

Zastosowanie wybranych metod badań maszywów skalnych do oceny warunków hydrogeologicznych kopalń węgla kamiennego GZW

Przemysław Bukowski¹, Katarzyna Niedbalska¹, Iwona Augustyniak¹,
Andrzej Haładus², Karol Kura¹, Tadeusz Małaszuk¹

Selected methods of investigating the solid rock environment and their application in the assessment of hydrogeological conditions of hard coal mines in the Upper Silesian Coal Basin. *Prz. Geol.*, 65: 933–937.

Abstract. The paper characterizes selected methods of studying the sources of water hazard and solid rocks properties useful in the assessment of hydrogeological conditions of hard coal mines. Particular attention was paid to the measurement method of rock permeability using the unique PDPK-400 equipment in the assessment of filtration conditions and conditions of water flow in post-exploitation goafs and trough safety pillars. The possibilities of using an oedometer in the evaluation of permeability of post-exploitation goafs have been indicated. The usefulness of some investigation methods of the rock environment as sources of input data for numerical modelling of filtration have also been shown.

Keywords: mining hydrogeology, assessment of hydrogeological conditions, water hazard, rock properties, investigation methods

Od 1994 r. w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym są prowadzone działania restrukturyzacyjne, polegające głównie na likwidacji i częściowym lub całkowitym zatapaniu kopalń. Zbiorniki wód podziemnych, jakie utworzono w dawnych wyrobiskach górniczych, wpływają na kształtowanie się właściwości środowiska skalnego i zmieniają warunki hydrogeologiczne wokół położonych w pobliżu czynnych kopalń, zmniejszają m.in. zasięg wytwarzanego wokół nich leja depresji (Bukowski, Bukowska, 2012). Niekiedy zmiany te przebiegają bardzo dynamicznie i wpływają na stan zagrożeń wodnych w czynnych kopalniach (Bukowski, 2015).

Doświadczenia z likwidacji kopalń w Dolnośląskim Zagłębiu Węglowym (DZW), zdobyte na początku lat 90. XX w., nie mogły być wprost przyjęte do procesu restrukturyzacji górnictwa w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym (GZW). Przyczyną były odmienne warunki naturalne i górnicze w obu zagłębiach oraz różnice w skali prowadzonej działalności górniczej i likwidacyjnej. Na Dolnym Śląsku zlikwidowano ostatecznie wszystkie kopalnie węgla kamiennego, podczas gdy w GZW koegzystują kopalnie czynne, zlikwidowane całkowicie oraz zlikwidowane i nadal odwadniane.

Potrzebę oceny warunków hydrogeologicznych, zwłaszcza w istotnym stopniu zmienionych przez eksploatację górnictw, dostrzeżono we wczesnych latach powojennych i już wówczas rozpoczęto poszukiwania odpowiednich do tego metod badawczych. Scharakteryzowanie wpływu górnictwa na zasoby i jakość wód nie mogło się ograniczać do rozpoznania parametrów górotworu otaczającego wyrobiska górnicze, lecz musiało również objąć przestrzenie powstałe w wyniku eksploatacji górniczej, które w procesie zatapiania kopalń są wypełniane wodą (Rogoż, 2004; Bukowski, 2010). W ocenie warunków hydrogeologicznych, zwłaszcza górotworu oddzielającego poszczególne kopalnie, przydatne okazały się metody badania środowiska skalnego łączące badania właściwości hydrogeologicz-

nych skał otaczających wyrobiska z ich właściwościami geomechanicznymi (Augustyniak i in., 2017).

ROZWÓJ LABORATORYJNYCH METOD BADAŃ ŚRODOWISKA SKALNEGO W HYDROGEOLOGII GÓRNICZEJ

Niektóre trudności w ustalaniu warunków hydrogeologicznych, stanu zagrożeń wodnych graniczących ze sobą kopalń oraz czynniki niepewności w ocenie krążenia wód kopalnianych stały się przyczyną poszukiwań metod badań i sposobów oceny zawodnienia kopalń i maszywów skalnych. Poszukiwano takich metod badawczych, za pomocą których można by było dokładnie określić zasoby wód podziemnych, natężenie dopływu wód do kopalń i ciśnienie wody w otoczeniu wyrobisk górniczych. Tradycyjne metody badań, opracowane dla obszarów pozagórnicznych, często okazywały się niewystarczające lub mało dokładne, zwłaszcza w odniesieniu do oceny fizykomechanicznych lub zbiornikowych właściwości maszywów skalnych, m.in. ich przepuszczalności i odsączalności. W miarę pojawiania się nowych urządzeń do badań laboratoryjnych, takich jak wirówki, wagosuszarki, pompy infuzyjne i próżniowe itp., były opracowywane coraz nowsze metody badania skał i gruntów oraz oceny ich właściwości. Na przykład do oceny odsączalności skał zwięzłych stosowano metody: prędkości parowania, odwirowania, drenażu kapilarnego i przeciwstawną do niej metodę nasycania kapilarnego skał (Rogoż, 2004). Oryginalną próbą oceny rzeczywistej efektywności drenażu górniczego było opracowanie przez Wilka i Szwabowicz (1965) metody wskaźnika i stopnia odsączenia skał zwięzłych.

Do oceny przepuszczalności skał luźnych stosuje się różne metody polowe, laboratoryjne i obliczeniowe. Wiarygodna laboratoryjna ocena przepuszczalności skał zwięzłych jest o wiele trudniejsza. Do wyboru pozostają metody z zastosowaniem różnych płynów aplikowanych w

¹ Główny Instytut Górnictwa w Katowicach, pl. Gwarków 1, 40-166 Katowice; pbukowski@gig.eu.

² AGH – Akademia Górniczo-Hutnicza im. S. Staszica w Krakowie, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków.

warunkach ciśnieniowych lub podciśnieniowych (patrz Rogoż, 2004). Jednym z najnowszych urządzeń służących do pomiaru przepuszczalności skał zwięzłych jest aparat PDPK-400 firmy Micrometrics, wykorzystujący ciśnieniową metodę właczania azotu w matrycę skalną (Augustyniak i in., 2015).

Oznaczanie odsączalności i przepuszczalności masywu skalnego ma istotne znaczenie dla wymiarowania systemów odwadniania kopalń, oceny zasobów wody w górotworze otaczającym wyrobiska górnicze oraz czasu i wydajności ich drenażu. Parametry te wykorzystuje się także w ocenie przepuszczalności filarów granicznych i filarów bezpieczeństwa oraz w ocenie warstw wodonośnych jako potencjalnych źródeł zagrożenia wodnego. Dokładne oznaczenie ich wartości odgrywa istotną rolę w analizach prowadzonych w celu oceny warunków hydrogeologicznych kopalń, jednak stanowi zaledwie ułamek tych analiz i nie umożliwia prawidłowej oceny pojemności wodnej górotworu oraz prognozy przebiegu zatapiania zrobów (Bukowski, 2002).

W ramach badań prowadzonych na potrzeby hydrogeologii górniczej opracowano kilka metod badania przepuszczalności skał, a także rumoszu skalnego stanowiącego budulec kolumn zasypywanych w trakcie likwidacji szybów górniczych (Bromek, Bukowski, 2002). Niektóre z tych metod mogą być wykorzystane także do opisu warunków geomechanicznych, które niejednokrotnie decydują o kształtowaniu się warunków hydrogeologicznych w kopalniach podziemnych i o zawodnieniu wyrobisk górniczych. Przykładem może być metoda oznaczania odsączalności skał zwięzłych poprzez nasycanie kapilarne, która została wykorzystana w badaniach geomechanicznych do oceny osłabienia skał filarów bezpieczeństwa i filarów granicznych (Bukowski, 2010) oraz poeksploatacyjnych zrobów zawałowych (Haładus i in., 2005).

BADANIA POŁOWE I OCENA PRZEBIEGU ZATAPIANIA KOPALŃ

Od końca II wojny światowej, kiedy rozpoczęto odwadnianie zatopionych kopalń węgla, poszukiwano możliwie najbardziej dokładnych metod oceny zasobów wodnych górotworu zruszonego eksploatacją górniczą. Dopiero opracowanie zasad obliczania współczynnika pojemności wodnej zrobów poeksploatacyjnych c (Rogoż, 1974) jako skutku eksploatacji górniczej prowadzonej różnymi systemami eksploatacji i likwidacji przestrzeni poeksploatacyjnej, w różnym otoczeniu skalnym, na różnych głębokościach, charakterystycznych dla górnictwa lat 60. i 70. XX w., umożliwiło lepsze prognozowanie procesów drenażu zatopionych wyrobisk górniczych. Parametr ten został oznaczony przez obserwację procesu odwadniania kilkudziesięciu zbiorników wodnych w zrobach istniejących dłużej niż 5 lat, a następnie statystycznie opracowany jako parametr uśredniony dla zrobów poeksploatacyjnych w GZW. Współczynnik c określa się jako iloraz ilości wody odprowadzonej z odwadnianego zbiornika lub zrobów (Vz) w określonym zakresie rzędnych oraz objętości wyeksploatowanego pokładu (Vp), określonej dla tego samego interwału głębokości, co w obliczeniach prognostycznych pozwala określić pojemność zbiornika jako iloczyn współczynnika c i objętości wyeksploatowa-

nego pokładu, czyli wytworzonej wolnej przestrzeni w górotworze ($Vz = c \times Vp$).

Współczynnik c nadal jest stosowany w obliczeniach, pomimo istotnych niekiedy rozbieżności pomiędzy szacowaną a faktyczną pojemnością zbiorników wodnych. Bardzo często zdarza się, że z powodu zróżnicowania właściwości fizykomechanicznych skał otoczenia wyrobisk z głębokością (Bukowska, 2012) oraz w wyniku przyjmowania prawdopodobnej, teoretycznej wartości c dla zrobów poddanych pełnemu ciśnieniu pionowemu górotworu, wyniki obliczeń pojemności zbiornika wodnego w zrobach z zastosowaniem tego parametru są zaniżone (nawet wielokrotnie).

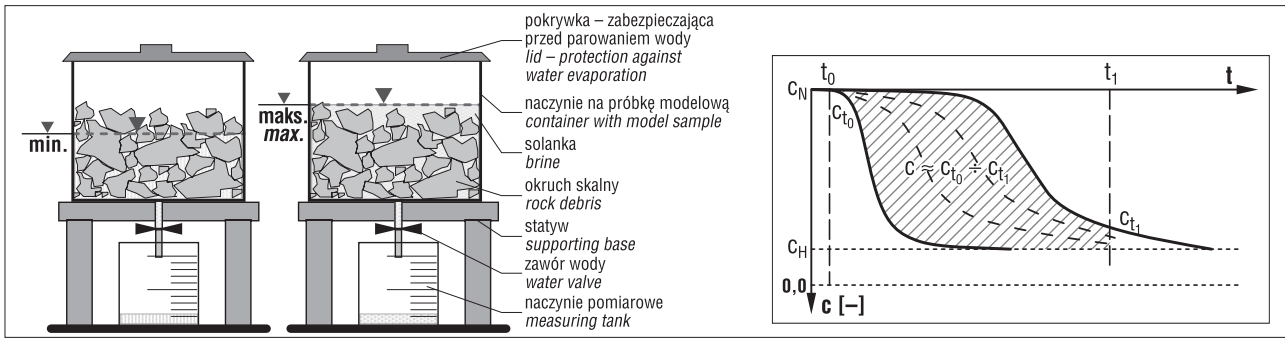
W celu zniwelowania błędów w ocenie pojemności wodnej zrobów wprowadzono do obliczeń tzw. wskaźnik chłonności wodnej górotworu, który koryguje pojemność zbiorników wodnych. Został on opracowany na podstawie wyników obserwacji procesu odwrotnego, czyli zatapiania wyrobisk górniczych w określonym środowisku geologicznym, na określonej głębokości i w zakresie rzędnych ze znanym dopływem wody, w określonym czasie (Bukowski, 2010). Rezultaty tych badań wskazują, że występuje różnica w objętości wody odprowadzonej drenażem ze zbiornika w stosunku do objętości wody wprowadzonej do tej samej przestrzeni.

Wartość wskaźnika chłonności górotworu zmienia się w zależności od wielkości składowych pojemnościowych przyjętych do analizy procesu zatapiania wyrobisk górniczych. Jest również zależna od dokładności określenia dopływu wody i od lokalnych warunków i właściwości środowiska skalnego. W utworach karbonu produktywnego GZW zmienia się ona w szerokich granicach – od 0,9 w krakowskiej serii piaskowcowej do blisko 5,0 w utworach serii paralicznej (Bukowski, 2002). Ponieważ wskaźnik ten jest mnożnikiem we wzorze na pojemność wodną zbiornika, oznacza to, że rzeczywista pojemność zbiornika może być do 5 razy większa niż obliczona jedynie z zastosowaniem samego współczynnika c . Ma to bardzo duże znaczenie dla analizy źródła zagrożenia wodnego, przewidywanej wielkości zbiornika koniecznego do zdrenowania i czasu drenażu, jak również dla oszacowania kosztów odwadniania i kosztów środowiskowych zrzutu wód. Pojemność zbiornika jest ważna w oszacowaniach potencjału energetycznego wód kopalnianych itp. Jako uzupełnienie po 2000 r. opracowano kilka nowych metod badań i oceny wodochłonności, ściśliwości i przepuszczalności rumoszy skalnych.

WYBRANE NOWE METODY BADAŃ STOSOWANE W HYDROGEOLOGII GÓRNICZEJ

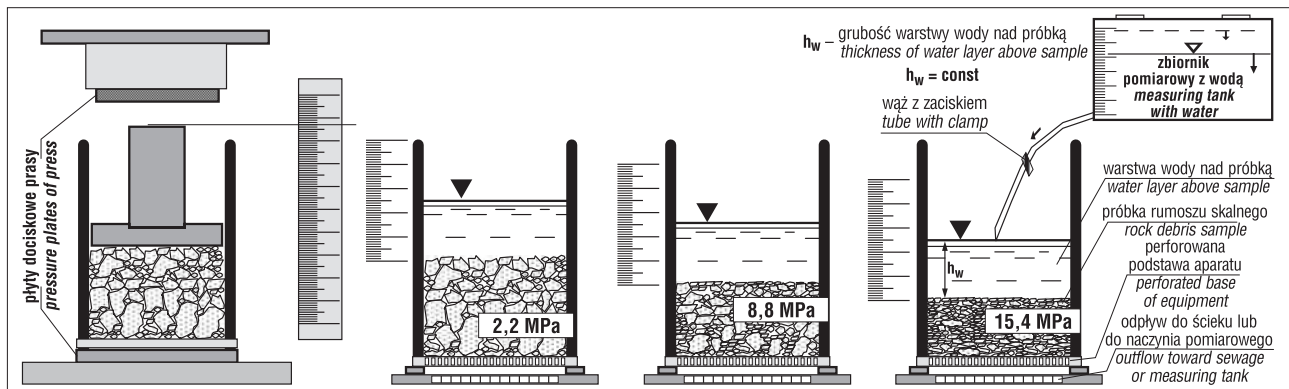
Ze względu na zmieniające się warunki hydrogeologiczne w kopalniach węgla GZW znaczącej roli nabiera badanie przepuszczalności skał i górotworu karbońskiego. Wyniki tych badań są potrzebne do określenia stanu bezpieczeństwa czynnych wyrobisk, a także do przewidzenia natężenia filtracji wody do rejonów odwadniania poprzez zroby i naruszone oraz nienaruszone eksploatacją górniczą fragmenty calizny górotworu.

W celu oceny wodochłonności rozpoczęto fizykomechaniczne badania skał o znanym rozkładzie ziarnowym i składzie petrograficznym, na próbkach o masie od kilkunastu do kilkudziesięciu kilogramów (ryc. 1). Po



Ryc. 1. Schemat stanowiska do oznaczania wodochłonności rumoszy skalnych i początkowej wartości współczynnika pojemności wodnej zrobów c (Bukowski, 2010)

Fig. 1. Scheme of the stand for assessment of the water absorption of rock debris and the initial value of the water storage capacity index of goafs c (Bukowski, 2010)



Ryc. 2. Schemat aparatu do badania przepuszczalności i ściśliwości oraz zmian pojemności rumoszy skalnych pod wpływem ciśnienia pionowego (wg Bromka, Bukowskiego, 2002)

Fig. 2. Scheme of the apparatus for measuring permeability, compressibility and changes of water storage capacity of the rock debris under vertical pressure (after Bromek, Bukowski, 2002)

odpowiednim przygotowaniu próbki skał zalewano wodą, a następnie odsączano bez poddawania ich ciśnieniu pionowemu. Wyniki testów odniesiono do pojemności wodnej tzw. świeżych zrobów zawałowych i do początkowej wartości współczynnika c (Bukowski, 2010). W badaniu tym, w zależności od potrzeby, można też zasymulować pionowe ciśnienie skąd wyżej ległych na zroby lub zasypywowe, zadając ciśnienie, jakie wywiera nasyp lub górotwór na różnych głębokościach. Taka metoda oceny wodochłonności masywów skalnych może być stosowana w badaniach środowiskowych do oznaczania pojemności nasypów formowanych z karbońskiej skały płonnej (Gwoździewicz, Bukowska, 2012).

Przepuszczalność i ściśliwość materiałów skalnych używanych do likwidacji zbędnych wyrobisk szybowych można też badać za pomocą edometru (ryc. 2) opracowanego przez Bromka i Bukowskiego (2002). Metoda ta, wykorzystująca zasadę tzw. rurki Kamieńskiego, może z powodzeniem służyć do oceny zmian przepuszczalności, a także orientacyjnej pojemności wodnej rumoszy zawałowych i np. podziemnych zwałowisk materiałów skalnych, w zależności od ciśnienia górotworu lub luźnych skał nadległych. Ten sposób badania środowiska skalnego umożliwia np. utworzenie wiarygodnego, numerycznego modelu bryły zwałowiska i stanu jego zawodnienia.

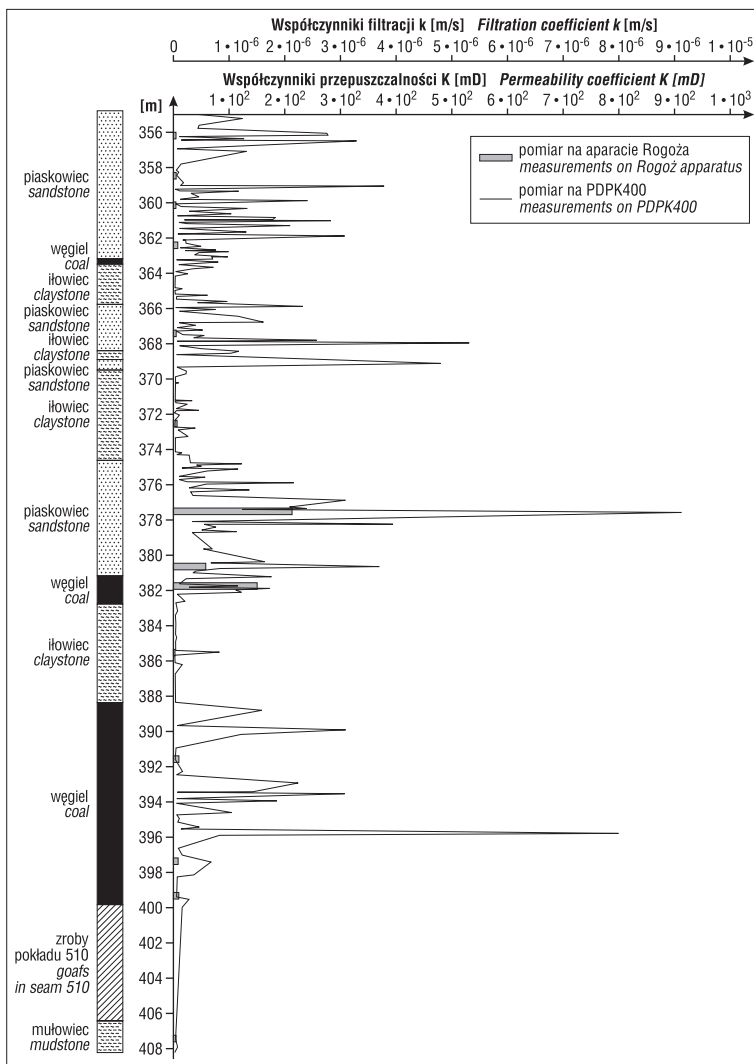
Opracowano kilka laboratoryjnych metod oznaczania przepuszczalności skał zwięzłych, są to między innymi: metoda Dulińskiego (1965), metoda gazoprzepuszczalności podciśnieniowej (Rogoż, 1975) i metoda *flow-pump*



Ryc. 3. Przepuszczalnościomierz PDPK-400: głowica aparatu podczas badania próbki (Augustyniak i in., 2017)

Fig. 3. Permeameter PDPK-400: probe during sample measuring (Augustyniak et al., 2017)

(Herzig, Szczepańska, 1995). Najnowocześniejszym i uniikatowym urządzeniem umożliwiającym oznaczanie przepuszczalności skał zwięzłych w dowolnym kierunku względem uławicenia jest zautomatyzowany przepuszczalnościomierz PDPK-400 firmy Micrometrics (Augustyniak i in., 2015; Augustyniak i in., 2017). Działanie tego aparatu (ryc. 3) opiera się na zasadzie ciśnieniowego wtłaczania gazu (zwykle azotu) do matrycy skalnej oraz na



Ryc. 4. Wynik profilowania przepuszczalności utworów karbonu produktywnego w GZW (Augustyniak i in., 2017)
Fig. 4. Result of exemplary profiling of rock permeability for selected section of borehole within the Carboniferous deposits in the Upper Silesian Coal Basin (Augustyniak et al., 2017)

pomiarze spadku ciśnienia gazu w funkcji czasu. Jest on stosowany do wykonywania pomiarów przepuszczalności próbki skalnej w zaznaczonym punkcie pomiarowym i umożliwia profilowanie przepuszczalności skał na dowolnie wybranym odcinku rdzenia wiertniczego (ryc. 4).

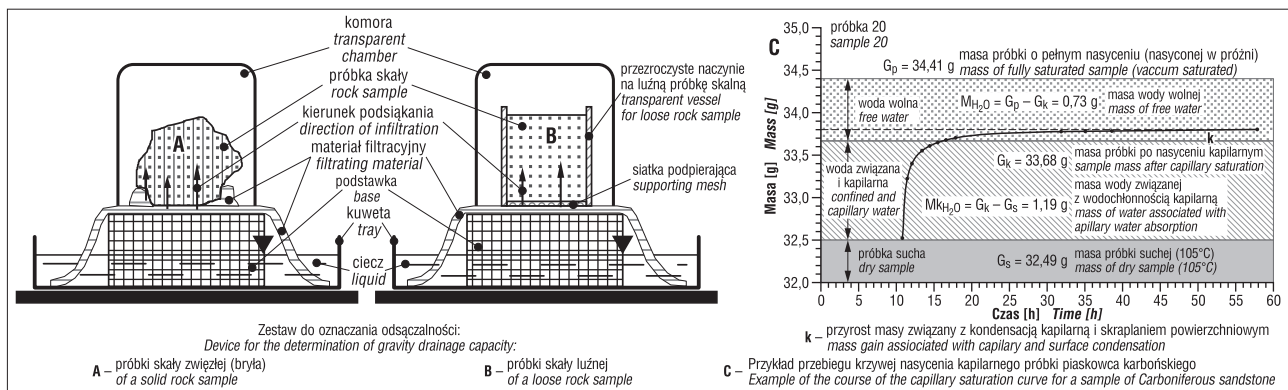
porów o wymiarach ponadkapilarnych. Przyjęto, że w wyniku stałego zasilania górotworu w wodę nie ulegnie on całkowitemu odwodnieniu, a w stanie naturalnym przeciętny stan wilgotności w zdrenowanym górotworze będzie odpowiadał wilgotności kapilarnej skał.

Pomiary przepuszczalności są wyrażone współczynnikiem przepuszczalności K , automatycznie obliczanym przez oprogramowanie.

Aparat PDPK-400 charakteryzuje się szerokim zakresem pomiarowym – od 0,001 milidarcy do ponad 30 darcy. Pomiar w jednym punkcie pomiarowym można przeprowadzić dokładnie i szybko – w czasie od 2 do 35 sekund.

Pojedynczą próbkę jednorodnej skały w stanie powietrzno-suchym, o równej i gładkiej powierzchni (np. rdzeń wiertniczy, wyciętą kształtkę, zgład), można poddać dowolnej liczbie jednostkowych pomiarów przepuszczalności. Na podstawie zbioru wyników pomiarów oblicza się średnią wartość przepuszczalności skały. W oznaczeniach tych długość możliwego do zbadania rdzenia wiertniczego lub liczbę próbek limituje jedynie zadawany krok badawczy i konieczność uzupełniania butli z gazem używanym do badań. Badanie to nie powoduje zniszczenia badanej próbki lub rdzenia. Współczynniki przepuszczalności K , wyrażone w milidarcy, przelicza się automatycznie na współczynniki filtracji k , wyrażone w metrach na sekundę.

Z końcem lat 90. XX w. podjęto prace zmierzające do wyjaśnienia wpływu chłonności wodnej górotworu na przebieg procesu zatapiania kopalń oraz do opracowania nowych, dokładniejszych metod wyznaczania parametrów hydrogeologicznych skał. Oceniając pojemność wodną skał górotworu odwodnionego w wyniku drenażu górniczego oraz spodziewaną objętość wód, którą skały te ponownie mogą wchłonąć w procesie zatapiania likwidowanych kopalń, opracowano metodę oznaczania odsączalności grawitacyjnej skał zwięzłych (ryc. 5). Metoda ta wykorzystuje zjawisko kapilarności czynnej ośrodka skalnego do określenia stanu jego wilgotności, a po doprowadzeniu skały do stanu saturacji umożliwia wyznaczenie w niej zawartości wody wolnej i objętości



Ryc. 5. Zestaw laboratoryjny do oznaczania odsączalności skał metodą nasycenia kapilarnego wraz z przykładowym wykresem przebiegu badania (Bukowski, 2010)
Fig. 5. Laboratory equipment for determining drainage water capacity using the capillary saturation method with exemplary graph of a test curve (Bukowski, 2010)

Założenie to stało się podstawą opracowania tzw. wagowej metody nasywania kapilarnego (patrz Bukowski, 2010) i jest wykorzystywane w badaniach gomechanicznych skał nasyconych wodą (Haładus i in., 2005; Bukowska, 2012). Metoda ta służy do oznaczania ilości wody zawartej w skale i umożliwia wyeliminowanie czynnika sztucznego, stosowanego zwykle do odsączenia wody z badanej próbki skalnej (siły odśrodkowej, temperatury, materiału higroskopijnego, związku chemicznego itp.). Istnieje także możliwość wyeliminowania wpływu czynnika czasu na wynik badania (np. w metodzie odwirowania). Zasady działania, wady i zalety metody opisali Rogoż (2004) i Bukowski (2010).

PODSUMOWANIE

Metody badania i dokumentowania warunków hydrogeologicznych wokół kopalń węgla kamiennego oraz wykonywane oceny i prognozy powinny nadążać za zmieniającymi się warunkami funkcjonowania górnictwa i postępowaniem technicznym. W ostatnich latach restrukturyzacja górnictwa stała się przyczyną intensyfikacji prac nad narzędziami badawczymi dedykowanymi ocenie warunków hydrogeologicznych w kopalniach, ze szczególnym uwzględnieniem zagrożeń wodnych. W ich wyniku zmodyfikowano lub opracowano nowe metody badań o szerokim zastosowaniu w hydrogeologii górniczej i inżynierii środowiska. Prowadząc badania z ich zastosowaniem stwierdzono, że:

- nowo opracowane metody badań mają zastosowanie nie tylko w hydrogeologii górniczej, ale mogą też być wykorzystane w inżynierii środowiska do oceny różnego typu zagrożeń wynikających ze zmiany warunków hydrogeologicznych, w lepszej ocenie zasobów wód i energii wód, w przewidywaniu skali ewentualnego zanieczyszczenia wód, planowaniu inwestycji i sposobu odwadniania oraz udostępniania złóż, jak również w planowaniu wykorzystania wód do celów gospodarczych.
- stosowanie opisanych w tym artykule metod badań może posłużyć do pozyskiwania nowych danych i weryfikacji starych, przyczyniając się do poprawy konstrukcji modeli numerycznych warunków hydrogeologicznych, a także do weryfikacji starych i opracowania nowych klasyfikacji hydrogeologicznych, zwłaszcza dla kopalń podziemnych.

Należy podkreślić, że w ostatnich latach nastąpiła stagnacja w tworzeniu nowych metod badań hydrogeologicznych, a zarysował się postęp w budowie i konstrukcji zaawansowanych technologicznie narzędzi badawczych. Wśród wielu metod badań opracowanych dla górnictwa w ostatnich kilkunastu – kilkudziesięciu latach zwraca się ostatnio uwagę na nową metodę badania odsączalności

skał (poprzez nasywanie kapilarne), jako narzędzie oceny zasobów statycznych wód wodonośca zbudowanego z porowatych skał zwięzłych; metodę edometryczną badania przepuszczalności i ściśliwości rumoszy skalnych i na zaawansowaną technicznie aparaturę PDPK-400 do badania przepuszczalności skał zwięzłych oraz profilowania przepuszczalności rdzeni wiertniczych. Ich zastosowanie w hydrogeologii i inżynierii środowiska może poprawić dokładność ocen, prognoz i modeli środowiskowych oraz hydrogeologicznych.

Autorzy dziękują Recenzentom za cenne uwagi wniesione do treści pracy.

LITERATURA

- AUGUSTYNIAK I., NIEDBALSKA K., BUKOWSKI P. 2015 – Some methods of hydrogeological properties evaluation and their use in mine flooding forecasts. 15th International Multidisciplinary Scientific Geconference SGEM 2015. Science and technologies in geology, exploration and mining, vol. II, Bulgaria, Albena: 717–724.
- AUGUSTYNIAK I., NIEDBALSKA K., BUKOWSKI P., MAŁASZUK T. 2017 – Analiza porównawcza wybranych metod oznaczenia przepuszczalności skał zwięzłych w ocenie warunków hydrogeologicznych i metanowych kopalń podziemnych. [W:] Hydrogeologia w praktyce – praktyka w hydrogeologii, Bukowski P., Krogulec E., Szczepiński J. (red.), Polanica-Zdrój 14–17 maja. Wyd. GIG, Katowice – w druku.
- BROMEK T., BUKOWSKI P. 2002 – Ocena przepuszczalności materiałów zasypowych używanych do likwidacji szybów kopalnianych. *Prz. Gór.*, 11: 18–23.
- BUKOWSKA M. 2012 – The rockbursts in the Upper Silesian Coal Basin in Poland. *J. Mining Sc.*, 48 (3): 445–456.
- BUKOWSKI P. 2002 – Chłonność wodna górotworu karbońskiego i jej wpływ na przebieg zatapiania wyrobisk górniczych kopalń węgla kamiennego w GZW. Wyd. PWN, Arch. Gór., 47: 385–412.
- BUKOWSKI P. 2010 – Prognozowanie zagrożenia wodnego związanego z zatapianiem wyrobisk górniczych kopalń węgla kamiennego. *Pr. Nauk. GIG, Stud. Rozpr. Monogr.*, 882: 214.
- BUKOWSKI P. 2015 – Evaluation of Water Hazard in Hard Coal Mines in Changing Conditions of Functioning of Mining Industry in Upper Silesian Coal Basin – USCB (Poland). *Arch. Min. Sci.*, 60 (2): 455–475.
- BUKOWSKI P., BUKOWSKA M. 2012 – Changes of some of mechanical properties of rocks and rock mass in conditions of mine exploration and mine workings flooding. *AGH J. Mining and Geoenig.*, 36 (1): 57–67.
- DULIŃSKI W. 1965 – Aparat do badania przepuszczalności z uszczelnieniem pneumatycznym. *Wiad. Naft.*, 7: 117–118, 8: 163–164.
- GWOŹDZIEWICZ M., BUKOWSKA M. 2012 – Zmiany współczynnika filtracji różnowiekowych odpadów wydobywczych w bryle składowiska „Bogdanka” w świetle badań modelowych oraz *in situ*. *Pr. Nauk. GIG, Górnictwo i Środowisko*, 1: 47–62.
- HAŁADUS A., BUKOWSKI P., BUKOWSKA M. 2005 – Zmodyfikowana ocena źródeł zagrożeń wodnych w kopalniach węgla kamiennego. *Bezp. Pracy i Ochr. Środ. w Górn.*, 6 (130): 45–47.
- HERZIG J., SZCZEPAŃSKA J. 1995 – Zastosowanie metody *flow-pump* do badań współczynnika filtracji w gruntach słabo przepuszczalnych. Współczesne problemy hydrogeologii, t. VII, Kraków–Krynica, Wyd. AGH, Kraków.
- ROGOŹ M. 1975 – Urządzenie do oznaczania przepuszczalności skał zwięzłych. *Prz. Gór.*, 7–8: 289–291.
- ROGOŹ M. 2004 – Problemy hydrogeologiczne w polskich kopalniach węgla kamiennego. Wyd. GIG, Katowice: 402.
- WILK Z., SZWABOWICZ B. 1965 – Badania laboratoryjne niektórych własności hydrogeologicznych piaskowców warstw łaziskich i libiąskich (górny karbon). *Zesz. Nauk. AGH nr 81, Geologia*, 6: 127–180.