ZASTOSOWANIE WYBRANYCH METOD BADANIA HYDROGEOLOGICZNYCH WŁAŚCIWOŚCI SKAŁ DLA CELÓW PROGNOZOWANIA WPŁYWU REKULTYWACJI WYROBISKA ODKRYWKOWEGO SKAŁĄ PŁONNĄ NA WODY PODZIEMNE

USING OF SELECTED METHODS OF TESTING THE HYDROGEOLOGICAL PROPERTIES OF ROCKS FOR PREDICTING THE IMPACT OF OPEN PIT RECLAMATION USING MINING WASTES ON THE CONDITION OF GROUNDWATER

Katarzyna Niedbalska - Główny Instytut Górnictwa, Katowice

Racjonalne zarządzanie wyrobiskiem odkrywkowym oraz kierunkiem i zakresem jego rekultywacji jest istotne z punktu widzenia zapewnienia bezpieczeństwa powszechnego i środowiskowego. Szczególne znaczenie ma ograniczenie oddziaływania na środowisko wód podziemnych i powierzchniowych w przypadku rekultywacji odkrywki poprzez częściowe lub całkowite jej wypełnienie materiałem allochtonicznym, najczęściej odpadami pogórniczymi z kopalń węgla kamiennego. Dla tego typu obiektów autorka zaproponowała zakres zintegrowanych badań hydrogeologicznych, których zastosowanie pozwoli na docelowy dobór optymalnego kierunku zarządzania wyrobiskiem odkrywkowym i ograniczenie wymywania zanieczyszczeń ze zwałowiska i dalszej ich migracji w wodach podziemnych.

Słowa kluczowe: *rekultywacja, wyrobisko odkrywkowe, odpady pogórnicze, badania hydrogeologiczne, modelowanie numeryczne*

The rational management of the open pit and the direction and scope of its reclamation is important from the point of view of ensuring universal and environmental safety. It is of particular importance to limit the environmental impact on groundwater and surface water in the case of the excavation reclaimed by partial or full filling with allochtonous material, most often with post-mining waste from hard coal mines. For such as objects author proposed a range of integrated hydrogeological research, the application of which will allow for the targeted selection of the optimal management direction of the open pit work and limitation of leaching of pollution from the dump and further their migration in groundwater.

Keywords: *reclamation, open pit, post-mining wastes, hydrogeological research, numerical modeling*

1. Wstęp

Eksploatacja odkrywkowa złóż surowców skutkuje istotnymi przeobrażeniami środowiska naturalnego, począwszy od zmian w pierwotnym ukształtowaniu powierzchni terenu, wpływie na stan warunków hydrogeologicznych i hydrograficznych, poprzez degradację gleby, jej nadmierne zawodnienie lub osuszenie, aż do zmian jakości powietrza oraz warunków biologicznych. Wpływy te obserwowane są nie tylko w bezpośrednim sąsiedztwie kopalni, ale niejednokrotnie mają zasięg regionalny.

Aktualne przepisy prawne obarczają gospodarza terenu obowiązkiem przywrócenia wartości użytkowych i przyrodniczych obszarom zdegradowanym przez działalność wydobywczą. Kierunki i sposoby rekultywacji takich obiektów scharakteryzowane są w każdym planie zagospodarowania gminy, na terenie której znajduje się wyrobisko.

Rekultywacja wyrobisk odkrywkowych zgodnie z przyjętą praktyką przebiega w kilku etapach obejmujących rekultywację techniczną oraz biologiczną (Manczarski P., Grabowski Z., 2008). Procesy te dotyczą ponownego ukształtowania terenu, uregulowania stosunków wodnych, odtworzenie gleb, zabezpieczenie stateczności zboczy i skarp, wprowadzenie roślinności. Dopiero w następnym etapie przeprowadzane są specjalistyczne zabiegi techniczne, mające na celu przygotowanie terenu do spełnienia swoich docelowych funkcji.

W Polsce najpowszechniejszym kierunkiem rekultywacji wyrobisk odkrywkowych jest kierunek leśny, rolny lub wodny. Rzadko jednak cały obszar rekultywowany jest tylko w jeden sposób. Najczęściej rekultywacja przebiega wielokierunkowo: wyrobisko odkrywki wypełnianie jest np. odpadami wydobywczymi do odpowiedniej rzędnej, a następnie w wydzielonej części formowany jest zbiornik wodny. Jest to etap poprzedzający docelowe zagospodarowanie wyrobisk poeksploatacyjnych, np. pod cele rekreacyjne bądź gospodarcze (Szczepiński J., 2017). Wypełnianie niecki podpoziomowej odpadami pogórniczymi nie jest jednak środowiskowo neutralne. O ile problem nie występuje, bądź jest niewielki w przypadku deponowania w wyrobisku skał nadkładu, to już w sytuacji wypełniania odpadami z górnictwa węgla kamiennego ich oddziaływanie na środowisko szczególnie gruntowo-wodne jest znaczące. Ne-

gatywne oddziaływanie odpadów górniczych na środowisko związane jest głównie z powstawaniem kwaśnych odcieków, ryzykiem samozapłonu wewnątrz hałdy, pyleniem, wzrostem zasolenia wód podziemnych i powierzchniowych.

Zarówno zasięg, skala, jak i intensywność oddziaływania zanieczyszczeń na wody podziemne i powierzchniowe mogą być znacząco ograniczone poprzez zintegrowanie badań – w tym najnowszych metod oceny hydrogeologicznych właściwości skał i modelowania numerycznego – i implementacje ich wyników na etapie od planowania rekultywacji po monitoring środowiskowy. Autorka przedstawiła w artykule koncepcję badań hydrogeologicznych, stanowiących zakres spójnych działań nad opracowaniem skutecznej metody ograniczenia wymywania zanieczyszczeń ze zwałowiska odpadów i ich migracji w środowisku gruntowo-wodnym.

2. Materiały stosowane przy likwidacji wyrobisk odkrywkowych i zasady ich deponowania

Rekultywacja z zastosowaniem skały płonnej musi przebiegać z zapewnieniem bezpieczeństwa powszechnego i środowiskowego. Specyfikację jakościową materiałów dopuszczonych do wypełniania nimi wyrobisk odkrywkowych ujęto m.in. w *Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 21 marca 2006 r. w sprawie odzysku lub unieszkodliwiania odpadów poza instalacjami i urządzeniami.* Ustawodawca ustalił również kryterium typu podłoża terenu, które musi zapewnić ograniczenie migracji zanieczyszczeń do środowiska gruntowo-wodnego.

W praktyce górniczej w rekultywacji wyrobisk odkrywkowych stosowane są najczęściej:

- skały nadkładu pozyskane na etapie udostępniania złoża metodą odkrywkową – właściwości tych skał zależą od technologii deponowania, metod i długości transportu oraz warunków klimatycznych (Wysokiński L., 2010),
- odpady pochodzące z robót przygotowawczych i udostępniających złoża kopalin innych niż rudy metali (np. węgla kamiennego) – w zależności od techniki urabiania i składowania materiał ten charakteryzuje się zróżnicowaną granulacją ziaren o wymiarach do 500 mm (Kotowski W., 2006). Przy zastosowaniu tych odpadów niezbędne jest spełnianie przez nie odpowiednich wymagań w zakresie ich właściwości geomechanicznych, hydrogeologicznych, geotechnicznych oraz fizykochemicznych,
- odpady z procesów przeróbczych (z przygotowania węgla, odpady poflotacyjne oraz popłuczkowe) – materiał najczęściej stosowany w prewencji przeciwpożarowej oraz do celów ochrony przed nadmiernym zawilgoceniem i pyleniem na hałdach i zwałowiskach odpadów wydobywczych,
- odpady paleniskowe – znajdują one zastosowanie m.in. w technologii stabilizacji gruntów i zwałowisk odpadów wydobywczych,
- osady ściekowe – stosowane są głównie dla poprawienia właściwości fizyko-chemicznych gruntów przeznaczonych pod działalność rolną.

Wieloletnie doświadczenia nad rekultywacją wyrobisk odkrywkowych z zastosowaniem skały płonnej z eksploatacji węgla kamiennego jednoznacznie wskazują, że dla bezpieczeństwa środowiska wód podziemnych i powierzchniowych materiał deponowany powinien być w wyrobiskach suchych, w których zwierciadło wód podziemnych znajduje się co najmniej 1,0 m poniżej dna odkrywki. Materiał ten nie powinien być też stosowany na terenach podmokłych lub w miejscach występowania gruntów organicznych, nienośnych (Szydeł R., 1999). Na przedsiębiorcy każdego takiego obiektu spoczywa także obowiązek założenia systemu monitoringu lokalnego pierwszego poziomu wodonośnego, gdzie należy prowadzić kontrolę składu chemicznego wody, głównie pH, utlenialności, chlorków, siarczanów, sodu i potasu.

3. Zakres badań

Odpowiedni sposób deponowania odpadów oraz stosowanie skutecznych rozwiązań minimalizujących wietrzenie minerałów ze zwałowiska i dopływ wód podziemnych i infiltracji opadów do bryły odpadów jest właściwie jedną z najskuteczniejszych metod ograniczania wymywania zanieczyszczeń i ich migracji w warstwie wodonośnej. W prognozowaniu dynamiki tego procesu oraz czynników go warunkujących zastosowanie znajdują programy do modelowania numerycznego, które pozwalają nie tylko na odzwierciedlanie warunków rzeczywistych, ale i na śledzenie zmian procesu w czasie (Szczepiński J., 2013). Badania modelowe dla oceny wpływu rekultywacji wyrobiska odkrywkowego skałą płonną z kopalń węgla kamiennego powinny być wspierane przez kompleks najnowszych i jednolitych metod badawczych wzajemnie komplementarnych. Szczególnie istotne jest oznaczenie właściwości filtracyjnych odpadów pogórniczych w rejonie odkrywki, wraz z badaniami zmian parametrów hydrogeologicznych i fizykomechanicznych materiału zależnymi od jego ilości, rodzaju, zawodnienia oraz czasu i głębokości składowania.

Na modelu skonstruowanym w oparciu o rozpoznane badaniami terenowymi i laboratoryjnymi (w tym metodami wskazanymi w rozdziale 3.1 oraz 3.2) parametry hydrogeologiczne naturalnych i przekształconych antropogenicznie warstw wodonośnych, należy zrealizować wariantowe badania symulacyjne prowadzące do wyboru optymalnej lokalizacji, struktury i wydajności projektowanego sposobu ograniczenia dopływu wód do zwałowiska oraz lokalizacji sieci punktów monitoringowych. Badania modelowe pozwolą na prognozowanie zmian rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń w środowisku wodno-gruntowym, wynikających ze zróżnicowanych koncepcji zagospodarowania rekultywowanego wyrobiska odkrywkowego.

3.1. Badanie wodochłonności materiałów pogórniczych

Proces wymywania zanieczyszczeń konserwatywnych z bryły zwałowiska, czas jego trwania i intensywność zależy od natężenia dopływu wód do zwałowiska, ilości i rodzaju gromadzonych odpadów, zastosowanej technologii zwałowania oraz obecności lub braku środków prewencyjnych ograniczających dopływ wód (podziemnych i opadowych) do zwałowiska. W przypadku budowy pełnego zwału proces wymywania zanieczyszczeń jest zazwyczaj wolniejszy niż w przypadku budowy na odpadach zbiornika wodnego, jednakże czas oddziaływania i zmniejszenia się stężenia zanieczyszczeń w strudze wód podziemnych będzie dłuższy.

Istotnym elementem w prognozowaniu oddziaływania zwałowiska na wody podziemne jest zdaniem autorki przeprowadzenie ilościowej oceny zdolności chłonnych deponowanych odpadów (głównie skał karbońskich) i objętości wolnych przestrzeni jako strefy szczególnie podatniej na wietrzenie minerałów i wymywanie zanieczyszczeń.

W rozwiązywaniu tego problemu autorka proponuje stosowanie metody opracowanej w Głównym Instytucie Górnictwa (Bukowski P., 2010) pierwotnie na potrzeby oceny zasięgu zwierciadła wody i pojemności wodnej zbiornika wodnego w kopalniach węgla kamiennego (rys. 1). Przedstawiona w artykule metoda prowadzenia oznaczeń pozwala na oszacowanie tempa wchłaniania wody przez analizowane próbki skalne, zróżnicowane pod względem czasu ich składowania, stopnia rozdrobnienia, składu mineralnego i granulometrycznego.

Istotą badań jest ich prowadzenie na specjalnie przygotowanych próbkach odpadów pogórniczych, które powinny charakteryzować się podobną masą (około 11,0-12,0 kg) oraz proporcjami frakcji ziarnowych odpowiadającymi procentowym ich udziałom w próbach wielkogabarytowych (100 – 130 kg) pobranych w trakcie prac terenowych. Próby należy pobierać z kilku obszarów reprezentujących różny stopień destrukcji odpadów wynikających ze zmiany ich właściwości fizykomechanicznych na skutek oddziaływania czynników klimatycznych i atmosferycznych, tj. świeże (do 6 miesięcy), częściowo zwietrzałe (do 5 lat), zwietrzałe (do 15 lat), bardzo zwietrzałe (powyżej 15 lat), dla których należy przeprowadzić zgodne z normą oznaczenie wilgotności naturalnej.

Oznaczenie wodochłonności polega na cyklicznym, powolnym zatapianiu prób w celu odpowietrzenia próby (do pozycji min. oraz maks.), a następnie po 7 dniach na grawitacyjnym odprowadzeniu wody (również dwuetapowo: do pozycji min., a kolejno do dna naczynia). Badanie prowadzone powinno być w 4 cyklach (łącznie 28 dób), w każdym z nich oznaczeniu podlega objętość wody wchłoniętej przez skały oraz jej udział w ogólnej ilości wody użytej w oznaczeniach, jak również masa wody wchłoniętej i jej proporcje w stosunku do masy skały. Objętość wody wchłoniętej przez skały można określić docelowo w dwojaki sposób:

- jako różnicę pomiędzy wilgotnością naturalną skał, a wilgotnością oznaczoną po każdym kolejnym cyklu pomiarowym,
- jako różnicę pomiędzy objętością wody użytej w oznaczeniach, a objętością wody odsączonej z próbki.

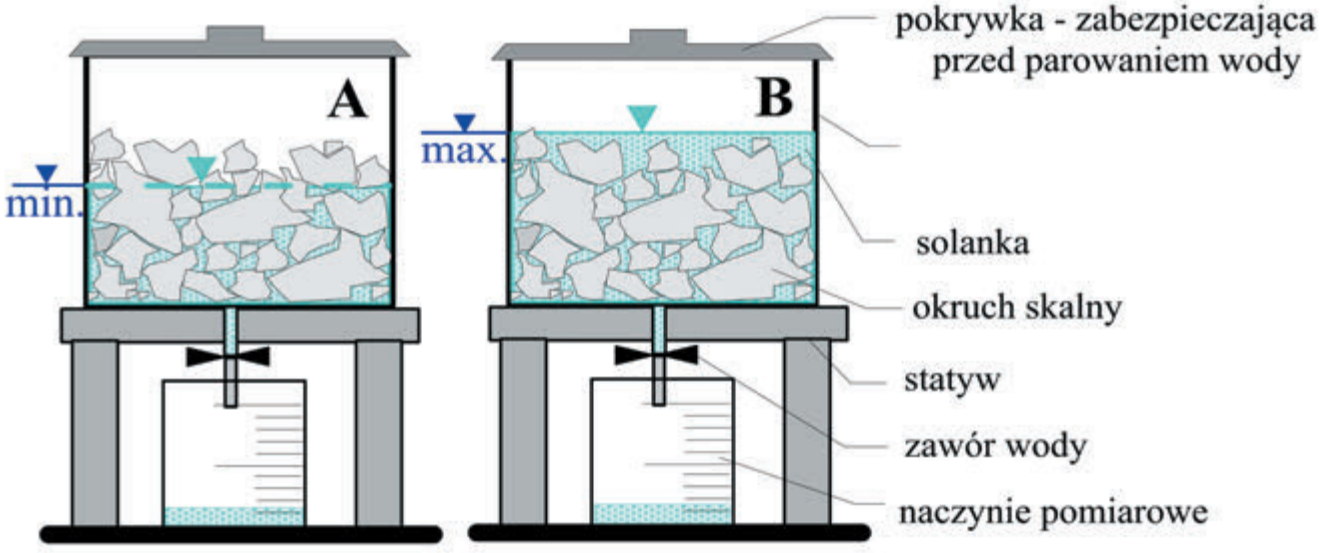
Sugeruje się, aby po każdym cyklu pomiarowym pobierać próby odsączonej wody do badań laboratoryjnych (oraz próby wody wzorcowej użytej do oznaczeń), dając możliwość na prognozowanie zdolności skał do „oddawania" zanieczyszczeń.

Po zakończeniu oznaczeń próbkę należy wyciągnąć z naczynia pomiarowego, doprowadzić do stanu powietrzno-suchego, a następnie skierować na badania zmian współczynnika filtracji w zależności od wartości ciśnienia pionowego zgodnie z metodą scharakteryzowaną w rozdziale 3.2.

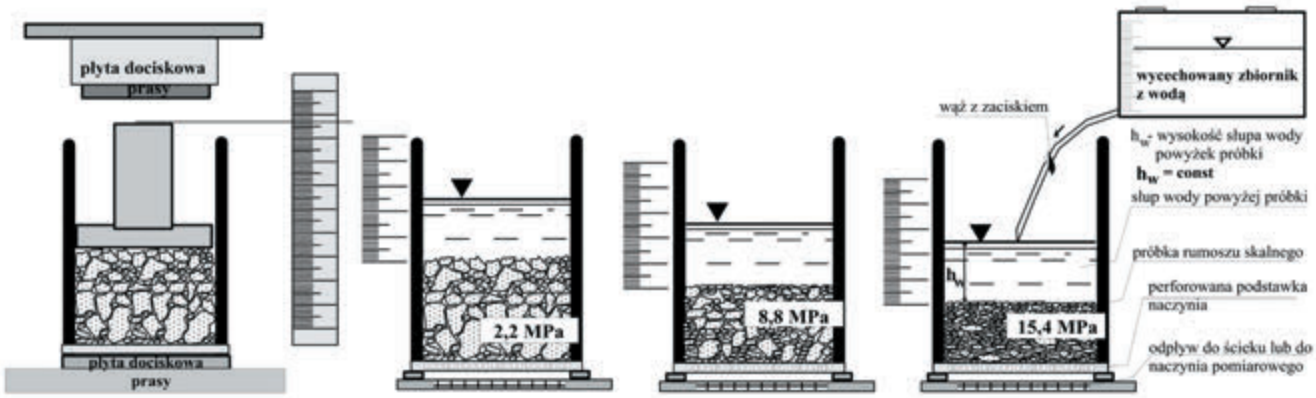
3.2. Badanie ściśliwości i współczynnika filtracji odpadów pogórniczych w zmiennych warunkach ciśnienia pionowego

Żadna ze stosowanych dotychczas metod badań współczynnika filtracji materiałów luźnych nie jest w stanie wiernie odwzorować warunków występujących w bryle zwałowiska odpadów pogórniczych. Z tego powodu autorka proponuje prowadzenie badań laboratoryjnych na modelowych próbkach w oparciu o opracowaną w Głównym Instytucie Górnictwa metodę oceny wodoprzepuszczalności i ściśliwości zasypów szybowych (Bromek T., Bukowski P., 2002, Bukowski P., Niedbalska K., 2013) (rys. 2). Po adaptacji dla celów badania odpadów pogórniczych deponowanych w wyrobisku odkrywkowym metoda ta pozwala na uwzględnienie zmienności właściwości filtracyjnych materiału na różnych głębokościach zwałowiska, które wynikają ze zmian ciśnienia pionowego wywieranego przez skały nadsypywane w trakcie rekultywacji.

Istotą tego sposobu jest nawiązanie do warunków rzeczywistych filtracji wody w obrębie bryły zwałowiska poprzez przyjęcie w badaniach założeń dotyczących m.in. znajomości składu petrograficznego i granulometrycznego skał oraz ich właściwości fizykomechanicznych i hydrogeologicznych. Proponowany sposób określania właściwości filtracyjnych materiału skalnego uznany jest za słuszny przy założeniu, że materiał stosowany w rekultywacji charakteryzuje się pewną ściśliwością. Z uwagi na ten fakt konieczne jest uwzględnienie zagęszczenia i osiadania materiału w zwałowisku w wyniku obciążenia ciężarem materiału nadsypywanego w trakcie wielu lat rekultywacji oraz na skutek zagęszczania mechanicznego



Rys.1. Stanowisko do oznaczenia wodochłonności materiału skalnego (Bukowski P., 2010)
Fig.1. Test stand for determine water storage capacity of rock debris (Bukowski P., 2010)



Rys. 2. Schemat przebiegu procesu badania wodoprzepuszczalności rumoszu w warunkach zmiennego ciśnienia pionowego w aparacie typu edometr konstrukcji GIG (Bromek T., Bukowski P., 2002)

Fig. 2. Diagram of the process of testing the water permeability of rock debris under variable vertical pressure in the apparatus of the edometer type of GIG's construction (Bromek T., Bukowski P., 2002)

prowadzonego na bieżąco przez przedsiębiorcę w trakcie zasypywania wyrobiska.

Badania odpadów pogórniczych wykonuje się na specjalnie przygotowanych próbkach laboratoryjnych o znanym uziarnieniu w maszynie wytrzymałościowej z funkcją pomiaru obciążenia i odkształcenia pionowego (Gwoździewicz M., Bukowska M., 2012). Oznaczenia współczynnika filtracji oraz ściśliwości materiału skalnego prowadzi się na tej samej próbce i dla każdej wartości ciśnienia (w zależności od potrzeb).

Próbki luźnych rumoszy skalnych należy poddawać cyklicznym badaniom filtracji wody w warunkach zmiennego nacisku pionowego jako symulacji nacisku skał gromadzonych w procesie zasypywania wyrobiska odkrywkowego.

Wyniki badań przepuszczalności materiałów stosowanych do rekultywacji kopalń odkrywkowych w warunkach zmieniającego się ciśnienia pionowego obarczona jest jednak pewnymi czynnikami niepewności. Może nim być (Bukowski P., Niedbalska K., 2013):

- możliwość wypłukiwania z próbki drobnych frakcji ziarnowych przez filtrującą wodę,
- trudny do zbadania stopień rozdrobnienia skał znajdujących się na znacznych głębokościach w bryle zwałowiska,
- trudny do określenia stopień dalszej degradacji i zagęszczenia materiału skalnego poddanego narastającemu naciskowi pionowemu,
- trudny od ustalenia stopień reprezentatywności analizowanych próbek.

4. Podsumowanie

Opracowanie wiarygodnych koncepcji, a zarazem docelowego sposobu ochrony wód w rejonie odkrywek po całkowitej rekultywacji obszaru wymaga wykonania kompleksowych badań fizykomechanicznych, hydrogeologicznych i petrograficznych deponowanych materiałów skalnych, których wyniki znacząco poprawią dokładność oceny stanu środowiska w rejonie kopalni. Docelowy sposób ochrony środowiska wód podziemnych i powierzchniowych wymaga przeprowadzenia oceny sytuacji obecnej i przyszłej w oparciu o wyniki bieżących i możliwie najbardziej aktualnych badań laboratoryjnych, polowych i modelowych. Szczególnie istotne jest dokonanie dogłębnej charakterystyki i prognozy zmian właściwości fizykomechanicznych i geochemicznych materiału skalnego deponowanego w wyrobisku popiaskowym w zależności od jego zawodnienia, głębokości, rodzaju i wieku.

Badania powinny być prowadzone dla zróżnicowanego stanu zawodnienia zdeponowanych materiałów w warunkach ich składowania. Można zakładać, że stan zawodnienia będzie się zmieniać w zależności od warunków atmosferycznych, czasu składowania, sposobu deponowania, sposobu likwidacji wyrobiska i rodzaju odpadów. Konieczne będą badania laboratoryjne (w tym dotychczas nie stosowane dla takiego celu metody badań parametrów wytrzymałościowych, odkształceniowych, wodochłonności i przepuszczalności), które pomogą w ocenie procesów wietrzenia i rozpadu odpadów i możliwości wyzwalania procesów prowadzących do uwalniania zanieczyszczeń. Badania te muszą być uzupełnione o określenie zmienności uziarnienia oraz ściśliwości materiału pod wpływem nacisku pionowego (ciśnienia wywołanego ciężarem odpadów nadległych). Zdaniem autorki tak skonstruowane badania modelowe, terenowe i laboratoryjne otwierają możliwość kreowania i uszczegółowienia dalszych rozwiązań i prognoz wynikających np. ze zmiany koncepcji likwidacyjnych odkrywki.

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

Literatura

[1] Bromek Tadeusz, Bukowski Przemysław. *Ocena przepuszczalności materiałów zasypowych użytych do likwidacji szybów kopalnianych.* Przegląd Górniczy, 2002, 11: 18-23

[2] Bukowski Przemysław. *Prognozowanie zagrożenia wodnego związanego z zatapianiem wyrobisk górniczych kopalń węgla kamiennego.* Katowice: Prace Naukowe Głównego Instytutu Górnictwa, 2010, 882: 223s, ISSN 1230-2643

[3] Bukowski Przemysław, Niedbalska Katarzyna. *The analysis of selected properties of solid rock materials designed for shafts liquidation.* 13th International Scientific GeoConference. Geology and Environmental Protection (SGEM 2013) Albena, Bulgaria, 2013, vol. 2: 467-474, ISBN 978-954-91818-8-3

[4] Gwoździewicz Michał, Bukowska Mirosława. *Zmiany współczynnika filtracji różnowiekowych odpadów wydobywczych w bryle składowiska „Bogdanka" w świetle badań modelowych oraz in situ.* Górnictwo i Środowisko. Research reports. Mining and Environment, 2012, 1: 47-62

[5] Kotowski Włodzimierz. *Utylizacja i gospodarka odpadami.* Bytom, Wyd. WSEiA, 2001, 195s, ISBN 83-88587-35-8

[6] Manczarski Piotr, Grabowski Zbigniew. *Wytyczne w zakresie wymagań dla procesów rekultywacji, w tym makroniwelacji, prowadzonych przy użyciu odpadów.* Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej, 2008, 16s

[7] Szczepiński Jacek. *Modelowanie numeryczne w badaniach hydrogeologicznych dla oceny pływu kopalń odkrywkowych na środowisko wodne.* Wrocław, Politechnika Wrocławska, 2013, 200s, ISBN 8393778808

[8] Szczepiński Jacek. *Rekultywacja wodna wielkoprzestrzennych wyrobisk poeksploatacyjnych. W: Hydrogeologia w praktyce – praktyka w hydrogeologii.* Praca zbiorowa pod red. Przemysława Bukowskiego, Ewy Krogulec i Jacka Szczepińskiego, Katowice: Główny Instytut Górnictwa, 2017, ISBN 978-83-65503-11-4, s.199-208

[9] Szydeł Ryszard. *Zasady rekultywacji wyrobisk poeksploatacyjnych po kopalniach odkrywkowych złóż kopalin pospolitych z wykorzystaniem skały płonnej z KWK „Bogdanka".* Lubelski Urząd Wojewódzki w Lublinie, Wydział Ochrony Środowiska, 05:R.VII.7517/7r/99, 1999

[10] Wysokiński Lech. *Rekultywacja terenów kopalni odkrywkowych i ich wykorzystanie budowlane.* Przegląd Geologiczny, 2010, vol. 58, nr 9/2: 912-917

Fot. Renata S-K

Enigmatyczne lustro przyrody