

Propozycja usprawnienia metodyki pomiarów dopływów wód podziemnych do wyrobisk w kopalniach LGOM na przykładzie OG Polkowice

Marek Blachowicz¹



The proposal of methodology of measurements and estimation of groundwater inflow into underground workings of LGOM mines exemplified by the Polkowice mining area. *Prz. Geol.*, 66: 510–518; doi: 10.7306/2018.5.

Abstract. This paper presents an analysis of the groundwater inflow into the Polkowice mining area. It is a mining area where the highest inflow into the mine from the whole Legnica–Głogów Copper District can be observed. In the multi-aquifer formation system, which occurs in the study area, a significant role is played by: Paleogene and Neogene, Triassic and Permian aquifers. The principal objective was to determine the discharging groundwater resources in deep aquifers in relation to the current hydrogeological conditions observed in the mine. The results helped to describe problems and possibilities of high frequency measurements in mine workings and to give some clues to the improvement of measurement methodology. This research was based on direct measurements, analysis of collecting data, and a comparison with existing data regarding the inflow into the mine workings.

Keywords: underground mine drainage, Legnica–Głogów Copper District, Polkowice–Sieroszowice Mine, measurement methodology

Kopalnie Legnicko-Głogowskiego Okręgu Miedziowego (LGOM) na Dolnym Śląsku od przeszło 50 lat prowadzą podziemną eksploatację rud miedzi w utworach permu na monoklinie przedsudeckiej. Jednym z kluczowych aspektów, wpływających na techniczno-organizacyjne możliwości tej eksploatacji, są warunki hydrogeologiczne, jakie ukształtowały się w czasie prac górniczych, dlatego wyniki badań w tej dziedzinie są kluczowe dla robót udostępniających złoża i gospodarki wodnej kopalń.

Badanie tak złożonego zagadnienia, jakim jest drenaż podziemnej kopalni, wymaga równoległej analizy wielu danych. Obserwacje hydrogeologiczne, dotyczące m.in. ilości odprowadzonych wód i dopływów do złoża, są prowadzone w kopalniach LGOM co miesiąc, a stan zwierciadła wód podziemnych w poszczególnych poziomach wodonośnych sprawdza się co kwartał. Największe dopływy wód podziemnych do wyrobisk górniczych obserwuje się obecnie na terenie LGOM w obszarach złóż Polkowice oraz Lubin–Małomice (Becker i in., 2007).

Celem badań było sprawdzenie, czy po zaprojektowaniu sieci stanowisk przystosowanych do prowadzenia pomiarów wielkości dopływów z dużą częstotliwością próbkowania uzyska się nowe, interesujące dane, na podstawie których można będzie lepiej opisać dynamikę dopływów wód do obszaru górniczego Polkowice i poprawić interpretację zjawisk hydrogeologicznych na potrzeby współczesnej i przyszłej działalności górniczej oraz zagrożeń wodnych w kopalniach LGOM.

WARUNKI GEOLOGICZNE

Badania prowadzono na obszarze złoża miedzi Polkowice, w południowo-zachodniej części monokliny przedsudeckiej, tuż przy granicy z blokiem dolnośląskim (ryc. 1). W podłożu występują tu skały magmowe i metamorficzne wieku proterozoicznego, przykryte skałami osadowymi karbonu. Niezgodnie zalegają na nich paleozoiczno-mezozoiczne utwory permsko-triasowe (Kłapciński, 1971; Kłapciński, Peryt, 2007).

W skałach wieku permskiego stwierdzono występowanie strefy okruszcowanej, związanej ze stropowymi częściami czerwonego spągowca oraz spągowymi utworami cechsztynu (Wyżykowski, 1958, 1971). Do utworów triasu na badanym obszarze zalicza się poziom dolnego pstręgo piaskowca (Kwaśny, Kalisz, 2011). W profilu obszaru badań wyróżnia się także osadowe serie kenozoiku, należące do paleogenu i neogenu. Zalegają one niezgodnie na utworach permsko-triasowych, tworząc mięszszą pokrywę (do kilkuset metrów) luźnych utworów piaszczysto-żwirowych z mułkami, łąkami i licznymi horyzontami węgla brunatnego (Dyjor, 1978; Bocheńska, 2003).

Do najmłodszych skał wydzielanych na badanym obszarze należą luźne osady czwartorzędowe, zaliczane do plejstocenu i holocenu, o miąższości od kilku do kilkudziesięciu metrów. Utwory czwartorzędowe tworzą głównie gliny moren czołowych i piaszczyste osady sandrowe, natomiast osady holocenijskie występują jedynie w dolinach rzecznych i obniżeniach morfologicznych (Bocheńska, 2003; Kłapciński, Peryt, 2007).

WARUNKI HYDROGEOLOGICZNE

W granicach LGOM wyróżnia się trzy główne kompleksy wodonośne: skał krystalicznego podłoża, permsko-triasowy oraz kenozoiczny. Najstarszy kompleks gromadzi (w części stropowej) wyłącznie wody szczelinowe i charakteryzuje się znikomym udziałem w wielkości zawodnienia kopalń (Bocheńska, 2003).

Na kompleks permsko-triasowy składają się zawodnione utwory piaskowców czerwonego spągowca (stanowiące spąg złoża), cechsztyńskich wapieni i dolomitów oraz utwory pstręgo piaskowca. Permsko-triasowe piętro wodonośne cechuje się szczelinowo-porowym przepływem wody.

Kenozoiczny kompleks wodonośny występuje w utworach paleogeńsko-neogeńskich oraz czwartorzędowych. Tworzy go kilkadziesiąt warstw piaszczysto-żwirowych o miąższości od kilku do kilkunastu metrów (z intergranularnym przepływem wód), rozdzielonych przez kilkana-

¹ Instytut Nauk Geologicznych, Uniwersytet Wrocławski, pl. M. Borna 9, 50-204 Wrocław; marek.blachowicz@uwr.edu.pl.

ście warstw węgla brunatnego oraz iłowcowe warstwy izolujące. W piętrze czwartorzędowym wyróżnia się poziomy wodonośny holocenu i plejstocenu, które nie mają znaczenia dla działalności górniczej prowadzonej przez kopalnie podziemne.

Decydujący wpływ na wielkość zawodnienia wyrobisk mają podplejstocenne poziomy wodonośne, zwłaszcza permsko-triasowe poziomy złożowe i przyłożowe. Obraz warunków hydrogeologicznych uzupełniają liczne warstwy izolujące i utrudniające swobodny przepływ wód pomiędzy poziomami różnych pięter wodonośnych (Bocheńska, 2003; Becker i in., 2007; Staško i in., 2002).

Już pod koniec lat 60. XX w. zwrócono uwagę na nierównomierne zawodnienie przyłożowych poziomów wodonośnych na obszarze LGOM (Sztelak, 1968). Zaproponowano wówczas podział okręgu na rejon północny i południowy wg kryterium zawodnienia cechsztyńskich wapieni i dolomitów poziomu Ca1, gdzie w południowej części obserwuje się największe dopływy do wyrobisk względem obszaru północnego (ryc. 1 i 2). W późniejszych latach warunki hydrodynamiczne pięter i poziomów wodonośnych na obszarze LGOM szczegółowo opisali m.in.: Banaszak i Banaś (1996, 2007), Bocheńska (1988, 2003), Bocheńska i in. (2000), Bocheńska i Kalisz (2001), Becker i in. (2006) oraz Staško i in. (2012).

SYSTEM ODWADNIANIA KOPALNI POLKOWICE-SIERSZOWICE I DRENAŻ GÓROTWORU

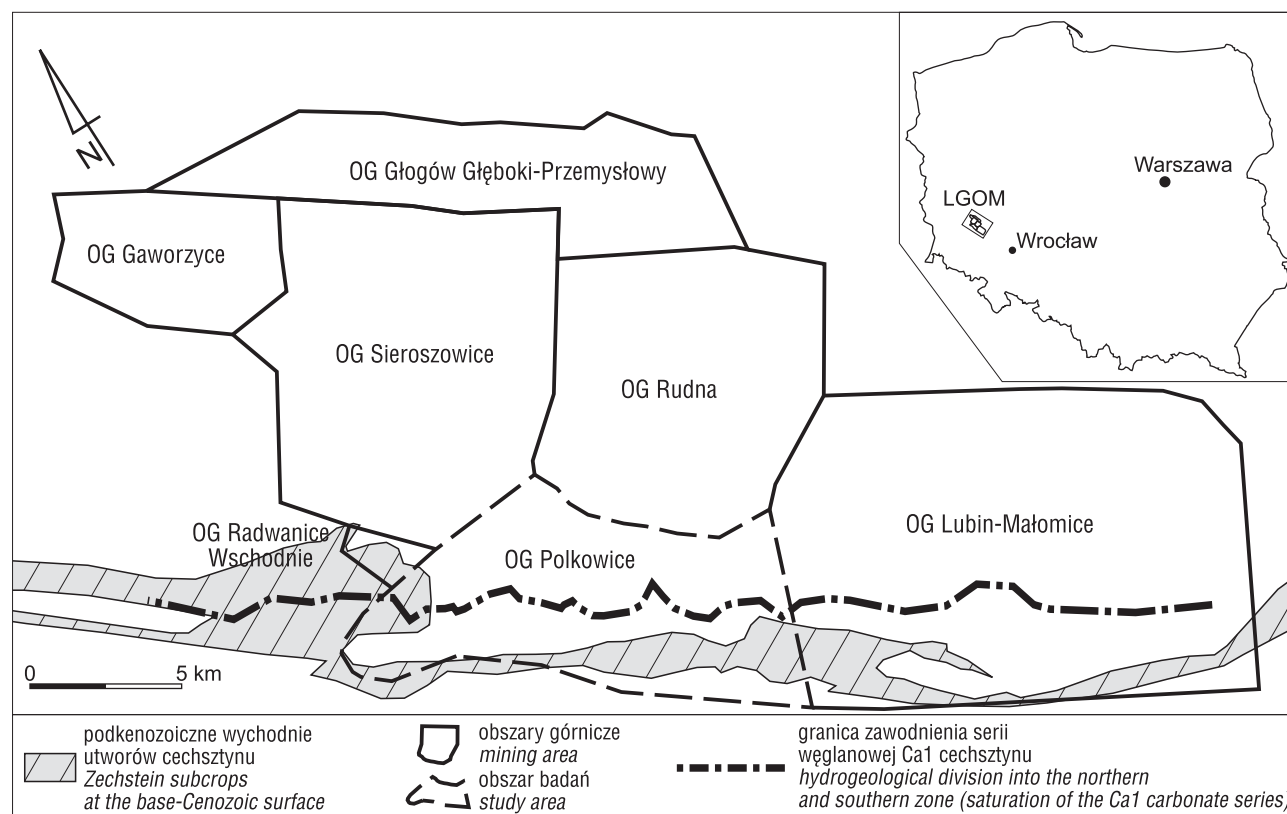
W zestawieniach wielkości dopływu wód podziemnych do obszaru górniczego Polkowice (74,21 km²) uwzględnia

się podział złoża na zlewnie podziemne (technologiczne): Polkowice Zachód (PZ), Polkowice Główne (PG) oraz Polkowice Wschód (PW). Podział ten jest zdeterminowany ukształtowaniem powierzchni spągu wyrobisk, które definiuje kierunek spływu wód. Transport wód dołowych odbywa się głównie grawitacyjnie poprzez wyeksploatowane obszary złoża, chodnikami wodnymi oraz w mniejszym stopniu rurociągami (Stochel, Chudy, 2014).

System odwadniania złoża Polkowice polega na współdziałaniu pompowni głównego odwadniania (zlokalizowanej przy szybach P-I, P-II), pompowni rejonowej Polkowice Zachód (zlokalizowanej przy szybach P-V i P-VI), osadników, sieci rurociągów i chodników wodnych (ryc. 2).

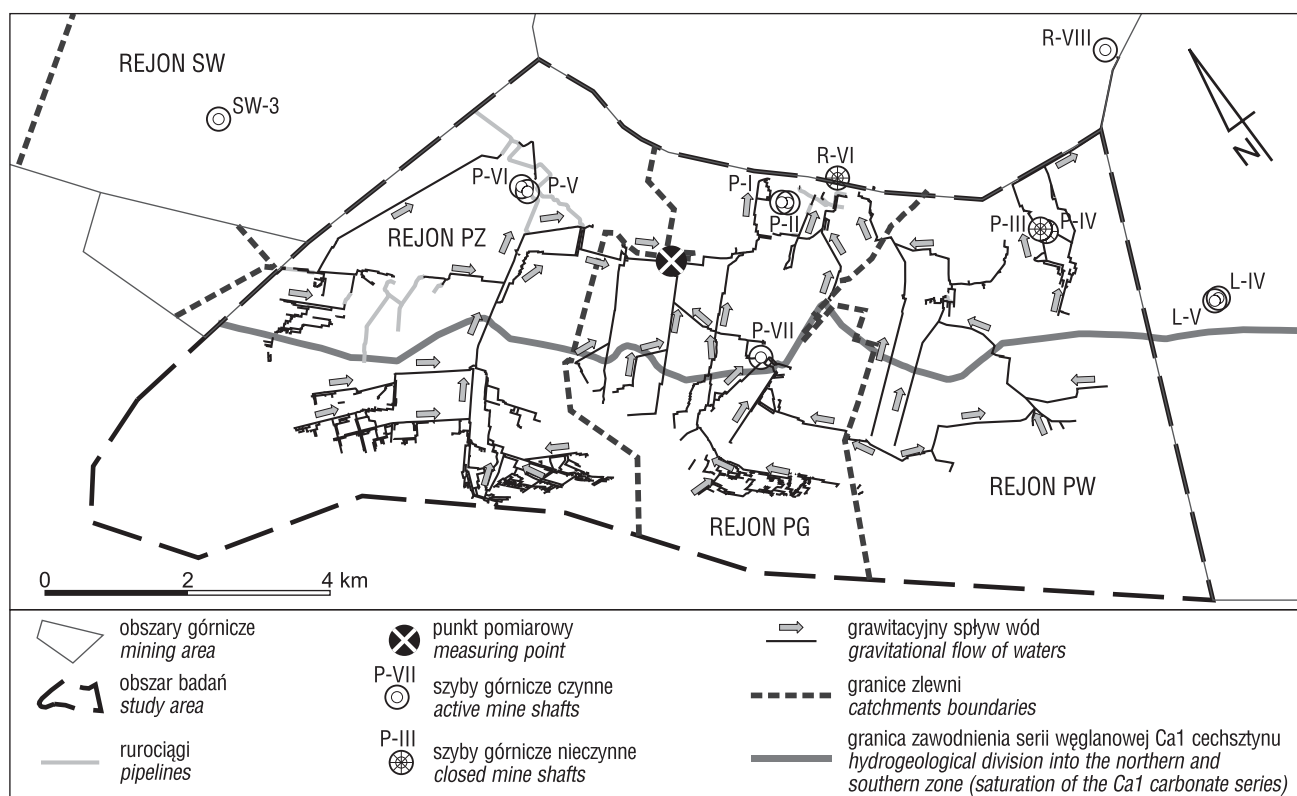
Wody dołowe z obszaru górniczego Polkowice są w większości kierowane do pompowni głównego odwadniania w rejonie Polkowice Główne, skąd są odprowadzane przez zręby szybów za pomocą 3 rurociągów tłocznych do Zakładu Wzbogacania Rud KGHM Polska Miedź S.A. w Polkowicach, gdzie są wykorzystywane w procesach technologicznych przeróbki kopalin. Pompownia rejonowa Polkowice Zachód odpowiada za odprowadzenie części wód dołowych ze złoża Sierszowice oraz niewielkiej części wód ze złóż Polkowice i Radwanice. Wody te są przekazywane do chodnika wodnego i poprzez kanał pomiarowy trafiają do pompowni głównego odwadniania.

Gospodarka wodna zespołu kopalń LGOM zakłada jak największe wtórne wykorzystanie wód pochodzących z górotworu. Wykorzystuje się je do przepłuczki w procesach wiercenia otworów strzałowych i kotwowych, do mycia maszyn i pojazdów transportowych oraz w instalacji przeciwpożarowej. Wody te, jako wody technologiczne



Ryc. 1. Lokalizacja terenu badań na tle obszarów górniczych Legnicko-Głogowskiego Okręgu Miedziowego (na podstawie Chudy i in., 2017 – zmieniona)

Fig. 1. Study area location against the background of mining areas of the Lubin-Głogów Copper Ore District (based on Chudy et al., 2017 – changed)



Ryc. 2. Obszar badań z podziałem na rejony (zlewnie) z lokalizacją punktu pomiarowego
Fig. 2. Study area divided into divisions (catchments) with location of measuring point

Tab. 1. Średni dopływ wód do obszaru górniczego Polkowice w latach 2000–2016, z uwzględnieniem podziału na zlewnie (na podstawie Stochel, Chudy, 2014; Rejestr, 2000–2016)
Table 1. Average annual total inflow into the Polkowice mining area during 2000–2016, divided into catchments (based on Stochel, Chudy, 2014; Rejestr, 2000–2016)

Rok Year	Dopływ wód do obszaru górniczego Polkowice [m^3/min] Inflow into Polkowice mining area [m^3/min]									
	Polkowice Wschód East Polkowice			Polkowice Główne Main Polkowice			Polkowice Zachód West Polkowice			Dopływ całkowity Total inflow
	Otworki badawcze i drenażowe Test and drainage boreholes	Wycieki ze szczelin i pól zawałowych Seeps from fractures and collapse fields	Dopływy do wyrobisk poziomych Inflows into horizontal mine workings	Otworki badawcze i drenażowe Test and drainage boreholes	Wycieki ze szczelin i pól zawałowych Seeps from fractures and collapse fields	Dopływy do wyrobisk poziomych Inflows into horizontal mine workings	Otworki badawcze i drenażowe Test and drainage boreholes	Wycieki ze szczelin i pól zawałowych Seeps from fractures and collapse fields	Dopływy do wyrobisk poziomych Inflows into horizontal mine workings	
2000	0,020	1,570	1,590	2,758	0,325	3,082	19,980	5,775	25,755	30,427
2001	0,215	1,203	1,353	3,837	0,452	4,289	19,679	2,754	22,434	28,076
2002	1,123	0,509	1,632	3,561	0,439	4,000	16,926	3,868	20,793	26,425
2004	0	1,661	1,661	4,052	0,348	4,400	15,307	4,106	19,414	25,475
2006	0	1,068	1,068	4,519	0,474	4,993	14,051	4,092	18,143	24,204
2007	0	1,375	1,375	4,730	0,491	5,221	12,043	5,905	17,948	24,544
2008	0	1,082	1,082	4,008	0,509	4,517	12,050	4,827	16,877	22,476
2009	0	1,043	1,043	3,410	0,524	3,934	15,332	4,226	19,558	24,535
2010	0	0,817	0,817	3,996	0,347	4,347	16,184	9,855	26,039	31,203
2011	0	0,839	0,839	3,878	0,337	4,215	13,888	8,383	22,276	27,780
2012	0	0,851	0,851	0,860	2,438	3,298	12,308	10,800	23,108	27,256
2013	0	0,885	0,885	0,930	2,230	3,160	11,601	13,180	24,781	28,825
2014	0	0,820	0,820	0,538	2,0520	2,590	13,898	10,460	24,358	27,768
2015	0	0,849	0,849	0,295	2,278	2,573	15,556	7,230	22,786	26,208
2016	0	1,040	1,040	0,268	2,481	2,749	13,559	6,180	19,739	23,527

z OG Polkowice, są kierowane do OG Sierszowice w ilości nieco ponad $1 \text{ m}^3/\text{min}$ ($1,11 \text{ m}^3/\text{min}$ w 2016 r.) i w ogólnym bilansie wymiana wód między tymi obszarami górniczymi wypada na korzyść OG Polkowice ($+0,41 \text{ m}^3/\text{min}$ w 2016 r.).

Do 2014 r. wody dołowe z obszaru badań były przekazywane jako technologiczne również do OG Rudna. Obecnie do systemu odwodnienia Kopalni Rudna trafia niewielka ilość dopływu z rejonów PG i PW ($0,88 \text{ m}^3/\text{min}$ w 2016 r.).

Dopływ wód do obszaru górniczego Polkowice można podzielić na bezpośredni i pośredni. Dopływ bezpośredni jest kształtowany przez wycieki ze szczelin i pól zawałowych, natomiast za dopływ pośredni odpowiadają otwory badawcze i drenażowe, które są wykonywane w czasie robót udostępniających złoża, poprzedzających główny front eksploatacji. Ze względów technicznych dokładniej można określić wielkość dopływów pośrednich do złoża, dzięki czemu uzyskuje się możliwość lepszego monitorowania wpływu eksploatacji na zawodnienie wyrobisk oraz skutków zaprzestania prac wydobywczych.

Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Energii z dnia 23 listopada 2016 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących prowadzenia ruchu podziemnych zakładów górniczych oraz zgodnie z wcześniej obowiązującym Rozporządzeniem Ministra Gospodarki z dnia 28 czerwca 2002 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy, prowadzenia ruchu oraz specjalistycznego zabezpieczenia przeciwpożarowego w podziemnych zakładach górniczych (z późniejszymi zmianami) pomiary dopływu wód do wyrobisk górniczych w kopalniach LGOM wykonuje się nie rzadziej niż 2 razy w roku. W latach 1980–2010 pomiary te były wykonywane cztery razy do roku (Stochel, Chudy, 2014).

W latach 2010–2016 największy udział w dopływie wód do obszaru górniczego Polkowice miały wody pochodzące ze zlewni technologicznej Polkowice Zachód (tab. 1, ryc. 3). Z tego rejonu pochodziło ponad 80% wód, których strumień w przeważającej mierze kształtowały dopływy pośrednie z otworów badawczych i drenażowych. Taki reżim wodny wynikał z koncentracji prac udostępniających złoża miedzy w rejonie zlewni PZ – w obszarze południowym względem rejonizacji hydrogeologicznej złoża – i uzasadniał wybór miejsca instalacji aparatury pomiarowej.

W obszarze zlewni PW, w związku z wygaszaniem robót udostępniających nowe partie złoża, już w 2002 r. ustał dopływ wód z otworów badawczych i drenażowych. Cały dopływ wód podziemnych jest w tym rejonie kształtowany przez wycieki ze szczelin i pól zawałowych. Od 1997 r. rejon PZ odpowiadał za więcej niż 70%

całkowitego dopływu wód do złoża (ryc. 3), a od 2014 r. za niemal 88% ($24,358 \text{ m}^3/\text{min}$). W 2016 r. sumaryczny dopływ wód do rejonu PZ spadł poniżej $20 \text{ m}^3/\text{min}$ (po raz pierwszy od 2007 r.) i wyniósł $19,74 \text{ m}^3/\text{min}$, co stanowi 83,9% wszystkich dopływów (tab. 1).

METODYKA BADAŃ

Ze względu na możliwości techniczne oraz dominujący udział w generowaniu dopływu wód do obszaru górniczego Polkowice (ryc. 3) do przeprowadzenia pomiarów wybrano zlewnię rejonu górniczego Polkowice Zachód.

W kopalniach podziemnych do określania natężenia przepływu wód w wyrobiskach górniczych stosuje się zazwyczaj metody pomiarowe polegające na przelewach oraz metody pływakowe (Rogoż, 2004). Z uwagi na to, że w wyrobiskach górniczych woda płynie zazwyczaj po spągu chodników i tworząca się w nich struga charakteryzuje się małą głębokością oraz dużą szerokością, zastosowanie innych metod pomiaru jest utrudnione.

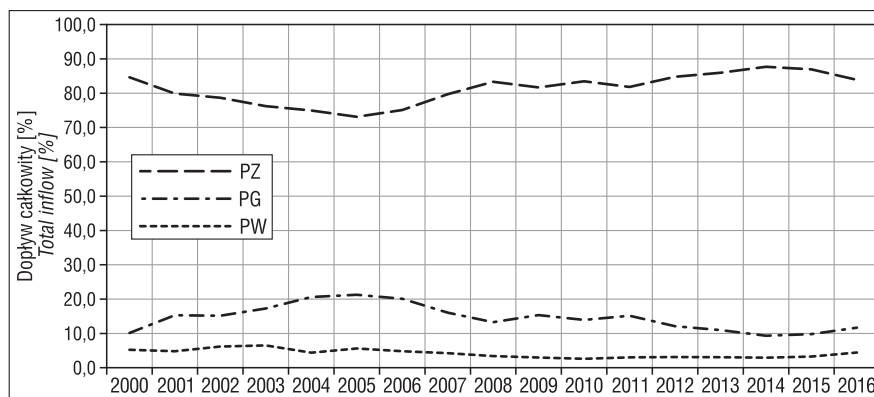
Pomiary natężenia dopływu wód z obszaru górniczego Polkowice Zachód prowadzono z wysoką częstotliwością, za pomocą automatycznego, elektronicznego limnometru pojemnościowego firmy Odyssey. Urządzenie to zamontowano w specjalnie przystosowanym do tego typu badań kanale pomiarowym, który przechwytuje nie tylko wszystkie wody dołowe ze zlewni Polkowice Zachód, ale również zrzuty wód z rejonu Sierszowice (ryc. 2). Jest to betonowe koryto długości ok. 10 m, o stałym, prostokątnym przekroju (ryc. 4). W celu ograniczenia negatywnego wpływu zbyt dużych wahań poziomu wody, które występują w kanale i mogłyby zniekształcić wyniki pomiarów, limnometr umieszczono w metalowej rurze zainstalowanej w jednym z boków kanału. Urządzenie rejestrujące wykonywało pomiar z częstotliwością co 30 minut przez prawie pół roku.

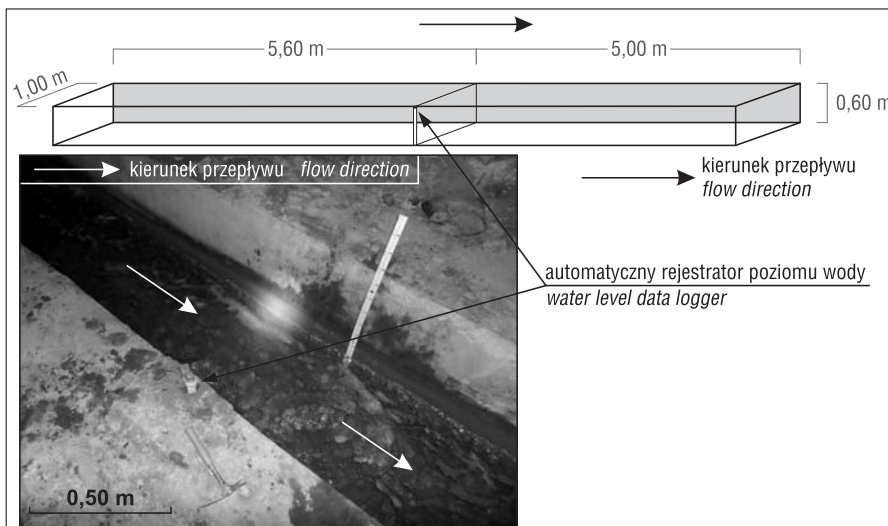
Działanie limnometru polega na ciągłym pomiarze pojemności elektrycznej przewodności zanurzonego w wodzie, która zmienia się wraz ze zmianami wysokości zwierciadła wody. Rejestrator mierzy zatem pojemność elektryczną przewodności niezwilżonego w odniesieniu do części przewodności, która jest zanurzona (uziemia). Dokładność pomiarów limnigrafu wynosi 0,8 mm i jest zależna od prawidłowego wykonania kalibracji.

Pierwotnie zakładano, że pomiary będą prowadzone przez cały 2016 r., a uzyskane wyniki można będzie skonfrontować z danymi o ilości wody odprowadzanej w ciągu roku przez Kopalnię Polkowice-Sierszowice. Niestety, z przyczyn technicznych, niezależnych od autora, zainsta-

Ryc. 3. Procentowy udział zlewni PZ, PG i PW w dopływie wód podziemnych do obszaru górniczego Polkowice – obszar zlewni pokazano na ryc. 2 (Rejestr, 2000–2016)

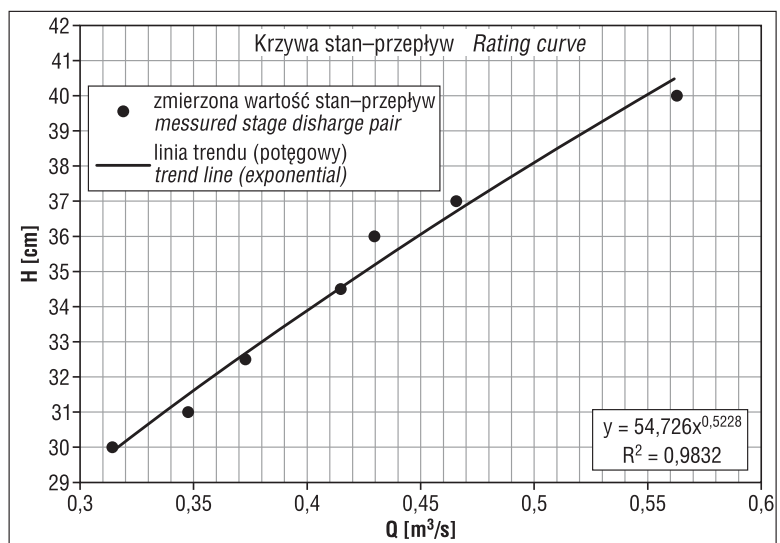
Fig. 3. Percentage of the groundwater inflow into catchments PZ, PG i PW of the Polkowice mining area – the drainage area was shown in fig. 2 (Rejestr, 2000–2016)





Ryc. 4. Schemat kanału pomiarowego ujmującego wody ze zlewni Polkowice Zachód (PZ) z lokalizacją automatycznego rejestratora poziomu wody
 Fig. 4. Scheme of the measuring channel in the Polkowice Zachód Division (Catchment) (PZ) with location of the water level data logger

Ryc. 5. Krzywa stan–przepływ wyznaczona dla kanału pomiarowego
 Fig. 5. Curve stage–flow fixed to the measuring channel

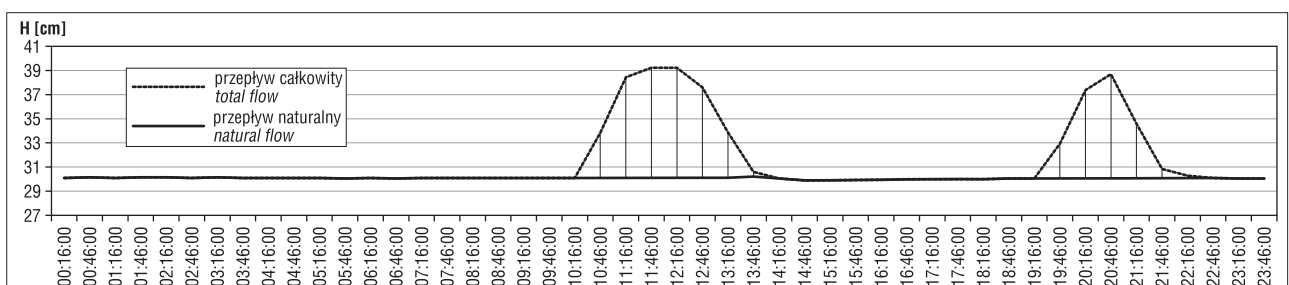


lowana aparatura dokonywała pomiarów jedynie od stycznia do połowy maja 2016 r. Później pomiary nie były kontynuowane, a dane uzyskane po 20 maja (po wymianie limnimetru) są, według autora, niewiarygodne. Ponadto w pierwszej połowie stycznia 2016 r. na terenie LGOM wykonywano prace mające na celu przechwycenie całości wód dołowych z rejonu Polkowic (których transport odbywał się awaryjnymi chodnikami wodnymi) i przekierowanie ich do kanału pomiarowego. Z tego powodu w analizie wzięto pod uwagę wyniki pomiarów stanu wód w kanale mierzone od 20 stycznia do 19 maja 2016 r., a zatem okres pomiarowy objął tylko 4 miesiące.

Przepływ wód w kanale określono na podstawie pomiaru prędkości przepływu strumienia wód wykonanego za pomocą młynka hydrometrycznego (wirnikowego) z elektronicznym panelem sterującym (He-Ga1) w odniesieniu do powierzchni przekroju koryta (Bajkiewicz-Grabowska i in., 1993). Po skorelowaniu stanów wód w kanale z wynikami pomiarów prędkości ich przepływu wyznaczono empiryczną krzywą stan–przepływ (ryc. 5).

W kanale pomiarowym zaznaczał się okresowy, intensywny dopływ wód z sąsiedniego obszaru górniczego Sierszowice, obserwowany niekiedy kilka razy w ciągu dnia. Dopływ ten miał rytm impulsowy i był ręcznie sterowany poprzez opróżnianie zbiorników retencyjnych przy komorze pomp rejonu PZ.

W celu uzyskania informacji o wielkości dopływu wód ze zlewni PZ, trzeba było określić i odjąć wielkość dopływu z obszaru Sierszowice. W związku z tym podczas kontrolowanego zrzutu wód z Sierszowic przeprowadzono szczegółowe obserwacje fali wezbraniowej, które dopro-



Ryc. 6. Wpływ zrzutów wody z obszaru górniczego Sierszowice na stan wody w kanale pomiarowym ujmującym dopływ z rejonu Polkowice Zachód – określony w dniu 11.02.2016 r.
 Fig. 6. Influence of discharge from the Sierszowice mining area into the measuring channel vs. natural groundwater inflow from the Polkowice Zachód District on Feb. 11 of 2016

wadziły do dokładnego wyznaczenia natężenia przepływu wód w tym czasie oraz uzyskania informacji, w jaki sposób zrzut wód z Sieroszowic zaznacza się w przebiegu krzywej stanów wód w kanale pomiarowym (ryc. 6).

WYNIKI BADAŃ

W dniach od 20.01 do 19.05.2016 r. średni dopływ wód ze zlewni Polkowice Zachód do obszaru górniczego Polkowice wynosił 21,17 m³/min (tab. 2). Współczynnik zmienności dopływu wód z PZ był niewielki – wynosił 1,72%. Całkowity średni dobowy przepływ wód przez kanał, liczony łącznie ze zrzutami wody z OG Sieroszowice, osiągnął objętość 22,27 m³/min. Średnia dobowa wydajność dopływu wód z Sieroszowic wynosiła 1,101 m³/min. Maksymalny dopływ wód z Sieroszowic, zarejestrowany przez limnimetr, osiągnął 3,13 m³/min.

Krzywa stan–przepływ (ryc. 5.), odzwierciedlająca zależność stanu zwierciadła wody w kanale pomiarowym od natężenia przepływu wód, obserwowana w jednodniowej rozdzielczości, cechuje się wysokim współczynnikiem determinacji $R^2 = 0,98$. Na jej podstawie skonstruowano krzywą dopływu z rejonu PZ (ryc. 7) oraz wyznaczono wielkość dopływu wód z Sieroszowic (tab. 2). Zważywszy na specyfikę przepływu i reżim, w jakim dokonywano

zrzutów wody z rejonowej komory pomp, nie dziwi fakt, że dopływ wód z Sieroszowic cechuje się największym odchyleniem standardowym (0,52 m³/min).

Wyniki pomiarów przepływów wód w kanale ujmującym wody ze zlewni PZ (tab. 3), realizowanych od stycznia do maja 2016 r. porównano z rezultatami badań prowadzonych w tym samym czasie przez służbę hydrogeologiczną Kopalni Polkowice-Sieroszowice (tab. 4), w ramach których wykonuje się m.in.:

1) pomiar wydajności dopływów wód do wyrobisk poziomych, z podziałem na pola/piętra na obszarze złoża Polkowice w roku 2016;

2) pomiar sumy dopływów z wycieków i otworów drenażowych na obszarze zlewni Kopalni Polkowice-Sieroszowice – zestawienie roczne;

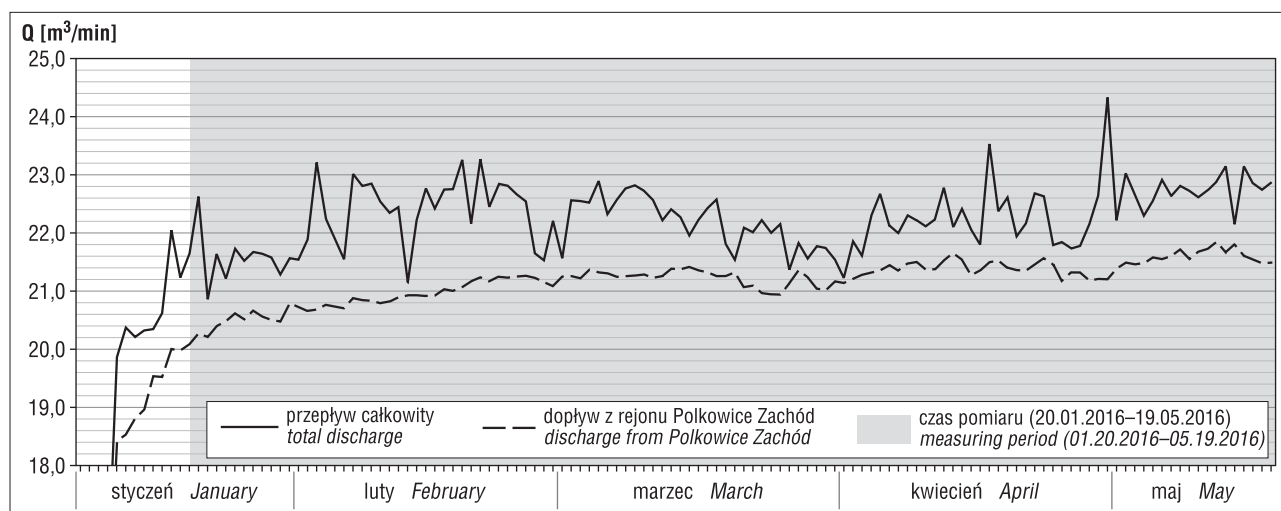
3) oraz dane bilansowe systemu odwodnienia złoża Polkowice, uwzględniające wielkość dopływu wód z i do sąsiednich obszarów górniczych.

Po porównaniu danych dotyczących wielkości dopływu wód z Sieroszowic stwierdzono, że występują duże różnice pomiędzy wynikami badań własnych a rezultatami pomiarów prowadzonych przez służbę hydrogeologiczną Kopalni Polkowice-Sieroszowice. Średnio wyniki te różnią się o ok. 0,52 m³/min, czyli aż o 34% (tab. 5). Współczynnik zmienności obliczony na podstawie

Tab. 2. Średni przepływ w kanale pomiarowym ujmującym wody z obszaru górniczego Polkowice Zachód w okresie 20.01–19.05.2016 r. oraz podstawowe parametry statystyczne tego przepływu (w rozdzielczości jednodniowej)

Table 2. Average results of discharge rates into the measuring channel during 20.01–19.05.2016 with statistical basic parameters (for one-day resolution)

Dopływ wody Water discharge	Średni Average	Maksymalny Maximal	Minimalny Minimal	Odchylenie standardowe Standard deviation	Współczynnik zmienności dopływu wód Coefficient of variation inflow	
	[m ³ /min]	[m ³ /min]	[m ³ /min]	[m ³]		[%]
Całkowity Total	22,270	24,331	20,856	0,570	0,026	2,56
Z rejonu PZ From PZ district	21,170	21,851	19,975	0,365	0,017	1,72
Z rejonu Sieroszowic From Sieroszowice district	1,101	3,132	0,082	0,522	0,474	47,37



Ryc. 7. Dopływ całkowity, zmierzony w kanale pomiarowym i wyznaczony dopływ z rejonu Polkowice Zachód

Fig. 7. Total inflow in the measuring channel and calculated inflow from the Polkowice Zachód district

pomiarów własnych (30%) jest niemal dwukrotnie większy (tab. 5) od wynikającego z danych kopalni (15,9%). Mimo istotnych różnic w ocenie wielkości dopływu wód do obszaru górniczych LGOM obserwuje się zachowanie ogólnych trendów zmian wielkości dopływu – np. współczynnik zmienności przepływu w kanale ujmującym wody zlewni technologicznej PZ (1,72% – tab. 2), obliczony dla interwału dobowego w okresie badań, jest prawie taki sam jak współczynnik zmienności dla sumy dopływów z OG Polkowice i OG Radwanice Wschód (1,74% – tab. 4), rozpatrywanych w interwale miesięcznym.

PODSUMOWANIE I PROPOZYCJA MODYFIKACJI SIĘCI POMIAROWEJ DOPŁYWÓW WÓD DO LGOM

Wyniki badań wskazują na możliwość i zasadność wykorzystania pojemnościowego rejestratora zmian wysokości zwierciadła wody (limnometru) do pomiarów dopływów wód do wyrobisk górniczych LGOM. Na podstawie rezultatów pomiarów przepływu wód w kanale ujmującym wody zlewni Polkowice Zachód z dużą dokładnością wyznaczono zależność stanu wód w kanale od wielkości ich przepływu, cechującą się wysokim współczynnikiem determinacji. Sprzęt rejestrujący, zastosowany do badań, umożliwił pozyskanie danych w sposób ciągły, z dużą częstotliwością, w zadowalającej rozdzielczości i bez znaczących nakładów finansowych, jednak przystosowanie systemu odwadniania do tego typu pomiarów jest kosztowne.

Niestety, dane uzyskane podczas badań prowadzonych w krótkim (4-miesięcznym) okresie, ale za to z dużą częstotliwością (co pół godziny) są w dużej mierze rozbieżne z wynikami wieloletnich pomiarów prowadzonych raz w miesiącu przez służbę hydrogeologiczną Kopalni Polkowice-Sierszowice. Wnioskowanie na podstawie porównania tych danych jest wysoce utrudnione.

Miesięczne zestawienia wydajności dopływów wód podziemnych, prowadzone przez służby hydrogeologiczne kopalni, umożliwiają odnotowanie epizodycznych wzrostów wielkości dopływu wód do złoża, spowodowanych nacięciem przez front eksploatacji silniej zawodnionych stref złoża, takich jak szczeliny i pustki krasowe, jednak w rocznych zestawieniach zapis takich wydarzeń staje się niewidoczny, co zauważają specjaliści zajmujący się badaniem warunków hydrogeologicznych na terenie kopalń LGOM (Fiszler, Kalisz, 2007; Stochel i in., 2014). Uwidacznia się także zasadność analizy otrzymanych danych w odniesieniu do zjawisk hydrogeologicznych obserwowanych w wyrobiskach górniczych w okresie

Tab. 3. Dopływ wód do obszaru górniczego Polkowice (porównanie wyników badań autora, prowadzonych od stycznia do maja 2016 r. z danymi kopalni dotyczącymi całego roku 2016 – Bilans, 2016)

Table 3. Inflow rates into the Polkowice mining area (results derived from the author's study conducted from January to May of 2016 vs. 2016-mine data – Bilans, 2016)

Okres pomiarowy <i>Measuring period</i>	Średni przepływ wód w kanale (pomiary własne) <i>Average discharge in channel (based on own measurements)</i> [m ³ /min]		
	z rejonu Polkowice Zachód <i>from</i> <i>Polkowice West district</i>	całkowity <i>total</i>	z rejonu Sierszowice <i>from</i> <i>Sierszowice district</i>
Styczeń / <i>January</i>	20,398	21,553	1,155
Luty / <i>February</i>	20,961	22,385	1,419
Marzec / <i>March</i>	21,229	22,203	0,971
Kwiecień / <i>April</i>	21,373	22,175	0,797
Maj / <i>Mai</i>	21,574	22,805	1,236
Średnia na podstawie pomiarów własnych <i>Average based on own measurements</i>			
20.01–19.05.2016 <i>20 January – 19 Mai 2016</i>	21,170	22,270	1,101
Luty–kwiecień <i>February–April</i>	21,188	22,254	1,062
Średnia na podstawie pomiarów wydajności dopływów do wyrobisk górniczych <i>Average based on measuring session inflow efficiency to mine excavations</i>			
I półrocze / <i>I half year</i>	19,858	–	–
II półrocze / <i>II half year</i>	18,775	–	–
Rok 2016 / <i>2016 Year</i>	19,317	–	–
Średnia na podstawie danych statystycznych kopalni <i>Average based on statistical data from mine</i>			
Rok 2016 <i>2016 Year</i>	19,739	–	–
Odchylenie standardowe (w interwale miesięcznym) <i>Standard deviation (in one month interval)</i>			
Rok 2016 <i>2016 Year</i>	0,455	0,452	0,240
Luty–kwiecień <i>February–April</i>	0,209	0,114	0,321
Współczynnik zmienności (w interwale miesięcznym) <i>Coefficient of variation (in one month interval)</i>			
Rok 2016 <i>2016 Year</i>	2,15%	2,03%	21,80%
Luty–kwiecień <i>February–April</i>	0,99%	0,51%	30,21%

pomiarowym, z tym że zagadnienie to wykracza poza zakres tematyczny niniejszej pracy.

Jeśli chodzi o koncepcję monitoringu natężenia dopływów wód podziemnych do wyrobisk górniczych OG Polkowice to powinna się ona opierać na zespole co najmniej kilku urządzeń rejestrujących wielkość tego dopływu. Ich rozmieszczenie powinno umożliwiać pomiar natężenia dopływu wód z wyrobisk górniczych w miejscach newralgicznych dla robót eksploatacyjnych (wskazanych przez służby hydrogeologiczne kopalni) oraz w miarę możliwości przy ujściach poszczególnych zlewni technologicznych.

Tab. 4. Dopływ wód do obszarów górniczych Polkowice i Radwanice Wschód w 2016 r. (Bilans, 2016)
Table 4. Inflow rates into the Polkowice and Radwanice Wschód mining areas in 2016 (Bilans, 2016)

Okres pomiarowy w 2016 r. <i>Measuring period in 2016</i>	Dopływ wód do obszaru górniczego Polkowice <i>Inflow rates into the Polkowice mining area</i>			
	z OG Sierszowice <i>from Sierszowice mining district</i> [m ³ /min]	z OG Polkowice <i>from Polkowice mining area</i> [m ³ /min]	z OG Radwanice Wschód <i>from Radwanice Wschodnie mining area</i> [m ³ /min]	z OG Polkowice + OG Radwanice Wschód <i>from Polkowice + Radwanice Wschodnie mining areas</i> [m ³ /min]
Styczeń 2016 / <i>January</i>	1,322	25,129	0,015	25,144
Luty / <i>February</i>	1,866	24,359	0,015	24,374
Marzec / <i>March</i>	1,523	23,625	0,010	23,635
Kwiecień / <i>April</i>	1,373	23,662	0,010	23,672
Maj / <i>May</i>	1,528	23,510	0,010	23,520
Czerwiec / <i>June</i>	1,841	23,263	0,010	23,273
Lipiec / <i>July</i>	1,883	23,013	0,010	23,023
Sierpień / <i>August</i>	1,561	22,470	0,010	22,480
Wrzesień / <i>September</i>	1,275	22,587	0,010	22,597
Październik / <i>October</i>	1,148	24,019	0,010	24,029
Listopad / <i>November</i>	1,138	23,370	0,010	23,380
Grudzień / <i>December</i>	1,778	23,462	0,010	23,472
I półrocze / <i>I half year</i>	1,572	23,925	0,012	23,937
II półrocze / <i>II half year</i>	1,467	23,156	0,010	23,166
Średnia w 2016 r. <i>Average in 2016</i>	1,520	23,539	0,011	23,550
Średnia luty–kwiecień 2016 <i>Average February–April, 2016</i>	1,587	23,882	0,012	23,894
Odchylenie standardowe (w interwale miesięcznym) <i>Standard deviation (in one month interval)</i>				
Rok 2016 / <i>2016 Year</i>	0,274	0,732	0,002	0,733
Luty–kwiecień 2016 <i>February–April, 2016</i>	0,253	0,414	0,003	0,417
Współczynnik zmienności (w interwale miesięcznym) <i>Coefficient of variation (in one month interval)</i>				
Rok 2016 / <i>2016 Year</i>	18,05%	3,11%	17,75%	3,11%

Tab. 5. Zrzut wody z obszaru górniczego Sierszowice
Table 5. Discharge rate from Sierszowice mining area

Okres pomiarowy w 2016 r. <i>Measuring period in 2016</i>	Dopływ wód z Sierszowice [m ³ /min] <i>Discharge of water from Sierszowice [m³/min]</i>		Różnica <i>Difference</i>	
	wg danych kopalni (Bilans, 2016) <i>based on mine data (Bilans, 2016)</i>	na podstawie pomiarów własnych <i>based on own measurements</i>	[m ³ /min]	%
Luty / <i>February</i>	1,866	1,419	0,447	24
Marzec / <i>March</i>	1,523	0,971	0,552	36
Kwiecień / <i>April</i>	1,373	0,797	0,576	42
Średnia / <i>Average</i>	1,587	1,062	0,525	34
Odchylenie standardowe / <i>Standard deviation</i>				
Luty–kwiecień / <i>February–April</i>	0,252	0,321		
Współczynnik zmienności / <i>Coefficient of variation</i>				
Luty–kwiecień / <i>February–April</i>	15,905	30,002		

Do rejestracji zmian natężenia przepływu można wykonać stosowane w praktyce hydrogeologicznej kopalni przelewy miernicze (Rogoż, 2004). Pomiar taki polega na rejestracji zmian wysokości wód przed przelewem pomia-

rowym za pomocą limnimetru pojemnościowego bądź pływaka, sprzężonego z urządzeniem rejestrującym jego położenie w odniesieniu do wyznaczonej empirycznie zależności stan–przepływ.

Analizując wyniki pomiarów, należy uwzględnić i rejestrować ścieżki redystrybucji wód oraz ich wpływ na otrzymane dane oraz sytuację hydrogeologiczną w wyrobiskach. O istotnej roli procesu redystrybucji może świadczyć fakt, iż wyznaczona w toku badań zmienność dopływu wód w interwale dobowym (~1,72%) odpowiadała współczynnikowi zmienności wyznaczonemu dla sumy dopływów z OG Polkowice i Radwanice Wschód w interwale miesięcznym (w okresie luty–kwiecień).

Baza danych pochodzących z sieci pomiarowej powinna być na bieżąco aktualizowana i uzupełniana danymi dotyczącymi oceny wpływu działalności górniczej kopalni na warunki hydrogeologiczne w sąsiednich obszarach górniczych.

Sieć pomiarowa, zaprojektowana według opisanych wskazań, stanowiłaby cenne źródło informacji, ponieważ umożliwiłaby śledzenie dzieł po dniu kształtowania się warunków hydrogeologicznych kopalni w odpowiedzi na postęp eksploatacji złoża. Uruchomienie takiego systemu w obszarze górniczym Polkowice usprawniłoby proces bilansowania wielkości dopływów, który z powodzeniem mógłby być rozwijany w pozostałych kopalniach LGOM. Poprawność działania takiej sieci pomiarowej można sprawdzić jedynie za pomocą porównania do wyników kartowania hydrogeologicznego wydajności dopływów do złoża, wobec czego przeprowadzanie pomiarów tylko dwa razy do roku wydaje się niewystarczające. Proponuje się zatem wykonywanie pomiarów dopływów wód do złoża raz na kwartał, jak to już wcześniej praktykowano w Kopalni Polkowice-Sierszowice.

Ostateczny kształt zaprojektowanej sieci pomiarowej w dużym stopniu zależy od technicznych możliwości instalacji urządzeń rejestrujących w wyrobiskach górniczych. Zaproponowane rozwiązania mogą znacząco ułatwić skonstruowanie sieci pomiarowej dopływu wód do wyrobisk kopalni. Co pozwoli nie tylko przyspieszyć wdrożenie takiego systemu, ale i znacząco obniżyć jego koszty w początkowym stadium funkcjonowania.

Warto też zwrócić uwagę na szybki rozwój innych metod pomiaru przepływu wód w otwartych kanałach przepływowych, np. z zastosowaniem urządzeń ultradźwiękowych, optycznych czy elektromagnetycznych, które nie tylko zapewniają dużą dokładność pomiarów, ale i często nie wymagają okresowej kalibracji (Michalski i in., 2006).

Autor serdecznie dziękuje Dr. M. Wcisło oraz Hydrogeologom pracującym w ZG Polkowice-Sierszowice za pomoc, cenne uwagi i wskazówki. Podziękowania należą się również Recenzentom, którzy w istotny sposób przyczynili się do ostatecznej formy artykułu, a w szczególności Prof. P. Bukowskiemu za cenne uwagi w końcowej fazie redakcji artykułu. Informacje zawarte w niniejszym artykule pozyskano w ramach pisania pracy dyplomowej (Błachowicz, 2017) za zgodą KGHM Polska Miedź S.A.

LITERATURA

BAJKIEWICZ-GRABOWSKA E., MAGNUSZEWSKI A., MIKULSKI Z. 1993 – Hydrometria, Wyd. Nauk. PWN, Warszawa: 101–126.
 BANASZAK A., BANASZAK M. 1996 – Geologia. Cz. II. [W:] Piestrzyński A., Zaleska-Kuczmierczyk M. (red.), Monografia KGHM Polska Miedź SA, Wyd. CBPM Cuprum Sp. z o.o., Lubin.
 BANASZAK A., BANASZAK M. 2007 – Geologia. Cz. II. [W:] Piestrzyński A., Banaszak A., Zaleska-Kuczmierczyk M. (red.), Monografia KGHM Polska Miedź SA, Wyd. CBPM Cuprum Sp. z o.o., Lubin.
 BECKER R., MARKIEWICZ A., KALISZ M., KRZYWAŃSKI Z., SZUMILAS S., WŁOCH A. 2006 – Charakter kontaktów między poziomami wodonośnymi w obszarze miedzionośnym południowej części

monokliny przedsudeckiej w aspekcie oceny zagrożeń wodnych kopalń KGHM Polska Miedź SA, Warsztaty z cyklu: Zagrożenia naturalne w górnictwie.

BECKER R., FISZER J., KALISZ M. 2007 – Geologia. Cz. II. Hydrogeologia. [W:] Piestrzyński A., Banaszak A., Zaleska-Kuczmierczyk M. (red.), Monografia KGHM Polska Miedź SA, Wyd. CBPM Cuprum Sp. z o.o., Lubin: 82–88.

BILANS wód kopalnianych O/ZG P-S – 2016. Arch. ZG Polkowice-Sierszowice.

BŁACHOWICZ M. 2017 – Dynamika drenażu głębokich poziomów wodonośnych złoża Polkowice. Pr. magist., Arch. Uniw. Wroc.

BOCHEŃSKA T. 1988 – Kształtowanie się warunków hydrogeologicznych w lubińsko-głogowskim obszarze miedzionośnym pod wpływem odwadniania kopalń. Acta Univ. Wratisl., 964, Pr. Geol.-Miner., 11, 2: 127–141.

BOCHEŃSKA T. 2003 – Hydrogeologia złóż i problemy wodne górnictwa rud miedzi: Warunki hydrogeologiczne. [W:] Wilk Z. i Bocheńska T. (red.), Hydrogeologia polskich złóż kopalni i problemy wodne górnictwa, t. 2, Wyd. Nauk.-Dydakt. AGH, Kraków.

BOCHEŃSKA T., FISZER J., KALISZ M. 2000 – Prognosis of Groundwater Inflow into the Copper Mines in the Lubin–Głogow Region. Environ. Geol., 39 (6): 587–594.

BOCHEŃSKA T., KALISZ M. 2001 – Warunki hydrodynamiczne w strefie wychodni cechsztynu w rejonie kopalń rud miedzi Lubin i Polkowice – stan na 2000 r. Mat. Symp. Współ. Prob. Hydrogeol., Wrocław–Krzyżowa: 297–306.

CHUDY K., WORSZA-KOZAK M., PIKUŁA M. 2017 – Rozwój metod rozpoznania warunków hydrogeologicznych na potrzeby wykonywania pionowych wyrobisk udostępniających złożo – przykład LGOM. Prz. Geol., 65 (11/1): 1035–1043.

DYJOR S. 1978 – Wykształcenie i stratygrafia utworów trzeciorzędowych na obszarze Legnicko-Głogowskiego Okręgu Miedziowego. [W:] Przewodnik 50 Zjazdu Polskiego Towarzystwa Geologicznego, Warszawa: 210–214.

FISZER J., KALISZ M. 2007 – Weryfikacja prognoz dopływów wód podziemnych do kopalń KGHM Polska Miedź S.A na lata 2008–2015, Cuprum, 2 (43): 9–25.

KŁAPCZIŃSKI J. 1971 – Litologia, fauna, stratygrafia i paleogeografia permu monokliny przedsudeckiej. Geol. Sudet., 5: 1–135.

KŁAPCZIŃSKI J., PERYT T.M. 2007 – Budowa geologiczna monokliny przedsudeckiej. [W:] Piestrzyński A., Banaszak A., Zaleska-Kuczmierczyk M. (red.), Monografia KGHM Polska Miedź SA., Część II Geologia, Wyd. CBPM Cuprum Sp. z o.o., Lubin: 69–77.

KWAŚNY L., KALISZ M. 2011 – Dodatek do dokumentacji geologicznej złoża rud miedzi Polkowice w kat. B + C1. Arch. KGHM Cuprum Sp. z o.o. CBR, Wrocław.

MICHALSKI A., SIENKIEWICZ J., WATRAL Z. 2006 – Metody pomiaru przepływu na małych otwartych kanałach przepływowych. Diagnostyka, 3 (39): 269–278.

REJESTR pomiarów dopływu wody do wyrobisk górniczych – 2000–2016. Arch. ZG Polkowice-Sierszowice.

ROGOŹ M. 2004 – Hydrogeologia kopalniana z podstawami hydrogeologii ogólnej. Główny Instytut Górnictwa, Katowice.

ROZPORZĄDZENIE Ministra Gospodarki z dnia 28 czerwca 2002 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy, prowadzenia ruchu oraz specjalistycznego zabezpieczenia przeciwpożarowego w podziemnych zakładach górniczych (z późniejszymi zmianami) – Dz.U. 2002 nr 139 poz. 1169.

ROZPORZĄDZENIE Ministra Energii z dnia 23 listopada 2016 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących prowadzenia ruchu podziemnych zakładów górniczych – Dz.U. 2017 poz. 1118.

STAŚKO S., GURWIN J., WCISŁO M., MODELSKA M., KRYZA H., KRYZA J., OLIHWER T., BUCZYŃSKI S., TARKA R., WAŚIK M., BECKER R. 2012 – Model koncepcyjny systemu hydrogeologicznego obszaru oddziaływania Lubińsko-Głogowskiego Obszaru Miedzionośnego (LGOM). Biul. Państw. Inst. Geol., 451: 203–210.

STOCHEL B., CHUDY K. (red.) 2014 – Dokumentacja hydrogeologiczna określająca warunki hydrogeologiczne w związku z zamierzonym wykonywaniem odwodnienia w celu wydobywania rud miedzi ze złoża Polkowice. Arch. KGHM Cuprum sp. z o.o., Wrocław.

SZTELAJ J. 1968 – Rodzaje zagrożeń wodnych w kopalniach rejonu monokliny przedsudeckiej ze szczególnym uwzględnieniem zagrożeń serii węglanowej oraz sposoby ich zwalczania. Zesz. Nauk. PŚL, 227: 547–55.

WYŻYKOWSKI J. 1958 – Poszukiwanie rud miedzi na obszarze strefy przedsudeckiej. Prz. Geol., 1: 17–22.

WYŻYKOWSKI J. 1971 – Cechsztyńska formacja miedzionośna w Polsce. Prz. Geol., 3: 117–122.

Praca wpłynęła do redakcji 7.03.2018 r.
 Akceptowano do druku 4.06.2018 r.