wody Purpurowego Jeziorka mają kwaśny odczyn pH osiągający wartości 2,81–2,88 (fig. 3) oraz najwyższe spośród badanych zbiorników przewodnictwo elektryczne właściwe. Zmienia się ono od 2550 $\mu\text{S}/\text{cm}$ w strefie przypowierzchniowej do 3950 $\mu\text{S}/\text{cm}$ w strefie przydennej.

W zbiorniku tym stwierdzono również najwyższe wartości jonów Fe_{tot} , których koncentracja rośnie wraz z głębokością od 25 do 48 mg/dm^3 (fig. 3). Jak wynika z analizy specjacyjnej, żelazo występuje na II stopniu utlenienia w formie Fe^{2+} (63–71%) oraz w formie FeSO_4^0 (29–36%). Wyniki te są zgodne z przewidywaniami teoretycznymi, które wskazują, że w procesach generujących kwaśny drenaż górniczy pomierzone wartości pH oraz Eh wód będą się plasowały wzdłuż lub w bliskim sąsiedztwie linii granicznej Fe^{2+} – $\text{Fe}(\text{OH})_3$ na diagramie Eh–pH (fig. 4, Langmuir, Whittemore, 1971). Wraz z głębokością zauważalny jest spadek ilości żelaza w postaci Fe^{2+} na rzecz jonów FeSO_4^0 (tab. 1).

Jony siarczanowe występują w wysokich koncentracjach, od 1267 do 3107 mg/dm^3 , a ich rozkład pionowy jest

Tabela 1

Wyniki modelowania specjacyjnego form występowania Fe oraz S w wodach Purpurowego Jeziorka (zawartość w %)

Results of hydrochemical modeling of occurrence of Fe and S in the waters from Purple Lake (in %)

Głębokość poboru wody	0,2 m	1,7 m	2,5 m
Fe^{2+}	70,56	68,45	63,49
FeSO_4^0	29,47	31,55	36,51
Głębokość poboru wody	0,2 m	1,7 m	2,5 m
SO_4^{2-}	75,85	75,08	68,19
CaSO_4^0	11,71	11,58	20,35
MgSO_4^0	6,69	7,15	7,04
HSO_4^-	4,62	5,05	3,38

podobny do rozkładu jonów Fe_{tot} (fig. 3). W całym profilu dominującą formą występowania siarczanów jest jon SO_4^{2-} (68–76%). Podrzędnie występuje on w postaci CaSO_4^0 (11–21%), MgSO_4^0 (6–7%) lub HSO_4^- (tab. 1).

ZIELONE JEZIORKO

Wody tego zbiornika powierzchniowego mają odczyn kwaśny, podobny do wód Purpurowego Jeziorka, niezmienny wraz z głębokością (fig. 3). Przewodnictwo właściwe rośnie wraz z głębokością poboru próbek od wartości 1601 do 1956 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Jony Fe_{tot} mają podobny rozkład jak PEW i ich koncentracja wzrasta wraz z głębokością od wartości 12 do 15,2 mg/dm^3 (fig. 3). Dominującą formą występowania żelaza jest jon Fe^{2+} (75–77%) podrzędnie występuje FeSO_4^0 (23–25%; fig. 4).

W przeciwieństwie do wyżej opisanych zbiorników najwyższe koncentracje jonów SO_4^{2-} (837 mg/dm^3) występują przy powierzchni zbiornika. Wraz z głębokością zaznacza się ich nieznaczny spadek, do wartości 745 mg/dm^3 na głębokości 2,2 m i wartości 782 mg/dm^3 na głębokości 3,5 m (fig. 3). Podobnie jak w Purpurowym Jeziorku, tak i tu dominującą formą występowania siarczanów jest jon SO_4^{2-} (78–79%). Podrzędnie występują formy CaSO_4^0 (10–11%),

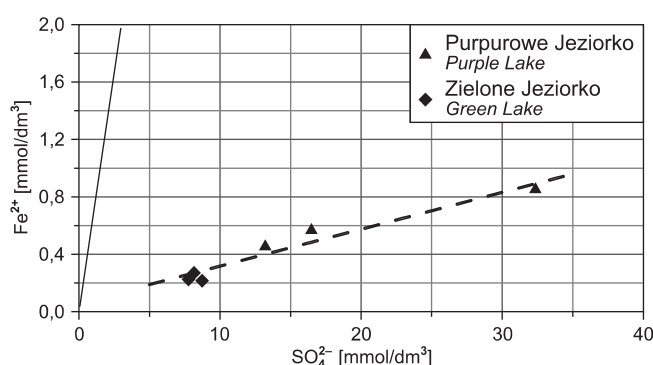


Fig. 5. Porównanie stosunków molowych pomiędzy jonami Fe^{2+} i SO_4^{2-} w wodach Purpurowego Jeziorka i Zielonego Jeziorka

Linia ciągła – teoretyczny stosunek molowy pomiędzy jonami Fe^{3+} i SO_4^{2-} dla utleniania pirytu przez tlen

Comparison of the molar ratio between Fe^{2+} and SO_4^{2-} in water from Purple Lake and Green Lake

Solid line – theoretical molar ratio between Fe^{3+} and SO_4^{2-} for pyrite oxidation by oxygen

MgSO_4^0 (4%) lub HSO_4^- (4%). Do głębokości ok. 2 m forma jonowa HSO_4^- przeważa nad MgSO_4^0 .

DYSKUSJA

Wody, które zgromadziły się w Błękitnym Jeziorku, ze względu na niskie przewodnictwo elektryczne właściwe oraz niewielkie koncentracje jonów SO_4 reprezentują najprawdopodobniej wody pochodzące z drenowanego poziomu rumoszonego, charakteryzującego się intensywną wymianą wody. Są one, jak wskazują również badania innych autorów (Balcerzak i in., 1992), na wstępnym etapie przyjmowania hydrochemicznych właściwości charakterystycznych dla utleniania siarczków. Znacznie pełniej procesy te są rozwinięte w dwóch pozostałych zbiornikach – Purpurowym i Zielonym Jeziorku. Są one położone znacznie niżej, a do tego otoczone stromymi ścianami wyrobisk o wysokościach dochodzących do kilkudziesięciu metrów, co ogranicza spływ powierzchniowy do zbiorników. Procesy wietrzenia minerałów związane z utlenianiem złóż siarczków – przede wszystkim utlenianiem pirytu (FeS_2) – zachodzą w nich znacznie intensywniej. Efektem tego jest widoczne obniżenie pH wód do wartości poniżej 3 oraz wysokie stężenia jonów Fe^{2+} i SO_4^{2-} .

Żelazo, występujące głównie w postaci jonów Fe^{2+} (80–90%), które są dostarczane do wód wskutek utleniania pirytu, najprawdopodobniej przez tlen (fig. 5), jest wytrącane w zbiorniku w formie wodorotlenków ($-9,5 < \text{SI} < -9,1$ dla $\text{Fe}(\text{OH})_3$; $5,5 < \text{SI} < 5,0$ dla FeOOH), a za jego regulację są odpowiedzialne również siarczanowe minerały żelaza ($-21,2 < \text{SI} < -17,5$ dla jarosytów; Balcerzak i in., 1992;

Rose, Cravotta, 1998). W wodach i osadach Purpurowego Jeziorka stwierdzono występowanie schwertmanitu $\text{Fe}_{16}^{3+}[\text{O}_{16}(\text{OH})_{10}(\text{SO}_4)_3] \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$; Parafiniuk, Siuda, 2006), który odgrywa znaczącą rolę w kształtowaniu chemizmu tych wód. Wytrąca się on w warunkach kwaśnego drenażu górniczego (z ang. AMD – *acid mine drainage*).

Źródłem jonów SO_4^{2-} w wodach badanych jeziorek również jest proces utleniania pirytu i innych siarczków. Porównanie stosunków molowych pomiędzy jonami Ca^{2+} i SO_4^{2-} (fig. 6) wskazuje, że wytrącanie się gipsu ($-1,9 > \text{SI} > -2,2$) jest głównym procesem kontrolującym stężenia jonów SO_4^{2-} w Błękitnym Jeziorku. W Purpurowym Jeziorku obliczenia stanu nasycenia wskazują, że wraz ze wzrostem głębokości wzrasta wskaźnik nasycenia wody w stosunku do gipsu – od wartości $\text{SI} = -0,47$ przy powierzchni zbiornika do wartości $\text{SI} = 0,17$ przy dnie. Za koncentrację jonów SO_4^{2-} są odpowiedzialne również procesy wytrącania innych minerałów wtórnych zawierających jony siarczanowe.

Przeprowadzone badania wskazują również na istnienie stratyfikacji hydrogeochemicznej występowania jonów Fe^{2+} i SO_4^{2-} w Kolorowych Jeziorkach. W Błękitnym Jeziorku do głębokości ok. 3,7 m występuje strefa zmniejszonej koncentracji jonów SO_4^{2-} , co jest związane z cyrkulacją wody w tym najgłębszym, 8-metrowym zbiorniku.

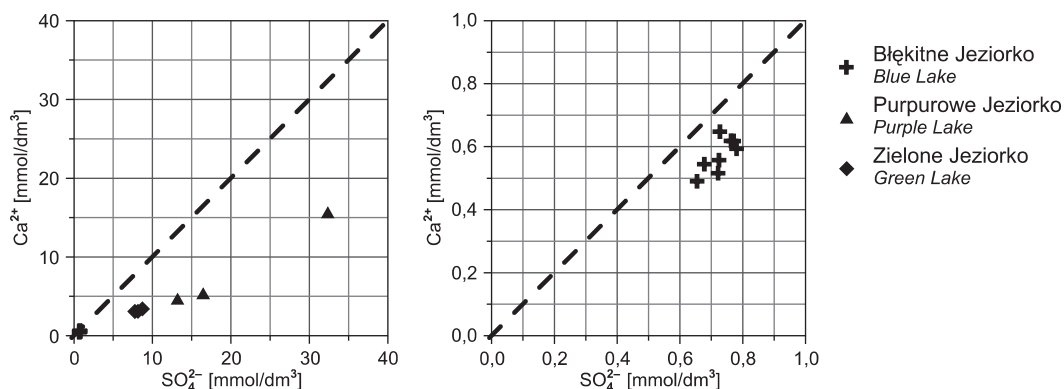


Fig. 6. Porównanie stosunków molowych pomiędzy jonami Ca^{2+} i SO_4^{2-} w wodach Błękitnego Jeziorka, Purpurowego Jeziorka i Zielonego Jeziorka

Linia przerywana – teoretyczny stosunek molowy pomiędzy jonami Ca^{2+} i SO_4^{2-} dla wytrącania gipsu

Comparison of the molar ratio between Ca^{2+} and SO_4^{2-} in water from Blue Lake, Purple Lake and Green Lake

Solid line – theoretical molar ratio between Ca^{2+} and SO_4^{2-} for gypsum precipitation

Najbardziej widoczny wzrost stężeń jonów Fe^{2+} i SO_4^{2-} wraz z głębokością jest obserwowany w Purpurowym Jeziorku. Wynika to zarówno z jego położenia, jak i z niewielkiej głębokości. Jak już opisano wcześniej, jezioro to rozciąga się południkowo na długości ok. 400 metrów i jest wysta-

wione na długą ekspozycję słoneczną w ciągu dnia, która powoduje silne parowanie z powierzchni zbiornika i zateżnienie roztworu. Koncentracji jonów sprzyja również niewielka głębokość zbiornika – głównie od 0,5 do 1,0 m, miejscami dochodząca do 3,0 m.

PODSUMOWANIE

Wstępne wyniki badań hydrogeochemicznych przeprowadzonych we wrześniu 2011 r. wskazują na istnienie zmienności pionowej występowania jonów Fe_{tot} i SO_4^{2-} w wodach Kolorowych Jeziorok w Wieściszowicach. W Błękitnym Jeziorku nie stwierdzono występowania jonów Fe, a do głębokości ok. 3,7 m stwierdzono strefę zmniejszonych koncentracji jonów SO_4^{2-} . Koncentrację jonów SO_4^{2-} w tym zbiorniku kontroluje przede wszystkim wytrącanie się gipsu, a w pozostałych zbiornikach dodatkowo zachodzą procesy wytrącania się minerałów wtórnych zawierających jon siarczanowy.

Najbardziej widoczny wzrost koncentracji jonów Fe^{2+} i SO_4^{2-} wraz z głębokością zaobserwowano w wodach Purpurowego Jeziorka. Wynika to z silnej ekspozycji słonecznej związanej z jego położeniem i z niewielką głębokością.

Żelazo, występujące głównie w postaci jonów Fe^{2+} dostarczanych do wód na skutek utleniania pirytu, wytrąca się w formie wodorotlenków. Za jego regulację są odpowiedzialne również siarczanowe minerały żelaza.

LITERATURA

- BALCERZAK E., DOBRZYŃSKI D., PARAFINIUK J., 1992 — Wpływ przeobrażeń mineralnych na skład chemiczny wód w strefie wietrzenia łupków pirytowych w Wieściszowicach, Rudawy Janowickie, Sudety Zachodnie, Polska. *Ann. Soc. Geol. Pol.*, **62**: 75–93.
- JASKÓLSKI S., 1964 — Złoże łupków pirytowych w Wieściszowicach na Dolnym Śląsku i próba wyświetlenia ich genezy. *Rocz. Pol. Tow. Geol.*, **34**: 29–63.
- LANGMUIR D., WHITTEMORE D.O., 1971 — Variations in the stability of precipitated ferric oxyhydroxides. *W: Nonequilibrium systems in natural water chemistry* (red. J.D. Hem). *Adv. Chem.*, **106**: 209–234.
- NIELUBOWICZ R., JASKÓLSKI S., 1957 — Materiały do poznania złożeń łupków pirytowych w Wieściszowicach i do jego genezy. *Prz. Geol.*, tom **5**: 303–310.
- OBERC-DZIEDZIC T., MOCHNACKA K., MAYER W., PIECZKA A., CREASER R.A., GÓRALSKI M., 2011 — Studies on magnetite and pyrite mineralization, and on their early Paleozoic ocean-floor host-rocks from the Leszczyniec Unit (West Sudetes, Poland). *Ann. Soc. Geol. Pol.*, **81**: 133–160.

- PARAFINIUK J., SIUDA R., 2006 — Schwertmannite precipitated from acid mine drainage in the Western Sudetes (SW Poland) and its arsenate sorption capacity. *Geol. Quart.*, **50**, 4: 475–486.
- 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. Water-Resources Investigation Report 99–4259. U.S. Department of the Interior & U.S. Geological Survey, Denver, Colorado.
- PIESTRZYŃSKI A., SALOMON W., 1977 — Nowe dane o polimetalicznej mineralizacji żył kwarcowych w złożu pirytu w Wieściszowicach (Dolny Śląsk). *Kwart. Geol.*, **21**: 27–35.
- ROSE A.W., CRAVOTTA C.A., 1998 — Geochemistry of coal-mine drainage. *W*: Coal mine drainage prediction and pollution prevention in Pennsylvania (red. K.B.C. Brady i in.). Pennsylvania Department of Environmental Protection, Pennsylvania.
- TEISSEYRE J.H., 1973 — Skały metamorficzne Rudaw Janowickich i Grzbietu Lasockiego. *Geol. Sudet.*, **8**: 7–118.
- UZAROWICZ Ł., SKIBA S., SKIBA M., MICHALIK M., 2008 — Mineral transformations in soils on spoil heaps of an abandoned pyrite mine in Wieściszowice (Rudawy Janowickie Mts., Lower Silesia, Poland). *Pol. J. Soil Sci.*, **41**, 2: 183–193.
- UZAROWICZ Ł., SKIBA S., SKIBA M., ŠEGVIĆ B., 2011 — Clay-mineral formation in soils developed in the weathering zone of pyrite-bearing schists: a case study from the abandoned pyrite mine in Wieściszowice, Lower Silesia, SW Poland. *Clays and Clay Miner.*, **59**, 6: 581–594.

SUMMARY

Mining activity in the Rudawy Janowickie Mountains results in the transformation of the environment including surface and ground waters. The most important are those related to the formation of artificial lakes of Kolorowe Jeziora in Wieściszowice.

Preliminary results of hydrogeochemical research, carried out in September 2011, indicate vertical changes in Fe_{tot} and SO_4^{2-} concentrations in the waters of Kolorowe Jeziora. No Fe ions have been found in Blue Lake and there is a zone of lower SO_4^{2-} concentration at the depth of 2.5 m. The SO_4^{2-} concentration in the lake is controlled mainly by gyp-

sum precipitation. In the other lakes, the processes of precipitation of secondary minerals, containing sulphate ion, also take place.

The greatest increase in the concentration of Fe^{2+} and SO_4^{2-} was observed in the waters of Purple Lake. This is because of the strong sun exposure relating to the location, and a small depth of the lake.

Iron exists mainly as Fe^{2+} ions, delivered into the water due to oxidation of pyrite, and precipitates as hydroxides. Sulphate minerals of iron are also responsible for the regulation of Fe^{2+} ions.

