

## WYBRANE METODY BADAŃ WŁAŚCIWOŚCI HYDROGEOLOGICZNYCH SKAŁ JAKO WSPARCIE DLA MODELOWANIA WARUNKÓW KRĄŻENIA WÓD W REJONIE REKULTYWOWANEGO WYROBISKA ODKRYWKOWEGO

### SELECTED METHODS OF TESTING HYDROGEOLOGICAL FEATURES OF ROCKS AS A SUPPORT FOR GROUNDWATER FLOW MODELLING NEAR A RECLAIMED OPEN PIT

KATARZYNA NIEDBALSKA<sup>1</sup>, PRZEMYSŁAW BUKOWSKI<sup>1</sup>, IWONA AUGUSTYNIAK<sup>1</sup>

**Abstrakt.** Odpowiedni sposób wypełniania wyrobiska odkrywkowego skałą płoną może bardzo utrudnić przepływ wód w obrębie bryły zwałowiska i może stanowić jedną z najskuteczniejszych metod ograniczania wymywania zanieczyszczeń i ich migracji do warstwy wodonośnej. W prognozowaniu krążenia wód, jak również dynamiki procesu wymywania zanieczyszczeń i ich migracji oraz czynników je warunkujących zastosowanie znajdują programy do modelowania numerycznego, które pozwalają na ocenę warunków rzeczywistych i śledzenie zmian procesów w czasie. Badania modelowe stosowane do oceny wpływu rekultywacji wyrobiska odkrywkowego skałą płoną z kopalń węgla kamiennego na środowisko wodne powinny być wspierane przez kompleks najnowszych, jednolitych i wzajemnie komplementarnych metod badania materiałów skalnych. Tworzone modele numeryczne przepływu wód podziemnych i migracji zanieczyszczeń wymagają m.in. danych dotyczących właściwości hydrogeologicznych skał budujących zwałowisko. Ich źródłem są zarówno wyniki badań polowych, jak i laboratoryjnych. Istotnym elementem w prognozowaniu oddziaływania na wody podziemne odpadów pogórnictwa stosowanych w rekultywacji wyrobisk odkrywkowych jest przeprowadzenie ilościowej oceny wodochłonności materiału stosowanego w rekultywacji (głównie skał karbońskich) i objętości wolnych przestrzeni rumoszu skalnego jako strefy szczególnie podatnej na wietrzenie minerałów i wymywanie zanieczyszczeń. Badania te muszą być prowadzone równocześnie z symulowaniem w skali laboratoryjnej zmian wartości współczynnika filtracji materiałów luźnych w zależności od miąższości zwałowiska i zmian ciśnienia pionowego wywieranego przez skały nadsypywane w trakcie rekultywacji. Na przykładzie badań prowadzonych na materiale wypełniającym wyrobisko po eksploatacji piasku podsadzowego, autorzy zaproponowali dostosowanie metod badawczych pierwotnie opracowanych na potrzeby prognozowania zagrożeń wodnych w szybach i wyrobiskach podziemnych zakładów górnictwa do potrzeb oceny zmian warunków krążenia wód w obrębie zwałowiska.

**Słowa kluczowe:** badania laboratoryjne, rekultywacja wyrobiska odkrywkowego, odpady pogórnictwa, warunki hydrodynamiczne, migracja zanieczyszczeń.

**Abstract.** An appropriate method of depositing post-mining waste can impede very significantly the water flow within the landfill and be one of the most effective methods of limiting the leaching of pollutants and their migration to the aquifer. The forecasting of water circulation and the dynamics of the process of pollutants leaching and their migration is supported by numerical modelling programs that allow assessing real conditions to follow changes in the processes over time. In case of reclamation of an open pit with post-mining wastes from hard coal mines, model research for the assessment of its impact on the aquatic environment should be supported by a complex of modern, uniform and mutually complementary methods of testing rock materials. The numerical models of groundwater flow and migration of pollutants required, among others, data on hydrogeological properties of rocks deposited in a storage site. They are based on both the results of field and laboratory tests. An important element in forecasting the impact of post-mining waste used in the reclamation of an open pit on groundwater is the quantitative assessment of the absorptive capacity of deposited wastes (mainly Carboniferous rocks) and the volume of free spaces of rock debris as a zone particularly susceptible to mineral weathering and pollution leaching. These tests must be carried out simultaneously with the simulation, in the laboratory, of changes in the filtration coefficient of loose materials depending on the thickness of the dump and changes in the vertical pressure exerted by rocks filled up during reclamation. Based on the example of research

<sup>1</sup> Główny Instytut Górnictwa, Plac Gwarków 1, 40-166 Katowice; e-mail: kniedbalska@gig.eu.

conducted on the material stored in the excavation after exploitation of backfilling sand, the authors proposed to adapt the research methods originally developed for the purposes of forecasting water hazards in mine shafts and underground excavations for the need of assessing changes in water circulation conditions within the dump.

**Key words:** laboratory studies, open pit reclamation, post-mining wastes, hydrodynamic conditions, pollutants migrations.

## WSTĘP

Rekultywacja wyrobiska odkrywkowego poprzez całkowite jego wypełnienie materiałem skalnym powinna być prowadzona w sposób ograniczający infiltrację i przepływ wód podziemnych w obrębie bryły zwałowiska, a tym samym wmywanie zanieczyszczeń i ich migrację w warstwie wodonośnej. Najdokładniejszymi narzędziami do diagnozy rzeczywistych i prognozowanych warunków dynamiki przepływu wód i zanieczyszczeń są programy do modelowania numerycznego. Badania modelowe mające na celu ocenę wpływu rekultywacji wyrobiska odkrywkowego skałą płoną z kopalń węgla kamiennego na środowisko wodne powinny być wykonywane na podstawie danych pochodzących z badanego obszaru i obiektu, które w możliwie najbardziej dokładny sposób będą odwzorowywać warunki występujące *in situ*. Pozyskiwanie tego rodzaju danych powinno być oparte nie tylko na wyczuciu i doświadczeniu operatora programu modelowego, lecz także na znajomości zjawisk zachodzących w bryle zwałowiska wskutek zastosowania określonych technologii do jego budowy. W obrębie zwałowiska tworzą się skomplikowane warunki hydrogeologiczne, na ogół bardzo słabo rozpoznane pod względem parametrycznym. Pomimo że wyniki badań właściwości materiału skalnego stosowanego w rekultywacji odkrywki dotyczą oznaczania opisujących je parametrów w skali laboratoryjnej, stanowią bardzo cenne i często jedyne źródło informacji, co umożliwi bardziej wiarygodne odwzorowanie na modelu rzeczywistych warunków hydrogeologicznych. Mogą także wpłynąć na ostateczną postać modelu koncepcyjnego warunków hydrogeologicznych, stanowiącego podstawę do budowy numerycznych modeli hydrodynamicznych i migracji zanieczyszczeń.

Ilościowa ocena parametrów pojemnościowych rumożu skalnego (głównie wodochłonności i objętości wolnych przestrzeni) jest kluczowa w prognozowaniu wpływu deponowanych materiałów (skał karbońskich) na środowisko wód podziemnych. Zwałowisko skał zwięzłych stanowi strefę szczególnie podatną na wietrzenie skał i minerałów oraz wmywanie zanieczyszczeń, a także jest to ośrodek o wysokim stopniu trudności w doborze parametrów do modelowania warunków filtracji wód.

Formowanie zwałowiska w zależności od docelowej jego miąższości będzie generowało zmiany ciśnienia pionowego wywieranego przez skały nadsypywane w trakcie rekultywacji wyrobiska odkrywkowego na położone niżej warstwy materiału. O porowatości i przepuszczalności materiału, stanowiącego zwałowisko, będą zatem decydowały właściwości fizykomechaniczne skał budujących zwał oraz ciśnienie pionowe. Stąd pozyskiwanie danych do analiz

komputerowych powinno uwzględniać dobór metod badań oraz dawać możliwość zasymulowania w skali laboratoryjnej zmian wartości niektórych parametrów hydrogeologicznych, a zwłaszcza współczynnika filtracji materiałów luźnych. Na potrzeby oceny zmian warunków hydrogeologicznych w obrębie bryły zwałowiska, z uwagi na czas składowania materiału, autorzy pracy dostosowali metody badawcze, które pierwotnie opracowano do prognozowania zagrożeń wodnych w szybach i wyrobiskach badawczych.

## REKULTYWACJA WYROBISK ODKRYWKOWYCH Z ZASTOSOWANIEM SKAŁY PŁONNEJ

Rekultywacja wyrobisk odkrywkowych z zastosowaniem skały płonnej pozyskiwanej w procesie działalności górniczej jest w wielu przypadkach koniecznością technologiczną. Dotyczy to zwłaszcza procesu zagospodarowywania odpadów z górnictwa odkrywkowego, w szczególności wielkoobszarowych i o dużej głębokości wyrobisk odkrywkowych po eksploatacji węgla brunatnego. Górnictwo odkrywkowe węgla brunatnego charakteryzuje się jednak koniecznością zwałowania luźnych odpadów poeksploatacyjnych, które pochodzą głównie z nadkładu serii węglonośnej. Składają się przeważnie z luźnych osadów pochodzących z młodszych serii litostratygraficznych neogenu/paleogenu i czwartorzędu. Do oceny procesów filtracji wód i migracji zanieczyszczeń wokół odkrywki zwykle odpowiednie są dla nich typowe badania hydrogeologiczne i geologiczno-inżynierskie przewidziane dla skał luźnych i opisywane w podręcznikach (np. Turek, 1971; Wiłun, 1987; Wilk, 2003; Rogoż, 2004).

Wiele problemów w ocenie warunków krążenia wód sprawia stosowanie w rekultywacji skał płonnych innego wieku i o właściwościach fizykomechanicznych i hydrogeologicznych diametralnie różniących się od parametrów skał luźnych, młodszych serii litostratygraficznych i otaczających wyrobisko odkrywkowe. Jest to związane zarówno z krążeniem wód w obrębie odkrywki rekultywowanej, jak i w jej otoczeniu. Stąd warunki przepływu/filtracji wód w zwałowisku zbudowanym ze starszych skał zwięzłych jako materiału allochtonicznego (pochodzącego z eksploatacji innych złóż, głównie złóż karbońskich po eksploatacji węgla kamiennego) uznano za problem wymagający dobrej oceny i uzyskania wiarygodnych danych, które mogłyby zostać wykorzystane w procesie modelowania numerycznego. Jego gromadzenie zachodzi w przypowierzchniowych warstwach górotworu, często w otoczeniu czasowo odwodnionych warstw wodonośnych, lub na powierzchni, co powoduje, że

skały te są poddawane innego rodzaju procesom naturalnym, a także tymi, którymi kieruje człowiek.

W przypadku zwałowisk podpoziomowych ich występowanie w GZW przede wszystkim jest związane z obszarami górnictwa odkrywkowego surowców skalnych wydobywanych na potrzeby górnictwa węgla kamiennego, głównie stosowanego powszechnie w przeszłości piasku podsadzowego. Dotyczy to zwłaszcza piasków czwartorzędowych położonych w GZW na obszarze hydrogeologicznie odkrytym (subregion I) (Rózkowski, 2004). Ten typ zwałowisk może być przyczyną istotnego wpływu środowiskowego dla warstw wodonośnych w czwartorzędzie. Wpływ ten może się przejawiać zanieczyszczeniem warstw wodonośnych po zasypaniu odkrywek i po doprowadzeniu do odbudowy pierwotnych warunków hydrodynamicznych w ich otoczeniu. Wody w pierwotnie zdrenowanej warstwie wodonośnej mogą odbudowywać swoje ciśnienie i oddziaływać na materiał skalny stosowany w rekultywacji odkrywki, a także mogą wpłynąć na warunki i kierunki przenoszenia zanieczyszczeń w warstwie wodonośnej w otoczeniu odkrywki (Niedbalska i in., 2014, 2015).

W procesach przepływu wód i migracji zanieczyszczeń decydującą rolę odgrywają właściwości hydrogeologiczne materiału skalnego stosowanego w rekultywacji odkrywki i skał otoczenia wyrobiska odkrywkowego. Zwłaszcza istotny jest sposób oznaczania i adaptacji do modeli wartości współczynnika filtracji skał i materiału skalnego deponowanego wewnątrz odkrywki. O ile oznaczenia współczynnika filtracji dla materiałów luźnych lub zwięzłych wykonywane są znanymi metodami badań, np. w aparacie Wiłuna, metodą rurki Kamieńskiego, metodą szurfów i szybików, aparatami Guelpha, badaniami w otworach wiertniczych i studziennych oraz licznymi innymi opisywanymi w literaturze (Pazdro, Kozerski, 1990; Rogoż, 2004, 2012; Gwoździewicz, Bukowska, 2012; Haładus, Kulma, 2012, 2014), to oznaczenie współczynnika filtracji wymieszanych i grubookruchowych materiałów zwięzłych stosowanych do zasypywania odkrywek nie jest już tak jednoznaczne (Gwoździewicz, Bukowska, 2012). Biorąc pod uwagę sposób zwałowania materiału skalnego (z zagęszczaniem lub bez) oraz fakt ogromnej zmienności właściwości fizykomechanicznych skał płonnych wydobywanych w procesie eksploatacji górniczej na terenie GZW (Bukowska, 2009, 2012), bryły zwałowiska nie należy traktować jako ośrodka o jednej z góry ustalonej wartości danego parametru, np. współczynnika filtracji lub współczynnika odsączalności. Nawet w sytuacji luźnego nadsypywania skał karbońskich w wyrobisku odkrywkowym następują procesy różnicowania się stref o mniejszych lub większych wartościach parametrów hydrogeologicznych rumoszu skalnego budującego bryłę zwałowiska. Zasadniczo decydują o tym właściwości skał poszczególnych serii litostratygraficznych karbonu produktywnego, deponowane w wyrobisku. Do tych, które wpływają na zachowanie się wolnych przestrzeni w zwale należy m.in. podatność na oddziaływanie wody, oceniana wartościami opisującymi zmiany właściwości wytrzymałościowo-odkształceniowych pod wpływem wody oraz rozmakalnością skał. Zmiany tych

parametrów i nacisku pionowego na materiał zwałowany i w procesie formowania zwałowiska, występujący na różnej jego głębokości, powodują z kolei zmiany porowatości, współczynnika filtracji, pojemności wodnej czy odsączalności rumoszu skalnego budującego zwal. Uwzględniając fakt zmiany nacisku pionowego kolejno nadsypywanych warstw i ewentualne zmiany związane ze wstępnym lub zasadniczym procesem zagęszczania materiału i jego zawodnieniem, trudno nie oprzeć się wrażeniu, że żadna z dotychczas stosowanych metod nie przybliżyła do rzeczywistości danych wsadowych do modelu.

### **BADANIA WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNYCH I HYDROGEOLOGICZNYCH SKAŁ KARBOŃSKICH ZWAŁOWANYCH W WYROBISKU ODKRYWKOWYM I ICH WSPÓLZALEŻNOŚĆ**

W badaniach polowych i laboratoryjnych warunków filtracji wód w zwale oraz w ocenie jego parametrów hydrogeologicznych na ogół nie jest uwzględniane zróżnicowanie wytrzymałości skał na ściskanie i rozciąganie. Według Bukowskiej (2012) zmienność tych właściwości skał karbońskich, opisywana np. za pomocą  $R_c$  i  $R_t$  (doraźnej wytrzymałości skał na ściskanie i rozciąganie w jednoosiowym stanie naprężenia), to: wytrzymałość charakterystyczna dla luźnego materiału piaszczystego i bardzo słabych piaskowców o  $R_c < 1$  MPa lub najczęściej do kilku lub kilkunastu, a sporadycznie  $>30$  MPa warstw libiąskich i łaziskich, po skały o  $R_c$  nawet znacząco powyżej 100 MPa pośród warstw starszych, zwłaszcza warstw brzeźnych. Zmienność parametrów wytrzymałościowych oraz ich wpływ na zachowanie się mas skalnych w procesie zwałowania, nadsypywania i poddawania go oddziaływaniu ciśnienia pionowego i wody ma istotne znaczenie dla zmian parametrów hydrogeologicznych rumoszu skalnego w procesie zwałowania. Według badań przeprowadzonych przez Gwoździewicza (2012) na nadpoziomowym zwałowisku karbońskiej skały płonnej w Lubelskim Zagłębiu Węglowym małe wartości wytrzymałości skał i wysokie wartości odkształcalności skał karbońskich są przyczyną znaczącego zróżnicowania współczynnika filtracji w obrębie przebadanego przez tego autora zwałowiska. W profilu pionowym wartość zadanego ciśnienia pionowego (0,0–1,5 MPa – ciśnienie na głębokości od powierzchni do 60 m) spowodowała zmniejszenie wartości współczynnika filtracji z  $1,4 \cdot 10^{-2}$  m/s do  $8,4 \cdot 10^{-8}$  m/s (Gwoździewicz, 2012).

Stąd autorzy uważają, że w badaniach modelowych warunków filtracji w obrębie podpoziomowych zwałowisk karbońskiej skały płonnej właściwości fizykomechaniczne w istotnym stopniu wpływają na zachowanie się wolnych przestrzeni międzyokruchowych materiału deponowanego w odkrywce, a tym samym na warunki krążenia i gromadzenia się w nich wody. Warunki te powinny być badane i powinny być podejmowane próby symulacji ich zmian z głębokością i położeniem w obrębie zwałowiska jako materiału

pozwalającego na przybliżenie badań modelowych do warunków faktycznych.

W warunkach laboratoryjnych właściwości fizyko-mechaniczne skał karbońskich są badane w różnych stanach wilgotności, przeważnie jednak w tzw. stanie powietrzno-suchym. Odpowiada on zawartości wody w próbce wyciętej z użyciem płuczki wodnej oraz pozostawionej w atmosferze pokojowej do 48 h. Dokumentację takich badań laboratoryjnych stanowią krzywe naprężeniowo-odkształceniowe, które otrzymuje się w wyniku przeprowadzania eksperymentów w maszynie wytrzymałościowej na pojedynczych próbkach foremnych (fig. 1).

Badania próbek piaskowców w różnych stanach nasycenia wykazały nie tylko różnice w wytrzymałości na ściskanie, lecz także różnice w wartościach parametrów naprężeniowo-deformacyjnych (Bukowska, 2009). To zróżnicowanie, które wynika z ogólnej budowy geologicznej zagłębia, ma wpływ na warunki krążenia wód w obrębie zwałowisk zbudowanych z tego typu skał zwięzłych. Skały te są przykładowo deponowane w popiaskowym wyrobisku odkrywkowym Maczki-Bór, często jako materiał różnowiekowy i zmieszany (Niedbalska i in., 2014, 2015).

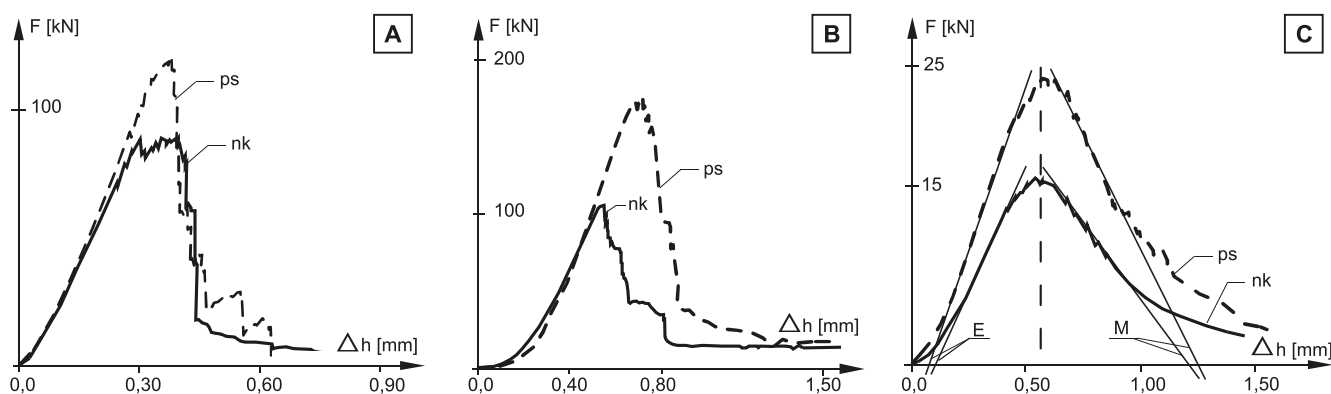
Badane w stanie powietrzno-suchym (ps) oraz w stanie nasycenia kapilarnego (nk) próbki piaskowców, mułowców, piaskowców warstwowych mułowcami oraz iłowców z GZW wykazały zależności pomiędzy wytrzymałością na jednoosiowe ściskanie a ich stanem wilgotności (Bukowska, 2009). Próbki w stanie powietrzno-suchym cechowały się wilgotnością: 0,26–0,90% – piaskowce drobnoziarniste, 0,65–0,87% – piaskowce warstwowe mułowcami, 0,80–0,88% – mułowce i 0,85% – iłowce. Po nasyceniu ich wodą nastąpił wzrost wilgotności odpowiednio do ok. 0,69–5,61 i 1,27–1,73% w skałach o wyższej porowatości i udziału

por o wymiarach kapilarnych i ponadkapilarnych oraz ok. 0,95–1,24% w mułowcach o znacznym udziale por o wymiarach subkapilarnych i małej porowatości otwartej. Wzrost wilgotności o ok. 1,4% w iłowcach był głównie związany z ich składem mineralogicznym i ich higroskopijnością.

Wskaźnik zmniejszenia wytrzymałości pod wpływem działania wody autorka badań oceniła na poziomie 0,59–0,74 dla piaskowców drobnoziarnistych, 0,46–0,84 dla piaskowców warstwowych mułowcami i 0,94–0,98 dla mułowców. Dla badanego iłowca wskaźnik ten przyjął wartość 0,5. Oznacza to, że piaskowce w wyniku nasączenia wodą tracą przeciętnie na wytrzymałości 23–40%, piaskowce warstwowe mułowcami – 16–53%, a iłowiec zmniejsza wytrzymałość o 50%. Najmniejszy spadek wytrzymałości (1,5–5,5%) odnotowano dla mułowców, co pozostaje w zgodzie z ich małą zdolnością do wchłaniania wody.

Wiedza na temat właściwości skał stosowanych w rekultywacji odkrywki pozwala na zrozumienie procesów wpływających na warunki gromadzenia i przepływu wód z obrębie zwałowiska. Jednocześnie za stan odpowiedni do prowadzenia badań fizyko-mechanicznych oraz charakteryzowania właściwości fizyko-mechanicznych skał karbońskich (zwłaszcza wodochłonnych) oraz ich zmienności uznaje się stan nasycenia skały wodą kapilarną.

Ogólnie badania prowadzone dla kapilarnego stanu nasycenia skał wodą odpowiadają zawodnieniu jedynie przypowierzchniowej strefy zwałowiska, wyeksponowanej na warunki atmosferyczne. Wewnętrzna część zwałowiska zapewne charakteryzuje się odmienną, i na ogół większą niż w strefie przypowierzchniowej, zawartością wody w porach skał budujących rumosz skalny zwałowiska. Makropory (pory międzyokruchowe) są tylko częściowo zajęte, głównie przez wodę przemywającą zwał w wyniku przesiąkania wody



**Fig. 1. Wynik jednoosiowego ściskania próbek piaskowca o zróżnicowanej wytrzymałości, badanych w stanie nasycenia kapilarnego (nk) i powietrzno-suchym (ps) (Bukowska, 2009): A – górnośląska seria piaskowcowa, B – seria mułowcowa, C – krakowska seria piaskowcowa**

E – moduł Younga, M – moduł pokrytyczny,  $\Delta h$  – odkształcenie, F – siła

The result of uniaxial compression of sandstone samples of different strengths tested in the state of capillary saturation (nk) and air dry (ps) conditions (Bukowska, 2009): A – Upper Silesian sandstone series, B – mudstone series, C – Cracow sandstone series

E – Young's modulus, M – cover module,  $\Delta h$  – strain, F – force



atmosferycznej (wody zwilżające okruchy powierzchniowo). W obrębie zwałowiska w zależności od stopnia rozdrobnienia i zagęszczenia warstw materiału, zależnych od jego właściwości geomechanicznych, mogą także występować wody zawieszane. Zatem można spodziewać się występowania stanu wilgotności od powietrzno-suchego do występującego strefowo i okresowo stanu pseudosaturacji (pełnej saturacji mogą ulegać częściowo makropory – okruchy skalne nie muszą być w pełni nasycone wodą). Stąd autorzy uważają, że za uśredniony stan zawilgocenia zwałowanego materiału skalnego można z powodzeniem przyjąć stan nasycenia kapilarnego skał przyjmowany w badaniach geomechanicznych na potrzeby podziemnego górnictwa węglowego (Bukowska, 2012).

Stan nasycenia kapilarnego skał jest związany ze zjawiskiem kapilarności czynnej. Dotychczas był wykorzystany w nowej metodzie oznaczania odsączalności grawitacyjnej skał zwięzłych (Bukowski, 1999, 2007). Według autora metody, stan kapilarnego nasycenia skał najlepiej przybliża warunki badania laboratoryjnego do warunków, które oddają naturalne stosunki wilgotnościowe w skałach górotworu w naturalnym środowisku zmienionym odwadnianiem i wpływami eksploatacji górniczej.

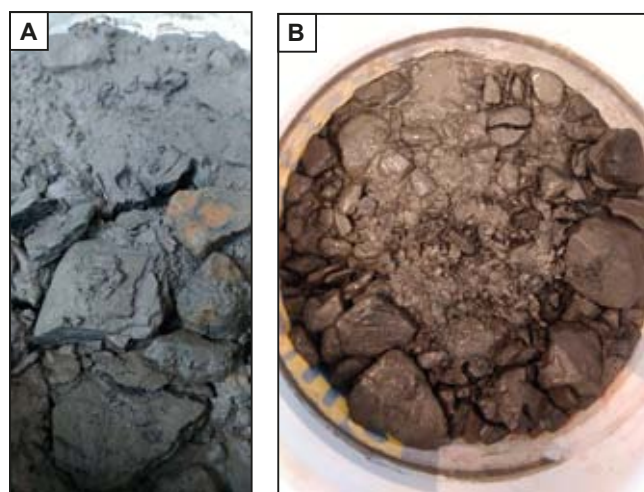
Powyższe spostrzeżenia mają o tyle istotne znaczenie dla sposobu pozyskiwania i oceny danych, że na ich podstawie można przyjąć, że:

- okruchy skalne zbudowane ze skał niewodochłonnych są zwilżane powierzchniowo i dla procesu filtracji ma znaczenie współczynnik filtracji międzyokruchowej; woda przemywająca zwał w sytuacji występowania w skałach minerałów z grupy smektytów powoduje kolmatację por w okruchach skalnych, lecz również ma wpływ na postępującą dezintegrację materiału skalnego i zmniejszanie się jego właściwości mechanicznych, a co za tym idzie porowatości i przepuszczalności rumowiska zwałowanego materiału;
- okruchy skał niewodochłonnych, iłowcowych łatwiej ulegają destrukcji, a nawet procesom uplastycznienia, co w mieszaninie różnych skał może objawiać się kolmatacją por i zmniejszeniem współczynnika filtracji oraz zdolności do odsączenia wody ze zwałowiska (fig. 2A); słabe skały iłowcowe o dużej wrażliwości na oddziaływanie wody mogą ulegać znaczącemu zagęszczeniu w procesie tworzenia zwałowiska oraz po nadsypaniu kolejnych warstw materiału mogą stanowić podstawę lokalnie występujących w zwale wód zawieszonych;
- okruchy skał mułowcowych charakteryzują się najmniejszą wrażliwością na oddziaływanie wody oraz słabymi parametrami hydrogeologicznymi matrycy skalnej – w obrębie większych nagromadzeń należy się liczyć z występowaniem głównie porowatości międzyokruchowej; skały mułowcowe warstw starszych zwykle także mają znaczną wytrzymałość na ściskanie i rozciąganie, stąd można przy ich więk-

szym nagromadzeniu spodziewać się wyższych wartości parametrów hydrogeologicznych, a zwłaszcza porowatości i przepuszczalności międzyokruchowej (fig. 2);

- okruchy skał wodochłonnych są stopniowo, w długim czasie, przemywane i nasycone wodą opadową i łatwiej ulegają procesom destrukcji (zwłaszcza w sytuacji występowania minerałów pęczniejących w ich spoiwie) oraz wymywania zanieczyszczeń; ich większe nagromadzenia mają znaczenie dla procesu filtracji i gromadzenia wód w zwale, a pochodzenie i wiek wpływają na zmiany porowatości międzyokruchowej jako składowej ich podwójnej porowatości.

Pozyskanie danych z badań polowych dotyczy na ogół wykonywanych punktowo oznaczeń parametrów hydrogeologicznych na powierzchni zwałowiska oraz punktowo pobieranych próbek skał do dalszych badań laboratoryjnych. Niekiedy z powierzchni drąży się otwory przez zwałowiska skał zwięzłych. Wiercenia są najczęściej prowadzone do ich podłoża w celu wykonania piezometrów do obserwacji zwierciadła i jakości wód, poboru próbek wody i skał oraz do badania w profilu zwałowiska jego wodochłonności, przepuszczalności, rozkładu temperatury itp. Metody wiertnicze, chociaż są pomocne w realizacji wyżej wymienionych badań, ze względu na trudności w prowadzeniu wierceń, ich wysoki koszt i często niepewny rezultat są stosowane sporadycznie. Stąd, żeby jak najlepiej można było sprostac wszystkim potrzebom modelowania numerycznego warunków filtracji wód i migracji zanieczyszczeń w rejonie tego typu obiektów, proponowana jest przybliżona metoda laboratoryjnego symulowania zmian porowatości, ściślności i współczynnika filtracji.



**Fig. 2. Stan próbki po zatopieniu i nasyceniu wodą oraz próbie grawitacyjnego odsączenia**

A – próbka najstarsza, B – próbka najmłodsza

The state of the sample after its flooding and saturation with water and the gravitational drainage

A – the oldest sample, B – the youngest sample

Taką metodę opracowano w GIG w 2002 r. (Bromek, Bukowski, 2002), jako metodę dedykowaną ocenie ściśliwości i przepuszczalności rumoszu zbudowanego ze zmieszanych zwięzłych materiałów skalnych. Opis sposobu prowadzenia badań do innych celów niż oceny zwałowanych na powierzchni odpadów był publikowany: Bukowski, 2015; Bukowski, Niedbalska, 2013. Sposób prowadzenia badań w dostosowaniu do potrzeb oceny warunków krążenia wód w bryle zwałowiska odpadów karbońskiej skały płonnej w GZW, jako adaptacji metody wg Bromka i Bukowskiego z 2002 r., autorzy przedstawili poniżej.

### **PROPONOWANY DOBÓR BADAŃ I METOD ORAZ MOŻLIWOŚCI POZYSKANIA DANYCH DLA WSPARCIA PROCESU NUMERYCZNEGO MODELOWANIA WARUNKÓW KRĄŻENIA WÓD**

Rozwój badań i oprzyrządowania (do stosunkowo łatwego zastosowania w terenie) w zakresie hydrogeologii środowiskowej spowodował rozkwit metod oznaczania parametrów hydrogeologicznych do oceny warunków hydrogeologicznych i środowiskowych. Należy zaznaczyć, że w znacznej części badania prowadzone za pomocą wyrafinowanych metod i sprzętów, np. przepuszczalnościomierzy beciśnieniowych lub ciśnieniowych (np. Guelph), mogą być zastąpione tanią i prostą, stało- lub zmiennogradentową metodą Kamińskiego. Należy jednak podkreślić, że badania metodami ciśnieniowymi pozwalają zaoszczędzić czas, który w metodzie beciśnieniowej, np. wg Kamińskiego, może być znacząco dłuższy niż w metodzie ciśnieniowej. Ma to znaczenie w badaniu zwałowisk w przewadze zbudowanych ze skał iłowcowo-mułowcowych. Ułomnością tych metod jest ich zastosowanie w zasadzie wyłącznie do powierzchni zwału lub na niewielkiej od niej głębokości.

Pomiary przepuszczalnościomierzami np. polowymi firmy Micrometrics lub w aparacie Dulińskiego (Duliński, 1965) czy np. metodą flow-pump (Herzig, Szczepańska, 1995) są przeznaczone do badań prowadzonych na rdzeniach wiertniczych (próbka musi być przygotowana – wycięta), a badanie przebiega tylko w jednym kierunku zgodnym z osią rdzenia. Z badać można każdą pobraną ze zwału próbkę, lecz wynik odnosi się tylko do jednej składowej przepuszczalności zwału, tj. do przepuszczalności okrucu skalnego. Możliwość badania, a właściwie profilowania przepuszczalności skał w trzech kierunkach (x, y, z), daje jedynie stacjonarny przepuszczalnościomierz PDPK-400 firmy Micrometrics (Augustyniak i in., 2015, 2016).

Przytoczone powyżej narzędzia i oprzyrządowanie są jednymi z wielu i w każdym przypadku mają ograniczenia w zastosowaniu i dotyczące celu wykorzystania ich wyników. W prowadzeniu badań nad właściwościami hydrogeologicznymi, a zwłaszcza współczynnikiem filtracji materiałów skalnych w aspekcie ich zwałowania, w zasadzie większość metod była opracowywana dla konkretnych warunków prowadzenia badań i dla określonych potrzeb, lecz bez uwzględnienia ich zmienności właściwości fizykome-

chanicznych w zróżnicowanym stanie nasycenia wodą. Stąd w badaniach skał zwałowanych w wyrobiskach odkrywkowych w GZW autorzy proponują:

- nasycanie próbek skał i gruzu skalnego wodą przed wykonywaniem badań wytrzymałościowo-deformacyjnych i oznaczaniem ściśliwości gruzu skalnego;
- oznaczanie rozmakalności, wytrzymałości na ściskanie i rozciąganie skał (jako matrycy skalnej), ściśliwości, porowatości, wodochłonności i przepuszczalności gruzu skalnego;
- oznaczanie jakości wód i ładunku soli w procesie badania przepuszczalności.

Uśredniony stan wilgotności skał do badań geomechanicznych proponuje się uzyskać zgodnie z metodyką badania odsączalności skał zwięzłych wg Bukowskiego (1999, 2007), a dla próbek rumoszu skalnego przez stopniowe zaptanie próbek rumoszu w okresie kilkudziesięciu godzin, a następnie ich odwodnienie (fig. 3), tak jak ma to miejsce w prowadzeniu badań wodochłonności (Bukowski, 2004).

Stan nasycenia kapilarnego próbek skał zwięzłych można uzyskać przez umieszczenie próbki na materiale filtracyjnym (fig. 4), charakteryzującym się włoskowatością, nasiąkniętym wodą i pozostającym w kontakcie z próbką dla zapewnienia swobodnego podsiąkania kapilarnego z zachowaniem zasad i zaleceń metodycznych przedstawionych przez Bukowskiego (1999, 2007). Naturalny proces podsiąkania kapilarnego jest związany z indywidualną dla każdej próbki skalnej strukturą przestrzeni porowej.

Korzystne jest ułożenie próbki na materiale filtracyjnym tak, żeby laminacja była prostopadła do podstawy naczynia z materiałem filtracyjnym. W indywidualnej ocenie przebiegu procesu nasycania pojedynczej próbki skalnej przygotowywanej do badań wytrzymałościowych wskazane jest dokonywanie okresowych pomiarów przyrostu jej masy, której stabilizacja wskazuje na osiągnięcie przez skałę stanu nasycenia kapilarnego (wolne od wody pozostają pory o wymiarach nadkapilarnych).

Bezspornie jednym z kluczowych parametrów wykorzystywanych w modelowaniu warunków filtracji wód w obrębie zwałowiska zbudowanego ze zwięzłych karbońskich skał płonnych jest przepuszczalność. Właściwość ta wyrażona wartością współczynnika filtracji materiału skalnego jako ośrodka zezwałowanego w wyrobisku odkrywkowym o podwójnej porowatości jest wartością zmienną. Do oceny zakresu tych zmian oraz do symulowania zmian w projektowaniu i budowie zwałowiska autorzy proponują zastosowanie metody rurki Kamińskiego na materiale poddawany różnicowanemu naciskowi pionowemu (fig. 5).

Badanie należy prowadzić zgodnie z metodyką Bromka i Bukowskiego (2002) zastosowaną do oceny przepuszczalności zasypów likwidowanych szybów górniczych. Proponuje się jednak wykonywać je z działaniem mniejszego ciśnienia pionowego niż zastosowano do szybów. Wartość ciśnienia pionowego należy określić na podstawie szacowanej gęstości materiału skalnego (dla danej lub spodziewanej głębokości) i ciężaru uwzględniającego częściowe nasycenie skał wodą. Spodziewane wartości ciśnienia pionowego będą

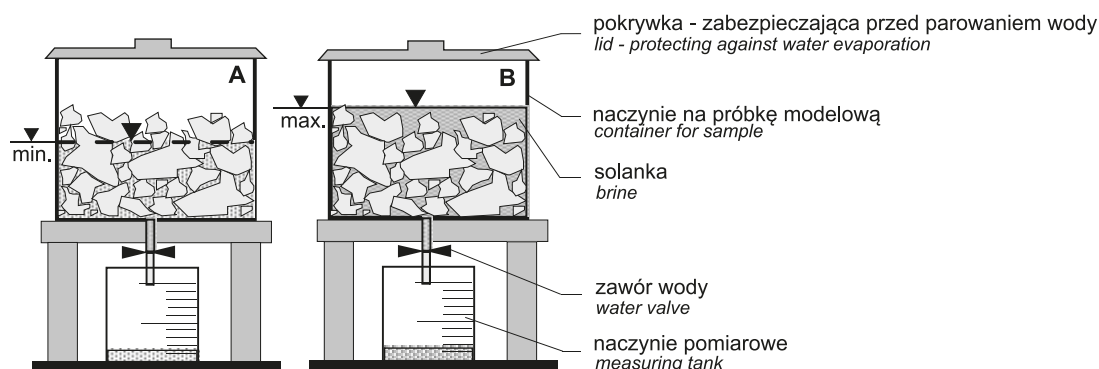


Fig. 3. Stanowisko do badania wodochłonności i pojemności wodnej nieobciążonych próbek rumoszu skalnego

A stand for testing water absorption and water capacity of unloaded samples of rock debris

się różnicowały w zależności od jakości materiału skalnego, nasycenia wodą i głębokości odkrytki przy docelowej wysokości powierzchni rekultywowanej, np. dla próbki położonej na głębokości 100 m przy nadkładzie łatwo rozpadającego się słabego materiału iłowcowo-mułowcowo sydereytycznego i piaskowcowego ciśnienie może sięgać kilku MPa.

Pośród materiału zbadanego przez Bromka i Bukowskiego (2002), w kontekście badania skał zwałowisk odpadów karbońskich, na uwagę zasługuje zachowanie się i przepuszczalność świeżej skały pływnej i tzw. kamienia popłuczkowego (fig. 6).

Materiał popłuczkowy oraz tzw. świeży zostały pobrane z tej samej kopalni w tym samym czasie, przy czym materiał świeży pobrano po wywiezieniu go na powierzchnię i zsypaniu z wózków na podłoże, a materiał popłuczkowy po procesie flotacji. Oba pochodziły z tych samych warstw litostratigraficznych, w przeważającej części zawierających skały

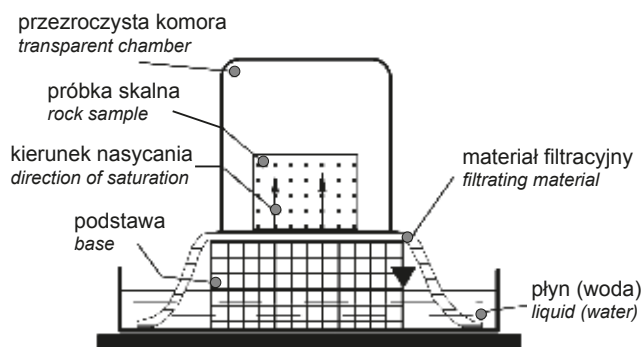


Fig. 4. Schemat układu do badania odsączalności skał zwięzłych metodą nasycenia kapilarnego wg Bukowskiego (1999)

Scheme of the system for testing the drainage of solid rocks with a capillary saturation method according to Bukowski (1999)

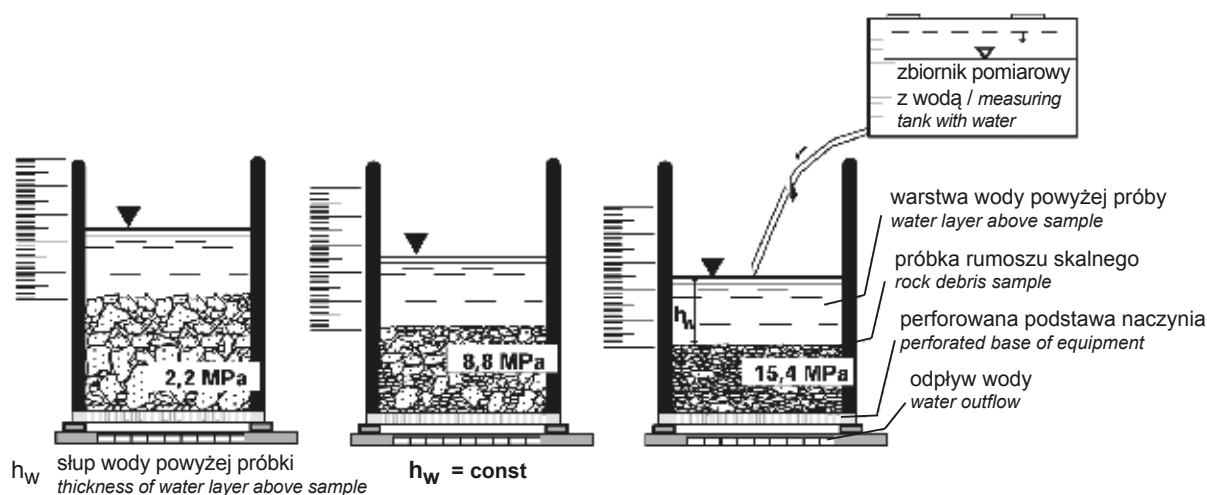


Fig. 5. Badanie wodoprzepuszczalności rumoszu skalnego po poddaniu go różnym wartościom ciśnienia pionowego (Bromek, Bukowski, 2002)

Water-permeability test of rock debris after subjecting it to different values of vertical pressure (Bromek, Bukowski, 2002)

iłowcowe i mułowcowe z niewielką domieszką piaskowców i węgla. Z uwagi na wilgotność materiału badanego na ścisłość i współczynnik filtracji, materiał popłuczkowy można zakwalifikować jako materiał nawodniony o stanie nasycenia zbliżającym go do stanu saturacji. Materiał świeży pobrany głównie z robót przygotowawczych i poddany zarówno procesowi zraszania, jak i przewietrzania w wyrobiskach (co związane jest z technologią robót), stanowił materiał niewyselekcjonowany i nieprzemity (słabszy) o wilgotności zbliżającej go do stanu kapilarnego nasycenia budujących go okruchów skalnych. W celu wykonania badań porównawczych skład granulometryczny i petrograficzny był dobierany w obu próbkach do przeprowadzenia badań laboratoryjnych.

Wynik oznaczeń nie uwzględniał reologicznych właściwości skał w warunkach zmiennego nasycenia materiału skalnego wodą. Autorzy uważają, że skutkiem procesów związanych z technologią zwałowania materiału skalnego w wyrobisku odkrywkowym oraz zmiennych warunków zawodnienia, przede wszystkim działania czynnika czasu oraz ewentualnego ruchu wody, krzywe zmian zarówno w odniesieniu do ścisłości, jak i do współczynnika filtracji materiału skalnego o różnym wieku, składzie petrograficznym, i różnych właściwościach wytrzymałościowo odkształceniowych powinny być wyraźnie przesunięte w kierunku początku wykresu – fig. 6. Mogą o tym świadczyć wielodobowe testy na kilkunastokilogramowych próbkach materiału pobranego ze zwału zbudowanego z karbońskiej skały płonnej, wykonywane do oceny wodochłonności i odsączalności materiału zezwałowanego w wyrobisku byłej piaskowni KPP Maczki-Bór i zdeponowanego tam w różnym czasie (fig. 2). Zatem prawdopodobnie występuje tam zjawisko już znacznego zagęszczenia materiału i badane laboratoryjnie

ściślość oraz współczynnik filtracji w stosunku do nowo budowanego zwałowiska będą zapewne mniejsze, a w rejonach wieloletniego deponowania skał karbońskich znacząco mniejsze.

Jak z powyższego wynika występuje potrzeba wykonania badań ścisłości i współczynnika filtracji materiałów zastosowanych do budowy tego rodzaju zwałowisk, ale z symulacją ewentualnych zmian tych parametrów, które dają szansę na przestrzenne ich odwzorowanie na modelu. Badania te należy potwierdzić badaniami fizykomechanicznymi skał budujących zwał w różnowiekowo zabudowanych częściach rekultywowanego wyrobiska odkrywkowego.

## PODSUMOWANIE

Zwałowiska skał zwięzłych zbudowane na powierzchni terenu, a zwłaszcza w wyrobiskach odkrywkowych, stanowi obiekt poddawany różnym czynnikom wpływającym na proces filtracji wód, wymywania i migracji zanieczyszczeń w jego obrębie. Materiał ulega wietrzeniu, wymywaniu zanieczyszczeń przez wody atmosferyczne przez niego infiltrujące, a także wody podziemne otoczenia w czasie odbudowywania warunków hydrogeologicznych po zaniechaniu odwadniania odkrywki. Zwałowanie materiału skalnego i jego zagęszczenie, a zwłaszcza wpływ wód na jego zachowanie się w wyrobisku odkrywkowym, powodują, że zwałowiska odpadów pogórnich z kopalń węgla kamiennego w wyrobiskach odkrywkowych mogą stanowić obiekty o wysokim stopniu trudności oceny warunków hydrogeologicznych. Stan bieżącego i prognozowanego wpływu na środowisko wód podziemnych i powierzchniowych może być analizowany na podstawie wyników modelowych symulacji

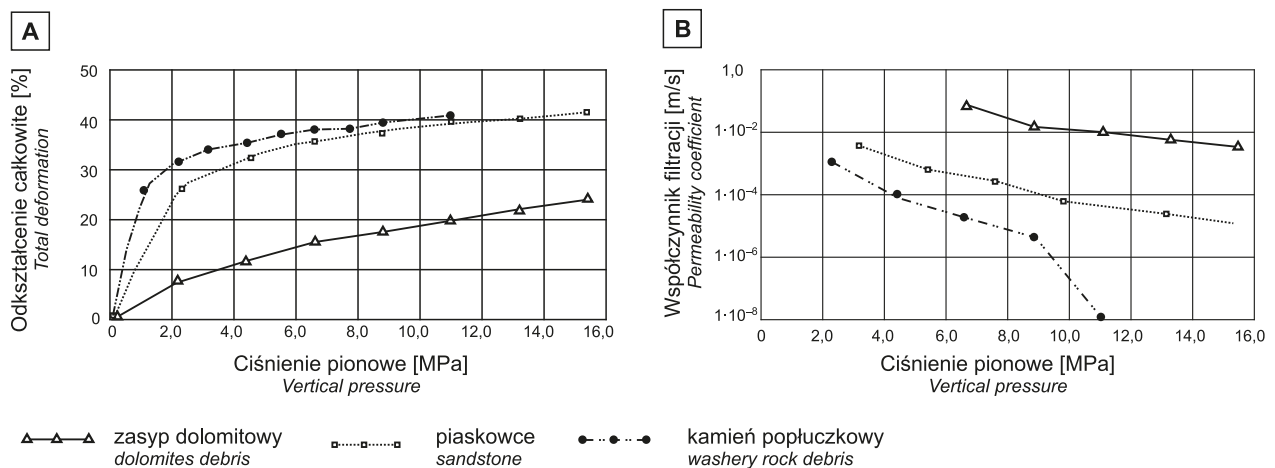


Fig. 6. Wyniki badania ścisłości i przepuszczalności skał zwięzłych z symulacją zmiennego ciśnienia pionowego wg Bromka i Bukowskiego (2002)

A – zmienność odkształcenia pionowego próbki, B – zmienność współczynnika filtracji

Results of investigations of compressibility and permeability of solid rocks with the simulation of variable vertical pressure according to Bromek and Bukowski (2002)

A – vertical deformation variability of the sample, B – filtration coefficient variability



numerycznych. Podstawowym warunkiem w modelowaniu filtracji wód i migracji zanieczyszczeń w zwałowisku i jego otoczeniu jest odpowiedni dobór parametrów opisujących warunki filtracji wód. Stąd wybór metod badań i sposobu oznaczania niektórych parametrów, zwłaszcza wpływających na ten parametr, uznano za kluczowy dla przybliżenia wyniku modelowania do warunków rzeczywistych.

Wyniki badań laboratoryjnych parametrów hydrogeologicznych deponowanego w odkrywcę materiału skalnego bardzo wzbogacają dane wejściowe do numerycznych modeli filtracji i migracji zanieczyszczeń, co w powiązaniu z prawidłowo zrealizowaną ich kalibracją może zapewnić wysoką wiarygodność prognostycznych obliczeń symulacyjnych.

Mając na względzie, że warunki filtracji wód w obrębie zwałowiska dotyczą diametralnie różnego od skał otoczenia odkrywki ośrodka skalnego, autorzy za ważne uważają dokonanie prawidłowej oceny tego materiału i jego zachowania się w obrębie zwałowiska. Zachowanie tego materiału jest warunkowane pochodzeniem i właściwościami skał, głównie fizykomechanicznymi, oraz technologią ich deponowania w wyrobisku odkrywkowym. Od właściwości fizykomechanicznych materiału skalnego zależy zachowanie się wolnych przestrzeni w obrębie zwału, zarówno podczas zwałowania i procesu zagęszczania materiału skalnego, jak i po jego zakończeniu. Tym samym proces filtracji wody i wymywania zanieczyszczeń ze zwałowiska materiału zbudowanego ze zwięzłych karbońskich skał płonnych zależy od tych właściwości i ich zmian.

O porowatości i przepuszczalności materiału stanowiącego zwałowisko, oprócz właściwości fizykomechanicznych skał budujących zwał, decydują ciśnienie pionowe (położenie próbki w zwałowisku), wiek skał, czas ich zdeponowania oraz warunki wilgotnościowe w obrębie zwałowiska. Stąd pozyskiwanie danych do badań komputerowych powinno uwzględniać podwójną porowatość ośrodka zezwałowanego i dawać możliwość zasymulowania zmian wartości niektórych parametrów hydrogeologicznych, a zwłaszcza porowatości (przez ocenę ściśliwości) i współczynnika filtracji materiałów luźnych (badanie przepuszczalności wg Kamieńskiego).

Pośród licznych metod badań przewidzianych dla materiałów luźnych, za spełniającą warunki dla oceny zmian przepuszczalności allochtonicznego gruzu skalnego autorzy wskazują metodę oceny przepuszczalności przewidzianą pierwotnie dla badania zasypów likwidowanych szybów kopalnianych wg Bromka i Bukowskiego (2002). Metoda umożliwi badanie materiału skalnego o różnej wilgotności pod różnym ciśnieniem i po różnym czasie działania czynnika osłabienia skał (woda). Ta laboratoryjna metoda pozwala na symulację zmian współczynnika filtracji w obrębie zwałowiska, co pozwoli na przestrzenne odwzorowanie jego rozkładu i przeprowadzenie bardziej wiarygodnych obliczeń numerycznych. Symulowanie wartości współczynnika filtracji, przybliżonej do rzeczywistości, daje także możliwość podjęcia prób prognozowania zmian

warunków hydrogeologicznych, stanu środowiska i oceny słuszności rozpatrywanych rozwiązań służących ochronie wód podziemnych w rejonie zwału. Warunkami wykorzystania wyników z dobrym skutkiem w procesie modelowania są jednak: prawidłowo zaplanowany harmonogram badań, prawidłowy przebieg poboru próbek skał, rozpoznanie rejonów zwałowiska o różnym czasie deponowania materiału oraz zmienności litologicznej materiału i jego właściwości fizykomechanicznych w obrębie bryły zwałowiska. Uzupełnieniem badań powinno być poznanie warunków wodnych w odkrywcę i jej otoczeniu na podstawie danych z istniejącego monitoringu hydrogeologicznego.

*Artykuł jest wynikiem realizacji pracy statutowej nr 11311517-121 finansowanej przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.*

## LITERATURA

- AUGUSTYNIAK I., BUKOWSKI P., 2016 – Profiling permeability of solid rocks for mining conditions assessment using the PDPK-400 apparatus. *W*: 16<sup>th</sup> International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2016. Book 1, Science and Technologies in Geology, Exploration and Mining Conference Proceedings. Book 1, Vol. 1, Part A. Albena, Bułgaria, June 28–July 6: 951–958. International Multidisciplinary Scientific GeoConference & EXPO SGEM.
- AUGUSTYNIAK I., NIEDBALSKA K., BUKOWSKI P., 2015 – Some methods of hydrogeological properties evaluation and their use in mine flooding forecasts. *W*: 15<sup>th</sup> International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2015. Albena, Bułgaria, June 18–24: 717–724. Science and Technologies in Geology, Exploration and Mining.
- BROMEK T., BUKOWSKI P., 2002 – Ocena przepuszczalności materiałów zasypowych używanych do likwidacji szybów kopalnianych. *Prz. Gór.*, **58**, 11: 18–23.
- BUKOWSKA M. (red.), 2009 – Kompleksowa metoda oceny skłonności do tąpnięć górotworu w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym. Wydaw. GIG, Katowice.
- BUKOWSKA M., 2012 – Skłonność górotworu do tąpnięć – geologiczne i geomechaniczne metody badań. Wydaw. GIG, Katowice.
- BUKOWSKI P., 1999 – Chłonność wodna górotworu i jej wpływ na przebieg zatapiania likwidowanych kopalń [pr. doktor.]. Arch. GIG, Katowice.
- BUKOWSKI P., 2004 – Próba oceny pojemności wodnej luźnego rumoszu skalnego dla potrzeb określania pojemności widnej zrobów zawałowych. *Wiad. Gór.*, **11**: 472–479.
- BUKOWSKI P., 2007 – Sposób badania odsączalności skał zwięzłych i luźnych. Patent urzędu patentowego Rzeczypospolitej Polskiej nr PL 195518 B1.
- 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). *AMS*, **60**, 2: 455–475.
- BUKOWSKI P., NIEDBALSKA K., 2013 – The analysis of selected properties of solid rock materials designed for shafts liquidation. *W*: 13<sup>th</sup> International Multidisciplinary Scientific Geoconference: SGEM. Surveying Geology & Mining Ecology Management. Sofia, T. 2: 467–474.

- DULIŃSKI W., 1965 – Aparat do badania przepuszczalności uszczelnieniem pneumatycznym. *Wiad. Naft.*, 7: 117–118, 8: 163–164.
- GWOŹDZIEWICZ M., 2012 – Wpływu procesu wietrzenia na migrację zanieczyszczeń w strefie aeracji składowiska odpadów górniczych Lubelskiego Zagłębia Węglowego [pr. doktor.]. Arch. GIG, Katowice.
- 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., KULMA R., 2012 – Dynamika wód podziemnych: przykłady obliczeń. Cz. 1. Przepływy filtracyjne jednowymiarowe. Wydaw. AGH, Kraków.
- HAŁADUS A., KULMA R., 2014 – Dynamika wód podziemnych: przykłady obliczeń. Cz. 2. Dopływy do ujęć wodnych. Wydaw. AGH, Kraków.
- HERZIG J., SZCZEPAŃSKA J., 1995 – Zastosowanie metody flow-pump do badań współczynnika filtracji w gruntach słabo przepuszczalnych. *W: VII Sympozjum Współczesne problemy hydrogeologii*. Kraków–Krynica. Wydaw. AGH, Kraków.
- NIEDBALSKA K., BUKOWSKI P., HAŁADUS A., 2014 – Using of groundwater flow modeling to optimize the methods of liquidation of open pit mine reclaimed by post-mining wastes. *W: 14<sup>th</sup> International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2014*, vol. II. Albena, Bulgaria: 1035–1042.
- NIEDBALSKA K., BUKOWSKI P., HAŁADUS A., 2015 – Modeling the pollutants migration in ground-water environment with consideration of concepts of reducing the adverse impact of a post-mining wastes. *W: 15<sup>th</sup> International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM, Ecology, Economics, Education and Legislation, Conference Proceedings*, vol. I. Ecology and Environmental Protection. Albena, Bulgaria: 549–556.
- PAZDRO Z., KOZERSKI B., 1990 – Hydrogeologia ogólna. Wydaw. Geol., Warszawa.
- ROGOŹ M., 2004 – Hydrogeologia kopalniana z podstawami hydrogeologii ogólnej. Wydaw. GIG, Katowice.
- ROGOŹ M., 2012 – Metody obliczeniowe w hydrogeologii. Wydaw. Śląsk, Katowice.
- RÓŹKOWSKI A. (red.), 2004 – Środowisko hydrogeochemiczne karbonu produktywnego Górnśląskiego Zagłębia Węglowego. *Pr. Nauk. UŚl.*, 2244.
- TUREK S. (red.), 1971 – Poradnik hydrogeologa. Wydaw. Geol., Warszawa.
- WILK Z. (red.), 2003 – Hydrogeologia polskich złóż kopalni i problemy wodne górnictwa, cz. I. Ucz. Wydaw. Nauk.-Dydak. AGH, Kraków.
- WIŁUN Z., 1987 – Zarys geotechniki. Warszawa. Wydaw. Komunikacji i Łączności.

## SUMMARY

A post-mining rocks dump built on the terrain surface, especially in opencast workings, is an object subjected to various factors affecting the process of water filtration, leaching and migration of pollutants within the dump and its surroundings. The material undergoes weathering, leaching of pollutants through the atmospheric water as well as through the groundwater surrounding it during the reconstruction of hydrogeological conditions after abandoning the drainage of the open pit. Rock placement and its densification, and in particular the influence of water on its conditions in the surface excavation, causes that post-mining waste dumps in opencast excavations are potential objects with a high degree of difficulty in assessing hydrogeological conditions. The state of current and forecasted impact on the groundwater and surface water environment can be analyzed based on the results of numerical model simulations. In the selection of parameters for modelling the conditions of water filtration and migration of pollutants in the dump and its surroundings, the basic condition is the selection of parameters describing the conditions for water filtration. Therefore, the selection of test methods and the method of determining

some parameters, especially those affecting this parameter, was considered crucial for approximating the result of modelling to real conditions.

The results of laboratory tests of hydrogeological parameters of rocks deposited in the dump enrich the input data to models of numerical filtration and migration of pollutants, which in connection with their correctly performed calibration can ensure high reliability of prognostic simulation calculations.

Among the numerous testing methods envisaged for loose materials as satisfying for the assessment of allochthonous rock debris permeability, the authors indicate as a recommended method of assessing the permeability originally created for the study of charges for liquidated mine shafts according to Bromek and Bukowski (2002). The authors proposed to adapt the research methods originally developed for the purpose of forecasting water hazards in shafts and underground excavations of mining plants for the need of assessing changes in water circulatory conditions within the dump of Carboniferous rocks in the Upper Silesian Coal Basin.