

# Rozwój metod rozpoznania warunków hydrogeologicznych na potrzeby wykonywania pionowych wyrobisk udostępniających złoża – przykład LGOM

Krzysztof Chudy<sup>1</sup>, Magdalena Worsa-Kozak<sup>1</sup>, Maciej Pikula<sup>1</sup>

**Evolution of methods for hydrogeological condition recognition for the need of shaft sinking – an example from the Legnica-Głogów Copper District.** Prz. Geol., 65: 1035–1043.

*Abstract.* The paper presents the review of methods for determining hydrogeological properties of rock mass in the place of mine shaft location. The largest Polish copper ore deposit is located in the Fore-Sudetic Monocline. It is the Kupferschiefer-type deposit occurring at a depth of 400 to 1200 metres. During the last 60 years the deposit was opened with 30 mine shafts, and the 31st shaft is currently being sunk. The methods of hydrogeological tests in boreholes as well as the methods of estimation of hydrogeological parameters and prediction of water inflow into the sinking mine shaft have evolved through the years. In the 1960s, the most popular field test was the well bailing/infiltration test, and the most popular methods of parameters estimation and inflow prognosis were analytical equations and analytical methods of water inflow forecasting. These methods provide very uncertain results. The best and reliable results of predicted water inflows are derived from methods based on long-term pumping tests and numerical modelling. These methods were used in the IMore project which concerns possibilities of dewatering of the Bundsandstein aquifer for a mine shaft sinking purpose.

**Keywords:** Legnica-Głogów Copper District, hydrogeological conditions, hydraulic conductivity, pumping test, shaft sinking, Fore-Sudetic Monocline

Złoża rud miedzi na monoklinie przedsudeckiej odkryto dokładnie 60 lat temu. Od tego czasu wykonano 30 wyrobisk pionowych (szybów) w celu udostępnienia zasobów zalegających na głębokości od 400 do ponad 1200 m pod ziemią. Wraz z biegiem lat i wyczerpywaniem się płytszych, łatwiej dostępnych partii złoża, wzrastała głębokość wyrobisk oraz stopień skomplikowania ich drążenia. Obecnie głębiony jest 31 szyb o symbolu GG-1, zlokalizowany w obszarze górniczym „Głogów Głęboki-Przemysłowy”. Trudne warunki geologiczno-górnice stawiają przed projektantami i budowniczymi coraz większe wyzwania, które wymagają stosowania innowacyjnych rozwiązań. Jednym z takich wyzwań jest prawidłowe rozpoznanie warunków hydrogeologicznych oraz prognozowanie dopływów do wyłomu szybowego z poszczególnych partii górotworu. O tym, jak nieprzewidywalne są warunki hydrogeologiczne w nadkładzie złoża rud miedzi, przekonali się już pionierzy, budujący pierwsze szyby kopalni Lubin, z których dwa (L-I i L-II) zostały dwukrotnie zatopione (Butra, 2005).

W celu prawidłowego zaprojektowania szybu i jego obudowy oraz do oceny zagrożeń wodnych, które mogą wystąpić w trakcie jego głębenia, jest konieczne dokładne rozpoznanie właściwości filtracyjnych górotworu. W niniejszym artykule prześledzono rozwój metod stosowanych do wyznaczania parametrów filtracji na potrzeby głębenia szybów na monoklinie przedsudeckiej od lat 60. XX w. (szyby Polkowickie Zachodnie) do chwili obecnej (szyb GG-1 w budowie). Omówiono rozwój metod badawczych – od pierwotnie stosowanego łyżkowania i zalewania otworu po stosowane coraz częściej i na szerszą skalę próbnego pompowania. Zebrano i porównano wyniki uzyskane dzięki różnym metodom badawczym i odniesiono je do obserwacji rzeczywistych w trakcie głębenia pionowych wyrobisk udostępniających. Rezultaty badań podda-

no krytycznej analizie pod kątem przydatności do oceny warunków geologicznych i hydrogeologicznych, występujących na obszarze Legnicko-Głogowskiego Obszaru Miedzianego (LGOM). Zarekomendowano metody, za pomocą których otrzymuje się wyniki najbardziej zbliżone do rzeczywistych.

Zadaniem niniejszej pracy jest ukazanie różnic w podejściu do badań hydrogeologicznych prowadzonych na potrzeby głębenia szybów w ciągu ostatnich 60 lat, opierając się na doświadczeniach z udostępniania złoża rud miedzi na monoklinie przedsudeckiej.

W tym celu w artykule przeanalizowano metody rozpoznania parametrów hydrogeologicznych górotworu na potrzeby głębenia:

- szybów zachodnich kopalni Polkowice z lat 60. XX w.,
- szybu R-XI kopalni Rudna z początku lat 90. XX w.,
- szybu GG-1 (w budowie) z początku XXI w.

## BADANIA HYDROGEOLOGICZNE NA POTRZEBY GŁĘBIENIA SZYBÓW

Ocena warunków hydrogeologicznych w rejonie projektowanego szybu górniczego jest jednym z najważniejszych elementów prowadzenia prac rozpoznawczych, który przekłada się na technologię głębenia pionowego wyrobiska udostępniającego złoża (Duda, 2014). Już na etapie dokumentowania złoża wykonuje się szereg prac laboratoryjnych i polowych, których celem jest określenie podstawowych parametrów warstw wodonośnych w profilu geologicznym. Dąży się do wyznaczenia wartości współczynnika filtracji oraz odsączalności grawitacyjnej i sprężystej. Poszukuje się przejawów występowania pustek krasowych, drożnych stref tektonicznych czy innych nieciągłości, które mogą powodować nagły i nieprzewidywany dopływ wód do szybu, a w konsekwencji nawet

<sup>1</sup> KGHM Cuprum CBR, ul. Gen. Wł. Sikorskiego 2-8, 53-659 Wrocław; kchudy@cuprum.wroc.pl, mworsa@cuprum.wroc.pl, mpikula@cuprum.wroc.pl.

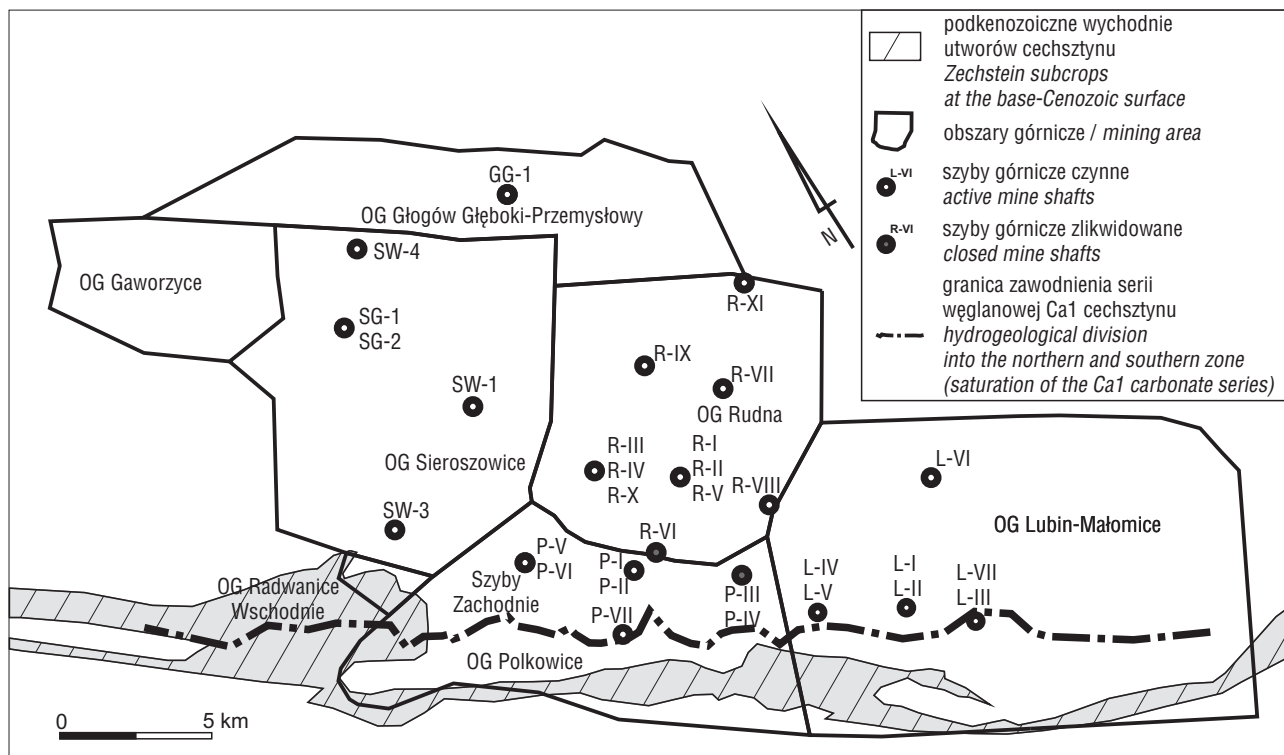
zatonienie drążonego wyrobiska, co niejednokrotnie miało miejsce na obszarze LGOM (Kalisz, Niedbał, 2003; Butra, 2005).

Zakres badań hydrogeologicznych na potrzeby gólenia szybów zdefiniowano w normie PN-G-5016:1997. W myśl ustawy o normalizacji z dnia 12 września 2002 r. (Ustawa, 2002) stosowanie norm jest dobrowolne, jednak w praktyce branżowej stanowi wciąż podstawę projektowania szybowego. Norma ta pozostawia pewną swobodę projektantom i dokumentatorom w doborze metod wyznaczenia współczynnika filtracji i prognozowania dopływu wód do szybu oraz schematu obliczeniowego.

### SZYBY ZACHODNIE KOPALNI POLKOWICE II (PZ)

W celu rozpoznania warunków geologiczno-inżynierskich i hydrogeologicznych szybów zachodnich ówczesnej kopalni Polkowice II (obecnie Oddział Zakłady Górnicze Polkowice-Sierszowice; ryc. 1) zaprojektowano i odwiercono 3 otwory badawcze „podszybowe”: S-281 (głębokość 1007,7 m), S-282 (głębokość 1021,0 m) i S-283 (głębokość 1018,1 m).

Badania w tych otworach prowadzono we wszystkich interwałach występowania warstw wodonośnych (tab. 1) meto-



Ryc. 1. Lokalizacja szybów należących do KGHM Polska Miedź S.A. na tle obecnych obszarów górniczych  
Fig. 1. Location of the mine shafts owned by KGHM Polska Miedź S.A., and the existing mining areas

Tab. 1. Interwały głębokościowe badań hydrogeologicznych w otworach podszybowych: S-281, S-282 i S-283 (Kasiarz i in., 1966)  
Table 1. Depth intervals of hydrogeological tests in the S-281, S-282 and S-283 boreholes (Kasiarz et al., 1966)

Stratygrafia i litologia <i>Stratigraphy and lithology</i>	Rodzaj badań <i>Type of research</i>	Głębokość występowania warstwy wodonośnej / Aquifer depth [m]		Współczynnik filtracji k <i>Hydraulic conductivity k [m/s]</i>
Czwartorzęd / <i>Quaternary</i>	Ł,Z	badań nie wykonywano <i>no research</i>		
Paleogen/Neogen <i>Paleogene/Neogene</i>	Ł,Z			
Trias – pstry piaskowiec, piaskowce drobnoziarniste / <i>Triassic – Buntsandstein, fine-grained sandstone</i>	Ł,Z	S-283 S-282	430,0–696,4 431,75–703,2	$1,5 \cdot 10^{-7}$ – $3,3 \cdot 10^{-8}$
Perm – cechsztn, anhydryty <i>Permian – Zechstein anhydrites</i>	Ł,Z	S-281	730–735,0	$1,0 \cdot 10^{-6}$
	Ł,Z	S-283	795,9–799,8	$3,8 \cdot 10^{-6}$
	Ł,Z	S-283	875,5–878,2	$4,4 \cdot 10^{-5}$
	Ł,Z	S-283	901,7–919,7	$3,3 \cdot 10^{-6}$
Perm – cechsztn, wapienie i dolomity <i>Permian – Zechstein Limestones and dolomites</i>	Ł,Z	S-281	888,4–955,1	$4,2 \cdot 10^{-8}$
	Ł,Z	S-283	938,0–950,0	$5,0 \cdot 10^{-8}$
	Ł,Z	S-283	950,0–963,8	
Perm – czerwony spągowiec, piaskowce <i>Permian – Rotliegend sandstones</i>	Ł,Z	S-282	953,01–1021,0	$3,8 \cdot 10^{-9}$

Ł – łyżkowanie / *well bailing test*, Z – zalewanie / *inflow test*

dą łyżkowania i zalewania otworu. W wyniku przeprowadzonych badań obliczono współczynniki filtracji poszczególnych poziomów (tab. 1). Na tej podstawie opracowano prognozę dopływu wód do wyrobisk szybowych – tabela 2.

### SZYB R-XI

Szybem, na potrzeby którego zestaw badań hydrogeologicznych został znacznie poszerzony, był głębiany ponad 20 lat później szyb R-XI Oddziału Zakłady Górnicze „Rudna” (ryc. 1) o głębokości 1250 m. Dokumentację wa-

runków hydrogeologicznych i geologiczno-inżynierskich tego szybu opracowano, opierając się na badaniach z 2 otworów „podszybowych”: S-372A (głębokość 1288,0 m) i S-372B (głębokość 1282,0 m) (Kozula, 1991).

Interwały przeznaczone do badań hydrogeologicznych (tab. 3) były typowane na podstawie szczegółowych obserwacji zaników płuczki, uzysku, spękań (RQD) i kawerności rdzenia. Badania były wykonywane w dwóch etapach: w trakcie wiercenia otworu w warstwie odsłoniętej oraz podczas likwidacji otworu w perforowanych rurach okładzinowych (tab. 3).

**Tab. 2.** Prognozowane dopływy wód podziemnych do głębianych szybów Polkowice Zachodnie (Kasiarz i in., 1966)

**Table 2.** Predicted water inflows to the Polkowice Zachodnie shaft (Kasiarz et al., 1966)

Głębokość szybu / Shaft depth [m]	Stratygrafia / Stratigraphy	Q [m <sup>3</sup> /min]
485,0	trias – pstry piaskowiec <i>Triassic – Buntsandstein</i>	0,305
644,3		0,236
703,2		1,012
735,0	perm – cechsztyń <i>Permian – Zechstein</i>	0,182
799,8		0,342
878,2		3,112
919,7		2,137
950,0	perm – cechsztyń <i>Permian – Zechstein</i>	0,223
963,0		0,246
966,8		0,270
1021,0	perm – czerwony spągowiec <i>Permian – Rotliegendes</i>	0,024

**Tab. 3.** Interwały głębokościowe badań hydrogeologicznych w otworach podszybowych S-372A i S-372B (Kozula, 1991)

**Table 3.** Depth intervals of hydrogeological tests in the S-372A and S-372B boreholes (Kozula, 1991)

Stratygrafia <i>Stratigraphy</i>	Metoda prowadzenia badań <i>Type of research</i>	Interwał, w którym prowadzono badania / <i>Research interval [m]</i>		Metoda prowadzenia badań <i>Type of research</i>
	S-372A		S-372B	
Czwartorzęd / <i>Quaternary</i>	badań nie wykonywano <i>no research</i>			
Paleogen/Neogen / <i>Paleogene/Neogen</i>	badań nie wykonywano <i>no research</i>			
Trias – środkowy pstry piaskowiec <i>Triassic – Middle Buntsandstein</i>	Ł	431,0–463,0	438,0–443,0	Ł, RPZ
	Ł, RPZ	431,0–508,3	–	
	Ł, RPZ	450,0–455,0	–	
	Ł, RPZ	470,0–480,0	470,0–475,0	Ł, RPZ
	Ł, RPZ	490,0–502,0	488,0–498,0	Ł, RPZ
	Ł, RPZ	520,0–525,0	514,0–524,0	Ł, RPZ
	Ł, RPZ	558,0–566,0	521,0–526,0	Ł, RPZ
	Ł, RPZ	585,0–590,0	–	
	Ł, RPZ	607,0–615,0	603,0–608,0	Ł, RPZ
Perm – cechsztyń / <i>Permian – Zechstein</i>	Ł, RPZ	970,0–975,0	953,0–958,0	Ł, RPZ
Perm – cechsztyń, dolomit płytowy <i>Permian – Zechstein, Platy Dolomite</i>	RPZ	993,0–1026,0	–	
Perm – cechsztyń, dolomit główny <i>Permian – Zechstein, Main Dolomite</i>	RPZ	1050,0–1087,0	1050,0–1080,0	RPZ
Perm – cechsztyń, wapień podstawowy <i>Permian – Zechstein, Basal Limestone</i>	RPZ	1210,0–1234,0	1203,0–1228,4	RPZ
Perm – czerwony spągowiec <i>Permian – Rotliegendes</i>	RPZ	1232,0–1288,0	1224,0–1282,0	RPZ

kolor szary – badania na warstwach odsłoniętych w trakcie wiercenia / *grey color – research on layers exposed during drilling*

pozostałe – badania w trakcie likwidacji otworu / *others – research during liquidation of the borehole*

Ł – łyżkowanie / *well bailing test*, RPZ – Rurowy Próbnik Złoża / *Drill stem tester*

Dodatkowo w celu uściślenia warunków hydrogeologicznych w utworach środkowego pstręgo piaskowca wykorzystano odwierty – mroźniowo-cementacyjny MC-29 i termalny T-1. Otwory te wydrążono do głębokości 630 m, przeprowadzono badania hydrogeologiczne, a po ich zakończeniu otwory pełniły swoje funkcje zgodnie z przeznaczeniem. Badania obejmowały próbną pompowania w hydrowężle, tzn. jeden otwór był otworem pompowym, a drugi pełnił funkcję piezometryczną, badania próbnikowe, kompleksowe profilowanie geofizyczne.

Parametry poszczególnych warstw wodonośnych obliczono na podstawie różnych metod badawczych, uzyskując wartości współczynnika filtracji w dość szerokim zakresie  $1,22 \cdot 10^{-9}$ – $5,69 \cdot 10^{-6}$  m/s (tab. 4).

Dopływy wód do szybu zostały oszacowane na podstawie wyznaczonych współczynników filtracji i wynosiły maksymalnie do ok.  $0,546 \text{ m}^3/\text{min}$ . W analizie tej pominięto okres 2002/2003, kiedy to utwory środkowego pstręgo piaskowca był źródłem niespodziewanego, nagłego dopływu wody do szybu. Awaria ta, wraz z prawdopodobnymi jej przyczynami, została szeroko opisana w literaturze m.in. przez Kalisza i Niedbała (2004), Markiewicza i in. (2004), Markiewicza i Banaszaka (2005) oraz Kosmalskiego i in. (2005).

### SZYB GG-1 (W BUDOWIE)

W 2009 r. opracowano dokumentację na potrzeby głębinia najmłodszego szybu – GG-1 (ryc. 1) (Gruszecki i in., 2009) o planowanej głębokości docelowej 1340 m. Bada-

nia w rejonie podszybowym zaplanowano również w dwóch dedykowanych otworach: S-439A (głębokość 1366,0 m) oraz S-439B (głębokość 972,0 m). Przyjęto zasadę, że pierwszy z wymienionych jest otworem, w którym prowadzi się szeroki zakres prac badawczych, natomiast drugi z otworów jest głównie otworem obserwacyjnym, w którym planuje się przeprowadzić badania o charakterze uzupełniającym (tab. 5).

Wartości współczynnika filtracji, obliczone na podstawie różnych metod badawczych dla poszczególnych warstw wodonośnych, zawierały się w szerokim zakresie  $3,47 \cdot 10^{-8}$ – $4,87 \cdot 10^{-5}$  (tab. 6).

Do prognozowania dopływu wykorzystano modelowanie numeryczne. Wszystkie zebrane dane posłużyły za „wsad” do modelu hydrogeologicznego opracowanego z wykorzystaniem Visual ModFlow. Model numeryczny skonstruowano dla obszaru o powierzchni  $91,64 \text{ km}^2$ , położonego w odległości 5–7 km od osi projektowanego szybu. Jako podstawę warunków krążenia wód podziemnych przyjęto istnienie 17 warstw. Na wytarowanym modelu numerycznym wykonano symulacje i obliczenia, umożliwiające określenie dopływów wód podziemnych z wydzielonych poziomów wodonośnych. Obliczenia prowadzono w dwóch wariantach: bez mrożenia i z mrożeniem utworów kenozoiku.

### PROGNOZOWANIE DOPŁYWU WÓD DO WYROBISK SZYBOWYCH

Prognozowanie dopływu do pionowych wyrobisk górniczych oparto w pierwszym okresie (Wilk, Bocheńska,

Tab. 4. Zestawienie obliczeń współczynnika filtracji  $k$  [m/s] w otworach podszybowych S-372A i S-372B (Kozula, 1991)

Table 4. Summary of calculation of hydraulic conductivity  $k$  [m/s] in the S-372A and S-372B boreholes (Kozula, 1991)

Otwór Borehole	Interwał Interval [m]	RPZ / Drill stem tester		Metoda łyżkowania / Well bailing test		
		na podstawie współczynnika przepuszczalności based on permeability coefficient	analityczna metoda całkowa* analytical integral method*	wzór Wieręgina Wierigin formula	metoda krzywej wzrostu zw. wody recovery curve analysis method	graficzno-analityczna metoda całkowa* graphic and analytical integral method*
372A	431,0–463,0	b.d.		$8,65 \cdot 10^{-8}$	$5,12 \cdot 10^{-8}$	$3,36 \cdot 10^{-8}$
	431,0–508,3	$7,14 \cdot 10^{-7}$	b.d.	$2,93 \cdot 10^{-7}$	$1,55 \cdot 10^{-7}$	$1,42 \cdot 10^{-7}$
	450,0–455,0	$5,65 \cdot 10^{-8}$	$2,47 \cdot 10^{-8}$	$1,71 \cdot 10^{-7}$	$3,46 \cdot 10^{-8}$	$7,85 \cdot 10^{-8}$
	470,0–480,0	$8,75 \cdot 10^{-7}$	$2,42 \cdot 10^{-7}$	$2,27 \cdot 10^{-7}$	$1,69 \cdot 10^{-7}$	$1,10 \cdot 10^{-7}$
	490,0–502,0	$1,27 \cdot 10^{-6}$	$2,30 \cdot 10^{-7}$	$1,72 \cdot 10^{-7}$	$1,22 \cdot 10^{-7}$	$9,58 \cdot 10^{-8}$
	520,0–525,0	$2,10 \cdot 10^{-6}$	$1,34 \cdot 10^{-6}$	$2,60 \cdot 10^{-7}$	$1,78 \cdot 10^{-7}$	$1,61 \cdot 10^{-7}$
	558,0–566,0	$2,68 \cdot 10^{-6}$	$1,02 \cdot 10^{-6}$	$4,28 \cdot 10^{-7}$	$4,34 \cdot 10^{-7}$	$2,44 \cdot 10^{-7}$
	585,0–590,0	$4,47 \cdot 10^{-7}$	$5,54 \cdot 10^{-8}$	b.d.		
	607,0–615,0	$3,11 \cdot 10^{-6}$	$1,97 \cdot 10^{-8}$	$9,48 \cdot 10^{-7}$	$9,18 \cdot 10^{-7}$	$5,69 \cdot 10^{-6}$
	620,0–628,0	$2,28 \cdot 10^{-6}$	b.d.	$8,22 \cdot 10^{-7}$	$7,19 \cdot 10^{-7}$	$4,55 \cdot 10^{-7}$
	1050,0–1087,0	$2,14 \cdot 10^{-7}$	$6,47 \cdot 10^{-8}$	b.d.		
1232,0–1288,0	$7,45 \cdot 10^{-9}$	$6,75 \cdot 10^{-9}$	b.d.			
372B	438,0–443,0	$2,89 \cdot 10^{-7}$	$1,81 \cdot 10^{-8}$	$4,67 \cdot 10^{-8}$	$2,65 \cdot 10^{-8}$	$2,12 \cdot 10^{-8}$
	470,0–475,0	$1,48 \cdot 10^{-7}$	–	$1,72 \cdot 10^{-7}$	$1,17 \cdot 10^{-7}$	$8,66 \cdot 10^{-8}$
	488,0–498,0	$4,06 \cdot 10^{-7}$	$1,25 \cdot 10^{-7}$	$1,08 \cdot 10^{-7}$	$7,45 \cdot 10^{-8}$	$4,56 \cdot 10^{-8}$
	514,0–524,0	$7,25 \cdot 10^{-7}$	$7,50 \cdot 10^{-7}$	$4,96 \cdot 10^{-7}$	$4,21 \cdot 10^{-7}$	$2,75 \cdot 10^{-7}$
	521,0–526,0	$3,59 \cdot 10^{-6}$	$6,52 \cdot 10^{-7}$	$4,64 \cdot 10^{-7}$	$3,34 \cdot 10^{-7}$	$2,80 \cdot 10^{-7}$
	615,0–625,0	$3,22 \cdot 10^{-6}$	$1,23 \cdot 10^{-6}$	$2,39 \cdot 10^{-6}$	$1,49 \cdot 10^{-6}$	$1,64 \cdot 10^{-6}$
	615,0–625,0	$1,66 \cdot 10^{-6}$	$6,51 \cdot 10^{-7}$	$5,60 \cdot 10^{-7}$	$5,27 \cdot 10^{-7}$	$3,51 \cdot 10^{-7}$
	1050,0–1080,0	$7,04 \cdot 10^{-8}$	$1,51 \cdot 10^{-8}$	b.d.		
1224,0–1282,0	$1,22 \cdot 10^{-9}$	$5,68 \cdot 10^{-9}$	b.d.			

\* – metoda opracowania przez Barenblatta (1954) / method developed by Barenblatt (1954)

**Tab. 5.** Interwały głębokościowe badań hydrogeologicznych w otworach podszybowych S-439A i S-439B (Gruszecki i in., 2009)  
**Table 5.** Depth intervals of hydrogeological tests in the S-439A and S-439B boreholes (Gruszecki et al., 2009)

Numer otworu <i>Borehole</i>	Stratygrafia <i>Stratigraphy</i>	Interwał <i>Interval [m]</i>	Metoda prowadzenia badań <i>Type of research</i>	
S-439A	Paleogen/Neogen <i>Paleogene/Neogen</i>	144,0–154,0 208,3–218,3 350,0–360,0	PP	
	Trias – górny pstry piaskowiec – ret <i>Triassic – Upper Buntsandstein – Roethian</i>	417,0–452,0	RPZ	
	Trias – środkowy pstry piaskowiec <i>Triassic – Middle Buntsandstein</i>	440,0–509,4	S, Z	
		449,0–454,0	S, Z, RPZ	
		440,0–730,0	S, Z	
		506,0–511,0	S, Z, RPZ	
		517,0–522,0	S, Z, RPZ	
542,0–547,0	S, Z, RPZ			
641,0–646,0	S, Z, RPZ			
Trias – dolny pstry piaskowiec <i>Triassic – Lower Buntsandstein</i>	749,0–801,0	RPZ		
	872,0–900,0			
	Perm – cechsztyń <i>Perm – Zechstein</i>		1076,0–1111,0	
Perm – czerwony spągowiec <i>Permian – Rotliegendes</i>	1302,0–1342,0			
S-439B	Trias – środkowy pstry piaskowiec <i>Triassic – Middle Buntsandstein</i>		463,0–509,0	

S – szczypanie / well bailing test, Z – zalewanie / inflow test, RPZ – rurowy próbnik złoża / Drill stem tester, PP – próbne pompowanie / pumping test

**Tab. 6.** Zestawienie obliczeń współczynnika filtracji  $k$  [m/s] dla szybu GG1 (Gruszecki i in., 2009)

**Table 6.** Summary of calculation of hydraulic conductivity  $k$  [m/s] in the GG1 shaft (Gruszecki et al., 2009)

Piętro wodonośne <i>Multiaquifer formation</i>	Poziom wodonośny <i>Aquifer</i>	Warstwa wodonośna od-do <i>Subaquifer intervals [m]</i>	Współczynnik filtracji $k$ <i>Hydraulic conductivity <math>k</math> [m/s]</i>
Paleogen/Neogen <i>Paleogene/Neogen</i>	nadwęglowy / <i>over-lignite</i>	140,0–154,0	$1,66 \cdot 10^{-5}$
	międzywęglowy / <i>inter-lignite</i>	204,0–218,0	$4,87 \cdot 10^{-5}$
	podwęglowy / <i>sub-lignite</i>	332,0–376,0	$9,48 \cdot 10^{-6}$
Trias <i>Triassic</i>	górny pstry piaskowiec <i>Upper Buntsandstein</i>	429,8–435,0	$5,09 \cdot 10^{-7}$
		środkowy pstry piaskowiec <i>Middle Buntsandstein</i>	440,0–453,7
	465,9–481,9		$4,51 \cdot 10^{-7}$
	499,6–522,6		$4,63 \cdot 10^{-8}$
	537,5–638,5		$6,37 \cdot 10^{-7}$
	638,6–689,5		$3,36 \cdot 10^{-7}$
	694,0–717,4		$2,20 \cdot 10^{-7}$
	721,3–734,9		$2,20 \cdot 10^{-7}$
	dolny pstry piaskowiec <i>Lower Buntsandstein</i>	751,7–762,1	$1,16 \cdot 10^{-7}$
		820,6–827,0	$2,08 \cdot 10^{-7}$
		833,9–858,9	$1,27 \cdot 10^{-7}$
		869,9–881,7	$2,55 \cdot 10^{-7}$
		921,4–932,6	$8,10 \cdot 10^{-8}$
	978,5–982,6	$1,62 \cdot 10^{-7}$	
Perm <i>Permian</i>	cechsztyń (dolomit główny) <i>Zechstein (Main Dolomite)</i>	1081,25–1101,05	$8,10 \cdot 10^{-8}$
	cechsztyń (wapień podstawowy) <i>Zechstein (Basal Limestone)</i>	1305,00–1313,54	$3,47 \cdot 10^{-8}$
	czerwony spągowiec <i>Rotliegendes</i>	1313,56–1342,00	$3,47 \cdot 10^{-8}$

2003; Bocheńska, Borysow, 1982), przed wprowadzeniem specjalistycznego oprogramowania komputerowego, na wzorach analitycznych dopływu do „wielkiej studni”. Wraz z rozwojem technik komputerowych oraz mocy obliczeniowej maszyn zaczęto wdrażać w projektowaniu programy do modelowania numerycznego przepływu wód podziemnych, które pozwoliły na budowę bardziej złożonych modeli środowiska geologicznego. Należy jednak podkreślić, że niezależnie od użytej metody prognozowa-

nia, czynnikiem krytycznym, decydującym o poprawności prognoz dopływu jest właściwe rozpoznanie i zdefiniowanie parametrów filtracji ośrodka skalnego.

We wzorze Dupuita na dopływ wody do studni (m.in. Rogoż, 2004; Dąbrowski, Przybyłek, 2005) występują trzy kluczowe parametry, które powinny być wyznaczone w trakcie prowadzenia wierceń w otworach podszybowych –  $k$ ,  $H$ ,  $M$ . Stosunkowo prostymi do wyznaczenia są: miąższość warstwy wodonośnej  $M$  oraz pierwotne ciśnienie hydrostatycz-



ne  $H$  w danym poziomie wodonośnym. Oszacowanie rzeczywistej wartości współczynnika filtracji  $k$  nastęrcza wiele problemów m.in. z powodu występowania efektu skali w badaniach hydrogeologicznych (Schulze-Makuch, Cherkauer, 1996; Drożdżak, Twardowski, 2009; Ziemianin, Jędrzejowska-Tyczkowska, 2013). Należy zaznaczyć, że parametr ten jest podwójnie ważny, gdyż jest konieczny do obliczenia zasięgu leja depresji i stanowi podstawowy parametr wejściowy w modelowaniu numerycznym.

O problemach z właściwym, ilościowym prognozowaniem dopływów do wyrobisk szybów, świadczą wyniki pomiarów wykonanych w trakcie głębenia szybów i ich porównanie z wartościami wyliczonymi w dokumentacjach podszybowych.

Najpełniejszymi danymi dla takich porównań dysponujemy dla szybu R-XI. Wynika z nich, że prognozowane dopływy do wyrobisk szybów (nie uwzględniając dopływu awaryjnego w okresie 2002/2003) były znacznie wyższe od wartości rzeczywistych odnotowanych w trakcie głębenia szybu (ryc. 2). Dla poziomów triasowych różnice między prognozowanym a pomierzonym dopływem wahają się od 9 do 96%, natomiast dla poziomów permskich wód – 11–89%.

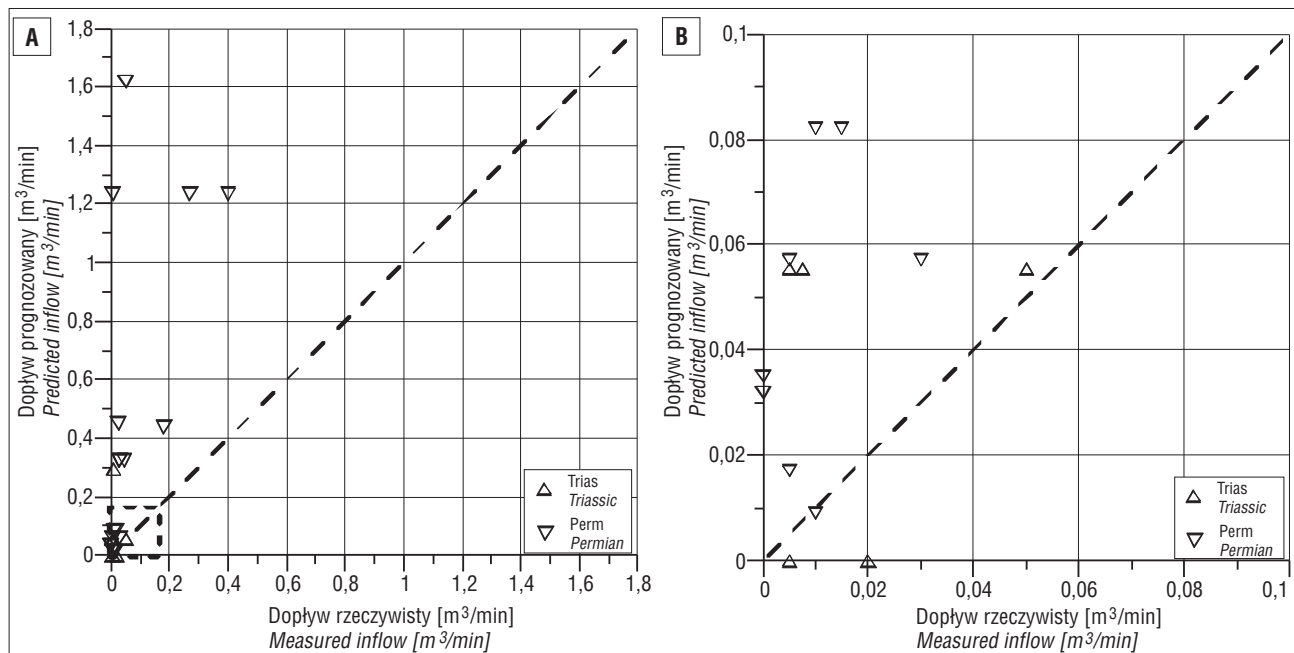
W trakcie niemożliwego do przewidzenia dopływu awaryjnego z poziomu środkowego pstrego piaskowca,

którego pierwsze objawy pojawiły się w głębnym szybie 20.03.2002 r. na poziomie 632 (Kosmalski i in., 2005), dopływ maksymalny osiągał 3 m<sup>3</sup>/min, czyli był ok. 6-krotnie wyższy od prognozowanego (tab. 7). Ze względu jednak na dyskusyjne przyczyny tego dopływu nie był on brany do analizy przedstawionej na rycinie 2.

W związku z niedoskonałością metod analitycznych już w latach 80. XX w. rozpoczęto wdrażanie metod modelowych przy ocenie dopływów do szybów. Pierwsze tego typu modelowanie zastosowano przy tworzeniu prognozy dopływów dla szybów kopalni Sieroszowice w interwale obejmującym utwory pstrego piaskowca (Wilk, Bocheńska, 2003 za Bocheńska, Borysow, 1982) z wykorzystaniem modelowania elektrohydrodynamicznego. Wyniki otrzymane tą metodą były znacznie niższe od otrzymanych metodami analitycznymi i bardziej odpowiadały wartościom rzeczywistym.

Na pełną skalę nowoczesne oprogramowanie do modelowania numerycznego zaczęto stosować w dokumentacjach podszybowych na przełomie XX i XXI w. Z analizowanych w niniejszej pracy szybów, w oparciu o modelowanie numeryczne, odzwierciedlone zostały warunki hydrogeologiczne w szybie GG-1. Wykonano także prognozy dopływu wód.

Wartości końcowe parametrów hydrogeologicznych w modelu numerycznym uległy zmianie w stosunku



**Ryc. 2.** Porównanie wyników prognozowanych dopływów do wyrobisk szybów z wartościami pomierzonymi w trakcie głębenia szybu R-XI; **A** – całość danych, **B** – dane w zakresie do 0,1 m<sup>3</sup>/min (czarny kwadrat na rycinie 2A)

**Fig. 2.** Comparison of predicted and measured inflows into the sinking shaft R-XI; **A** – complete data, **B** – data in the range up to 0.1 m<sup>3</sup>/min (black square in Fig. 2A)

**Tab. 7.** Prognozowany dopływ do szybu R-XI w poziomie środkowego pstrego piaskowca (wg Kosmalski i in., 2005)

**Table 7.** Predicted inflow into the R-XI shaft from the Middle Bundsandstein (Kosmalski et al., 2005)

Interwał głębokości Intervals [m]	Prognozowany dopływ do szybu / Predicted inflow [m <sup>3</sup> /min]		
	minimalny / minimum	maksymalny / maximum	średni / average
431–460	0,042	0,070	0,056
460–470	0,042	0,070	0,056
470–500	0,061	0,330	0,160
500–565	0,205	0,490	0,334
565–630	0,334	0,550	0,425

do pierwotnych. Zwiększono wartości współczynnika filtracji  $k$  w rejonie projektowanego szybu – największe zmiany dotyczyły poziomów najgłębszych, w których nastąpiła zmiana wartości o dwa rzędy wielkości. W mniejszym stopniu zmiany dotyczyły poziomów wyżejleżących, w których autorzy modelu wprowadzili zmiany o rząd wielkości (Gruszecki i in., 2009).

Na wytarowanym modelu przeprowadzono symulacje w dwóch wariantach: bez mrożenia (wariant I) oraz z mrożeniem (wariant II) kenozoiku. Zestawienie wyników modelowania w wariantach II i ich porównanie z wynikami obliczeń metodami analitycznymi przedstawiono w tabeli 8. Porównanie to wskazuje na duże różnice w prognozach między tymi metodami, na co uwagę zwracają sami autorzy badań modelowych. Największe różnice występują w prognozowanych dopływach wody w poziomie dolomitu głównego – ponad 10-krotne. W przypadku prognoz dla środkowego pstrygo piaskowca różnice w dopływach dochodzą do 70%. Różnica między prognozowanymi dopływami sumarycznymi wynosi ok. 18%. Autorzy różnice te tłumaczą niewielką ilością danych archiwalnych, a w szczególności informacji o układzie ciśnień w wydzielanych poziomach wodonośnych oraz o ich parametrach hydrogeologicznych.

#### METODY BADAŃ HYDROGEOLOGICZNYCH W OTWORACH A JAKOŚĆ WYNIKÓW

Badania hydrogeologiczne w otworach podszybowych wykonano różnymi metodami, w zależności od warunków geologicznych i możliwości sprzętowych. Porównanie parametrów górotworu przyjmowanych na etapie projektowania i uzyskiwanych na etapie rozpoznawania warunków hydrogeologicznych wyrobiska szybowego wskazuje na dużą rozbieżność tych wyników w odniesieniu do rzeczywistych dopływów stwierdzonych w trakcie głębieńszybu. W dużej mierze wynika to z zastosowanych metod badawczych, które w początkowym okresie zależne były

głównie od możliwości technicznych prowadzenia badań na dużych głębokościach. We wszystkich trzech analizowanych przypadkach podstawową metodą badawczą było szczypanie (łyżkowanie). Od połowy lat 80. XX w. stosowano rurowy próbnik złoża (RPZ), a od końca lat 90. XX w. zaczęto wprowadzać próbne pompowanie (początkowo ograniczone do utworów kenozoiku). Wiarygodność i realność parametrów uzyskiwanych tymi metodami jest zróżnicowana.

**Szczypanie (łyżkowanie)** jest najprostszą pod względem technicznym metodą oznaczenia współczynnika filtracji  $k$ . Metoda ta ma wiele wad. Stosowana była głównie ze względu na techniczne ograniczenia w przeprowadzeniu innych badań w otworze. Jej głównymi wadami są: a) impulsowe „wypompowywanie” wody z otworu, b) trudności z ciągłym monitoringiem zwierciadła wody, szczególnie w fazie początkowej, gdy usuwamy wodę z otworu, c) obarczenie bardzo wysoką niepewnością wyników obliczeń współczynnika filtracji  $k$ , d) brak kontroli stopnia oczyszczenia strefy przyotworowej w trakcie prowadzenia badania.

**Zalewanie.** Obliczone wartości współczynnika filtracji  $k$  oznaczone tą metodą obarczone są również dużą niepewnością, ponieważ w badaniach tego typu bardzo silnie zaznacza się oddziaływanie oporności strefy przyfiltrkowej, na co wpływa stan studni/otworu oraz typ filtru (Rogoż, Posyłek, 1988; Rogoż, 2004; Dąbrowski, Przybyłek 2005; Rado, Bujok, 2010). Z tego powodu badania metodą zalewania, mogą być prowadzone dopiero po oczyszczeniu strefy przyotworowej innymi metodami (łyżkowaniem, pompowaniem oczyszczającym).

**Rurowy próbnik złoża (RPZ)** to przyrząd stosowany głównie w wiertnictwie naftowym, służący do pobierania próbek medium nasycającego skały („płynu złożowego”) oraz w wersji rozbudowanej do pomiarów parametrów złożowych badanego odcinka odwiertu. Należy zaznaczyć, że we wspomnianej metodzie, znaczny wpływ na wartości pomierzonych współczynników filtracji mają dwa czynniki

**Tabela 8.** Prognozowane dopływy wód podziemnych z wydzielonych poziomów wodonośnych do projektowanego szybu GG-1 wg wariantu II i obliczony wg wzorów analitycznych (Gruszecki i in., 2009)

**Table 8.** Predicted groundwater inflows from separated aquifers to the designed GG-1 shaft according to variant II and analytical formulas (Gruszecki et al., 2009)

Poziom wodonośny <i>Aquifer</i>	Prognozowane dopływy do projektowanego szybu <i>Predicted groundwater inflows to the designed GG-1 shaft</i>	
	wg modelowania numerycznego – wariant II [m <sup>3</sup> /min] <i>variant II [m<sup>3</sup>/min]</i>	wg wzorów analitycznych [m <sup>3</sup> /min] <i>analytical formulas [m<sup>3</sup>/min]</i>
Nadwęglowy / <i>over-lignite</i>	–	1,453
Międzywęglowy / <i>inter-lignite</i>	–	6,302
Podwęglowy / <i>sub-lignite</i>	–	5,594
Ret / <i>Roethian</i>	0,237	0,063
Środkowy pstry piaskowiec <i>Middle Buntsandstein</i>	2,005	2,915
Dolny pstry piaskowiec <i>Lower Buntsandstein</i>	0,725	0,247
Cechsztyń (dolomit główny) <i>Zechstein (Main Dolomite)</i>	1,077	0,104
Cechsztyń (wapień podstawowy) <i>Zechstein (Basal Limestone)</i>	0,011	0,021
Czerwony spągowiec / <i>Rotliegendes</i>		0,070
Razem / <i>Total</i>	4,055*	3,420*

\* bez poziomów nadwęglowego, międzywęglowego i podwęglowego / *excluding over-, inter-, sub-lignite aquifers*

– rodzaj stosowanej płuczki oraz wielkość represji ciśnienia (m.in. Dubiel, Falkowicz, 2001; Dubiel i in., 2003; Dubiel, 2008; Dubiel i in., 2012; Dubiel, Uliasz-Misiak, 2010, 2013, 2014). W celu oceny niekorzystnych efektów zachodzących w strefie przyotworowej, szczególnie przy badaniach próbnikiem rurowym, opracowano współczynnik  $S$  – tzw. współczynnik skin efektu (Dubiel i in., 2003; Szostak i in., 1978). Dla badań poziomów wodonośnych mezozoiku przeprowadzonych RPZ ocenionych na podstawie parametru  $S$  dla 416 badań wskazano, że do tych wyników należy podchodzić z rezerwą i korygować je innymi metodami o znacznie mniejszej niepewności otrzymanych parametrów (Dubiel, Uliasz-Misiak, 2010). Z całego zbioru pomiarów tylko dla ok. 40% (159 pomiarów RPZ) uzyskano jednoznaczną informację o zmianie przepuszczalności skał w strefie przyotworowej. Dla pozostałych pomiarów, tj. ok. 60% (257 pomiarów RPZ), parametru  $S$  nie udało się określić z powodu braku przyływu płynu złożowego (66 pomiarów RPZ) lub niejednoznaczności otrzymanych wyników (191 pomiarów RPZ). Wskaźnik  $S$  dla badań w GG-1 określono dla 58% pomiarów (7 pomiarów RPZ). Dla pozostałej części badań nie określono wskaźnika  $S$  głównie na skutek braku przyływu płynów złożowych do próbnika. Dla całej populacji uzyskano wartości  $S > 0$ , co wskazuje na zwiększenie przepuszczalności skał w strefie przyotworowej w wyniku prowadzonych prac wiertniczo-pomiarowych. W głębokich otworach próbniki złoża mogą być metodą wspomagającą rozpoznanie hydrogeologiczne, ułatwiającą wytypowanie interwałów do przeprowadzenia dokładniejszych badań – zwłaszcza próbnego pompowania.

Próbne pompowanie jest jedną z najlepszych i najbardziej wiarygodnych metod określania parametrów hydrogeologicznych stref zawodnionych w górotworze. Dobrze zaprojektowane badania, wykonane w hydrowężle badawczym pozwalają precyzyjnie odpowiedzieć na wiele pytań, dotyczących zawodnienia danych horyzontów wodonośnych. Ponadto długotrwałe pompowanie przy jednoczesnej obserwacji zwierciadła wody w różnych horyzontach wodonośnych pozwala na identyfikację ewentualnych kontaktów hydraulicznych między poziomami wodonośnymi, co ma znaczenie zarówno dla prognozowania dopływu do szybu, jak i dla bezpieczeństwa prowadzonych w nim prac.

Mimo kilkudziesięciu lat rozwoju badań hydrogeologicznych na potrzeby udostępniania złóż rud miedzi do tej pory nie dysponowano informacjami pozwalającymi wiarygodnie odwzorować górotwór w skali rejonu szybowego na modelu hydrogeologicznym. Autorzy modeli numerycznych zarówno dla analizowanego tu szybu GG-1 (Gruszecki i in., 2009), jak i szybu SW-4 (Dziedziak, Bielawski, 2005) zwracają uwagę na niewielką ilość danych oraz ich słabą jakość (niepewność wyników). Stąd też, w związku z przesuwaniem się eksploatacji rud miedzi w kierunku północnym i północno-wschodnim oraz z projektowaniem udostępnienia nowych partii złoża kolejnymi szybami, podjęto się oceny parametrów hydrogeologicznych podkonozoicznych poziomów wodonośnych, stosując najbardziej wiarygodną metodę – próbnego pompowania.

Między innymi w ramach projektu I-More, realizowanego przez konsorcjum w składzie: KGHM Cuprum sp. z o.o. Centrum Badawczo-Rozwojowe, Przedsiębiorstwo Budowy Kopalń PeBeKa S.A., AGH, GIG i Politechnika Wrocławska, zaprojektowano i przeprowadzono badania hydrogeologiczne (próbnego pompowanie w hydrowężle), mające na celu ocenę możliwości zdrenowania utworów pstrygo piaskowca na potrzeby głębszych szybów. Pompowanie dwustopniowe w otworze S-789 prowadzono w sumie przez 60 dni, a rozwój depresji w czasie i przestrzeni obserwowano przy pomocy 3 piezometrów hydrowężla odległych od otworu pompowego o 65–128 m oraz 11 piezometrów zlokalizowanych w odległości do 13,8 km od centrum drenażu i zafiltrowanych w różnych horyzontach wodonośnych (tab. 9).

Taki układ badawczy jest optymalny do rozpoznania warunków panujących w danej warstwie wodonośnej oraz wskazuje potencjalne drogi przepływu wód podziemnych między poszczególnymi poziomami wodonośnymi. Dodatkową zaletą tego typu badań jest otrzymanie uśrednionych wyników współczynnika filtracji dla badanego interwału. Pozwala to na określenie rozwoju dopływów w czasie (ważne dla ośrodków o podwójnej porowatości, w których początkowy dopływ pochodzi ze szczelin i pustek skalnych, a późniejszy z odsączenia się wody z matrycy skalnej). Ponadto wyniki takich badań dają wiarygodny wsad («input») do modelowania numerycznego i pozwalają na prawidłową kalibrację modelu oraz opracowanie realnych prognoz dopływu do szybu.

**Tabela 9.** Lista punktów obserwacyjnych w czasie długotrwałego pompowania w utworach triasu w otworze S-789

**Table 9.** The list of groundwater table observation points during the long-term pumping test in the S-789 borehole

Numer punktu / Point No.	Ujmowany poziom wodonośny / Aquifer
S-439B_TP-3	górny pstry piaskowiec / Upper Buntsandstein
S-370	środkowy pstry piaskowiec Middle Buntsandstein
S-371	
H-29	
S-644	górny pstry piaskowiec / Upper Buntsandstein
S-421A	oligocen / Oligocene
S-790	wapień muszlowy / Muschelkalk
S-760	dolny i środkowy pstry piaskowiec / Middle and Lower Buntsandstein
S-759	wapień muszlowy / Muschelkalk
S-789	dolny i środkowy pstry piaskowiec / Middle and Lower Buntsandstein
S-744	wapień muszlowy / Muschelkalk
P1-Pp	dolny i środkowy pstry piaskowiec Middle and Lower Buntsandstein
P2-Pp	
P1-Wm	wapień muszlowy + ret / Muschelkalk + Roethian



## PODSUMOWANIE

Zaprezentowany w artykule przegląd metod badawczych na potrzeby określenia parametrów hydrogeologicznych warstw wodonośnych w rejonie projektowanych wyrobisk szybowych oraz metod prognozowania dopływów do szybu jednoznacznie wskazuje na ewolucję tych metod w kierunku coraz trudniejszych technicznie oraz dających bardziej wiarygodne wyniki. W obecnych czasach niemal niewyobrażalne jest prognozowanie dopływu do szybu bez modelowania numerycznego. Obliczenia metodą wzorów empirycznych można stosować jako uzupełnienie lub wstęp do modelowania numerycznego. Badania modelowe pozwalają na uwzględnienie zmienności rozkładu parametrów w wydzielonych warstwach obliczeniowych oraz kształtowanie i charakterystykę środowiska anizotropowego. Powoduje to bardziej precyzyjne odwzorowanie warunków panujących w rzeczywistości geologicznej, symulowanie na wytarowanym modelu różnych scenariuszy rozwoju dopływów wód w trakcie głębinienia szybu wraz z obszarem ich oddziaływania na górotwór. Takie podejście wymaga jednak wiarygodnych i kompleksowych parametrów pozyskanych w trakcie badań terenowych. Z przeprowadzonej analizy i doświadczeń z projektu I-More wynika, że jedyną metodą pozwalającą na kompleksową ocenę parametrów górotworu jest odpowiednio zaprojektowane i przeprowadzone pompowanie. Przy głębokościach rozpoznania rzędu 500–1000 m jest to metoda skomplikowana technicznie i kosztowna, jednak warta stosowania. Wiarygodna ocena warunków hydrogeologicznych, pozwala bowiem na uniknięcie jeszcze bardziej kosztownych i niebezpiecznych awarii związanych ze złe ocenionym zagrożeniem wodnym, co może skutkować wstrzymaniem prac w szybie lub w skrajnym przypadku może uniemożliwić dokończenie budowy. Potrzeby wynikające z konstrukcji modeli numerycznych powinny być uwzględnione na etapie projektowania badań hydrogeologicznych w otworach podszybowych tak, aby dostarczyć niezbędnych i pełnych informacji o parametrach zawodnienia górotworu w najbliższym sąsiedztwie planowanej inwestycji.

Autorzy dziękują Recenzentom za cenne merytoryczne uwagi, które zdecydowanie podniosły jakość niniejszej publikacji. Praca została wykonana w ramach projektu współfinansowanego przez NCBiR i KGHM Polska Miedź S.A. pt.: „Innowacyjne metody udostępniania złoża głębokiego” (nr CuBR/I/1/NCBiR/2014) w ramach przedsięwzięcia CuBR.

## LITERATURA

BOCHEŃSKA T., BORYSOW M. 1982 – Zastosowanie metod modelowania elektrohydrodynamicznego do prognozy zawodnienia szybów. *Tech. Posz. Geol., Geosyn. i Geoter.*, 3.  
 BUTRA J. 2005 – Rozwój górnictwa rud miedzi. *Rudy i Metale*, 50 (9): 481–484.  
 DĄBROWSKI S., PRZYBYŁEK J. 2005 – Metodyka próbnych pompowań w dokumentowaniu zasobów wód podziemnych. *Poradnik metodyczny. NFOŚiGW, Warszawa*, s. 18.  
 DROŻDŻAK R., TWARDOWSKI K. 2009 – Wpływ efektu skali na wyniki badań przepuszczalności porowatych ośrodków gruntowo-skalnych. *Wiertnictwo Nafta Gaz*: 26 (4): 599–611.  
 DUBIEL S. 2008 – Procedury opróbowania złóż ropy naftowej próbnikami rurowymi w procesie ich dowiercania. *Wiertnictwo Nafta Gaz*, 25 (1): 13–26.  
 DUBIEL S., CHRZĄSZCZ W., RZYCZNIK M. 2003 – Problemy opróbowania warstw perspektywicznych rurowymi próbnikami złoża. *Uczelniane Wyd. Naukowo-Dydaktyczne AGH, Kraków*.

DUBIEL S., FALKOWICZ S. 2001 – Wpływ płuczek wiertniczych zasolonych i solanek na zmiany przepuszczalności piaskowców gazonośnych w świetle badań laboratoryjnych. *Arch. Gór.*, 46 (3): 357–373.  
 DUBIEL S., ULIASZ-MISIAK B. 2010 – Przegląd wyników badań rurowymi próbnikami złoża mezozoicznych poziomów wodonośnych Niziu Polskiego. *Gosp. Sur. Miner.*, 26 (3): 67–84.  
 DUBIEL S., ULIASZ-MISIAK B. 2013 – Analiza statystyczna parametrów zbiornikowych utworów jury górnej-kredy dolnej zapadliska przedkarpacciego uzyskanych z testów RPZ i pomiarów geofizycznych. *Gosp. Sur. Miner.*, 29 (2): 119–134.  
 DUBIEL S., ULIASZ-MISIAK B. 2014 – Wykorzystanie testów DST w rozpoznaniu i udostępnianiu złóż węglowodorów na przykładzie utworów jury górnej – kredy dolnej zapadliska przedkarpacciego. *Gosp. Sur. Miner.*, 30 (3): 129–143.  
 DUBIEL S., ZUBRZYCKI A., RYBICKI CZ., MARUTA M. 2012 – Interpretacja testów wykonywanych rurowymi próbnikami złoża – RPZ w skałach węglanowych górnej Jury podłoża Zapadliska Przedkarpacciego. *Arch. Min. Sci.*, 57 (2): 413–424.  
 DUDA R. 2014 – Określenie głębokości zamrażania górotworu dla potrzeb głębinienia szybów w trudnych warunkach hydrogeologicznych i geotechnicznych. *Arch. Min. Sci.*, 59 (2): 517–528.  
 DZIEDZIAK J., BIELAWSKI A. 2005 – Dokumentacja warunków hydrogeologicznych w rejonie projektowanego Szybu SW-4 Kopalni Polkowice-Sieroszowice. *Przedsiębiorstwo Geologiczne PROXIMA S.A., Wrocław (niepubl.)*.  
 GRUSZECKI J., GOLCZAK I., PIKUŁA M. 2009 – Kompleksowa dokumentacja geologiczna rejonu projektowanego szybu GG-1. *Przedsiębiorstwo Geologiczne PROXIMA S.A., Wrocław*.  
 KALISZ M., NIEDBAŁ M. 2003 – Rozpoznanie zagrożenia wodnego w szybach KGHM Polska Miedź S.A. głębinionych w latach 1980–2003. *Prace CBPM „Cuprum” sp. z o. o. (OBR), Wrocław*.  
 KALISZ M., NIEDBAŁ M. 2004 – Wpływ odwadniania utworów triasowych w trakcie głębinienia szybu R-XI na warunki hydrodynamiczne i powierzchniowe w północnej części O.G. „Rudna”. [W:] *Materiały Sympozjum Naukowo-Technicznego „Problemy Hydrogeologiczne Górnictwa Rud Miedzi”*, Lubin: 148–160. *KGHM Polska Miedź S.A., TKP*.  
 KASIAK Z., PELCZAR A., PREIDL M. 1966 – Dokumentacja geologiczna rejonu szybów zachodnich kopalni Polkowice II. *Przedsiębiorstwo Geologiczne, Kraków*.  
 KOSMAŁSKI M., KULICKI J., STRUŻYŃSKI M. 2005 – Likwidacja zmożonego dopływu wody do szybu R-XI w Zakładach Górniczych Rudna. *Geoinżynieria i tunelowanie*, 1: 46–54.  
 KOZULA R. 1991 – Dokumentacja geologiczna rejonu projektowanego szybu R-XI kopalni Rudna. *Przedsiębiorstwo Geologiczne, Wrocław*.  
 MARKIEWICZ A., BANASZAK A. 2005 – Strukturalne uwarunkowania występowania zagrożenia wodnego w trakcie zgłębiania szybu R-XI (O/ZG „Rudna”). *Cuprum: Czasopismo Naukowo-Techniczne Górnictwa Rud*, 3: 77–98.  
 MARKIEWICZ A., KALISZ M., FARBISZ J., MICHALAK J. 2004 – Badania strukturalne pokrywy permsko-mezozoicznej w trakcie zgłębiania szybu R-XI, w celu wskazania zagrożeń wodnych i geotechnicznych. *Etap I: Budowa geologiczna kompleksu kenozoicznego i mezozoicznego. Prace CBPM „Cuprum” sp. z o. o. (OBR), Wrocław*.  
 PN-G-5016: 1997 – Szyby górnicze – Obudowa – Obciążenia.  
 RADO R., BUJOK P. 2010 – Chłonne otwory wiertnicze wykorzystywane w ochronie środowiska naturalnego i ich technika wykonania. *Górnictwo i geologia*, 5 (2): 181–192.  
 ROGOŹ M. 2004 – Hydrogeologia kopalniana z podstawami hydrogeologii ogólnej. *Wyd. GIG, Katowice*, s. 683.  
 ROGOŹ M., POSYŁEK E. 1988 – Ograniczenie ilości wód odprowadzanych z kopalń metodą recyrkulacji. *Zesz. Nauk. PŚI Gór.*, 172: 351–358.  
 SCHULZE-MAKUCH D., CHERKAUER D. S., 1996 – Variations in hydraulic conductivity with scale of measurement during aquifer tests in heterogeneous, porous carbonate rocks. *Hydrogeol. J.*, 6 (2): 204–215.  
 SZOSTAK L., GANCARZ R., DUBIEL S., 1978 – Dowiercanie i opróbowanie poziomów wodonośnych przy prawym obiegu płuczki. *Materiały z konferencji naukowo-technicznej Kombinatu Geologicznego „Północ”* nt. „Rozpoznanie wód podziemnych dla potrzeb gospodarki narodowej”. *Wyd. Geol., Warszawa*.  
 USTAWA o normalizacji z dn. 12.09.2002 r. *Dz.U.* z 2015 r. poz. 1483.  
 WILK Z., BOCHEŃSKA T. (red.) 2003 – Hydrogeologia polskich złóż kopalni i problemy wodne górnictwa. *Tom 2. Uczelniane Wyd. Naukowo-Dydaktyczne AGH, Kraków*.  
 ZIEMIANIN K., JĘDRZEJOWSKA-TYCZKOWSKA H. 2013 – Efekt skali w interpretacji geologicznej danych geofizycznych i analiz laboratoryjnych – wprowadzenie do tematyki oraz przykłady obliczeń na danych modelowych. *Nafta-Gaz*, 69 (10): 719–734.  
 Barenblatt G.I. 1954 – On some approximate methods in the theory of one-dimensional unsteady filtration in the elastic drive regime. *Izvestiya, USSR Academy of Sciences, Division of Technical Sciences*, 9: 35–49 (in Russian).