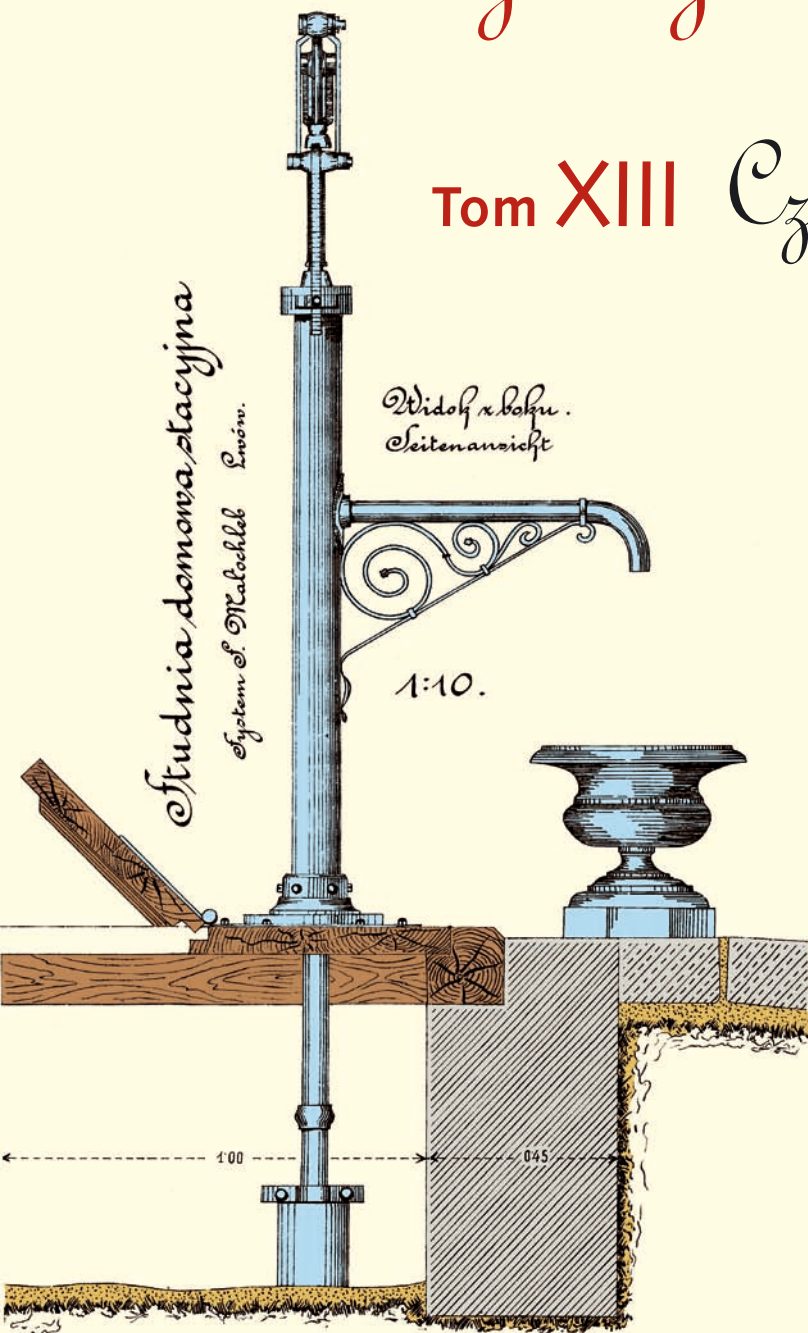


Współczesne problemy hydrogeologii

Tom XIII Część 2.



Copyright © Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska AGH, Kraków 2007



Wydanie publikacji zostało sfinansowane przez
Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska
i Gospodarki Wodnej

Recenzenci:

Jadwiga Szczepańska
Wojciech Ciężkowski
Józef Górski
Andrzej Kowalczyk
Ewa Krogulec
Grzegorz Malina
Jerzy Małecki
Marek Marciniak
Jacek Motyka
Marek Nawalany
Jan Przybyłek
Andrzej Rózkowski
Andrzej Sadurski
Andrzej Szczepański
Stanisław Staśko
Stanisław Witczak
Andrzej Zuber

Redakcja: Andrzej Szczepański, Ewa Kmiecik, Anna Żurek

Teksty artykułów w częściach 2. i 3. zostały wydrukowane z wersji elektronicznej dostarczonej przez Autorów, metodą bezpośredniej reprodukcji (*camera ready*)

Projekt okładki i stron tytułowych: Andrzej Tomaszewski

Na okładce: fragment projektu studni miejskiej we Lwowie z 1906 roku
— ze zbiorów prof. **Antoniego S. Kleczkowskiego** (1922–2006)

Korekta: Zespół

Skład komputerowy systemem $\text{T}_{\text{E}}\text{X}$: pre $\text{T}_{\text{E}}\text{X}$ t, www.pretext.com.pl

Druk: ROMA-POL, www.romapol.pl

ISBN-13 978-83-88927-16-4

Monika Konieczńska

**Ocena genezy składu chemicznego wód
wypływających ze starych sztolni kopalnianych
w rejonie Czarnów-Miedzianka-Janowice Wielkie**

**The Origin of the Chemical Composition
of Groundwater from Old Mine Shafts in
the Czarnów-Miedzianka-Janowice Wielkie Region**

Słowa kluczowe wody podziemne, mineralizacja siarczkowa, górnictwo rud metali

Key words Groundwater, Sulphide Mineralization, Metal Ore Mining

Abstract Groundwater in the Rudawy Janowickie crystal rocks has got the low mineralization of less than 200 mg/l and pH mainly little below 7. Main ions in its composition are Ca, Mg, HCO₃ and SO₄, with the last one often exceeding its normal ratio to HCO₃ in shallow groundwater in our climatic zone. Moreover in the chemical composition of the groundwater appear metals such as Al, Cu, Zn, in some places As, Li, Co, Ni and Mo. The main reason for so wide chemical spectrum is the occurrence of sulfide metal ores with a significant amount of pyrite. Oxidation process of these ores, enhanced by deep shafts and excavation of ore material cause mobilization of metals bound in primary sulphides. In the effect enriches in the chemical composition of groundwater and secondary mineralization zones come into being.

Wstęp

Obszar Rudaw Janowickich leży na pograniczu Sudetów Zachodnich i Środkowych w strefie kontaktu hercyńskiego granitoidu karkonoskiego ze skałami osłony. Procesy metamorficzne i tektoniczne doprowadziły tu do powstania skomplikowanego układu serii skalnych zbudowanych z hornfelsów, skarnów, gnejsów, granitów, różnego rodzaju łupków, kwarcytów, dolomitów krystalicznych, amfibolitów, zieleńców oraz fyllitów, gabr i diabazów, poprzecinanych wieloma generacjami uskoków i nasunięć. W strefie kontaktowej granitoidu karkonoskiego i metamorficznych skał osłony stwierdzono istnienie kilku stref mineralizacji siarczkowej, które z przerwami eksploatowane były od XII do połowy XX w. Najbardziej na północy znajduje się okręg rudny Miedzianka-Ciechanowice-Przybkowice. Głównym minerałem kruszcowym jest tu chalkopiryt. Obok niego występują inne siarczki, w mniejszym stopniu węglany i tlenki. Spośród minerałów nierudnych najpospolitszy jest kwarc. Towarzyszą mu chloryty, hornblenda, diopsyd, epidot, baryt i kalcyt. Na południe od Mniszkowa i Rędzinek występuje strefa mineralizacji arsenowej, której towarzyszy miedź, cyna i złoto. Stwierdzono tu obecność znacznych ilości arsenopiryty, chalkopiryty i pirotynu. Jeszcze dalej na południe wzdłuż głównego grzbietu Rudaw Janowickich położone jest złożo „Czarnów” z arsenopirytem jako głównym minerałem kruszcowym. Towarzyszą mu: pirotyn, piryt, chalkopiryt, galena i sfaleryt. Podrzędnie występują inne siarczki i tlenki metali. Minerale nierudne to kwarc, kalcyt, dolomit, skalenie, chloryty i amfibole.

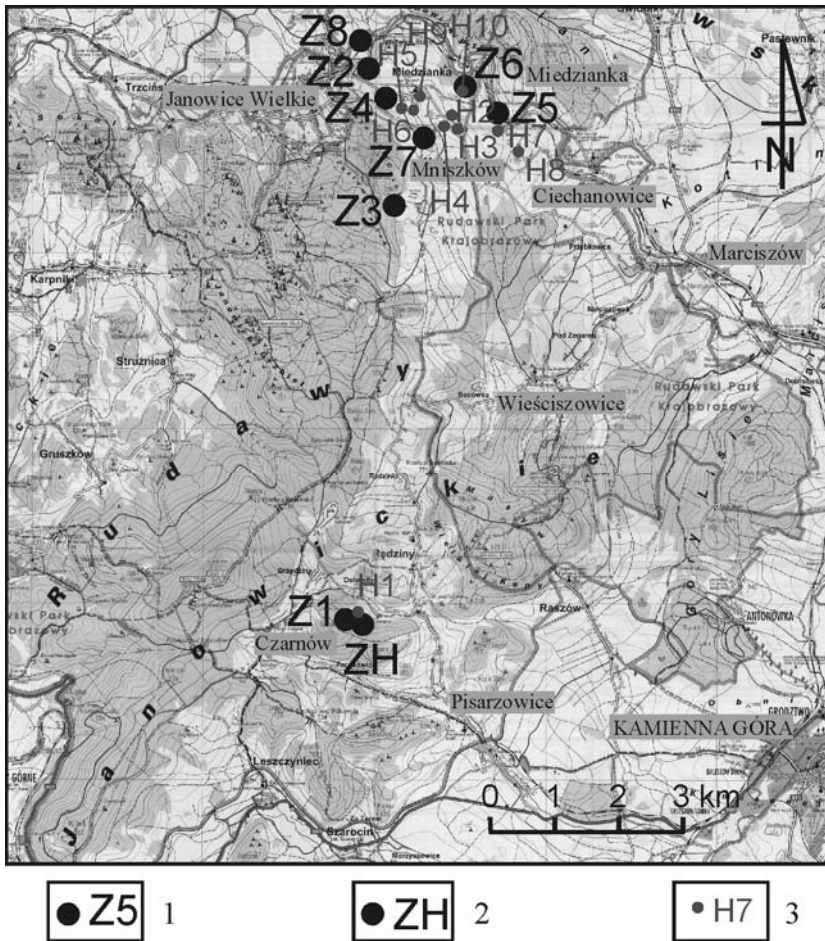
W dwuletnim cyklu kilkakrotnie przebadano 8 wypływów wód podziemnych ze sztolni starych kopalnianych w Czarnowie, w rejonie Miedzianki, Mniszkowa i Janowic Wielkich oraz jeden wypływ wody na hałdzie w Czarnowie (rys. 1).

Stan rozpoznania reżimu wód podziemnych

Krystalinik Rudaw Janowickich należy do podregionu izersko-karkonoskiego (Michniewicz, 1978, 1980). Według regionalizacji zwykłych wód podziemnych Paczyńskiego (1993) omawiany teren leży w subregionie śródsudeckim regionu sudeckiego makroregionu południowego.

Wody podregionu izersko-karkonoskiego to głównie wody szczelinowe w skałach krystalicznych wieku prekambryjskiego i paleozoicznego, występujące na głębokościach od kilkunastu do kilkudziesięciu metrów. Przyjmuje się, że zasilane są przede wszystkim przez opady atmosferyczne. Duże spadki morfologiczne i głębokie rozcięcia erozyjne (na ogół o założeniach tektonicznych) powodują silny drenaż wód podziemnych do cieków powierzchniowych. Za Marszałkiem (1996) i Staśko (2002) można wyróżnić tu trzy strefy wodonośne ze względu na głębokość występowania:

- najpłytsza (2-10 m p.p.t.), w utworach pokrywowych, wody mają charakter wód porowych, przeważnie o swobodnym zwierciadle, wartości współczynników filtracji bardzo zróżnicowane, szacuje się je średnio na 4-20 m/d;



Rysunek 1. Mapa dokumentacyjna opróbowania

Objaśnienia: 1 – punkt opróbowania wód podziemnych na wylocie sztolni, 2 – punkt opróbowania wód podziemnych w wypływie na hałdzie, 3 – punkt opróbowania hałd poeksploatacyjnych

Figure 1. Sampling documentation map

Explanation: 1 – groundwater sampling point at the shaft outlet, 2 – groundwater sampling point on the spare mine material heap, 3 – spare mine material sampling point

- głębsza, wody szczelinowe w górnej części masywu krystalicznego (tzw. strefa hipergeniczna), według Wojtkowiaka (1998) sięga do głębokości 34 m p.p.t. w granitach i 63 m p.p.t. w skałach metamorficznych, a współczynniki filtracji wynoszą średnio 1,38 m/d dla skał granitowych i 0,67 m/d dla skał metamorficznych (badania parametrów hydrogeologicznych w samych Rudawach Janowickich nie były dotąd prowadzone);
- najgłębsza - strefa wód w obrębie uskoków i rozłamów tektonicznych.

W przypadku masywów krystalicznych najlepsze pojęcie o faktycznym ich zawodnieniu daje obserwacja wydajności źródeł i sztolni (Staško, 2002). Obserwowane na jesieni (okres najniższych wydajności źródeł w krystaliniku karkonosko-izerskim) wydajności źródeł w północnej części masywu Rudaw Janowickich wahają się od 0,1 do 0,75 l/s, zaś drenaż sztolni w rejonie Miedzianki osiąga wartości 11-18 l/s (Marszałek, Wąsik, 2002).

Kierunki odpływu wód podziemnych są zgodne z nachyleniem terenu, tzn. od grzbietu Rudaw Janowickich ku wschodowi do doliny Bobru, z nieznacznymi lokalnymi odchyleniami na południe w rejonie Rędzin i na północ w rejonie Janowic Wielkich i Ciechanowic. Warunki hydrogeologiczne w rejonie Miedzianki i Ciechanowic zostały w dużym stopniu zmienione w efekcie wielowiekowej działalności górniczej.

Chemizm wód i jego zmienność sezonowa

Pod względem typów hydrochemicznych wody wypływające ze sztolni w Rudawach Janowickich to najczęściej wody trzy- lub czterojonowe, w których dominującymi kationami są wapń i magnez, a anionami siarczany i wodorowęglany, ustawione w różnej kolejności w zależności od ich wzajemnych stosunków (tab. 1). Sezonowa zmienność chemizmu tych wód nie wpływa w sposób zasadniczy na ich typ, zmienia się jedynie pozycja głównych anionów.

Omawiane wody podziemne są przeważnie bezbarwne i niosą niewielkie ilości materiału zawieszonego. Ich odczyn waha się w granicach od 6,00 do 7,00, ale przekroczenia tak określonego tła zdarzają się zarówno w dół, jak i w górę. Najniższe wartości notowano sezonowo w wypływie ze sztolni Z2 w Janowicach Wielkich. Odczyn zbliżony i wyższy od 7 obserwowano w wypływach Z7 w Mniszkowie i Z1 w Czarnowie.

Badane wody charakteryzują się niską mineralizacją, sięgającą od kilkudziesięciu do ok. 250 mg/l. We wszystkich wypływach panują warunki utleniające, potencjał redox waha się w różnych okresach roku od stu kilkudziesięciu do ponad 500 mV. Nasycenie tlenem wynosi na ogół od ponad 40% do prawie 90%. Twardość ogólna badanych wód jest mocno zróżnicowana, jej wartości wahają się w przedziale od kilkudziesięciu do 170 mg CaCO₃/l (Koniecznyńska, 2006).

Wapń i magnez są zdecydowanie dominującymi kationami w składzie omawianych wód. Największe zawartości wapnia stwierdzono w wodzie z wypływu Z1 w Czarnowie. W tym rejonie obserwowano również wysokie stężenia magnezu, ale największe zawartości tego pierwiastka zanotowano w wodach wypływających ze sztolni w okręgu rudnym Miedzianki.

Tabela 1. Typy wód podziemnych wypływających ze sztolni Rudaw Janowickich
Table 1. Hydrochemical types of groundwater from mine shafts in Rudawy Janowickie

Nr punktu	Typ hydrochemiczny wody									
	jesień 2000	wiosna 2001	lato 2001	jesień 2001	zima 2002	wiosna 2002	lato 2002			
Z1	Ca-Mg-SO ₄	Ca-HCO ₃ -SO ₄	Ca-HCO ₃ -SO ₄	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄			
Z2	Ca-Mg-SO ₄	Ca-Mg-SO ₄ -HCO ₃	Ca-Mg-SO ₄ -HCO ₃	Ca-Mg-SO ₄ -HCO ₃	Ca-Mg-SO ₄ -HCO ₃	Ca-Mg-SO ₄ -HCO ₃	Ca-Mg-SO ₄ -HCO ₃			
Z3	Ca-Mg-SO ₄	Ca-Mg-SO ₄ -HCO ₃	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄		Ca-Mg-SO ₄ -HCO ₃				
Z4		Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄		Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄			
Z5				Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄		Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄			
Z6				Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄		Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄			
Z7				Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄		Ca-Mg-SO ₄ -HCO ₃	Ca-Mg-SO ₄ -HCO ₃			
Z8				Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄			
ZH				Ca-Mg-SO ₄		Ca-Mg-SO ₄	Ca-Mg-Na-SO ₄ Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄			

Stężenia sodu w badanych wodach wahają się od ok. 3 do powyżej 8 mg/l, najwyższe obserwowano w wypływach Z2 i Z6 pomiędzy Miedzianką i korytem Bobru. Nie stwierdzono dużej zmienności stężeń sodu w różnych okresach badawczych. Stężenia potasu w badanych wodach są stałe w czasie, nie przekraczają 3 mg/l.

Stężenia wodorowęglanów wahają się od kilku do prawie 200 mg/l. Największe ich zawartości obserwowano w Czarnowie (Z1) oraz w wodach wypływających z tych sztolni, gdzie stwierdzono najwyższe wartości pH – Z2, Z4, Z7, co wiąże się z warunkami tzw. równowagi węglanowej. Ilość siarczanów w wodach na ogół nie przekraczała 60 mg/l. W niektórych punktach zanotowano dość dużą zmienność stężeń tego parametru. W Czarnowie w wypływie Z1 sezonowe zmiany stężenia SO_4^{2-} sięgały 30 mg/l (50%). Chlorki w badanych wodach występują w niewielkich stężeniach od poniżej 0,5 do kilku mg/l. Jedynie w wypływie Z2 w Janowicach ilości te wzrastają do ok. 10 mg/l. Najmniejsze zawartości chlorków odnotowano w wypływie Z1 w Czarnowie.

Z niemetali powszechnie w badanych wodach występuje stront (w ilości ok. 0,1 mg/l). Nieznacznie większe stężenie na poziomie 0,18 mg/l utrzymywało się jedynie w wodzie sztolni Z2 w Janowicach. Z kolei nieznacznie niższe stężenia notowano w wodach ze sztolni w Hutniczej Dolinie oraz sztolni miedziankowskiej i sztolni Z8 nad Bobrem w Janowicach Wielkich. Podobny jest przestrzenny rozkład stężeń krzemu. Ilości tego pierwiastka w badanych wodach utrzymują się na ogół na poziomie 20-28 mg SiO_2/l , przy czym najwyższe wartości zanotowano w sztolni Z2. Wyraźnie niższe niż przeciętne stężenia stwierdzono w sztolniach Z8 w Janowicach Wielkich oraz Z1 w Czarnowie.

W wodach wypływających z badanych sztolni oznaczano dość szerokie spektrum mikroskładników. Glin w niewielkich (0,01-0,04 mg/l), ale stałych ilościach stwierdzono w wypływach ze sztolni Z3 w Hutniczej Dolinie oraz Z2 i Z8 w Janowicach Wielkich. Miedź w ilościach większych niż śladowe pojawia się w wodach sztolni poniżej Mniszkowa (Z4 – ujęcie wody dla Janowic Wielkich), w Hutniczej Dolinie powyżej Janowic Wielkich (Z3) oraz w najwyższych stężeniach, powyżej 0,1 mg/l, w wypływie z tzw. sztolni miedziankowskiej (Z5) poniżej Ciechanowic. Cynk w większych ilościach występował jedynie tam gdzie miedź. Stężenia rzędu 0,2 mg/l zanotowano w ujęciu gminnym dla Janowic Wielkich Z4 oraz w wodzie ze sztolni Miedziankowskiej. Najwyższe zawartości – powyżej 1 mg/l oznaczono w Hutniczej Dolinie. Żelaza w formie rozpuszczonej w badanych wodach praktycznie nie oznaczano, co wiąże się prawdopodobnie z dobrym natlenieniem tych wód. Mangan na poziomie kilku do kilkunastu tysięcznych mg/l oznaczano w wodzie wypływającej ze sztolni w Czarnowie (Z1) oraz ze sztolni w Hutniczej Dolinie (Z3) i Janowicach Wielkich (Z2, Z4), a także w sztolni miedziankowskiej (Z5). Nie stwierdzono natomiast tego pierwiastka w wodach wypływających z granitów – ze sztolni Z8, a także poniżej Miedzianki i w Mniszkowie. Arsen zanotowano jedynie w dwóch rejonach. W ilościach znacznych, powyżej 1 mg/l, pojawia się on w wodach w rejonie dawnej kopalni w Czarnowie – Z1. Drugi rejon, gdzie oznaczono niewielkie stężenia na poziomie kilku setnych mg arsenu w litrze wody, to okolice Miedzianki i Mniszkowa (wypływy ze sztolni w Hutniczej Dolinie, poniżej Mniszkowa oraz miedziankowskiej). Bar w omawianych wodach występuje na ogół na poziomie kilku tysięcznych mg/l. Wyraźnie większe stężenia zanotowano w sztolni Z3. Nie stwierdzono natomiast baru w wodzie wypływającej poniżej Miedzianki w sztolni Z6.

Kadm stwierdzono jedynie w Hutniczej Dolinie (Z3 – kilkanaście tysięcznych mg/l) oraz w wodach ze sztolni Z4 oraz sztolni miedziankowskiej Z5, ale na znacznie niższym poziomie kilku tysięcznych mg/l. Natomiast lit jest powszechnie obecny w badanych wodach - w Czarnowie w wypływie Z1 zanotowano wartości 0,003-0,005 mg/l, a w okolicach Miedzianki, Ciechanowic i Mniszkowa praktycznie we wszystkich wypływach oznaczano go na poziomie kilkunastu tysięcznych mg/l. Molibden na poziomie ok. 0,01 mg/l wykryto jedynie na wypływie ze starej sztolni w Czarnowie (Z1) oraz ze sztolni miedziankowskiej poniżej Ciechanowic (Z5). Ślady molibdenu zanotowano również wiosną 2001 r. w ujęciu wody pitnej dla Janowic Wielkich (Z4) oraz latem 2002 r. w wodzie wypływającej ze sztolni Z2 w Janowicach Wielkich. Nikiel w ilości 0,006-0,008 mg/l wykryto jedynie w wodzie ze sztolni miedziankowskiej Z5. Z kolei ołów na poziomie 0,06-0,09 mg/l zanotowano tylko w wodzie ze sztolni Z3 w Hutniczej Dolinie.

Chemizm wód podziemnych a wody opadowe

Na obecnym etapie rozpoznania zakłada się, że wody masywów krystalicznych zasilane są przede wszystkim przez infiltrację opadów atmosferycznych. Jezierski (2002) sformułował tezę, że infiltrujące opady wnoszą do wód podziemnych średnio ok. 11 mg/l makroskładników, jednak badania składu chemicznego opadów atmosferycznych na posterunku opadowym w Raszowie (południowe stoki Masywu Wielkiej Kopy) wykazały, że infiltrująca w tym rejonie woda opadowa charakteryzuje się dużą zmiennością w ilości ładunku chemicznego oraz generalnie wyższymi stężeniami niż podaje Jezierski – średnio ok. 27 mg/l substancji rozpuszczonych (Koniecznyńska, 2006). Okresowe różnice w zawartości siarczanów dochodzące do kilkudziesięciu mg/l, chlorków, sodu i azotanów do kilkunastu mg/l, wapnia i cynku do kilku mg/l oraz żelaza do kilku dziesiątych i baru do kilku setnych mg/l muszą powodować, mimo procesów sorpcji i wymiany jonowej, pewną zmienność stężeń tych składników w nisko zmineralizowanych wodach podziemnych płytkiego krążenia.

Związek chemizmu wód podziemnych ze składem mineralogicznym ośrodka skalnego

Badany obszar charakteryzuje się bardzo urozmaiconą budową geologiczną i szerokim spektrum związków mineralnych, tak minerałów skałotwórczych, jak występujących bardziej lokalnie minerałów rudnych. W próbkach zwietrzelin zebranych w sąsiedztwie zawałonych sztolni w Czarnowie i w Hutniczej Dolinie obserwowano wyraźnie podwyższone koncentracje m.in. arsenu, baru, ołowiu i cynku. Stwierdzono w nich również niewielką zawartość wolframu, a w Hutniczej Dolinie również uranu i kadmu. Tak bogaty skład mikroelementów w środowisku skalnym tłumaczy, dlaczego wody krążące w nim wzbogacają się zwłaszcza w lepiej migrujące w roztworach pierwiastki, takie jak miedź, cynk, bar, jak widać w Czarnowie, również arsen i molibden, a w okolicach Mniszkowa i Hutniczej Doliny – kadm, molibden, nikiel, a nawet bardzo mało ruchliwy w środowisku wodnym ołów.

Wpływ eksploatacji rud na chemizm wód podziemnych

Charakter i sposób wykształcenia asocjacji mineralnych w złożach i przejawach mineralizacji kruszcowej w rejonie Rudaw Janowickich wskazuje na intensywny proces oksydacji pierwotnych minerałów w długim okresie czasu. Nie ulega wątpliwości, że procesy utlenienia toczą się nadal, spotęgowane udostępnieniem ciał rudnych licznymi wyrobiskami górniczymi, począwszy od wczesnego średniowiecza (XII-XIII wiek).

Pospolita obecność pirytu w okruszcowaniu miedziowym rejonu rudnego Miedzianki i arsenowym w rejonie rudnym Czarnowa w zasadniczy sposób wpłynęła na wykształcenie tamtejszych stref utlenienia. Zarówno H_2SO_4 jak i $Fe_2(SO_4)_3$ działał silnie rozpuszczająco na większość tamtejszych pierwotnych siarczków. Ilość wolnego H_2SO_4 tworzącego się w trakcie utleniania pirytu była znacznie większa niż przy utlenianiu się siarczków metali kolorowych, zaś siarczan żelazowy, będąc silnym utleniaczem, mógł przenosić tlen do takich poziomów stref rudnych, do których tlen atmosferyczny nie miał z różnych względów dostępu, np. jeszcze przed wydrążeniem szybów i sztolni.

Trwające od Średniowiecza wysiłki człowieka, aby usunąć zagrożenie wodne z masywu złożowego eksploatowanego w rejonie Miedzianki i Mniszkowa, a później również Ciechanowic doprowadziły do wytworzenia potężnego leja depresji. Do dzisiaj, mimo zakończenia wszelkich prac górniczych w 1954 roku, w Miedziance nie ma żadnej studni, woda na potrzeby gospodarcze w czasach niemieckich dostarczana była potężnym systemem wodociągowym z naturalnego źródła na Małym Wołku, a po II wojnie z wybudowanego pod dnem Bobru ujęcia infiltracyjnego. Takie „osuszenie” rejonu złoża nie pozostało bez wpływu na przebieg procesów utlenienia pierwotnych minerałów, doprowadzając do wytworzenia bogatej w miedź strefy cementacji z licznymi minerałami wtórnymi.

O ile procesy utlenienia i osuszenie górotworu w rejonie Miedzianki doprowadziły do powstania strefy cementacji z minerałami wtórnymi, o tyle w Czarnowie spowodowały odprowadzanie arsenu wraz z odpływającą wodą poza obręb strefy złożowej.

Nie tylko „otwarcie” złóż wyrobiskami górniczymi zwiększyło możliwości rozpuszczania minerałów rudnych i przechodzenia bogatej gamy pierwiastków do wód podziemnych. Materiał wynoszony z wyrobisk oraz resztki po hutniczej przeróbce rud, składowane na hałdach, zawierają wciąż znaczne ilości mikroelementów. W niektórych hałdach odpady poeksploatacyjne wykształcone są w takiej postaci, że z łatwością mogą być rozpuszczane w znacznych stężeniach w wodach, co wykazuje analiza składu chemicznego ekstraktów wodnych materiału z tych hałd (tab. 2).

Najbardziej podatne na uwalnianie arsenu, miedzi, manganu, ołowiu, cynku, glinu, żelaza, magnezu i niklu są hałdy zgromadzone po wschodniej stronie Miedzianki oraz w Rędzinach poniżej dawnej kopalni w Czarnowie. Arsen, molibden i cynk uwalniany jest do wody z materiału zgromadzonego przy starych szybach i hucie w Ciechanowicach.

Tabela 2. Skład chemiczny ekstraktów wodnych z odpadów poeksploatacyjnych z hałd w Rudawach Janowickich**Table 2.** Water extracts composition of spare mine material heaps in Rudawy Janowickie

Nr próbki	As	Ba	Cu	Mn	Mo	Ni	Pb	Sr	Zn	Al	Ca	Fe	Mg	K	Na	S
	ppm									%						
H1	364	3	8	38	<1	1	14	2	28	0,03	0,09	0,08	0,02	0,03	0,006	0,009
H2	56	2	100	53	<1	2	22	<1	64	0,02	0,02	0,09	0,01	0,02	0,005	0,009
H3	7	1	128	45	<1	2	18	<1	85	0,03	0,02	0,07	0,02	0,01	0,005	<0,005
H4	<5	<1	40	30	<1	<1	<5	<1	11	0,02	0,02	0,03	0,02	<0,01	0,004	<0,005
H5	<5	<1	12	4	<1	<1	<5	<1	7	<0,01	0,04	<0,01	0,02	0,02	0,003	<0,005
H6	<5	<1	<1	6	<1	<1	<5	<1	<1	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	0,004	0,013
H7	7	<1	<1	<1	21	<1	<5	<1	<1	<0,01	0,04	<0,01	<0,01	0,02	0,003	0,010
H8	28	<1	1	<1	2	<1	<5	<1	1	<0,01	0,04	<0,01	<0,01	0,02	0,003	<0,005
H9	<5	2	<1	1	<1	<1	<5	<1	<1	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,002	<0,005
H10	<5	<1	<1	1	<1	<1	<5	<1	<1	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,004	<0,005

znak „<” oznacza „mniej niż” wartość, którą poprzedza. Wartości te to dolne limity detekcji dla poszczególnych oznaczeń

Literatura

- Jeziński P., 2002 – *Chemizm wód podziemnych a ich dynamika w obszarze Rudaw Janowickich*. Praca doktorska, Bibl. Instytutu Nauk Geol. Uniw. Wroc., Wrocław.
- Koniecznyńska M., 2006 – *Chemizm wód podziemnych metamorfiku Rudaw Janowickich i obniżenia Bramy Lubawskiej*. Praca doktorska, CAG PIG Warszawa.
- Marszałek H., 1996 – *Ocena jakości wód w obszarze Karkonoskiego Parku Narodowego*. Technika Poszukiwań Geologicznych nr 2/96, Wyd. PAN, Kraków.
- Marszałek H., Wąsik M., 2002 – *Mapa hydrogeologiczna Polski w skali 1:50 000*. Arkusz Wojciechów. PIG & MŚ, Warszawa.
- Michniewicz M., 1978 – *Badania hydrochemiczne wschodniej ostony Karkonoszy*. CAG PIG Warszawa nr 4522/633
- Michniewicz M., 1980 – *Hydrogeologia wschodniej ostony granitu Karkonoszy i zachodniej części niecki śródsudeckiej*. CAG PIG Warszawa nr 4521/443
- Paczyński B. (red.), 1993 – *Atlas hydrogeologiczny Polski 1:500 000. Cz. I - Systemy zwykłych wód podziemnych*. PIG, Warszawa.
- Staśko S., 2002 – *Zawodnienie szczelinowych skał krystalicznych w Sudetach*, Biuletyn PIG 404, s. 249-262, Warszawa.
- Wojtkowiak A., 1998 – *Reżim źródeł obszarów krystalicznych Sudetów Zachodnich*. Praca doktorska, Archiwum PIG Oddział Dolnośląski, Wrocław.