

WYBRANE ZAGADNIENIA GENEZY WÓD PODZIEMNYCH DOPIĘWYJĄCYCH DO KOPALŃ LUBIN ORAZ POLKOWICE-SIEROSZOWICE W STREFIE KONTAKTÓW HYDRAULICZNYCH UTWORÓW CECHSZTYNU I OLIGOCENU

SELECTED ISSUES OF THE GENESIS OF GROUNDWATERS FLOWING INTO LUBIN AND POLKOWICE-SIEROSZOWICE MINES, IN THE AREA OF HYDRAULIC CONNECTIONS BETWEEN ZECHSTEIN AND OLIGOCENE DEPOSITS

BARBARA KIELCZAWA¹, ANNA OWCZAREK¹, MAREK KALISZ²

Abstrakt. Głównym zagadnieniem prezentowanej pracy było określenie zróżnicowania chemizmu wód w kopalniach Lubin oraz Polkowice-Sieroszowice w strefie kontaktów hydraulicznych triasowo-permskiego kompleksu wodonośnego z kenozoicznym. Strefy takich kontaktów występują głównie w południowym rejonie wspomnianych kopalń. Badania przeprowadzono na podstawie 458 wyników analiz składu chemicznego wód. Opierając się na wybranych, najczęściej stosowanych wskaźnikach hydrochemicznych, podjęto próbę określenia genezy głównych składników jonowych. Wykorzystano także wyniki analiz stopnia nasycenia (wskaźnik SI) badanych wód względem minerałów budujących kompleks skalny obszaru badań.

Słowa kluczowe: wskaźniki hydrochemiczne, wskaźnik nasycenia, zmienność mineralizacji wód, kopalnie Lubin i Polkowice-Sieroszowice.

Abstract. The key issue of the work was to define water chemistry variations in the Lubin and Polkowice-Sieroszowice mines, in the area of hydraulic connections between the Triassic-Permian and Cenozoic water-bearing complexes. Such connections occur chiefly in the southern part of these mines. The research was based on 458 results of chemical composition analyses of these waters. Based on selected, most commonly used hydrochemical indices, an attempt was taken to determine the origin of main ion components. The author also used the results of analyses concerning the degree of saturation index (SI) of the studied waters with minerals composing the rock complex.

Key words: hydrochemical indices, saturation index, water chemistry variations, Lubin and Polkowice-Sieroszowice mines.

WSTĘP

Rejonem badań są obszary górnicze Lubin oraz Polkowice-Sieroszowice przynależne do KGHM Polska Miedź S.A. W podziale geologicznym, jest to obszar, na którym graniczą ze sobą dwie duże jednostki strukturalne, monoklina przedsudecka i blok przedsudecki. Pierwsza z nich zbudowana jest ze skał osadowych permsko-triasowych, ich kenozoicznej pokrywy oraz metamorficznych skał podłoża. Blok

przedsudecki budują staropaleozoiczne skały krystaliczne. W obrębie skał monokliny występują dwa główne kompleksy wodonośne, kenozoiczny (luźne osady neogenu i paleogenu) i triasowo-permski (szczelinowate i kawerniste osady wapienia muszlowego, pstrego piaskowca, cechsztynu oraz czerwonego spągowca). Cechują się one odmiennymi warunkami hydrogeologicznymi, niemniej jednak wykazują

¹ Politechnika Wrocławska, Instytut Górnictwa, Pl. Teatralny 2, 50-051 Wrocław; e-mail: barbara.kielczawa@pwr.wroc.pl

² KGHM CUPRUM sp. z o.o., Centrum Badawczo-Rozwojowe, ul. Gen. Sikorskiego 2-8, 53-659 Wrocław; e-mail: mkalisz@cuprum.wroc.pl

powiązania hydrauliczne (Bocheńska, 1988). Sprzyja temu tektoniczne zaangażowanie tej części górotworu oraz obecność podkenozoicznych wychodni utworów cechsztynu (perm). W efekcie obok kontaktów hydraulicznych (o charakterze tektonicznym) występują okna hydrogeologiczne (sedymentacyjno-erozyjne), poprzez które cechsztyńska se-

ria węglanowa (Ca1) zasilana jest bezpośrednio wodami infiltracyjnymi. W części północnej omawianych kopalni seria Ca1 wykazuje słabe zawodnienie. W rejonie południowym, ze względu na silnie rozwinięte procesy krasowe, szczelino- watość i rozwiniętą sieć uskoków, zawodnienie górotworu jest intensywne.

SKŁAD JONOWY WÓD

Bezpośrednie i pośrednie kontakty hydrauliczne osadów permu (piaskowce czerwonego spągowca, wapień podstawowy), triasu (piaskowce pstrego piaskowca) oraz paleogenu (podwęglowe utwory oligocenu), występują w południowym rejonie złoża. Jest to strefa podpaleogeńskich wychodni utworów cechsztynu, która rozciąga się w obszarach górniczych „Polkowice II”, „Lubin I” i „Małomice I” (fig. 1). Analizę zróżnicowania składu chemicznego wykonano na podstawie wyników badań fizyczno-chemicznych wód z dołowych otworów (otwory wiertnicze z powierzchni, szyb górniczy, piezometry) zlokalizowanych najbliżej tych stref kontaktów hydraulicznych.

Ocenę zróżnicowania chemizmu wód podziemnych przeprowadzono na podstawie 458 wyników analiz ich składu chemicznego, w tym 52 wyniki pochodziły z kopalni Lubin

(wykonane w latach 2000–2009) oraz pozostałe 406 z kopalni Polkowice-Sierszowice (wykonane w latach 1976–2008). Próbkę wód pobierane były przez kopalniane służby hydrogeologiczne. W obu kopalniach zaobserwować można wzrost mineralizacji ogólnej wód wraz ze wzrostem głębokości odwadniania (fig. 2A, B).

Mineralizacja wód kopalni Lubin zmienia się w przedziale od 649 do 4 144 mg/dm³ (przy wartości średniej 2 409 mg/dm³). W kopalni Polkowice-Sierszowice badane wody cechują się średnią mineralizacją około 4 000 mg/dm³ przy zmienności od 800 do maksymalnie 37 530 mg/dm³. Zauważyć można, że w zakresie głębokości od –550 do –600 m n.p.m., przy niewielkich zmianach głębokości, następuje znaczny wzrost wartości mineralizacji ogólnej wód. Może być to efektem dopływu wysoko zmineralizowanych solanek z głębszych

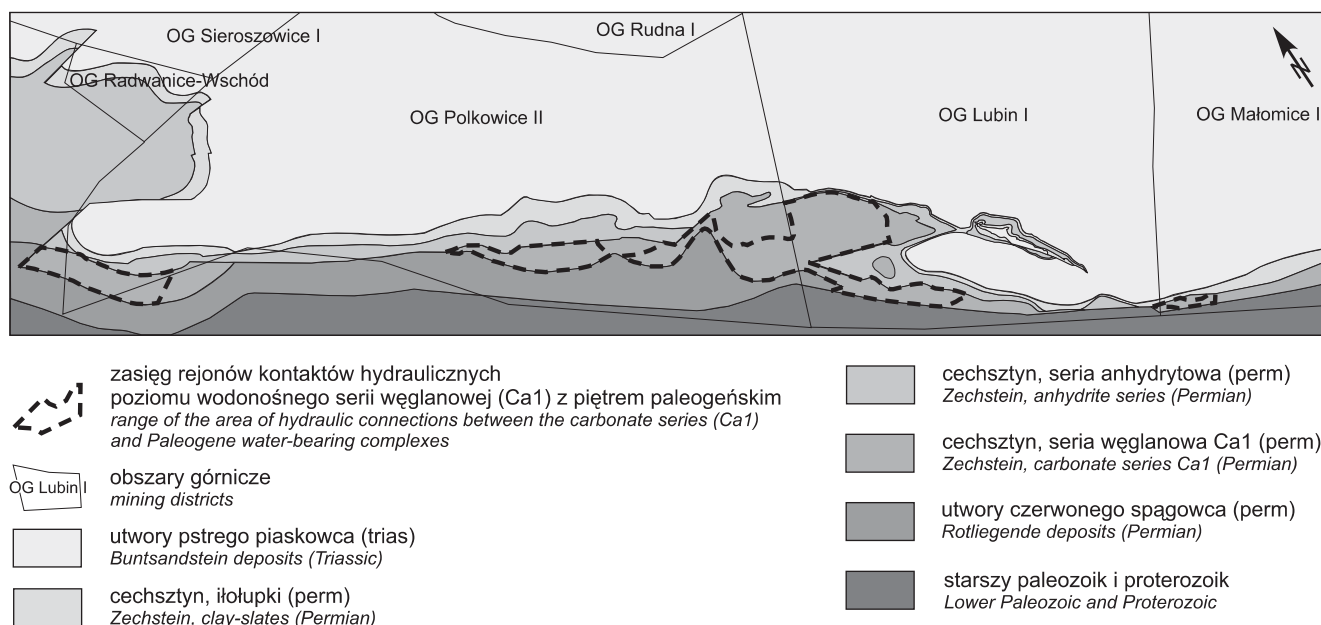


Fig. 1. Schematyczna odkryta mapa budowy geologicznej południowej części obszarów górniczych Polkowice II, Lubin I oraz Małomice I (wg Markiewicz i in., 2007)

Generalized uncovered geologic map of south part of Polkowice II, Lubin I and Małomice I minery (after Markiewicz *et al.*, 2007)

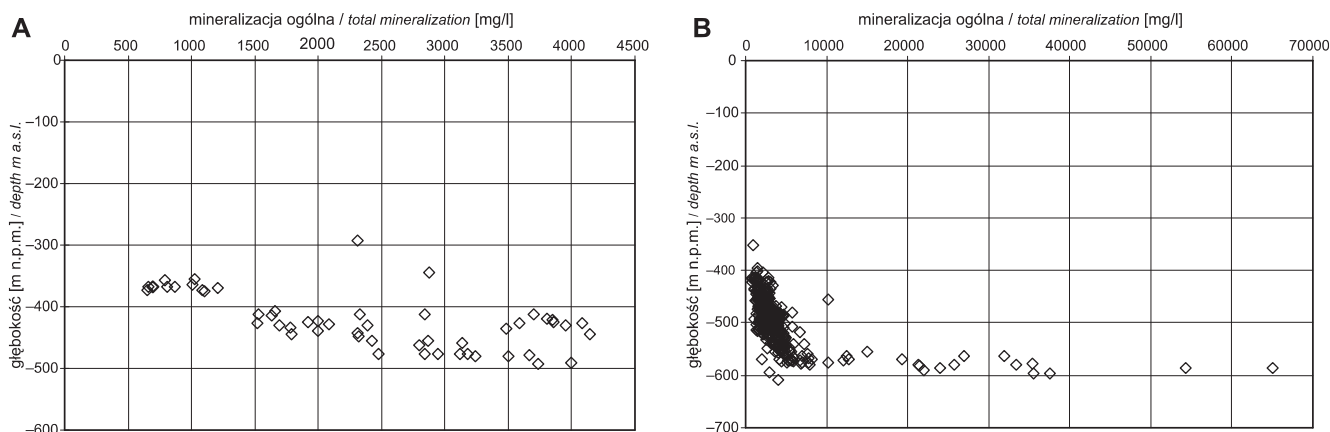


Fig. 2. Zmienność mineralizacji ogólnej wód w zależności od głębokości odwadniania w (A) kopalni Lubin, (B) Polkowice-Sieroszowice

Variation of groundwater total mineralization versus the depth of (A) Lubin, (B) Polkowice-Sieroszowice mine drainage

partii górotworu. W obrębie omawianych obszarów górniczych zauważyć można strefowość stopnia zmineralizowania wód. W części najbardziej wysuniętej na południe występują nieliczne wody słodkie, pas środkowy to dominujące wody słonawe. W przypadku kopalni Polkowice-Sieroszowice skrajnie północna strefa to wody słone oraz solanki. Najprawdopodobniej jest to wynikiem zbliżania się z eksploatacją do obszaru górniczego „Sieroszowice I”, gdzie obok rud miedzi wydobywana jest także sól kamienna. Według Banaszaka i Banasia (1996), w strefie północnej, wielkość mineralizacji ogólnej wód z osadów cechsztynu zawiera się w przedziale 1 500–250 000 mg/dm³. Mineralizacja ogólna wód wzrasta także w miarę oddalania się, ku północnemu-

-wschodowi, od podpaleogeńskich wychodni cechsztynu. W tym kierunku zmniejsza się udział wód słabo zmineralizowanych i trudniejsza jest ich wymiana. Proces ten wspomaga drenaż górniczy powodujący dopływ, z osadów paleogenu, wód o znacznie niższej mineralizacji (200–700 mg/dm³).

W składzie jonowym wód, w zespole anionów dominują siarczany i chlorki (fig. 3A, B). Spośród kationów głównych, w największych ilościach obecne są wapń i sód (fig. 3A, B, 4). Średnie stężenia, odpowiednio dla wód kopalni Lubin oraz Polkowice-Sieroszowice, dla poszczególnych jonów wynoszą: Cl⁻ – 262,35 i 898,73 mg/dm³; SO₄²⁻ – 1093,89 i 1290,10 mg/dm³; Ca²⁺ – 387,94 i 522,72 mg/dm³, a także Mg²⁺ – 61,12 i 70,87 mg/dm³.

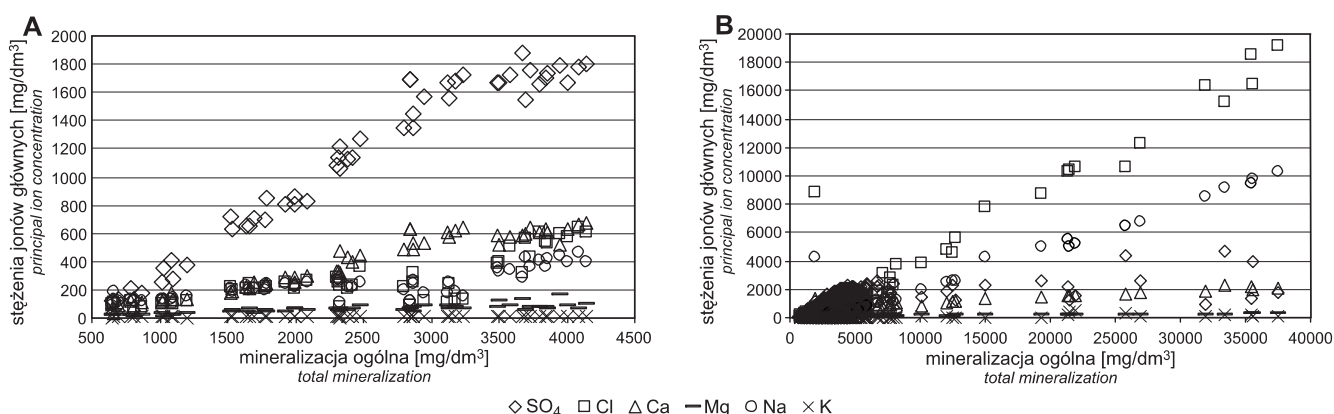


Fig. 3. Zmienność stężeń jonów głównych (SO₄²⁻, Cl⁻, Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺) w zależności od mineralizacji ogólnej wód: (A) kopalni Lubin, (B) kopalni Polkowice-Sieroszowice

Variation of principal ion concentration (SO₄²⁻, Cl⁻, Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺) versus total mineralization of (A) Lubin, (B) Polkowice-Sieroszowice mine groundwater

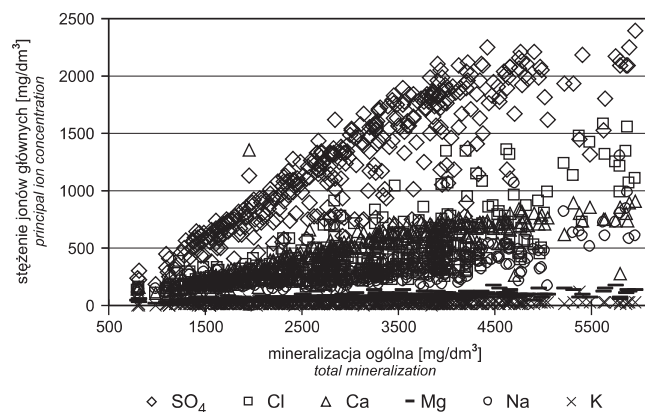


Fig. 4. Zmienność stężeń jonów głównych (SO_4^{2-} , Cl^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+) w zależności od mineralizacji ogólnej wód kopalni Polkowice-Sieroszowice w zakresie mineralizacji 1000–6000 mg/dm^3

Variation of principal ion concentration (SO_4^{2-} , Cl^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+) versus total mineralization of Polkowice-Sieroszowice mine groundwater in range of mineralization 1000–6000 mg/dm^3

ANALIZA WYBRANYCH WSKAŹNIKÓW HYDROCHEMICZNYCH

Na skutek różnorodnych procesów fizycznych i chemicznych, mających związek ze zmianą warunków hydrogeochemicznych, następują zmiany składu chemicznego wód podziemnych. Wskaźnikami stopnia przeobrażenia są wielkości liczbowe (niemianowane) wyznaczające ilościowe stosunki jonowych składników badanych wód. Określane są one mianem wskaźników hydrochemicznych. Najczęściej stosowanymi są: wskaźnik sodowo-chlorkowy ($r\text{Na}^+/\text{rCl}^-$), wskaźnik siarczanowy ($r\text{SO}_4^{2-} \cdot 100/\text{rCl}^-$), wskaźnik sodowo-potasowo-chlorkowy ($(r\text{Na}^+ + r\text{K}^+)/\text{rCl}^-$), czy wskaźnik wodorowęglanowy ($(r\text{SO}_4^{2-} + r\text{HCO}_3^-)/\text{rCl}^-$).

Pierwszy z tych wskaźników, budzi najmniej wątpliwości i jest najczęściej stosowanym. Ogólnie wiadomym jest, że wraz z intensywnością przeobrażeń wód podziemnych wzrasta w nich zawartość jonów Ca^{2+} kosztem jonów sodu. Zatem niższe wartości wskaźnika chlorkowo-sodowego będą świadczyły o większym stopniu przemian i wieku danych wód (Pazdro, 1983).

W przypadku wód kopalni Lubin analizę zmienności wskaźnika sodowo-chlorkowego przeprowadzono na podstawie wyników analiz z 52 dołowych otworów badawczo-drenażowych z lat 2000–2009. Przyjęto, że jest to aktualny stan drenażu. Niestety z powodu niedostępności danych, nie udało się przeprowadzić takich analiz dla wcześniejszego okresu działalności kopalni.

Dla całego zbioru danych uzyskano wartości omawianego wskaźnika większe od jedności (tab. 1, fig. 5). Sądzić zatem można, że w badanym obszarze występuje strefa aktyw-

Generalnie obserwuje się wzrost ilości jonów głównych wraz ze wzrostem mineralizacji ogólnej wód. Widoczne jest to zarówno w kopalni Lubin, jak i Polkowice-Sieroszowice. Zaobserwowano, że w drugiej z kopalń, w wodach o mineralizacji ogólnej powyżej 6000 mg/dm^3 następuje znaczny wzrost stężeń jonów chlorkowych (fig. 4). Jest to na tyle intensywne, że dochodzi do zmiany typu chemicznego tych wód z siarczanowo-wapniowego na chlorkowo-sodowy. Prawdopodobnie następuje tutaj ascenzyjny dopływ wód chlorkowych z niższego poziomu wodonośnego.

Omawiane jony pochodzą głównie z rozpuszczenia serii gipsowo-solnych (gips, anhydryt, halit). Znaczne ilości jonów chlorkowych i sodowych w wodach kopalni Polkowice-Sieroszowice, w stosunku do ich zawartości w wodach kopalni Lubin, są pochodną zbliżania się eksploatacji górniczej (wraz z siecią odwadniającą), do warstw solnych występujących w północnej części obszaru górniczego „Polkowice II”. Prawdopodobnie w wyniku rozwoju drenażu, dochodzi tutaj do intensywnego ługowania halitu. Do dominacji wapnia wśród kationów, przyczynia się wietrzenie węglanów (kalcytu, aragonitu, dolomitu) i siarczanów (gipsu, anhydrytu). Podrzednym źródłem tego składnika może być także wietrzenie skałeni obecnych w piaskowcach oraz wymiana jonowa.

nej wymiany z młodszymi, wodami infiltracyjnymi. Ich przepływ zachodzi w strefach kontaktów hydraulicznych.

Wraz ze wzrostem mineralizacji wód wielkości liczbowe omawianego wskaźnika maleją (fig. 5). Owczarek (2010) zaobserwowała, że wraz z oddalaniem się od granicy serii węglanowej Ca1 w kierunku północnym, wartości te także maleją. Zatem przemieszczając się ku północy, w OG „Lubin I” występują coraz starsze wody bądź w znacznym stopniu przeobrażone.

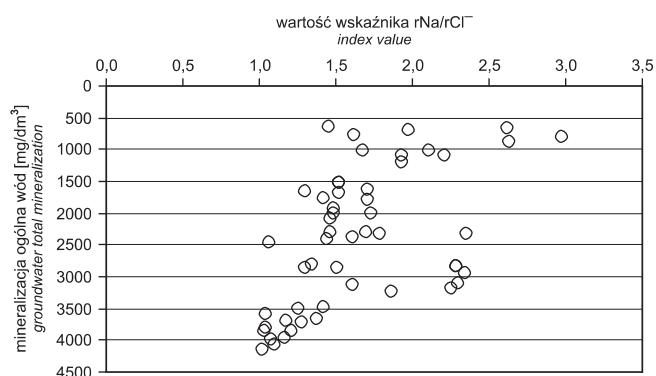


Fig. 5. Zmienność wartości wskaźnika sodowo-chlorkowego w zależności od mineralizacji ogólnej wód w kopalni Lubin (w latach 2000–2009)

Variation of sodium-chloride index value versus total mineralization of Lubin mine groundwater (in 2000–2009)

Tabela 1

Charakterystyczne wartości wskaźników hydrochemicznych dla wód kopalni Lubin oraz Polkowice-Sierszowice (wg Owczarek, 2010)

Characteristic values hydrochemical indices of Lubin mine and Polkowice-Sierszowice mine groundwater (after Owczarek, 2010)

Wskaźnik hydrochemiczny [-]	Kopalnia Lubin			Kopalnia Polkowice-Sierszowice		
	min.	średnia	max.	min.	średnia	max.
rNa^+/rCl^-	1,03	1,65	2,98	0,26	1,18	2,77
$rSO_4^{2-} \cdot 100/rCl^-$	86,30	377,85	1468,96	4,34	243,20	603,40
$(rNa^+ + rK^+)/rCl^-$	1,05	1,69	3,07	0,28	1,22	2,83
$rCl^-/rHCO_3^-$	0,28	1,80	6,33	0,04	7,98	402,61
$(rSO_4^{2-} + rHCO_3^-)/rCl^-$	2,26	4,83	16,92	0,05	2,97	26,35
$rNa^+/(rNa^+ + rCl^-)$	0,51	0,61	0,75	0,21	0,53	0,74
$rCl^-/\text{suma anionów}$	0,06	0,21	0,32	0,04	0,30	0,95
$rCa^{2+}/(Ca^{2+} + HCO_3^-)$	0,24	0,75	0,93	0,09	0,55	0,98
$(rCa^{2+} + rMg^{2+})/rSO_4^{2-}$	0,83	1,18	2,35	0,42	1,22	6,09

Dla wód obszaru górniczego „Polkowice II”, analizę zmienności wskaźnika chlorkowo-sodowego przeprowadzono dla etapu intensywnego drenażu złoża (lata 1976–1995) oraz dla stanu aktualnego. Okres intensywnego drenażu przedstawia zbiór danych z 316 dołowych otworów badawczych. W większości badanych wód (62%) wielkości wskaźnika rNa^+/rCl^- są wyższe od jedności. Należy przy tym zauważyć, że wartości minimalne tej liczby nie przekraczają (tab. 1). Generalnie, podobnie jak w przypadku wód z kopalni Lubin, wraz ze wzrostem mineralizacji wód wielkości wskaźnika maleją. W zestawieniu jednak wyraźnie wyróżnić można dwa zbiory danych. Pierwszy, dla wód o mineralizacji do około 6000 mg/dm^3 , z mocno zmiennymi wartościami wskaźnika.

Drugi z wielkościami wskaźnika od 0,5 do 0,9 odpowiadający wodom o mineralizacji z przedziału $6000\text{--}37500 \text{ mg/dm}^3$ (fig. 6A). Zatem w okresie intensywnego drenażu, system od-

wodnienia kopalni odprowadzał reliktowe solanki oraz wody infiltracyjne mieszane z takimi solankami.

Aktualny stan drenażu obrazują dane hydrochemiczne z 90 otworów (fig. 6B). Dla znaczącej większości prób (88,9%) omawiany wskaźnik także przyjmuje wartości większe od jedności. W czterech otworach (4,4%) wielkości zawierają się w przedziale 0,65–0,87, a w pięciu (5,6%) w granicach 0,87–1,00. W jednym z otworów stwierdzono wody cechujące się wskaźnikiem mniejszym od 0,65, tj. całkowicie izolowane.

Wskaźnik siarczanowy wyrażony jest stosunkiem równoważnikowym $(rSO_4^{2-} \cdot 100)/rCl^-$. Niskie jego wartości świadczą o rozwoju procesów redukcji (jednych z wielu powodujących przemiany wód) prowadzących w konsekwencji do obniżenia stężeń siarczanów w wodach. Płytkie wody podziemne, w strefie aktywnej wymiany z wodami infiltracyjnymi, cechują się wielkościami omawianego wskaźnika

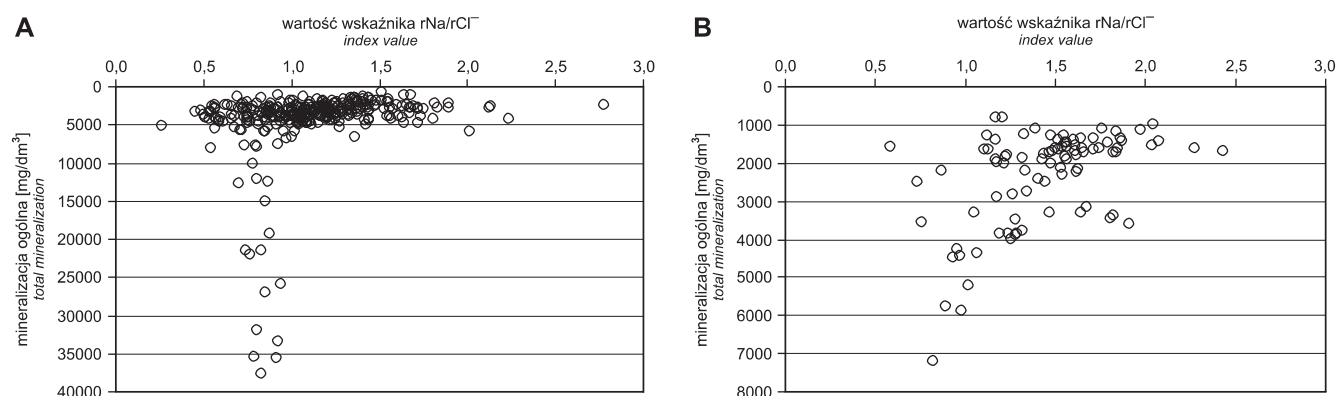


Fig. 6. Zmienność wartości wskaźnika sodowo-chlorkowego w zależności od mineralizacji ogólnej wód w obszarze górniczym „Polkowice II” w latach: 1976–1995 (A), 1996–2008 (B)

Variation of sodium-chloride index value versus total mineralization of minery “Polkowice II” groundwater in: 1976–1995 (A), 1996–2008 (B)

od 10 do 500. W wodzie morskiej opisywany stosunek jonów wynosi 10,3. Wody podziemne głębokiego systemu krążenia, izolowane i/lub zmetamorfizowane wykazują wartości wskaźnika mniejsze od 1 (Pazdro, 1983).

W kopalni Lubin obliczone wielkości tego wskaźnika zawierają się w przedziale od 86,3 do około 1469,0 (tab. 1, fig. 7A). Z kolei w kopalni Polkowice-Sierszowice przyjmuje on wartości w granicach od 4,34 do 603,40 (w celu uzyskania wyraźnego obrazu na fig. 7B pominięto wartość maksymalną). Dominującą część stanowią wody o wskaźniku z przedziału 10–500. Zatem są to wody podziemne bądź ze strefy aktywnej wymiany, bądź zawierające znaczny ich udział. Sporadycznie omawiany wskaźnik przyjmuje wartości mniejsze od wielkości charakterystycznej dla wody morskiej (10,3). Żadna z wartości wskaźnika nie jest mniejsza od 1, zatem nie są to wody zmetamorfizowane czy izolowane. Potwierdza to niejako wnioski wynikające z analizy wskaźnika sodowo-chlorkowego.

Przy określaniu prawdopodobnej genezy wód podziemnych, czy nawet składu mineralnego ośrodka wodonośnego, można posłużyć się kilkoma rzadziej wykorzystywanymi wskaźnikami hydrochemicznymi. Charakterystykę i interpretację kilku rzadziej stosowanych wskaźników podała Razowska (1999).

Dla analizowanych próbek wód z kopalń Lubin i Polkowice-Sierszowice wyznaczono wartości wskaźnika $rNa^+/(rNa^++rCl^-)$. Uzyskane wyniki sugerują pochodzenie jonów sodowych z innego źródła niż rozpuszczanie halitu. Możliwa jest także wymiana jonowa. Jej potwierdzeniem, w obszarze górniczym „Polkowice II”, może być występowanie wód o mineralizacji ogólnej powyżej 500 mg/dm³ i wartościach omawianego wskaźnika mniejszych od 0,5.

Inny ze wskaźników, rCl^-/Σ anionów sugeruje wietrzenie chemiczne węglanów, krzemianów lub siarczanów. Jedynie w 14 (4,4%) otworach kopalni Polkowice-Sierszowice wodę można określić jako morską, solankę lub związaną z ewapora-

tami. Uzasadnieniem wietrzenia węglanów są wartości wskaźnika $rCa^{2+}/(rCa^{2+}+rHCO_3^-)$. W przeważającym stopniu świadczą one o wietrzeniu kalcytu oraz innych minerałów zawierających wapń (np. gipsu, anhydrytu). Przewaga jonów siarczanowych nad wapniowymi ($rCa^{2+} < rSO_4^{2-}$) sugeruje usuwanie wapnia poprzez wytrącanie kalcytu lub wymianę jonową. Taki stosunek jonowy świadczy o rozpuszczaniu gipsu bądź utlenianiu minerałów siarczkowych.

Obliczono także wartości wskaźnika $(rCa^{2+}+rMg^{2+})/rSO_4^{2-}$. Wyniki wskazują na rozwój procesów dedolomityzacji, a w nielicznych przypadkach na rozpuszczanie siarczanów.

Na podstawie wskaźników wodorowęglanowych Owczarek (2010) zasugerowała pogarszanie się warunków przepływu wód wraz z przemieszczaniem się z południowo-wschodu (kopalnia Lubin) ku północnemu-zachodowi (obszar górniczy „Polkowice II”).

Zbiórce zestawienie wyznaczonych wskaźników hydrochemicznych oraz interpretację genezy wód przedstawiono w tabeli 2. Brak informacji na temat obecności krzemionki w badanych wodach uniemożliwia zastosowanie wskaźników $rMg^{2+}/(rCa^{2+}+rMg^{2+})$, $SiO_2/(Na^++K^+)Cl^-$ czy HCO_3^-/SiO_2 . Uzyskane hipotezy procesów kształtowania składu chemicznego badanych wód w nielicznych wypadkach się wykluczają. Modelowanie bilansu masy prawdopodobnie wyjaśni rozbieżności.

Analiza wskaźników nasycenia wód względem wybranych minerałów wykazała, że mimo znacznych stężeń jonów chlorkowych, w okresie rozpoznawania złoża (tj. w latach 1959–1973), badane wody cechowały się znacznym niedosyceniem względem halitu ($-7,5 < SI < -4,5$ dla wód Lubina i $-8 < SI < -5$ dla wód kopalni Polkowice-Sierszowice). Podobną sytuację zaobserwowano dla gipsu, anhydrytu i minerałów węglanowych (kalcyt, dolomit), przy czym w nielicznych przypadkach występowały warunki zbliżone do równowagi termodynamicznej z tymi minerałami (tab. 3).

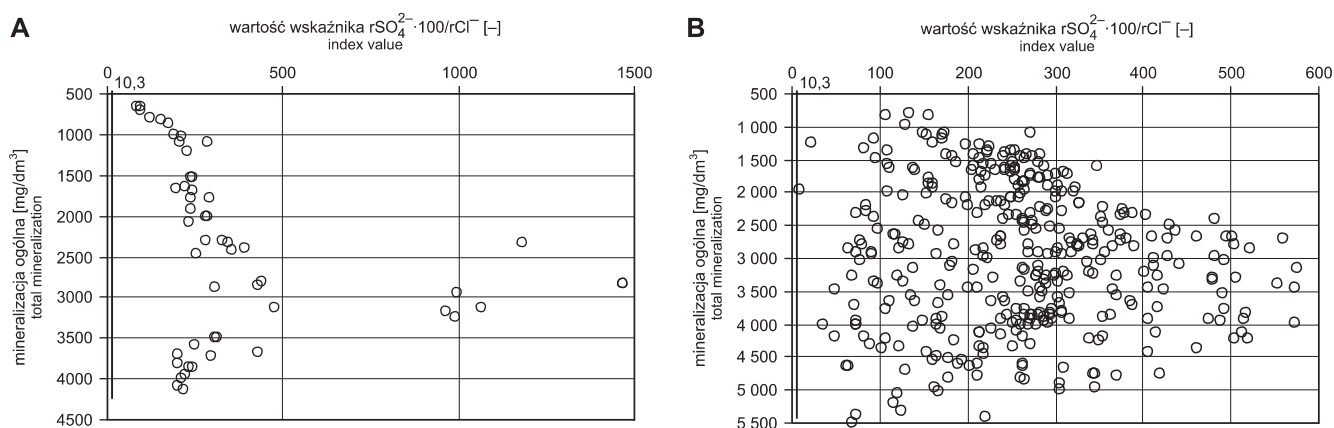


Fig. 7. Zmienność wartości wskaźnika siarczanowego w zależności od mineralizacji ogólnej wód kopalni (A) Lubin, (B) Polkowice-Sierszowice

Variation of sulphureous index value versus total mineralization of (A) Lubin, (B) Polkowice-Sierszowice mine groundwater

Tabela 2

Geneza składników jonowych wód kopalni Lubin oraz kopalni Polkowice-Sierszowice na podstawie wskaźników hydrochemicznych (wg Owczarek, 2010)

Genesis of ions components of Lubin and Polkowice-Sierszowice mines groundwater on the basis of hydrochemical indices (after Owczarek, 2010)

Wskaźnik hydrochemiczny	Możliwe pochodzenie jonów					Prawdopodobna geneza wód
	Ca ²⁺	Na ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Mg ²⁺	
$\frac{rNa^+}{rCl^-}$	–	–	–	–	–	– strefa aktywnej wymiany, dobre zasilenie przez infiltrację opadów atmosferycznych – wody młode, współczesne w sensie geologicznym
$\frac{rSO_4^{2-} \cdot 100}{rCl^-}$	–	–	–	–	–	– wody podziemne, przeważnie płytkie, w strefie aktywnej wymiany z wodami infiltracyjnymi
$\frac{(rNa^+ + rK^+)}{rCl^-}$	–	–	–	–	–	– strefa aktywnej wymiany, dobre zasilenie przez infiltrację opadów atmosferycznych – wody młode, współczesne w sensie geologicznym
$\frac{rCl^-}{rHCO_3^-}$	pogorszenie warunków przepływu					
$\frac{(rSO_4^{2-} + rHCO_3^-)}{rCl^-}$						
$\frac{rNa^+}{(rNa^+ + rCl^-)}$	–	pochodzenie Na inne niż z halitu (albit lub wymiana jonowa)	–	–	–	–
$\frac{rCl^-}{\text{suma anionów}}$	wietrzenie węglanów, krzemianów	wietrzenie krzemianów	wietrzenie krzemianów	wietrzenie siarczanów	wietrzenie krzemianów	sporadycznie woda morska, solanka lub ewaporaty w obrębie obszaru górniczego „Polkowice II”
$\frac{rCa^{2+}}{(Ca^{2+} + HCO_3^-)}$	wietrzenie kalcytu, ale także innych węglanów lub innych minerałów, np. gipsu	–	–	–	–	–
$\frac{(rCa^{2+} + rMg^{2+})}{rSO_4^{2-}}$	usuwanie wapnia w procesie dedolomityzacji	–	–	nielicznie rozpuszczanie siarczanów	możliwa dedolomityzacja	–

Tabela 3

Charakterystyczne wartości wskaźnika nasycenia (SI) względem wybranych minerałów (wg Owczarek, 2010)

Characteristic values of groundwater selected minerals saturation index (SI) (after Owczarek, 2010)

Nazwa minerału	Min.	Średnie	Max.
Halit	–8,13	–6,49	–4,97
Gips	–2,96	–1,45	0,04
Anhydryt	–3,20	–1,68	–0,20
Aragonit	–3,10	–1,75	–0,09
Kalcyt	–2,95	–1,59	0,06
Dolomit	–5,62	–3,57	–0,69

Generalnie można zaobserwować wzrost wartości wskaźników nasycenia wraz ze wrastającym zmineralizowaniem wód (fig. 8A, B).

Należy podkreślić jednak, że podane wartości są tylko orientacyjne, ponieważ w modelowaniu nie uwzględniano

danych (brak dostępności) na temat stężeń kwasu meta-krzemowego w badanych wodach. Podobne wyniki uzyskali Markiewicz i in. (2007) dla wód opróbowanych w latach 2003–2006. Na tej podstawie zasugerowali paleoinfiltracyjne pochodzenie wód obecnych w obrębie utworów

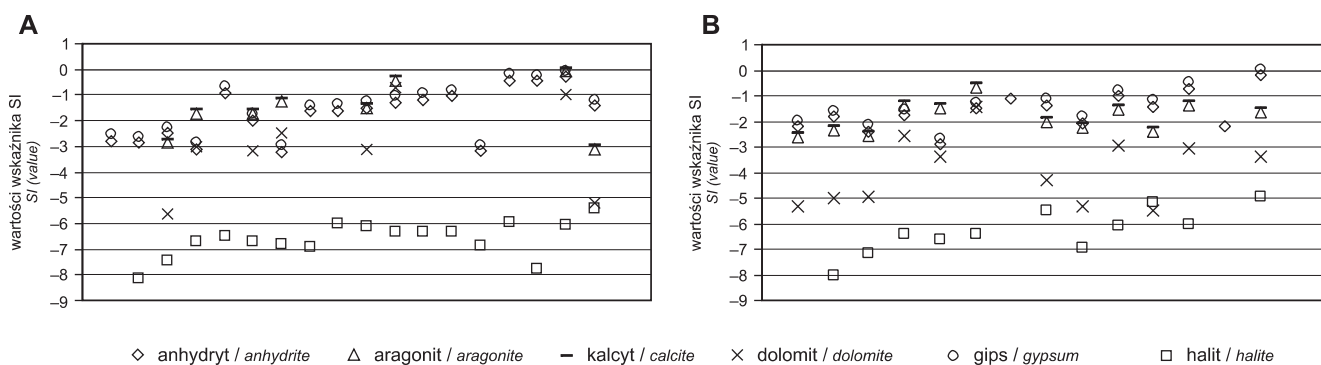


Fig. 8. Wartości wskaźnika SI względem wybranych głównych minerałów skalotwórczych, dla wód kopalni (A) Lubin, (B) Polkowice-Sieroszowice

Saturation index of selected principal minerals for groundwater (A) Lubin mine, (B) Polkowice-Sieroszowice mine

cechsztynu pozbawionych serii solonośnych. Zaobserwowali także współczesne wytrącanie się minerałów z wód drenażowych.

Na procesy te zwracali także uwagę Becker i Markiewicz (2009). Na podstawie przeprowadzonych analiz autorzy artykułu nie mogą potwierdzić tych obserwacji.

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

W składzie jonowym wód obydwu kopalń dominują siarczany i chlorki, a spośród kationów sód i wapń. W kopalni Lubin jony Ca^{2+} dominują nad jonami sodowymi. Zapewne jest to efekt rozpuszczania serii gipsowo-solnych (gipsu, anhydrytu, halitu) i węglanów (kalcytu, aragonitu, dolomitu). Wymiana jonowa sodu na wapń i magnez w obrębie utworów ilastych wpływa na zmianę stosunków ilościowych poszczególnych jonów w wodach. Podrzednym źródłem wapnia może być również wietrzenie plagioklazów. Należy podkreślić, że w obszarze górniczym „Polkowice II” następuje zmiana dominującego anionu z siarczanowego na chlorkowy.

Na podstawie wyznaczonych wartości wskaźników hydrochemicznych można mówić o występowaniu, w południowej części omawianych obszarów górniczych, strefy aktywnej wymiany o dobrych warunkach przepływu wód młodszych z wyżej leżących poziomów wodonośnych (głównie z poziomu oligoceńskiego). W kopalni Polkowice-Sieroszowice wskaźniki sodowo-chlorkowy oraz siarczanowy osiągają mniejsze wartości w porównaniu z wielkościami tych parametrów w kopalni Lubin. Jest to wynikiem większego udziału jonu chlorkowego w składzie wód pierwszej z kopalń. Tylko w jednym otworze, w obecnym stanie drenażu, stwierdza się wody całkowicie izolowane o wskaźniku $\text{rNa}^+/\text{rCl}^-$ mniejszym od 0,65.

Obliczone wielkości analizowanych wskaźników wskazują także na możliwość rozwoju procesów wietrzenia che-

micznego węglanów, krzemianów i siarczanów oraz dedolomityzacji. Do uruchomienia i intensyfikacji tych reakcji przyczynia się drenaż górotworu prowadzony w obrębie poszczególnych obszarów górniczych. Procesy te sprzyjają dalszemu udrażnianiu szczelin i stref uskokowych. Prowadzi to do wzrostu mineralizacji wód, a nawet wytrącania wtórnych minerałów.

Wartości wskaźnika $\text{rNa}^+ / (\text{rNa}^+ + \text{rCl}^-) > 0,5$ sugerują pochodzenie jonów sodu z innego źródła niż tylko rozpuszczanie halitu. Być może do wzbogacenia badanych wód w te jony dochodzi w wyniku wietrzenia minerałów krzemianowych. Przeobrażanie skaleni (szczególnie albitu) w kaolinit wzbogaca wody podziemne w sód i krzemionkę, jednakże jest to proces bardzo powolny. Na podstawie hipotezy Beckera i Markiewicza (2009) wnioskować można, że duże ilości jonów chlorkowych i sodowych są efektem ługowania osadów solnych poprzez infiltrację wód z poziomów wyżej leżących (nad pierwotnym zasięgiem soli). Sugeruje to paleoinfiltracyjne pochodzenie solanek poziomu cechsztyńskiego.

Uzyskane wyniki można traktować jako wstępne. Analizy izotopowe wyjaśniłyby wątpliwości co do wieku omawianych wód. Rozszerzenie badań o analizy zawartości gazów w wodach, analizy izotopowe oraz szczegółowe modelowanie hydrogeochemiczne pozwoli sprecyzować przedstawione obserwacje.

Wyniki badań prezentowane są za zgodą KGHM.

LITERATURA

- BANASZAK A., BANAS M. (red.), 1996 — Część II Geologia. *W*: Monografia KGHM Polska Miedź SA., Lubin.
- BECKER R., MARKIEWICZ A., 2009 — Pochodzenie i skład chemiczny podziemnych wód zasolonych kopalń rud miedzi na monoklinie przedsudeckiej. Międzynarodowy Kongres Górnictwa Rud Miedzi, Lubin.
- BOCHEŃSKA T., 1988 — Kształtowanie się warunków hydrogeologicznych w lubińsko-głogowskim obszarze miedzionośnym pod wpływem odwadniania kopalń. *Acta Univ. Wratisl.*, 1044, *Pr. Geol.-Miner.*, **14**.
- MARKIEWICZ A., KALISZ M., WAŚNIEWSKI B., MAJDRAŁA M., 2007 — Zmienność wskaźników hydrochemicznych wód drenażowych w kopalniach KGHM Polska Miedź S.A., Wrocław. Arch. CUPRUM.
- OWCZAREK A., 2010 — Zmiany chemizmu wód dopływających do kopalni Polkowice-Sieroszowice oraz Lubin w strefie kontaktów hydraulicznych utworów cechszynu i oligocenu. Arch. PWroc.
- PAZDRO Z., 1983 — Hydrogeologia ogólna. Wyd. Geol., Warszawa.
- RAZOWSKA L., 1999 — Wskaźniki hydrochemiczne – mało przydatne, czy niedoceniane? *W*: Współczesne Problemy Hydrogeologii, t. 9: 307–314. Kielce.

SUMMARY

Analyses of water from particular mines demonstrate the highest concentration of sulfates, chlorides, sodium and calcium (Fig. 3A, B). The calcium concentration is higher than the sodium concentration in the water from the Lubin mine (Fig. 3A). It proves the predominance of gypsum-halite (gypsum, anhydrite, halite) and carbonate (calcite, dolomite, aragonite) dissolution. Simple ion exchange, i.e. when the calcium ion (found in water) is replaced by the sodium ion (from the rock medium), determines the ion relations in the water. Moreover, weathering of feldspar can be a secondary source of Ca^{2+} . Worth noticing is also the change in the chemical composition of the waters from the Polkowice II mine and the change of the groundwater type from sulphate to chloride (Figs. 3B, 4).

The values of indices calculated for the studied waters allow to concluding that in the southern part of mining areas, shallow waters (mainly from the Oligocene aquifer) mix with deep-circulation waters. The sodium-chloride and sulphate indices are relatively higher in Lubin mine than in the Polkowice-Sieroszowice area (Tab. 1, Fig. 7A, B). This is due to a greater participation of the chloride ion in the water composition. The $r\text{Na}^+/r\text{Cl}^-$ values are below 0.65 only in

one borehole. The values of the indices indicate a possible weathering of carbonates, silicates and sulphates and dedolomitization may influence the chemical composition of these waters (Tab. 2). These processes contribute to fissuring. This, in turn, leads to mineralisation of the waters and even crystallization of secondary minerals.

The calculated $r\text{Na}^+/(r\text{Na}^+ + r\text{Cl}^-)$ values rising above 0.5 imply that not only dissolution of halite is a source of the sodium ion (Tab. 2). Probably, due to weathering of feldspars (especially albite) the waters are enriched with the products (sodium and silica) of that reactions. According to Becker and Markiewicz (2009), it can be concluded that the high concentrations of the sodium and chloride ions are a result of leaching of saliniferous deposits. These processes are determined by the inflow of shallow-circulation waters. This suggests the meteoric origin of Zechstein brines related to pre-Quaternary infiltration.

The presented remarks are the results of preliminary research. Determining of gas content, isotopic composition of water and detailed hydrogeochemical modeling will probably add to the precision of the observations.

