

Zmienność mineralizacji wód dopływających z poziomu wapienia podstawowego do wyrobisk górniczych kopalni Rudna KGHM

Barbara Kielczawa¹, Anna Chudy², Stanisław Ślusarczyk¹

Mineralization variability in waters flowing from the Basal Limestone to the Rudna KGHM mining excavations. Prz. Geol., 65: 1290–1295.

Abstract. The article discusses the results of the work on the variability of water mineralization in the Basal Limestone, inflowing to the excavations of the KGHM Polska Miedź S.A. Rudna mine. The spatial variability of the total water mineralization and concentrations of particular ions (Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , Ca^{2+} and Mg^{2+}) were analyzed. It has been observed that the mineralization of waters from the Basal Limestone is from 12 to 256 g/dm³ with a mineralization gradient at 43.34 g/dm³/100 m. The waters are of the Na–Cl chemical type. It was found that the lowest concentrations of Na^+ and Cl^- characterize the southern part of the study area. Concentrations of these ions increase in the northern part of the Rudna mine, where the lowest content of sulphate ions and the highest concentrations of Ca^{2+} ion were observed. Based on selected, most commonly used hydrochemical indexes, an attempt was made to determine the origin of the major ions.

Keywords: water chemistry variations, hydrochemical indices, Rudna mine

Rejon badań znajduje się w centralnej części lubińskiego-głogowskiego obszaru miedzionośnego. Rozwijająca się od połowy lat 60. XX w. eksploatacja rud miedzi sukcesywnie umożliwia rozpoznawanie warunków hydrogeologicznych tego rejonu. Postęp robót górniczych, a przez to intensywne i wieloletnie odwadnianie górotworu, zmieniają pierwotne warunki hydrodynamiczne. Konsekwencją zmian kierunków przepływu wód jest intensyfikacja procesów hydrogeochemicznych w obrębie analizowanego poziomu wapienia podstawowego.

BUDOWA GEOLOGICZNA I WARUNKI HYDROGEOLOGICZNE

Podłoże monokliny przedsudeckiej jest zbudowane głównie ze skał krystalicznych. Są to przede wszystkim zróżnicowane litologicznie łupki metamorficzne, fyllity, gnejsy, granitognejsy oraz granity (Jureczko, 1981). Na nich leżą kompleksy skał osadowych, karboński oraz permsko-triasowy. Wymienione wydzielenia są przykryte niezgodnie zalegającymi osadami paleogenu i neogenu oraz czwartorzędu. Utwory paleogenu i neogenu to głównie ily, mułowce, piaski i żwiry z pokładami węgla brunatnych. Czwartorzęd jest wykształcony w postaci glin morenowych, piasków i żwirów (Dąbrowski, 1973; Jureczko, 1981; Downorowicz, 1983; Bocheńska, 1984, 1988).

Na omawianym obszarze można wydzielić dwa kompleksy hydrogeologiczne: kenozoiczno-triasowy – górny i permski – dolny. Kompleks górny obejmuje osady czwartorzędu, paleogenu i neogenu oraz triasu. Do drugiego z wymienionych kompleksów zalicza się monoklinalnie zapadające i zaburzone tektonicznie permskie serie osadowe. Rozdzielone są one soczewami nieprzepuszczalnych utworów siarczanowych i ilastych górnego cechsztynu.

Ze względu na zróżnicowanie litologiczne warstw wodonośnych, warunki hydrogeologiczne w kompleksie górnym są bardzo zmienne. Mimo to utwory kenozoiku

stanowią obszerny zbiornik wód podziemnych (Dąbrowski, 1973; Jureczko, 1981; Downorowicz, 1983).

Triasowe piętro wodonośne stanowią piaszczyste utwory pstrego piaskowca (Wilk, Bocheńska, 2003). Są to głównie spękane, porowate i zwietrzałe piaskowce wykazujące słabe zawodnienie (wodonośne są tylko strefy rozluźnione), przez co, wraz z niżej leżącymi pakietami anhydritów i ilowców, stanowią izolującą serię rozdzielającą.

W obrębie permskiego kompleksu wodonośnego wyróżnia się poziomy dolomitu głównego, wapienia podstawowego i stropowych partii czerwonego spągowca. Mają one zasadnicze znaczenie w kształtowaniu wielkości dopływów do wyrobisk Legnicko-Głogowskiego Okręgu Miedziowego (LGOM) (Jureczko, 1981; Bocheńska, 1984; Mądrala, 2008). Serie dolomitu głównego są słabo przepuszczalne, lecz ze względu na obecność szczelin w zasięgu tego poziomu lokalnie wykazuje on duże zawodnienie.

Poziom wapienia podstawowego ma charakter szczelinowo-porowy. Największe zawodnienie wykazują partie spękane, zwietrzałe i skrasowiałe, szczególnie w strefach zdyslokowanych.

Obecność uskoków, spękań i szczelin krasowych w strefach podkenozoicznych wychodni utworów triasu i permu powoduje rozwój kontaktów hydraulicznych, obejmujących oba omówione kompleksy. Stąd przyjmuje się, że w tych rejonach funkcjonuje jeden wspólny kompleks wodonośny – kenozoiczno-triasowo-permski, jednak nieobejmujący piętra czwartorzędowego (Kleczkowski, Kalisz, 1996; Becker i in., 2007).

Uwzględniając zmienność warunków hydrogeologicznych omawianego poziomu, w LGOM wyróżnia się dwa rejonu:

– północny – obszary górnicze: Siersoszowice, Rudna, Głogów Głęboki - Przemysłowy oraz północna część obszaru górniczego Polkowice;

– południowy – południowa część obszaru górniczego Polkowice wraz z obszarami górniczymi Lubin i Małomice (ryc. 1).

¹Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii, Politechnika Wroclawska, ul. Na Grobli 15, 50-421 Wrocław; barbara.kielczawa@pwr.edu.pl.

²Przedsiębiorstwo Konsultingowe HYDROGEOMETAL, ul. Marii Skłodowskiej-Curie 98B, 59-301 Lubin.

Wymienione rejonu wykazują zróżnicowanie zarówno w miąższości warstw wodonośnych, jak i parametrów przepuszczalności (porowatości, szczelinowatości, wielkości współczynników filtracji).

Serie wodonośne rejonu północnego charakteryzują się niższym stopniem zawodnienia, mniejszą szczelinowatością i porowatością oraz strefami stagnacji wód. W rejonie południowym zaznacza się większa porowatość, szczelinowatość i zaangażowanie tektoniczne, przez co ośrodek skalny cechuje się większym zawodnieniem. Ponadto w tej części LGOM węglanowe serie wodonośne mają swoje wychodnie pod osadami paleogenu, co umożliwia ich bezpośrednie, infiltracyjne zasilanie (Kleczkowski i in., 1996; Kleczkowski i in., 2007).

Widoczne jest także zróżnicowanie typu chemicznego wód, jak również ich stopnia zmineralizowania. Mineralizacja wód w północnej części ma wartość ok. 329 g/dm³, przy typie chemicznym wody Cl–Na–Ca z obecnością jonów bromkowych, jodkowych i żelazawych. W części południowej mineralizacja zawiera się w przedziale 0,8–4,3 g/dm³, a wody są głównie typu SO₄–Cl–Ca oraz SO₄–Ca–Na (Kleczkowski i in., 1996; Kleczkowski i in., 2007; Markiewicz, Becker, 2009).

METODA I CEL BADAŃ

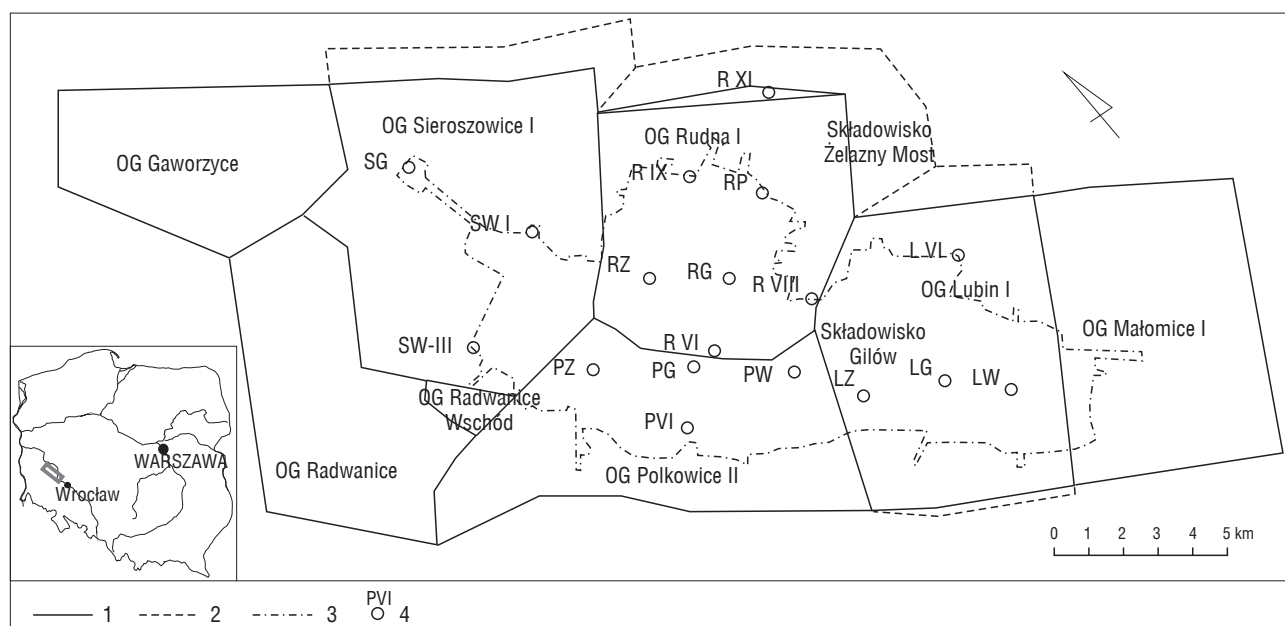
W pierwszym etapie badań (od listopada 2015 r. do lipca 2016 r.) opróbowano wody złożowe na całym obszarze kopalni Rudna. Próbkę pobierano głównie z dołowych otworów wykonanych w celu rozpoznania budowy geologicznej, warunków hydrogeologicznych i gazonośności złoża oraz z wycieków (o zwiększonych wydajnościach) ze stropu spod obudowy kotwowej. Niektóre dane pochodzą z wypływów wody spod sygnalizatorów rozwarstwienia stropu (SRS) lub z otworów kotwowych. Ogółem badania przeprowadzono wykorzystując 586 wyników analiz składu chemicznego wód.

Wyniki analiz fizykochemicznych pobranych próbek umożliwiły stworzenie bazy danych oraz wyselekcjonowanie reprezentatywnych otworów. Wybierano je na podstawie ich lokalizacji, tak żeby punkty badawcze tworzyły równomierną sieć w obrębie kopalni. Tym sposobem wytypowano 105 otworów hydrogeologicznych wykonanych w latach 1972–2016 w celu odwodnienia złoża. W niektórych częściach kopalni nie ma otworów badawczych. Jest to związane z obecnością filarów ochronnych, np. filar ochronny obiektu unieszkodliwiania odpadów wydobywczych Żelazny Most, lub z miejscami zlikwidowanymi – zrobami (Chudy, 2017).

Badania prowadzono w celu rozpoznania zmienności parametrów fizykochemicznych wód podziemnych południowo-zachodniej Polski. Uzyskane wyniki uszczegółwiają dotychczasowe obserwacje i analizy hydrogeologiczne wód poziomu wapienia podstawowego występujących na omawianym obszarze.

WYNIKI BADAŃ ORAZ DYSKUSJA

Mineralizacja ogólna analizowanych próbek wód zmienia się w szerokim zakresie, tj. ok. 12–256 g/dm³, przy średniej wartości ok. 151 g/dm³ (mediana – 140 g/dm³), a wyznaczony gradient mineralizacji to 43,34 g/dm³/100 m. Najwyższe wartości mineralizacji wód obecnych w seriach wapienia podstawowego na OG Rudna występują w jego północnej części (Chudy, 2017). Ku południowi i południowemu wschodowi stężenia sumy rozpuszczonych składników maleją (ryc. 2). Wody omawianego obszaru wykazują typ Cl–Na (odpowiednio 42–99 i 31–52% mval), a korelacja między stężeniami jonów chlorkowych a sodowych świadczy o ich pochodzeniu z rozpuszczenia halitu (ryc. 3A). Mineralizacja omawianych wód wzrasta wraz z głębokością opróbowania (ryc. 3B). Kolejne z anionów głównych, jony siarczanowe, nie wpływają



Ryc. 1. Obszary górnicze KGHM Polska Miedź S.A. (na podstawie Downorowicza, 2003): 1 – granice obszarów górniczych, 2 – granice terenów górniczych, 3 – kontur udostępnionego złoża, 4 – szyby

Fig. 1. Mining areas of KGHM Polska Miedź S.A. (based on Downorowicza, 2003): 1 – boundaries of mining areas, 2 – boundaries of mining areas, 3 – contour of the exploited deposit, 4 – shafts

znacząco na wielkości mineralizacji (ryc. 3C) i typ chemiczny wód (0,2–5,5% mval).

Analizując zmienność przestrzenną stężeń poszczególnych jonów głównych można zauważyć, że w części południowej OG Rudna, gdzie obserwuje się najniższy stopień zmineralizowania wód, stężenia anionów SO_4^{2-} są maksymalne (ryc. 2, 4A).

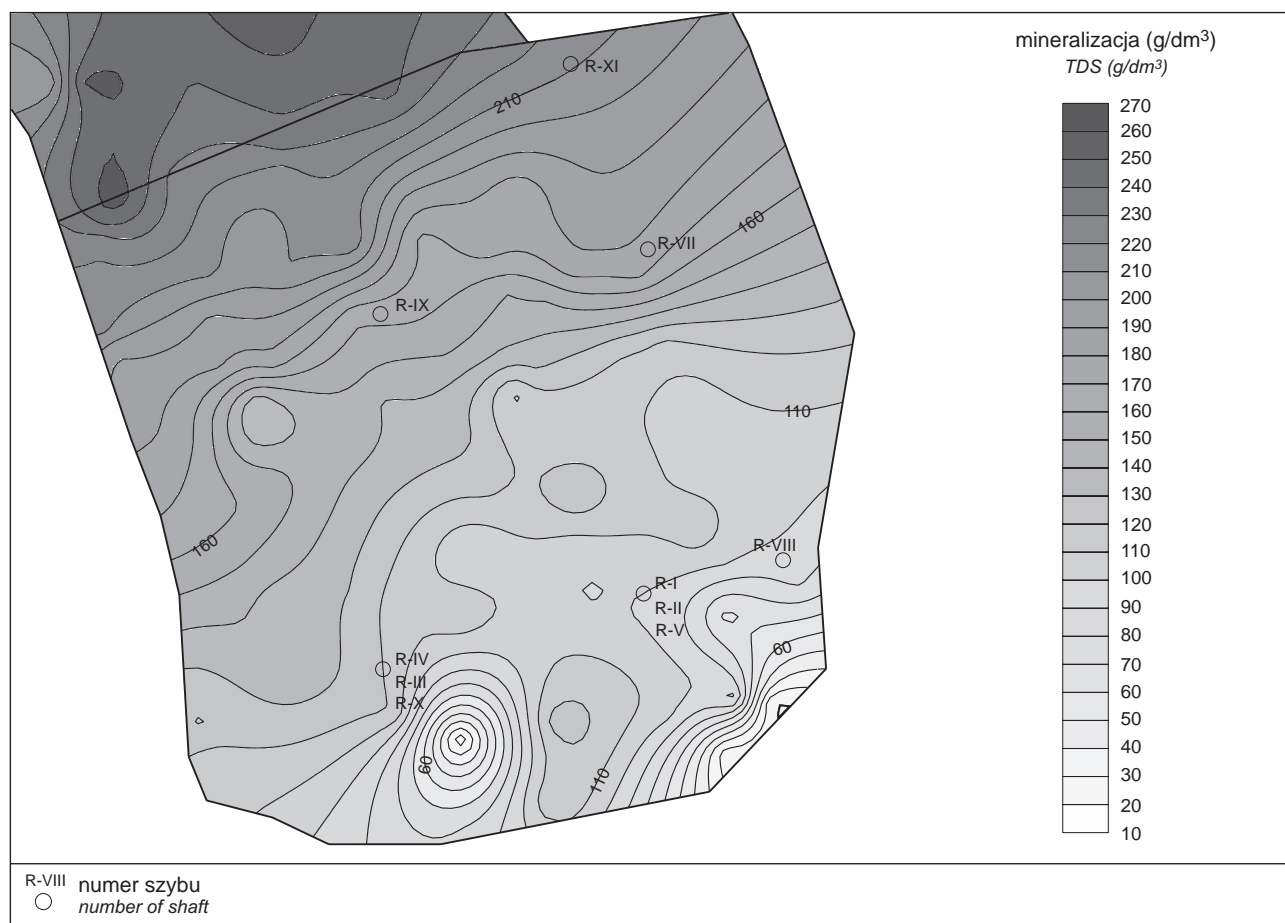
W przypadku kationów Ca^{+2} i Mg^{+2} obserwuje się analogiczne położenia obszarów wartości maksymalnych i minimalnych obu jonów (odpowiednio ryc. 4B, C).

Uwzględniając litologię serii wodonośnych można przypuszczać, że źródłem jonów wapnia, magnezu i siarczanowych są cechsztyńskie osady węglanowe (wapienie i dolomity) oraz gipsy i anhydryty. Przy założeniu, że jony wapniowe i siarczanowe pochodzą z rozpuszczania serii gipsowych, należy się spodziewać, że przyrost ich stężeń będzie następował w stosunku 1:1 (Hem, 1985; Appelo, Postma, 2005; Ledesma-Ruiz i in., 2015). Badane wody takiej korelacji nie wykazują ani w przypadku jonów Ca^{2+} (ryc. 5A), ani jonów Mg^{2+} (ryc. 5B). Najprawdopodobniej jest to wynikiem rozpuszczania serii węglanowych bądź procesów geochemicznych zachodzących na drodze przepływu od obszarów zasilania do miejsc poboru próbek. Za rozpuszczaniem serii węglanowych przemawia pozytywna korelacja między jonami wapniowymi a magnezowymi (ryc. 5C) oraz wartości wskaźników $r\text{Ca}^{2+}/(r\text{Ca}^{2+} + r\text{SO}_4^{2-})$ i $r\text{Mg}^{2+}/(r\text{Ca}^{2+} + r\text{Mg}^{2+})$, odpowiednio 0,81–0,95 i 0,18–

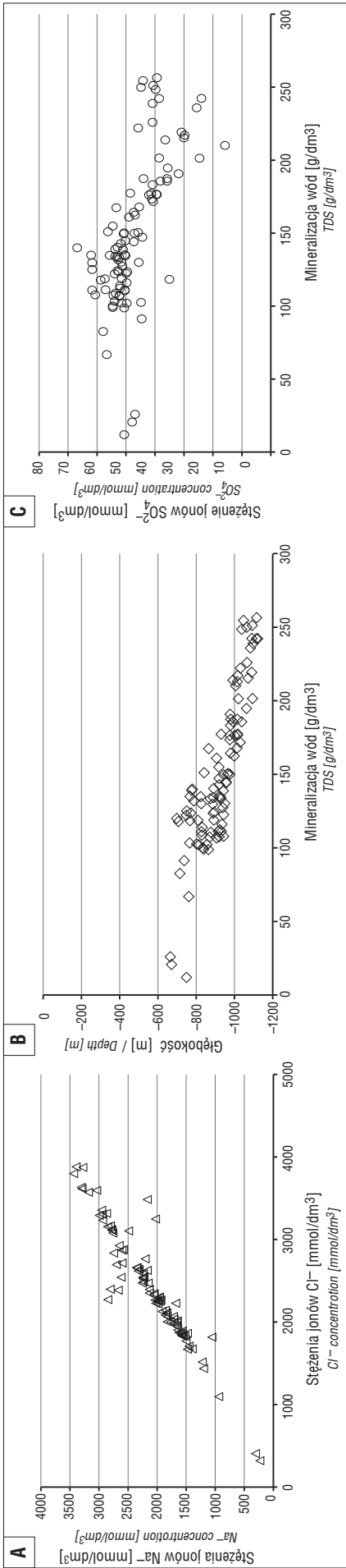
0,36. Gdyby jednak źródłem tych jonów były procesy rozpuszczania tylko osadów węglanowych, to stężenia jonów wapniowych zmieniłyby się zgodnie z poniższym równaniem (Appelo, Postma, 2005):

$$K = [\text{Mg}^{2+}] / [\text{Ca}^{2+}] = K_{\text{dol}} / (K_{\text{kal}})^2 = 10^{-17,09} / (10^{-8,48})^2 = 0,8.$$

Oznacza to, że musiałyby zachodzić zależności $\text{Mg}/\text{Ca} = 0,8$. Taką wartość można obserwować tylko w sytuacji, kiedy wody są w stanie równowagi jednocześnie względem kalcytu i dolomitu oraz wykazują niedosycenie względem siarczanów. Wówczas to rozpuszczanie gipsu, dostarczając do roztworów Ca^{2+} i SO_4^{2-} , aktywizuje procesy dedolomityzacji, w efekcie czego wody są wzbogacane we wspomniane jony oraz Mg^{2+} . Jak podaje Markiewicz (2007) wody OG Rudna cechują się stanem przesylenia w stosunku do osadów siarczanowych (anhydrytu i gipsu) oraz są niedosyczone względem węglanów (dolomitu i kalcytu). W przypadku badanych wód stosunek Mg/Ca wynosi 0,2, a takie wartości są charakterystyczne dla wód będących w stanie równowagi z dolomitami i nieznacznie przesyconych kalcytem (Appelo, Postma, 2005). Zatem bardziej prawdopodobne wydaje się, że procesami determinującymi obecność jonów magnezowych w badanych wodach jest rozpuszczanie łatwo rozpuszczalnych soli podwójnych magnezu z sodem i potasem (kizeryt – $\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, polihalit – $\text{K}_2\text{MgCa}_2[\text{SO}_4] \cdot \text{H}_2\text{O}$, kainit – $\text{KCl} \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, karnalit – $\text{KMgCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) (Polański, Smulikowski, 1969). Do przyjęcia hipotezy pochodzenia

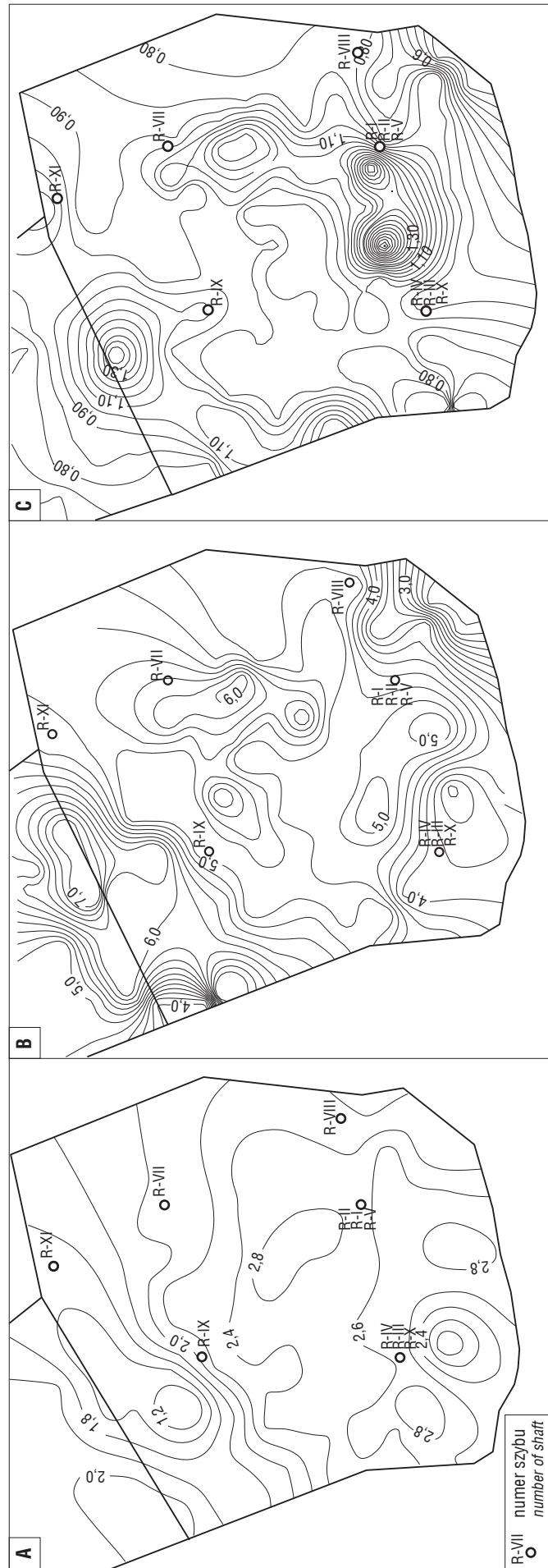


Ryc. 2. Mineralizacja wód wapienia podstawowego na obszarze górniczym Rudna
Fig. 2. Mineralization of the Basal Limestone waters in the Rudna mining area



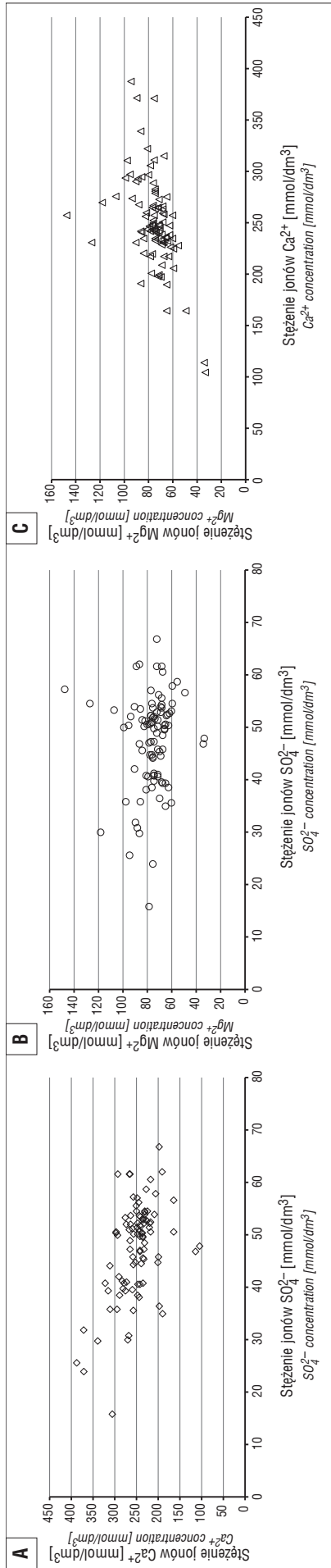
Ryc. 3. Analizowane zależności dla wód wapienia podstawowego między: **A** – stężeniami jonów sodowych i chlorkowych, **B** – wielkością mineralizacji a głębokością opróbowania, **C** – stężeniami jonów siarczanowych a mineralizacją wód

Fig. 3. Relationships between: **A** – dissolved Na⁺ and Cl⁻, **B** – TDS and depth, **C** – dissolved sulphates versus TDS for Basal Limestone waters



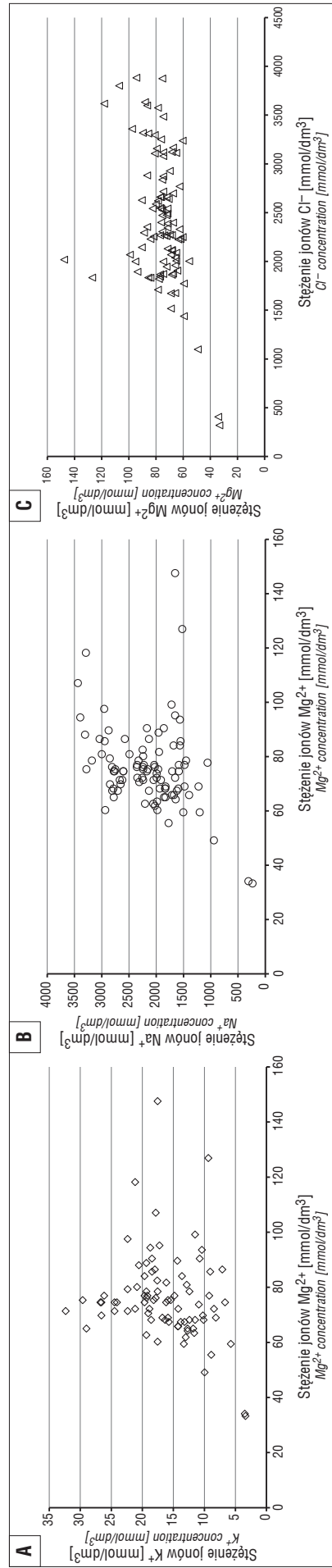
Ryc. 4. Stężenia poszczególnych jonów (g/dm³): **A** – SO₄²⁻, **B** – Ca²⁺, **C** – Mg²⁺

Fig. 4. Ion concentrations (g/dm³): **A** – SO₄²⁻, **B** – Ca²⁺, **C** – Mg²⁺



Ryc. 5. Zmienność stężenia jonów (A) wapniowych i (B) magnezowych w zależności od ilości rozpuszczonych siarczanów oraz (C) magnezowych w stosunku do ilości jonów wapniowych dla wód wapienia podstawowego na obszarze górniczym Rudna

Fig. 5. Dissolved (A) calcium and (B) magnesium concentrations as a function of dissolved sulphates and (C) magnesium versus calcium for Basal Limestone waters in the Rudna mining area



Ryc. 6. Wzajemne zależności stężeń jonów: A – K^+ i Mg^{2+} , B – Na^+ i Mg^{2+} , C – Mg^{2+} i Cl^- w wodach obszaru górniczego Rudna

Fig. 6. Concentrations of: A – K^+ and Mg^{2+} , B – Na^+ and Mg^{2+} , C – Mg^{2+} and Cl^- in the waters of the Rudna mining area

jonów Mg^{2+} z rozpuszczania kainitu i karnalitu skłania pozytywną korelacją pomiędzy jonami magnezowymi oraz K^+ , Na^+ i Cl^- (ryc. 6).

Wyznaczone wartości wybranych wskaźników hydrochemicznych, ze względu na duże zakresy zmienności, nie pozwalają na wyciągnięcie jednoznacznych wniosków odnośnie do genezy wód. Niemniej jednak wartości wskaźnika chlorkowo-sodowego w znaczącej większości zawierają się przedziale 0,8–1,25 (mediana 0,88), co klasyfikuje badane wody w grupie wód o słabej wymianie oraz powolnym i utrudnionym przepływie (Pazdro, 1983). Wskazuje to także na ługowanie serii solonośnych jako jednego z głównych procesów mineralizacji wód. Wyjątkowo niskimi wartościami omawianego wskaźnika (0,62) charakteryzują się wody w północnej części obszaru badań, co może wskazywać na niewielki, lokalny rejon stagnacji dynamicznej i hydrochemicznej.

WNIOSKI

Poczynione obserwacje przemawiają za przyjęciem hipotezy kształtowania się mineralizacji badanych wód w wyniku procesów ługowania serii solonośnych i w mniejszym stopniu osadów węglanowych. Jest to zgodne z badaniami Markiewicza i Beckera (2009), którzy wskazywali, że wody podziemne obecne w cechsztyńskich seriach osadowych są wodami meteorycznymi, zyskującymi mineralizację w wyniku infiltracji i przemieszczania się wód poprzez wspomniane osady kilku cyklotemów solnych.

Autorzy pragną podziękować Recenzentom za wnikliwe uwagi. Wyniki badań są prezentowane za zgodą KGHM Polska Miedź S.A., Zakłady Górnicze Rudna.

LITERATURA

- APPELO C.A.J., POSTMA D. 2005 – Geochemistry, groundwater and pollution. Balkema Publ., Leiden, pp. 683.
- BECKER R., FISZER J., KALISZ M. 2007 – Hydrogeologia. [W:] Piestrzyński A., Banaszak A., Zaleska-Kuczmierczak M. (red.), Monografia KGHM Polska Miedź S.A., Cuprum, Lubin: 82–89.
- BOCHEŃSKA T. 1988 – Kształtowanie się warunków hydrodynamicznych w lubińsko-głogowskim obszarze miedzionośnym pod wpływem odwadniania kopalń. Acta Univ. Wratisl. Pr. Geol.-Miner., 14 (1044).
- BOCHEŃSKA T. 1984 – Zmiany warunków hydrodynamicznych w kompleksie utworów podczwartorzędowych lubińsko-głogowskiego obszaru miedziożeg. Pr. Geol., 32 (1): 26–30.
- CHUDY A. 2017 – Zmienność mineralizacji wód podziemnych poziomu wapienia podstawowego na obszarze ZG „Rudna” (pr. dyplom.). Arch. PWroc., Wrocław.
- DĄBROWSKI T. 1973 – Charakterystyka hydrochemiczna wód głębinowych w utworach permu monokliny przedsudeckiej. Acta Geol. Pol., 23 (4): 763–808.
- DOWNOROWICZ S. 1983 – Geotermika złoża rud miedzi monokliny przedsudeckiej. Pr. Inst. Geol., 106.
- DOWNOROWICZ S. 2003 – Problemy hydrogeologiczne na etapie udostępniania złoża. [W:] Wilk Z., Bocheńska T. (red.), Hydrogeologia polskich złóż kopalni i problemy wodne górnictwa. Uczelniane Wyd. Nauk.-Dydakt., Kraków: 56–81.
- HEM J. 1985 – Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water. U.S. Geological Survey Water Supply Paper 2254, U.S. Geological Survey, Alexandria, Virginia, USA.
- JURECZKO J. 1981 – Warunki hydrogeochemiczne w obrębie utworów permotriasowych południowo-zachodniej części monokliny przedsudeckiej na tle badań roztworów porowych skał. Pr. Geol. Kom. Nauk Geol., 122.
- KLECZKOWSKI A., KALISZ M. 1996 – Hydrogeologia. [W:] Piestrzyński A., Zaleska-Kuczmierczak M., Jasiński A., Kotarski J., Maślanka W., Siewierski S., Speczik S., Śmieszek Z. (red.), Monografia KGHM Polska Miedź S.A., Cuprum, Lubin: 97–105.
- KLECZKOWSKI A., DOWNOROWICZ S., ZIMNY W. 1996 – Hydrogeologia serii złożowej. [W:] Piestrzyński A., Zaleska-Kuczmierczak M., Jasiński A., Kotarski J., Maślanka W., Siewierski S., Speczik S., Śmieszek Z. (red.), Monografia KGHM Polska Miedź S.A., Cuprum, Lubin: 155–164.
- KLECZKOWSKI A., DOWNOROWICZ S., ZIMNY W., BECKER R. 2007 – Hydrogeologia serii złożowej. [W:] Piestrzyński A., Banaszak A., Zaleska-Kuczmierczak M. (red.), Monografia KGHM Polska Miedź S.A., Cuprum, Lubin: 133–138.
- LEDESMA-RUIZ R., PASTÉN-ZAPATA E., PARRA R., HARTER T., MAHLKNECHT J. 2015 – Investigation of the geochemical evolution of groundwater under agricultural land: A case study in northeastern Mexico. J. Hydrolog., 521: 410–423.
- MARKIEWICZ A. 2007 – Zmienność wskaźników hydrochemicznych wód drenazowych w kopalniach KGHM Polska Miedź S.A. Arch. Cuprum, Wrocław.
- MARKIEWICZ A., BECKER R. 2009 – Pierwotny zasięg występowania najstarszej soli kamiennej (Na1) w południowej części monokliny przedsudeckiej (SW Polska). Geologia, 35 (3): 327–348.
- MAĐRALA M. 2008 – Modelowanie przemian składu chemicznego wód podziemnych permkiego pietra wodonosnego w rejonie lubińsko-głogowskiego obszaru miedzionośnego. Biul. Państw. Inst. Geol., 431: 153–160.
- PAZDRO Z. 1983 – Hydrogeologia ogólna. Wyd. Geol., Warszawa, s. 575.
- POLAŃSKI A., SMULIKOWSKI K. 1969 – Geochemia. Wyd. Geol., Warszawa, s. 663.
- WILK Z., BOCHEŃSKA T. 2003 – Hydrogeologia polskich złóż kopalni i problemy wodne górnictwa. T. 1. Uczelniane Wyd. Nauk.-Dydakt., Kraków, s. 612.