



MIROSLAW WĄSIK*, MARCIN WĄSOWSKI**

Parametry hydrogeologiczne skał drenowanych przez stare wyrobiska górnicze w rejonie Miedzianki i Ciechanowic (Sudety Zachodnie)

Wprowadzenie

W Sudetach znajduje się sto kilkadziesiąt złóż różnych surowców, głównie skalnych, eksploatowanych metodą odkrywkową. Obok nich występuje kilkadziesiąt złóż, przeważnie polimetalicznych, eksploatowanych przez wieki metodą podziemną. Jednym z nich jest złóżce polimetaliczne Miedzianka-Ciechanowice, na którym prowadzono eksploatację rud miedzi, arsenu, żelaza, ołowiu, kobaltu, cynku i srebra od średniowiecza do 1925 r. (Dziekoński 1972; Fedak i Lindner 1966). Dawne wyrobiska górnicze ponownie wykorzystano w latach 1948–1963 w celu poszukiwania w Ciechanowicach oraz eksploatacji w Miedziance i Mniszkowie złóż rud uranu (Klementowski 2010).

Prace naukowe wykonywane na omawianym obszarze dotyczyły głównie zagadnień z zakresu geologii i historii górnictwa (Konstantynowicz red. 1973; Madziarz 2010; Mazur 1995; Zagożdżon 2008; Zagożdżon P. i Zagożdżon K. 2009). Nieliczne badania hydrogeologiczne obejmowały problematykę chemizmu wód wpływających z nieczynnych sztolni (Jeziński 2002; Koniecznyńska 2007).

W niniejszym artykule przedstawiono wyniki badań wybranych parametrów hydrogeologicznych skał. Badaniami objęto obszar, na którym prowadzona od setek lat działalność

* Dr, ** Mgr, Instytut Nauk Geologicznych, Uniwersytet Wrocławski, Wrocław;
e-mail: miroslaw.wasik@ing.uni.wroc.pl; miroslaw.wasik@uwr.edu.pl

górnicza wpłynęła w znacznym stopniu na zmianę warunków hydrogeologicznych, w tym również na wartości niektórych parametrów hydrogeologicznych skał.

1. Charakterystyka badanego obszaru

Złoże polimetaliczne Miedzianka-Ciechanowice znajduje się w południowej części województwa dolnośląskiego, w obrębie Gór Ołowianych i północnej części Rudaw Janowickich, wchodzących w skład Sudetów Zachodnich (Kondracki 2009). Główną rzeką odwadniającą dawny teren górniczy jest Bóbr, do którego bezpośrednio lub pośrednio dopływają wody drenowane starymi sztolniami. Omawiany obszar charakteryzują średnie roczne temperatury powietrza 6–6,5°C oraz roczna suma opadów atmosferycznych w wysokości 750–830 mm (Kwiatkowski i Hołdys 1985).

Obszar złoża leży w obrębie plutonu karkonoskiego i metamorfiku Rudaw Janowickich, będących częścią masywu karkonosko-izerskiego, oraz jednostki Bolkowa należącej do kaczawskiego łupkowo-zieleńcowego pasma fałdowego. W obrębie plutonu karkonoskiego wyróżniono trzy odmiany strukturalno-petrograficzne karbońskich granitów: porfirowaty, równoziarnisty oraz granofirowy. W strefie kontaktowej z metamorfikiem Rudaw Janowickich występuje aureola zbudowana z hornfelsów. Staropaleozoiczne skały metamorficzne wschodniej osłony granitoidu karkonoskiego dzieli się na trzy jednostki: Kowar (grupa gnejsów z Kowar i formacja łuków z Czarnowa), Niedamirowa (formacja łupków z Niedamirowa) oraz Leszczyńca (kompleks metamagmowy z Leszczyńca). Petrograficznie są to utwory zasadowe, wykształcone jako łupki krystaliczne, amfibolity, metadiabazy, zieleńce, fylity z wkładkami wapieni krystalicznych oraz skały kwaśne, reprezentowane przez gnejsy, metadioryty i plagiogranity (Mazur 1995). Jednostka Bolkowa, oddzielona od granitów karkonoskich i metamorfiku Rudaw Janowickich uskokiem śródsudeckim, zbudowana jest przez silnie zdeformowane i wielokrotnie prześladowane ordowickie zieleńce, dolnokarbońskie łupki serycytowe i serycytowo-chlorytowe z soczewami dolnokambryjskich wapieni krystalicznych. W górnej części profilu pojawiają się lidyty, porfiroidy i keratofiry (Aleksandrowski 2003).

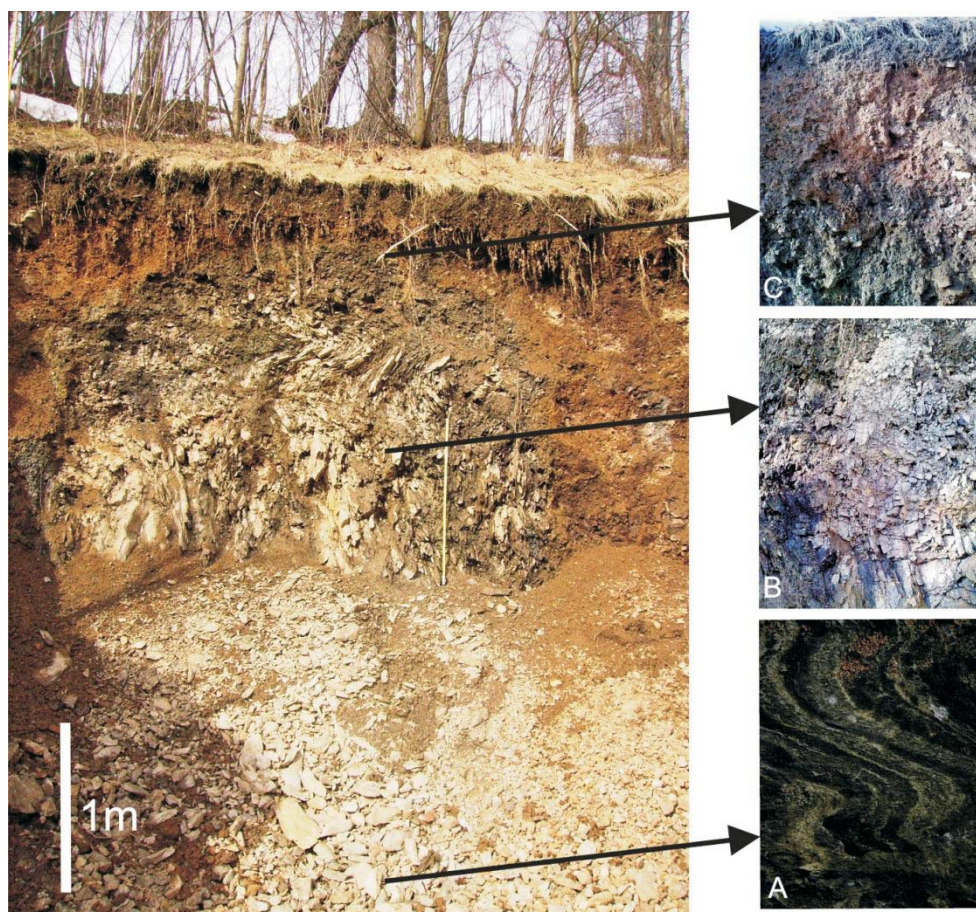
Na utworach starszych występują osady czwartorzędowe reprezentowane przez smugowane gliny peryglacjalne, podścielone piaskami i żwirami wysokiego zasypania. W niewielkich fragmentach na łagodnie spłaszczonych zboczach, niezgodnie zalegają silnie zapiaszczone gliny deluwialne, których miąższość nie przekracza 2,5 m (Szałamacha 1956). W stropie skał krystalicznych występuje przemieszczony, silnie zagliniony rumosz skalny (rys. 1). Holocenijskie osady reprezentowane są przez aluwia rzeczne ułożone wzdłuż dolin potoków oraz utwory antropogeniczne, występujące w formie zwałowisk, warp i osadników.

Wyrobiska górnicze zlokalizowane są na obszarze 3,5 × 1,5 km. Łączna ich długość przekracza 55 km, a maksymalna głębokość 220 m p.p.t. (najgłębszego dwunastego poziomu) (Dziekoński 1972). Długości sztolni zwykle nie przekraczają kilkaset metrów,

jednakże najdłuższe osiągają nawet 2 km. Drażone one były przeważnie w obrębie aplogranitów, amfibolitów, fylonitów, hornfelsów oraz łupków kwarcowo-łyszczkowych.

Wody podziemne na omawianym obszarze, położonym zgodnie z podziałem hydrogeologicznym Polski w regionie sudeckim (Paczyński i Sadurski red. 2007), występują w trzech piętrach wodonośnych: czwartorzędowym, karbońskim oraz staropaleozoicznym.

Piętro czwartorzędowe tworzą osady aluwialne Bobru i jego dopływów. Ze względu na ograniczony zasięg ma ono marginalne znaczenie hydrogeologiczne. W starszych piętrach wody podziemne występują w utworach szczelinowych w kilku strefach głębokościowych i związane są ze strefami spękań, uskoków i rozłamów tektonicznych (Marszałek 2007). Ich zawodnienie jest ogólnie niskie, lepsze właściwości filtracyjne i pojemnościowe skał należy wiązać ze strefami spękań tektonicznych. Zgodnie z klasyfikacją Krasnego skały



Rys. 1. Profil zwietrzelinowy w strefie uskoku śródsudeckiego w sąsiedztwie sztolni W8
A – strefa guasi-monolitycznego masywu amfibolitowego, B – strefa gruzu uporządkowanego,
C – strefa bezładnego gruzu drobnopłytkowego

Fig. 1. Weathering profile within the Intra-Sudetic fault zone close to the W8 adit

omawianego obszaru można zaliczyć do średniej III klasy wodoprzewodności (Marszałek i Wąsik 2005).

2. Metodyka badań

Celem prowadzonych badań była charakterystyka wybranych parametrów hydrogeologicznych skał. Dokonano tego wykorzystując metody polowe oraz laboratoryjne. Badaniami objęto wybrane skały krystaliczne i okruchowe luźne, dominujące w rejonie Miedzianki i Ciechanowic. Wykonano 25 serii pomiarowych wydajności wypływów z 10 sztolni w okresie od lutego 2011 do marca 2012 r. Pomiarów wykonywano metodą wolumetryczną. Wyniki wykorzystano do obliczenia wartości współczynników regresji α oraz potencjałów zasobności W ze wzorów (Castany 1972):

$$\alpha = \frac{\ln Q_0 - \ln Q_t}{t}$$

oraz

$$W = 86400 \frac{Q_0}{\alpha}$$

- ↳ Q_0 – wydajność początkowa w okresie regresji,
 Q_t – wydajność końcowa w okresie regresji,
 t – czas regresji.

Pomiary parametrów szczelinowatości skał krystalicznych wykonano w 18 punktach badawczych. Stanowiły je sztuczne odsłonięcia, w tym dwa wewnątrz sztolni, oraz naturalne. Do pomiarów wykorzystano szczelinomierz techniczny o dokładności 0,05 mm. W trakcie prac terenowych mierzono długości i rozwarcie szczelin, ich wypełnienie, szorstkość, zawilgocenie (przykładając bibułę do odsłonięcia). Wyznaczono gęstość liniową spękań w dwóch prostopadłych do siebie kierunkach oraz powierzchnią długość spękań. Wykorzystując pomiary terenowe obliczono współczynnik szczelinowatości powierzchniowej d_f utożsamiany z powierzchnią porowatością szczelinową oraz współczynnik filtracji szczelinowej k_d ze wzorów (Liszkowski i Stochlak 1976):

$$d_f = \frac{\sum bl}{F}$$

oraz

$$k_d = 61,5 \cdot 10^{-5} \cdot b^2 \cdot d_f$$

- ↪ b – średnie rozwarście rzeczywiste spękań,
 l – długość szczeliny,
 F – powierzchnia pomiaru.

Dla skał krystalicznych laboratoryjnie wyznaczono również wartości współczynnika odsączalności grawitacyjnej μ (dla 6 próbek) oraz porowatości efektywnej n_e (dla 9 próbek). Odsączalność grawitacyjną określono wykorzystując metodę odwirowania. Polega ona na wymuszeniu grawitacyjnego odsączania wody z próbki za pomocą siły odśrodkowej wytworzonej w trakcie wirowania. Do obliczenia μ wykorzystano wzór (Pazdro i Kozerski 1990):

$$\mu = \frac{(m_n - m_s)}{m_n}$$

- ↪ m_s – masa próbki suchej,
 m_n – masa próbki nasyconej wodą.

Porowatość efektywną określono zgodnie z metodyką podaną przez Kleczkowskiego i Mularza (1964), polegającą na wysuszeniu próbki w temperaturze 105°C, nasyceniu jej naftą oczyszczoną oraz odpowiednim jej ważeniu. Obliczenia wykonano ze wzoru:

$$n_e = \frac{(G_p - G_s)}{(G_p - G_w)}$$

- ↪ G_s – masa próbki suchej,
 G_p – masa próbki nasączonej naftą i ważonej w powietrzu,
 G_w – masa próbki nasączonej naftą i ważonej w nafcie.

Dla 16 próbek luźnych skał okruchowych określono wartości współczynnika odsączalności grawitacyjnej μ oraz wodochłonności w wykorzystując metodę wagową, polegającą na ważeniu wysuszonych i nawodnionych próbek. Do obliczeń wykorzystano wzór podany powyżej oraz wzór (Pazdro i Kozerski 1990):

$$w = \frac{(m_n - m_s)}{m_s}$$

W celu dokładniejszej oceny głównych typów zwietrzelin występujących na badanym obszarze wykonano analizy sitowe.

Współczynnik filtracji k zwietrzelin wyznaczono połową metodą Porscheta (20 oznaczeń) oraz laboratoryjną metodą Giryńskiego (58 oznaczeń). Metoda Porscheta polega na

obserwacji tempa obniżania się zwierciadła wody w wykonanym, zalanym wodą wkopie o określonej średnicy r . Do obliczeń wykorzystano wzór (Pleczyński 1981):

$$k_0 = \frac{[\varphi(x_1) - \varphi(x_2)]}{\Delta t}$$

gdzie:

$$\varphi(x_1) = \frac{r}{2} \left(\log x_1 + \frac{r}{2} \right)$$

$$\varphi(x_2) = \frac{r}{2} \left(\log x_2 + \frac{r}{2} \right)$$

$$\Delta t = t_2 - t_1$$

- ↪ x_1, x_2 – wysokość zwierciadła wody powyżej dna wkopu,
 t_1, t_2 – czas obniżenia zwierciadła wody od stanu x_1 do x_2 .

W metodzie Girynskiego pomiar polega na obserwacji ilości wody przepływającej przez próbkę umieszczoną w przepuszczalnościomierzu. Wartość współczynnika k oblicza się ze wzoru (Wąsik 2003):

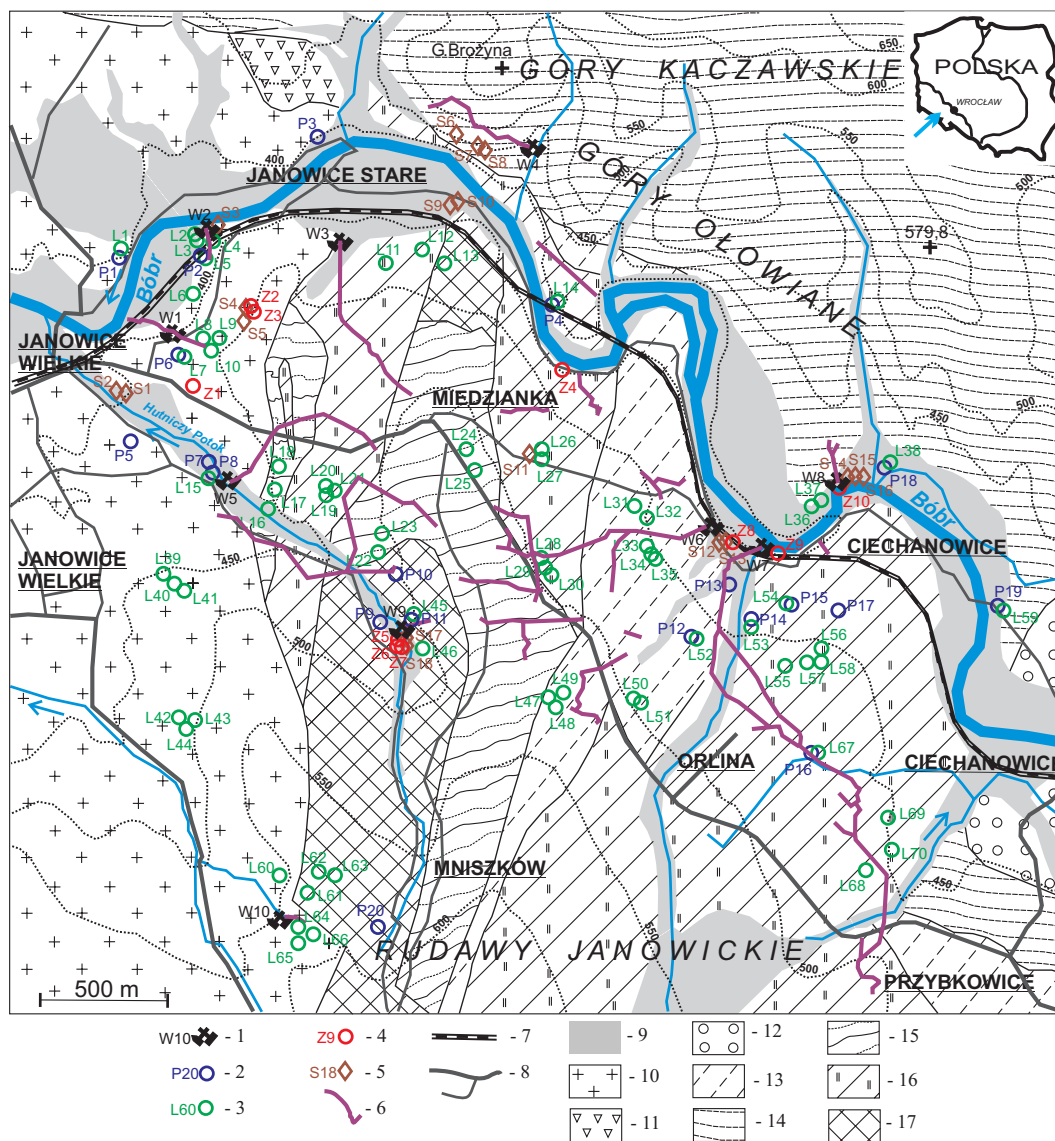
$$k = \frac{QL}{hF}$$

- ↪ Q – ilość wody przesączającej się przez próbkę w jednostce czasu,
 L – długość próbki,
 h – różnica wysokości zwierciadła wody,
 F – powierzchnia próbki.

3. Charakterystyka parametrów hydrogeologicznych skał

Skały dawnego złoża polimetalicznego drenowane są przez 10 nieczynnych wyrobisk górniczych (rys. 2). Ich sumaryczna wydajność Q , obserwowana w latach 2011–2012, zmieniała się od 8,6 do 36,1 dm³/s (tab. 1). Zmienny był też reżim obserwowanych wypływów (tab. 2). Wody ze sztolni wykorzystywane są przez pojedyncze gospodarstwa (W3) oraz gminne ujęcie w Janowicach Wielkich (W5).

Współczynnik regresji α określa tempo szczyptywania zasobów, a więc informuje o pojemności wodnej ośrodka skalnego (Castany 1972). Na podstawie okresowych obserwacji



Rys. 2. Lokalizacja punktów badawczych na tle budowy geologicznej (wykorzystano: Szałamacha 1956; Dziekoński 1972 – zmienione)

- 1 – wypływy z wyrobisk górniczych, 2 – punkt pomiaru współczynnika filtracji, 3 – punkt poboru próbek skał luźnych, 4 – punkt poboru próbek skał zwięzłych, 5 – punkt pomiaru wybranych parametrów szczelinowości, 6 – wyrobisko górnicze, 7 – linia kolejowa, 8 – droga, 9 – piaski i żwiry, osady rzeczne w ogólności (czwartorzęd), 10 – granitoidy, 11 – pikryty (10–11 karbon górny), 12 – zlepiące (karbon dolny), 13 – fylonyty, fylity, 14 – zieleńce, 15 – łupki krystaliczne, 16 – amfibolity, 17 – hornfelsy (13–17 starszy paleozoik)

Fig. 2. Location of investigation points vs. the geological structure (ref. cited: Szałamacha 1958; Dziekoński 1972 – amended)

Tabela 1. Sumaryczna wydajność wypływów ze sztolni

Table 1. The total discharge of outflows from the adits

Rok	2011												2012	
Miesiąc	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	
ΣQ [dm ³ /s]	15,1	16,9	21,5	14,6	19,6	36,1	33,2	19,8	12,1	11,5	8,6	10,5	13,3	

Tabela 2. Charakterystyka wypływów z nieczynnych wyrobisk górniczych w okresie luty 2011–marzec 2012

Table 2. Characteristics of outflows from abandoned mine workings in the period of February 2011–March 2012

Nr wypływu	Rzędna terenu [m n.p.m.]	Rodzaj wypływu	Temperatura wody t [°C]	Q_{min}	Q_{sr}	Q_{max}	$\frac{Q_{max}}{Q_{min}}$	Kategoria zmienności według Mailleta
				[dm ³ /s]				
W1	420	stały	8,1–8,5	0,10	0,43	0,75	7,4	mało zmienne
W2	390	stały	7,2–7,8	0,10	0,17	0,36	3,7	mało zmienne
W3	430	stały	6,8–8,2	0,97	2,47	7,25	7,5	mało zmienne
W4	410	stały	6,3–9,0	0,07	0,15	0,21	2,98	mało zmienne
W5	436	stały	8,1–8,3	1,43	4,45	10,1	7,0	mało zmienne
W6	410	stały	7,3–8,3	1,16	3,01	6,68	5,8	mało zmienne
W7	405	stały	7,3–7,9	3,10	4,64	9,65	3,1	mało zmienne
W8	420	stały	7,9–8,5	0,08	0,09	0,11	1,3	stałe
W9	480	okresowy	6,2–7,1	0,00	0,20	0,80	>50	bardzo zmienne
W10	560	okresowy	8,2–9,1	0,00	0,87	2,74	>50	bardzo zmienne

wypływów z wyrobisk górniczych obliczono dla nich wartości α od 0,0030 do 0,0372. Najwyższe wartości uzyskano dla granitów natomiast najniższe dla zieleńców, amfibolitów i hornfelsów. Wykorzystując parametr α określono wartości potencjału zasobności W , który wynosi od 2,95 do 57,98 tys. m³ (tab. 3). Potencjał zasobności utożsamiany jest z objętością

Tabela 3. Wartości współczynnika regresji α oraz potencjału zasobności W obliczone na podstawie pomiarów wydajności wypływów z nieczynnych wyrobisk górniczych

Table 3. The values of the regression coefficient α , and the resources potential W calculated as based on the measurements of outflows discharge from abandoned mine workings

Nr wypływu	Drenowane skały (dominujące)	Współczynnik regresji α [1/d]	Potencjał zasobności W [tys. m ³]
W1	granity	0,0169	3,81
W2	granity	0,0089	3,44
W3	amfibolity	0,0138	18,54
W4	zieleńce	0,0030	6,12
W5	amfibolity	0,0164	53,03
W6	fylonity	0,0100	57,98
W7	amfibolity	0,0161	51,71
W8	amfibolity	0,0032	2,95
W9	hornfelsy	0,0060	11,45
W10	granity	0,0372	6,36

wody nagromadzonej w wodonoścu w okresie zasilania (Dowgiałło i in. red. 2002). Na badanym obszarze o jego wartości decydują litologia oraz przede wszystkim pojemności wyrobisk pozostałych po dawnej działalności górniczej. Najwyższe wartości W uzyskano na podstawie obserwacji sztolni odwadniających, drenujących górotwór w największym stopniu rozcięty wyrobiskami górniczymi.

Pomiary szczelinowatości wykonano dla pięciu głównych wydzielen litologicznych: granitów, zieleńców, hornfelsów, fylonitów i amfibolitów. Wszystkie badane skały można zaliczyć do słabo spękanych, a hornfelsy również do silnie spękanych (Liszkowski i Stochlak 1976). Najniższe wartości współczynnika szczelinowatości uzyskano dla fylonitów (0,12–0,14%), a najwyższe dla hornfelsów (0,25–4,55%) (tab. 4). Większa szczelinowatość związana jest ze strefami uskokowymi oraz rozluźnieniami, jakie powstały podczas eksploatacji złoża.

Wszystkie badane skały można zaliczyć do średniej klasy gęstości szczelin. Na jednostkowy odcinek długości 1 m przypada od 2 do 7 szczelin, średnio 3 szczeliny o długości przekraczającej 10 cm. Sumaryczna długość szczelin na powierzchni 1 m² wynosi średnio 3,6 m.

Połowa spośród obserwowanych szczelin nie jest wypełniona żadnym materiałem. Są one drożne, często zawilgocone. Pozostała ich część jest wtórnie wypełniona kwarcem, kalcytem, limonitem, minerałami ilastymi. Drożność tych szczelin jest ograniczona w stopniu uzależnionym od rodzaju materiału wypełniającego. Obserwacje poczynione w naturalnych odsłonięciach oraz wewnątrz sztolni wskazują, że wraz z głębokością zmniejsza się

Tabela 4. Charakterystyka parametrów szczelinowatości skał w rejonie Ciechanowic-Miedzianki

Table 4. The characteristics of the fissuring parameters of rocks in the area of Ciechanowice-Miedzianka

Numer punktu badawczego	Typ litologiczny	Orientacja płaszczyzny pomiaru α [°]	Współczynnik szczelinowatości d_f [-]	Współczynnik filtracji szczelinowej k_d [m/d]	Gęstość liniowa spękań Γ [n/m]	Powierzchniowa długość spękań [m/m ²]	Podział skał według stopnia ich spękania (Liszkowski i Stochlak 1976)
S1	granity	10/92	0,0036	0,175	2	3,8	słabo spękanie
S2	granity	10/90	0,0033	0,089	3	2,8	słabo spękanie
S3	granity	10/90	0,0033	0,089	2	2,4	słabo spękanie
S4	granity	244/85	0,0005	0,009	3	4,3	niespękanie
S5	granity	242/85	0,0018	0,029	2	2,2	słabo spękanie
S6	zieleńce	264/81	0,0024	0,034	3	2,9	słabo spękanie
S7	zieleńce	255/81	0,0020	0,033	4	5,1	słabo spękanie
S8	zieleńce	264/90	0,0021	0,033	5	6,1	słabo spękanie
S9	hornfelsy	80/82	0,0297	0,160	3	2,9	silnie spękanie
S10	hornfelsy	80/80	0,0027	0,125	4	2,5	słabo spękanie
S11	amfibolity	340/95	0,0028	0,058	3	3,1	słabo spękanie
S12	fylonyty	190/80	0,0012	0,011	3	3,4	słabo spękanie
S13	fylonyty	194/85	0,0014	0,016	3	2,1	słabo spękanie
S14	amfibolity	20/92	0,0037	0,343	5	4,1	słabo spękanie
S15	amfibolity	42/93	0,0042	0,406	5	4,2	słabo spękanie
S16	amfibolity	122/88	0,0047	0,421	7	4,2	słabo spękanie
S17	hornfelsy	190/88	0,0025	0,181	2	3,8	słabo spękanie
S18	hornfelsy	350/90	0,0455	0,408	5	4,5	silnie spękanie

powierzchnia szczelin wietrzeniowych na rzecz szczelin tektonicznych oraz zmienia się stopień ich wypełnienia materiałem skalnym.

W strefie aeracji współczynnik odsączalności grawitacyjnej odpowiada pojemności wodnej skał (Dowgiało i in. 2002). Badania odsączalności grawitacyjnej wykonano dla skał krystalicznych oraz ich zwietrzelin. Wyznaczone wartości współczynnika odsączalności grawitacyjnej skał zwięzłych świadczą o ich niskiej pojemności wodnej. Jednakże badania wykonano dla najmniej spękanych fragmentów skał. Uzyskane wartości zmieniają się od 0,0002 do 0,0016. Zwietrzeliny skał krystalicznych charakteryzują się znacznie wyższymi wartościami tego parametru, od 0,17 do 0,37 (tab. 5). Wskazują one na znacznie wyższą

Tabela 5. Charakterystyka wartości współczynnika odsączalności grawitacyjnej μ i wodochłonności w skał

Table 5. The characteristics of the values of the storage coefficient α and water-storage capacity w of the rocks

Nr próbki	Typy litologiczne utworów przypowierzchniowych	Współczynnik odsączalności grawitacyjnej μ [-]	Wodochłonność w [%]	Klasyfikacja wodochłonności skał (Pazdro i Kozerski 1990)
Z3	granity	0,0014	–	–
Z4	amfibolity	0,0002	–	–
Z7	amfibolity	0,0012	–	–
Z8	fylonyty	0,0016	–	–
Z10	amfibolity	0,0007	–	–
L1	zwietrzelina granitów	0,18	22,44	bardzo wodochłonne
L5	zwietrzelina granitów	0,37	58,68	bardzo silnie wodochłonne
L7	zwietrzelina granitów	0,17	20,28	bardzo wodochłonne
L14	zwietrzelina zieleńców	0,30	43,69	bardzo silnie wodochłonne
L15	zwietrzelina amfibolitów	0,26	35,73	bardzo silnie wodochłonne
L17	zwietrzelina amfibolitów	0,19	24,18	bardzo wodochłonne
L24	zwietrzelina amfibolitów	0,26	34,75	bardzo silnie wodochłonne
L25	zwietrzelina amfibolitów	0,26	35,28	bardzo silnie wodochłonne
L38	zwietrzelina zieleńców	0,31	45,75	bardzo silnie wodochłonne
L45	zwietrzelina hornfelsów	0,20	25,33	bardzo wodochłonne
L47	zwietrzelina fylonitów	0,28	38,51	bardzo silnie wodochłonne
L49	zwietrzelina fylonitów	0,25	33,52	bardzo wodochłonne
L59	zwietrzelina zieleńców	0,29	40,38	bardzo silnie wodochłonne
L63	zwietrzelina granitów	0,22	28,63	bardzo wodochłonne
L64	zwietrzelina hornfelsów	0,21	26,85	bardzo wodochłonne
L66	zwietrzelina granitów	0,17	19,97	bardzo wodochłonne

pojemność wodną środowiska porowatego w stosunku do środowiska szczelinowego. Dla zwietrzelin skał krystalicznych określono wartości współczynnika wodochłonności w zakresie od 19 do 58%. Zgodnie z klasyfikacją Pazdro i Kozerskiego (1990) należą one do skał bardzo wodochłonnych i bardzo silnie wodochłonnych. Spośród badanych skał najwyższą odsączalnością oraz wodochłonnością charakteryzowały się zwietrzeliny zieleńców, a najniższą zwietrzeliny hornfelsów.

Porowatość efektywna wyznaczona dla wybranych skał krystalicznych występujących na badanym obszarze wskazuje na ich niskie możliwości gromadzenia oraz przepływu wód podziemnych. Charakteryzują się one wartościami współczynnika porowatości efektywnej od 0,002 do 0,098 (tab. 6). Uzyskane wyniki pozwalają zaklasyfikować badane skały krystaliczne jako niezwykle szczelne, o niskiej, maksymalnie średniej porowatości (Pazdro i Kozerski 1990). Charakteryzują się one znacznie niższą porowatością efektywną w porównaniu do typowych skał luźnych, jakimi są również zwietrzliny.

Tabela 6. Charakterystyka porowatości efektywnej n_e skał krystalicznych

Table 6. The characteristics of effective porosity n_e of crystalline rocks

Numer próbki	Rodzaj odsłonięcia	Typ litologiczny	Porowatość efektywna n_e [-]	Klasyfikacja (Pazdro i Kozerski 1990)
Z1	naturalne	granity	0,003	skały niezwykle szczelne
Z2	naturalne	granity	0,065	średnia porowatość
Z3	naturalne	granity	0,012	niska porowatość
Z4	naturalne	amfibolity	0,002	skały niezwykle szczelne
Z5	sztolnia	hornfelsy	0,010	niska porowatość
Z6	sztolnia	hornfelsy	0,042	niska porowatość
Z8	sztuczne	fylonity	0,098	średnia porowatość
Z9	sztucznie	amfibolity	0,013	niska porowatość
Z10	sztuczne	amfibolity	0,024	niska porowatość

Przepuszczalność skał została scharakteryzowana na podstawie wyznaczonych wartości współczynnika filtracji szczelinowej (dla skał krystalicznych) oraz współczynnika filtracji (dla skał luźnych). W przypadku skał luźnych uwzględniono wyniki uzyskane dwoma metodami – Porscheta i Giryńskiego, dającymi bardzo zbliżone wyniki (Wąsik 2003).

Przepływ wód podziemnych w skałach krystalicznych odbywa się systemem szczelin oraz spękań egzo- i endogeonicznych. Parametrem decydującym o właściwościach przewodzących i kolektorskich jest szczelinowatość. Obliczone na podstawie pomiarów szczelinowatości wartości współczynnika filtracji szczelinowej dla skał krystalicznych zmieniają się od 0,009 do 0,421 m/d (tab. 4). Najwyższe wartości uzyskano dla amfibolitów i hornfelsów, natomiast najniższe dla fylonitów i zieleńców. Średnia wartość 16 oznaczeń współczynnika filtracji szczelinowej wykonanych na badanym obszarze wynosi 0,146 m/d i jest typowa dla utworów słabo przepuszczalnych (Pazdro i Kozerski 1990).

Zwietrzliny skał krystalicznych występujące na powierzchni terenu, decydujące o wielkości zasilania wód podziemnych, charakteryzują się wyższą przepuszczalnością. O stopniu

przepuszczalności decyduje typ zwietrzliny, przede wszystkim zawartość frakcji drobnej oraz wielkość porów, równomierność uziarnienia i średnica miarodajna ziarna. Wyniki analizy granulometrycznej, wykonane dla głównych typów zwietrzelin, występujących na badanym obszarze, wskazują na zawartość frakcji pylastej i ilastej od 2 do 11 %, piaszczystej od 38 do 80 % oraz żwirowej od 13 do 67 %. Obliczone dla nich wartości wskaźnika nierównomierności uziarnienia zmieniają się od 2,6 do 20 (tab. 7).

Tabela 7. Charakterystyka średnic efektywnych d [mm] i wskaźnika nierównomierności uziarnienia U na podstawie wyników analiz sitowych wykonanych dla wybranych utworów przypowierzchniowych

Table 7. The characteristics of the effective diameters d [mm] and of the coefficient of grading non-uniformity U based on the results of sieve analysis carried out for selected subsurface rocks

Nr próbki	Typ litologiczny utworów przypowierzchniowych	d_{10}	d_{20}	d_{50}	d_{60}	U	Zawartość frakcji ilastej i pylastej [%]
L1	zwietrzelina granitów	0,30	1,10	2,70	3,55	11,8	5
L7	zwietrzelina granitów	0,05	0,18	1,10	0,13	2,6	11
L38	zwietrzelina zieleńców	0,29	1,00	2,60	3,55	12,2	3
L45	zwietrzelina hornfelsów	0,14	0,45	1,90	2,50	17,8	7
L52	zwietrzelina fylonitów	0,16	0,70	2,40	3,20	20,0	8
L53	zwietrzelina fylonitów	0,11	0,50	1,60	2,20	20,0	8
L54	zwietrzelina amfibolitów	0,30	1,10	2,70	2,55	8,5	7
L67	zwietrzelina amfibolitów	0,08	0,18	0,47	0,80	10,0	2

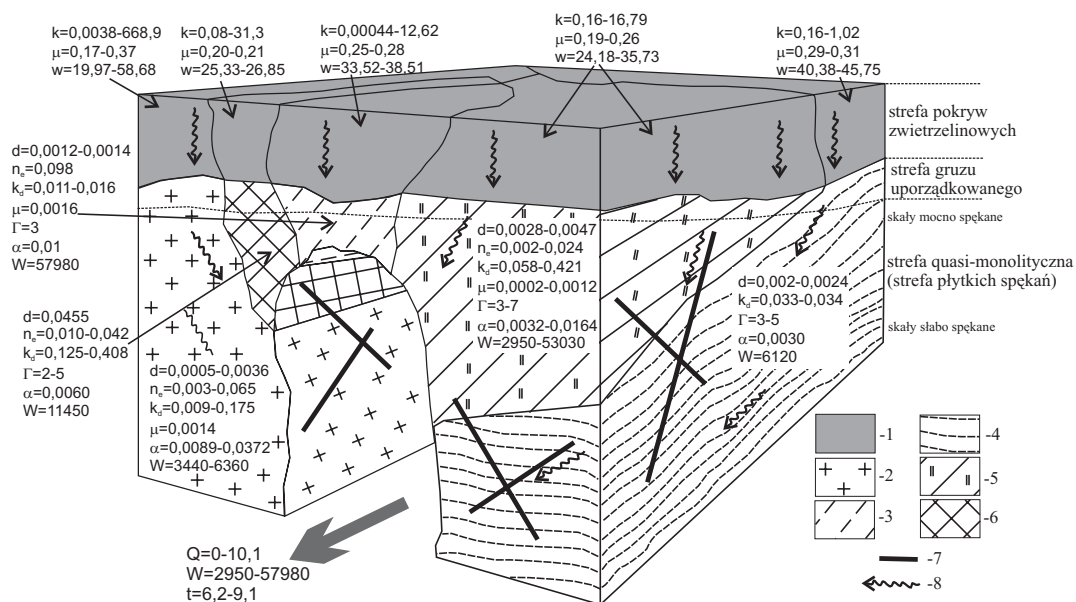
Tabela 8. Charakterystyka przepuszczalności zwietrzelin skał krystalicznych

Table 8. The characteristics of permeability of weathered crystalline rocks

Typ skały	Wartość współczynnika filtracji skał luźnych [m/d] (ilość oznaczeń)		Klasa przepuszczalności (Dowgiało i in. red. 2002)
	metoda Porscheta	metoda Giryńskiego	
Zwietrzelina amfibolitów	0,16–0,79 (4)	0,16–16,4 (22)	słaba, średnia, wysoka
Zwietrzelina granitów	0,091–8,08 (6)	0,0038–668,9 (20)	niska, słaba, średnia, wysoka, bardzo wysoka
Zwietrzelina fylonitów	0,096–1,44 (3)	0,00044–12,62 (10)	bardzo niska, niska, słaba, średnia, wysoka
Zwietrzelina hornfelsów	0,35–0,89 (3)	0,08–31,3 (6)	niska, słaba, średnia, wysoka,
Zwietrzelina zieleńców	0,16–1,02 (4)	brak oznaczeń	słaba, średnia

Zwietrzliny piaszczysto-żwirowe występują najczęściej w wyższych partiach stoków, które stanowią obszary zasilania w wodę dla wyrobisk górniczych. Zwietrzliny gliniaste zalegają w dolnych odcinkach stoków, gdzie znajdują się wylotowe odcinki sztolni.

Wartości współczynnika filtracji k , wyznaczone w zakresie od 0,00044 do 668,9 m/d, wskazują na bardzo odmienny charakter przepuszczalności zwietrzelin występujących na omawianym obszarze (tab. 8). Najniższe wartości uzyskano dla zwietrzelin gliniastych, które charakteryzują się najniższą przepuszczalnością spośród skał luźnych. Najlepszą przepuszczalnością charakteryzują się zwietrzliny ziarniste granitów (tzw. kasza granitowa), dla których uzyskano wartości współczynnika filtracji k rzędu kilkudziesięciu, a nawet kilkuset m/d. Znamienne jest, że zwietrzliny tych samych skał charakteryzują się bardzo różnymi wartościami współczynnika filtracji.



Rys. 3. Schemat rozkładu wartości wybranych parametrów hydrogeologicznych skał drenowanych przez stare wyrobiska górnicze

1 – pokrywa zwietrzelinowa, 2 – granitoidy, 3 – fylonity, 4 – zieleńce, 5 – amfibolity, 6 – hornfelsy, 7 – uskoki, 8 – kierunek przepływu wód podziemnych

d – współczynnik szczelinowatości [–]; n_e – współczynnik porowatości efektywnej [–];

k – współczynnik filtracji [m/d]; k_d – współczynnik filtracji szczelinowej [m/d]; w – wodochłonność [%];

μ – współczynnik odsączalności grawitacyjnej [–]; Γ – gęstość liniowa spękań [ilość/m];

α – współczynnik regresji [1/d]; W – potencjał zasobności [m³];

Q – natężenie wypływów ze sztolni [dm³/s]; t – temperatura wody [°C]

Fig. 3. The diagram of the distribution of the selected hydrogeological parameters of rocks drained by the old mine workings

Podsumowanie

W artykule scharakteryzowano parametry hydrogeologiczne skał drenowanych przez stare wyrobiska górnicze w rejonie Miedzianki i Ciechanowic oraz oceniono stopień ich zawodnienia (rys. 3). W profilu występują dwie znacznie różniące się strefy. Pierwszą tworzy pokrywa zwietrzelinowa o wyższej przepuszczalności od występujących niżej litych skał krystalicznych.

Określone wartości parametrów hydrogeologicznych skał są porównywalne z wynikami badań wykonanych w innych obszarach bloku dolnośląskiego (np.: [Gorecka i Marszałek 2013](#); [Marszałek i Wąsik 2005](#); [Rembiś 2011](#); [Staško 1993](#); [Staško i Szczepanowski 2001](#)).

Wyznaczone parametry hydrogeologiczne skał krystalicznych wskazują na ich niską pojemność wodną. Wyższe właściwości kolektorskie w ich obrębie należy wiązać z dyslokacjami i spękaniami ciosowymi.

Prowadzona działalność górnicza wpłynęła na zawodnienie skał. Najwyższe wartości potencjału zasobności uzyskano dla wypływów, których obszary zasilania pocięte są przez rozbudowane wyrobiska górnicze. Oddziaływanie sztolni na górotwór można porównać do oddziaływania systemów krasowych, których rozległość decyduje o zdolnościach pojemnościowych skał. Na podstawie uzyskanych wartości potencjału zasobności można wnioskować o wielkości drenowanych wyrobisk, często zasypanych i niedostępnych.

Nie zaobserwowano wpływu wyrobisk górniczych na wielkości pozostałych parametrów skał. Oznaczenia wykonane w sąsiedztwie oraz w oddaleniu od wyrobisk bardziej zależą od litologii, lokalnej tektoniki oraz stopnia zwietrzenia skał. Zwietrzałe skały występujące w pewnym oddaleniu od sztolni charakteryzują się nieraz wyższymi wartościami oznaczonych parametrów w porównaniu do oznaczeń wykonanych wewnątrz sztolni.

LITERATURA

- Aleksandrowski, P. 2003. Śródsudecka strefa uskokowa – przykład przesuwczej granicy teranarów [W:] Cieżkowski, W., Wojewoda, J. i Żelaźniewicz, A., red. *Sudety Zachodnie od wendu do czwartorzędu*. Wrocław: WIND, s. 105–118.
- Castany, G. 1972. *Poszukiwanie i eksploatacja wód podziemnych*. Warszawa: Wyd. Geol., 637 s.
- Dowgiało i in., red. 2002 – Dowgiało, J., Kleczkowski, A.S., Macioszczyk, T., Rózkowski, A. red., 2002. *Słownik hydrogeologiczny*. Wyd. 2. Warszawa: Ministerstwo Środowiska i PIG. 461 s.
- Dziekoński, T. 1972. *Wydobywanie i metalurgia kruszców na Dolnym Śląsku od XIII do połowy XX wieku*. Wrocław, Wyd. PAN, 420 s.
- Fedak, J. i Lindner, M. 1966. *Metalogeneza Sudetów*. Warszawa: Biul. Inst. Geol., 315 s.
- Gorecka, J.M. i Marszałek, H. 2013. Ocena wybranych parametrów hydrogeologicznych zwietrzelin granitu strzegomskiego (Dolny Śląsk). *Gospodarka Surowcami Mineralnymi – Mineral Resources Management* 29(2), s. 103–118.
- Jeziński, P. 2002. *Chemizm wód podziemnych a ich dynamika w obszarze Rudaw Janowickich*. Praca doktorska. Wrocław: Instytut Nauk Geologicznych, Uniwersytet Wrocławski.
- Kleczkowski, A. i Mularz, S. 1964. Przyczynek do metodyki wyznaczania porowatości skał dla celów hydrogeologicznych. *Przegląd Geologiczny* 12, 2, s. 103–105.

- Klementowski, R. 2010. *W cieniu sudeckiego uranu. Kopalnictwo uranu w Polsce w latach 1948–1973*. Wrocław: Wyd. IPN, s. 376.
- Kondracki, J. 2009. *Geografia regionalna Polski*. Wyd. 3. Warszawa: Wyd. Nauk. PWN, 441 s.
- Konieczńska, M. 2007. Ocena genezy składu chemicznego wód wypływających ze starych sztolni kopalnianych w rejonie Czarnów-Miedzianka-Janowice Wielkie [W:] Szczepański, A. i in. red. *Współczesne problemy hydrogeologii*, tom 13, cz. 2. Kraków: Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska AGH, s. 85–93.
- Konstantynowicz, E. red. 1973. *Monografia przemysłu miedziowego w Polsce*, tom I. Warszawa: Wyd. Geologiczne, 432 s.
- Kwiatkowski, J. i Hołdys, T. 1985. Klimat [W:] Janh, A. red. *Karkonosze Polskie*. Wrocław: Wyd. Ossolineum, s. 87–116.
- Liszkowski, J. i Stochlak, J. 1976. *Szczelinowatość masywów skalnych*. Warszawa: Wyd. Geol., 312 s.
- Madziarz, M. 2010. “Cuprifodina in montibus” o historii i pozostałościach dawnych robót górniczych w rejonie Miedzianki – miasta zrodzonego i unicestwionego przez górnictwo [W:] Zagożdżon, P.P. i Madziarz, M. red. *Dzieje górnictwa – element europejskiego dziedzictwa kultury, tom 3*. Wrocław: Oficyna Wydawnicza Polit. Wrocł., s. 258–287.
- Marszałek, H. 2007. *Kształtowanie zasobów wód podziemnych w rejonie Kotliny Jeleniogórskiej*. Acta Univ. Wratisl., No 2993, Hydrogeologia. Wrocław: Wyd. Uniw. Wrocławskiego, 234 s.
- Marszałek, H. i Wąsik, M. 2005. Wodonośność skał krystalicznych metamorfiku kaczawskiego i izerskiego na podstawie wyników próbných pompowań. [W:] Sadurski, A. i Krawiec A. red. *Współczesne Problemy Hydrogeologii*, tom 12, Toruń: Wyd. Uniw. Mikołaja Kopernika, s. 491–497.
- Mazur, S. 1995. Strukturalna i metamorficzna ewolucja wschodniej okrywy granitu Karkonoszy w południowej części Rudaw Janowickich i Grzbiecie Lasockim. *Geologia Sudetica* vol. 29, 1, s. 31–103.
- Paczyński, B. i Sadurski, A. red. 2007. *Hydrogeologia regionalna Polski, tom I. Wody słodkie*. Warszawa: PiG, 542 s.
- Pazdro, Z. i Kozerski, B. 1990. *Hydrogeologia ogólna*. Wyd. 4. Warszawa: Wyd. Geol., 624 s.
- Pleczyński, J. 1981. *Odnawialność zasobów wód podziemnych*. Warszawa: Wyd. Geol., 252 s.
- Rembiś, M. 2011. Mineralno-teksturalna zmienność wybranych skał bazaltowych Dolnego Śląska i jej rola w kształtowaniu fizyczno-mechanicznych właściwości produkowanych kruszyw. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi – Mineral Resources Management* 27(3), s. 29–49.
- Staško S. 1993. Pojemność wodna skał krystalicznych w wybranych jednostkach górskich obszarów Sudetów [W:] Poprawski, L. i Bocheńska, T. red. *Współczesne Problemy Hydrogeologii*, tom 6, Wrocław: Oficyna Wyd. Sudety, s. 117–121.
- Staško, S. i Szczepanowski, S. 2001. Wartość współczynnika filtracji dla skał obszaru Masywu Śnieżnika na podstawie pomiarów szczelinowatości [W:] Bocheńska, T. i Staško, S. red. *Współczesne Problemy Hydrogeologii*, tom 10(1), Wrocław: Oficyna Wyd. Sudety, s. 263–270.
- Szałamacha, J. 1956. *Szczegółowa mapa geologiczna Sudetów w skali 1:25000, ark. Janowice Wielkie*. Warszawa: PiG.
- Wąsik M., 2003. *Zdolność infiltracyjna utworów przypowierzchniowych a zasilanie wód podziemnych*. Acta Univ. Wratisl., No 2591, Hydrogeologia. Wrocław: Wyd. Uniw. Wrocł., 92 s.
- Zagożdżon, K. 2008. Charakterystyka zmian kontaktowych w strefie granicznej pluton – osłona na przykładzie wschodnich Karkonoszy. *Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej* vol. 123, nr 34, s. 147–157.
- Zagożdżon, P. i Zagożdżon, K. 2009. Wyniki wstępnych badań geologicznych w sztolniach w Ciechanowicach koło Miedzianki. [W:] Zagożdżon, P.P. i Madziarz, M. red. *Dzieje górnictwa – element europejskiego dziedzictwa kultury, tom 2*. Wrocław: Oficyna Wydawnicza Polit. Wrocł., s. 345–356.

**PARAMETRY HYDROGEOLOGICZNE SKAŁ DRENOWANYCH PRZEZ STARE WYROBISKA GÓRNICZE
W REJONIE MIEDZIANKI I CIECHANOWIC (SUDETY ZACHODNIE)****Słowa kluczowe**

parametry hydrogeologiczne, skały krystaliczne, Ciechanowice-Miedzianka

Streszczenie

Artykuł prezentuje wyniki badań parametrów hydrogeologicznych, wykonanych na terenach nieczynnych kopalń Cu, Ag i As w Miedziance i Ciechanowicach (Sudety Zachodnie). W profilu geologicznym wydziela się luźne osady czwartorzędowe oraz pokrywy zwietrzelinowe leżące na skałach krystalicznych masywu karkonosko-izerskiego oraz kaczawskiego łupkowo-zieleńcowego pasma fałdowego. Stwierdzono, że nieczynne wyrobiska górnicze decydują o wysokości potencjału zasobności. Najwyższe wartości tego parametru (powyżej 50 tys. m³) uzyskano dla rejonów najbardziej pociętych wyrobiskami górniczymi. Nie zaobserwowano wpływu wyrobisk górniczych na wielkości pozostałych parametrów skał. Oznaczenia wartości współczynników filtracji, porowatości efektywnej, odsączalności grawitacyjnej i wodochłonności wykonane w sąsiedztwie oraz w oddaleniu od wyrobisk bardziej zależą od litologii, lokalnej tektoniki oraz stopnia zwietrzenia.

W profilu występują dwie strefy znacznie różniące się charakterem przepuszczalności i możliwościami gromadzenia wód. Pierwszą tworzą zwietrzeliny charakteryzujące się wartościami współczynnika filtracji zwykle od 0,1 do kilkunastu m/d. Niższe wartości uzyskano dla zwietrzelin gliniastych, natomiast najwyższe, osiągające kilkadziesiąt m/d, dla ziarnistych zwietrzelin granitów. Zwietrzeliny charakteryzują się wysokimi wartościami współczynnika odsączalności grawitacyjnej od 0,17 do 0,37. Drugą strefę tworzą występujące niżej lite skały krystaliczne. Wyznaczony dla nich współczynnik filtracji szczelinowej osiąga maksymalnie wartości nieco ponad 0,4 m/d, a zwykle kształtuje się na poziomie 0,01–0,09 m/d. Skały krystaliczne charakteryzują wartości współczynnika szczelinowatości w zakresie od 0,0005 do 0,0455, zwykle rzędu 0,002–0,004. Spośród badanych skał krystalicznych, najkorzystniejszymi wartościami parametrów hydrogeologicznych charakteryzują się hornfelsy, amfibolity i granity. Wyznaczone parametry hydrogeologiczne skał krystalicznych wskazują ogólnie na ich niską pojemność wodną. Wyższe właściwości kolektorskie w ich obrębie należy wiązać z dyslokacjami i spękaniem ciosowymi.

**HYDROGEOLOGICAL PARAMETERS OF ROCKS DRAINED BY THE OLD MINE WORKINGS
IN THE AREA OF MIEDZIANKA AND CIECHANOWICE (WESTERN SUDETES)**

Keywords

hydrogeological parameters, crystalline rocks, Miedzianka and Ciechanowice

Abstract

The paper presents the results of the hydrogeological parameter investigations carried out in the areas of abandoned polymetallic mines in Miedzianka and Ciechanowice (Western Sudetes). Their geological profile is a mixture of separated loose Quaternary deposits and weathering covers lying on the crystalline rocks of the Izera-Karkonosze Massif and Kaczawa greenstone-and-slate-fold belt. It was found that the abandoned mining excavations determine the resources potential. The highest values of this parameter (above 50 thousand m³) were obtained for the areas that had been mostly cut by mining excavations. No impact of the mine excavations on other rock parameters (hydraulic conductivity, storage coefficient, effective porosity, water-storage capacity) was found. The determinations made in the vicinity and at a distance from the excavations depend more on lithology, local tectonics and weathering grade.

In the profile, there are two areas that are significantly different in terms of permeability and possibilities of collecting water. The first is composed of weathering cover characterized by the values of hydraulic conductivity typically ranging from 0.1 to several m/d. Lower values were obtained for clayey eluvia, the highest, reaching several hundred m/d, for granular granite eluvia, respectively. Weathering cover are characterized by high values of their storage coefficient of 0.17 to 0.37. The second lower zone is composed of solid crystalline rocks. The measured fissure hydraulic conductivity reaches a maximum value slightly greater than 0.4 m/d, and usually is at the level of hundreds m/d. Crystalline rocks are characterized by the coefficient of fissuring in the range from 0.0005 to 0.0455, typically of 0.002–0.004. It was found from our investigations of crystalline rocks that the most favourable hydrogeological parameters were obtained for hornfelses, amphibolites, and granites. The measured hydrogeological parameters of crystalline rocks generally indicate the low water storage capacity. Higher water storage properties we found could be deemed as associated with dislocations and jointing cracks.