

Badania i modyfikacje podziemnych technologii górniczych

Research and modification of underground mining technologies



*Dr hab. inż. Waldemar Korzeniowski
prof. AGH**



*Dr inż. Katarzyna Poborska-
Młynarska**



*Dr inż. Zbigniew Rak**



*Dr inż. Krzysztof Skrzypkowski**



*Dr inż. Jerzy Stasica**

Treść: Artykuł wskazuje zakres i obszary zainteresowania tylko wybranych zagadnień naukowo-badawczych zrealizowanych w ostatnich latach przez pracowników Katedry Inżynierii Górniczej i Bezpieczeństwa Pracy, Pracowni Eksploatacji Złóż, podkreślając szczególną rolę i znaczenie ścisłej współpracy naukowców z zakładami górniczymi. Zakres działalności dotyczy kopalń podziemnych wszystkich kopalń eksploatowanych w Polsce i w wielu przypadkach również za granicą. Projekty realizowane są najczęściej na podstawie bezpośredniej współpracy z zainteresowanymi przedstawicielami przemysłu, ale również jako kilkuletnie projekty badawcze finansowane przez państwo i opracowywane w większych konsorcjach. Rezultaty prac znajdują najczęściej bezpośrednie zastosowania i niejednokrotnie stanowią oryginalne, opatentowane rozwiązania techniczne. Szczegółowe rozwiązania przedstawione w artykule można odnaleźć we wcześniejszych publikacjach pracowników dotyczących określonych zagadnień.

Abstract: The article indicates the scope and areas of interest only for selected scientific and research issues implemented in recent years by the employees of the Department of Mining Engineering and Occupational Safety, the Mining Laboratory, emphasizing the special role and importance of close cooperation between scientists and mining companies. The scope of activity concerns underground mines of all minerals exploited in Poland and in many cases also abroad. Projects are usually implemented on the basis of direct cooperation with interested industry representatives, as well as several years of research projects financed by the State and developed in larger consortia. The results of the work are usually directly applicable and often constitute original, patented technical solutions. Detailed solutions presented in the article can be found in earlier employee publications on specific issues.

Słowa kluczowe:

górnictwo podziemne, technologie, badania i rozwój

Key words:

underground mining, technology, R&D

*) AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, WGiG w Krakowie

1. Wprowadzenie

W Katedrze Inżynierii Górniczej i Bezpieczeństwa Pracy (do maja 2019 roku: Katedra Górnictwa Podziemnego) realizuje się szeroki zakres badań naukowych dotyczących wielu istotnych zagadnień mających na celu poprawę efektywności stosowanych technologii eksploatacji złóż oraz podniesienie poziomu bezpieczeństwa pracy załogi. Do najważniejszych zagadnień podejmowanych przez pracowników naukowo-badawczych należy zaliczyć obszary badawcze związane z:

- projektowaniem udostępniania złóż i systemów eksploatacji,
- monitoringiem górotworu,
- modelowaniem numerycznym,
- doбором obudowy wyrobisk oraz badaniem obudowy kotwowej,
- wykorzystywaniem podziemnych wyrobisk górniczych w kontekście ochrony środowiska,
- technologiami podsadzkowymi,
- czystymi technologiami pozyskiwania energii,
- automatyzacją prac w systemach eksploatacji.

Dla realizacji powyższych celów wykonuje się badania laboratoryjne, pomiary i eksperymenty bezpośrednio w kopalniach oraz modelowanie numeryczne i na modelach fizycznych.

Projekty badawcze Katedry dotyczą kopalń wydobywających węgiel kamienny, rudy miedzi, cynku i ołowiu oraz sól. Spośród licznych badań naukowych, na uwagę zasługuje dobór obudowy kotwowej oraz systemów eksploatacji dla górnictwa rudnego, solnego oraz zagospodarowanie odpadów w górotworze solnym. Innowacyjne rozwiązania dotyczące urabiania, obudów górniczych oraz monitoringu górotworu są przedmiotem patentów oraz wzorów użytkowych (Korzeniowski 2013, 2019, Korzeniowski i in. 2016, Skrzypkowski 2015, 2017).

Charakterystyka pracy obudowy zmechanizowanej i deformacje wyrobisk

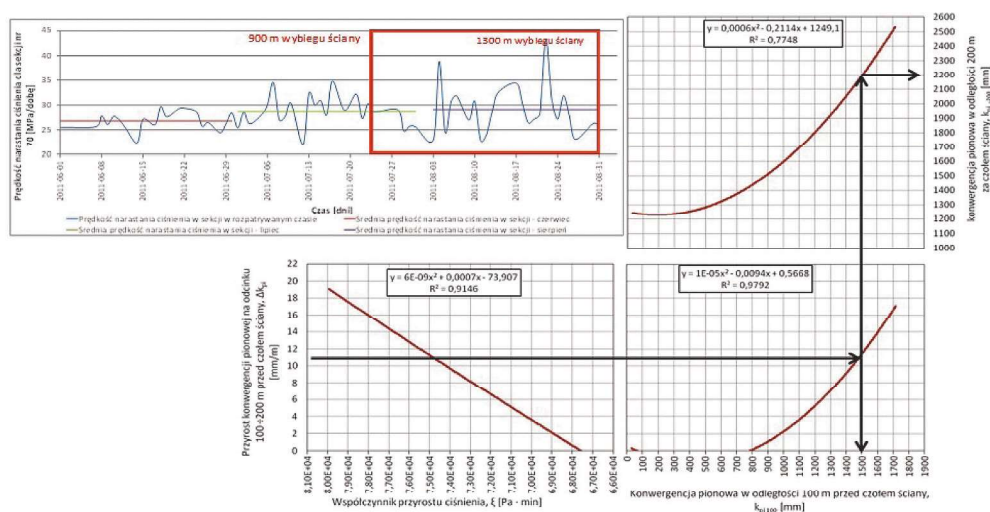
Projekt badawczy NCBiR i NCN nr NN524465239 (umowa nr 4652/B/T02/2010/39) p.t.: Badania obciążeń wyrobisk przyścianowych przy eksploatacji pokładu węgla o małej miąższości na podstawie dynamiki obciążeń obudowy zmechanizowanej i kompleksu strugowego w warunkach LW „Bogdanka”, (Herezy 2013, Korzeniowski i in. 2010-2012, Korzeniowski i in. 2013) pozwolił na opis i przewidywanie zachowania się wyrobisk przyścianowych przed i za fron-

tem ściany, poprzez zdefiniowany współczynnik przyrostu ciśnienia pozwalający na przewidywanie przybliżonych wartości konwergencji przed i za frontem ścianowym, rys. 1. W efekcie odpowiednio można dobierać sposób zabezpieczenia i wzmocnienia wyrobisk przyścianowych w rejonie strugowego, badawczego pola ścianowego 1/VI/385 w LW „Bogdanka”. Wykonano stanowiska badawcze do pomiarów zmian parametrów górotworu i obudowy. W szczególności mierzono:

- zmiany wysokości i szerokości wyrobiska przed i za frontem ściany,
- przyrosty naprężenia pionowego za pomocą czujników strunowych,
- przemieszczenia obudowy przed i za frontem ściany,
- parametry siatki spękań górotworu nad wzmocnieniem z kasztów,
- szczelinowatość skał stropowych przed i za frontem ściany w strefie kotwowej,
- oznaczenia położenia stropu nad wzmocnieniem z kasztów względem stropu w polu ścianowym,
- zmianę miąższości pokładu w polu ścianowym.

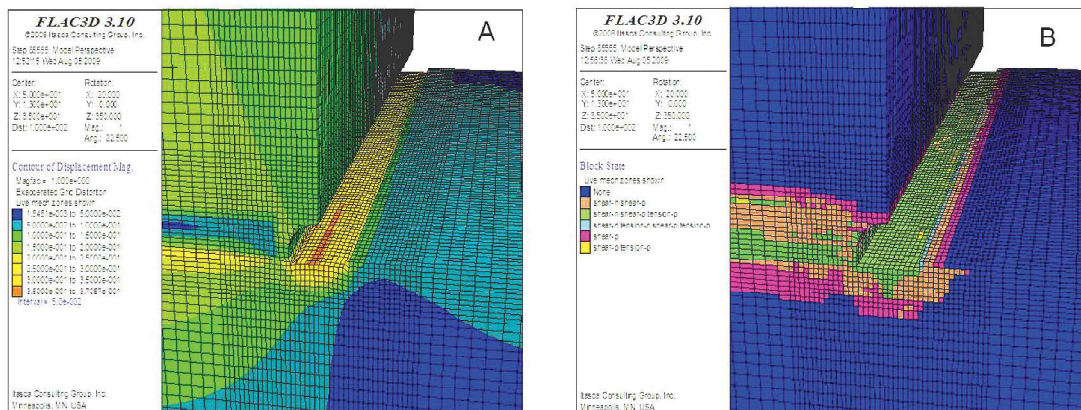
2. Wzmacnianie obudowy wyrobisk w kopalniach węgla kamiennego

Dla potrzeb kopalń węgla kamiennego wykonano wiele projektów obudowy nowych wyrobisk górniczych. Schodzenie z eksploatacją na coraz większe głębokości, wielopokładowa eksploatacja, a co za tym idzie wpływ krawędzi eksploatacyjnych, rozbudowana tektonika i zagrożenie tąpnięciami, powodują, że zachowanie stateczności wyrobisk górniczych staje się coraz bardziej skomplikowanym zagadnieniem zarówno na etapie wykonawstwa, jak i projektowym. Jednym z najtrudniejszych zadań w tym zakresie jest utrzymywanie wyrobisk w jednostronnym otoczeniu zrobów. Przykładem jest eksperyment przeprowadzony przez Katedrę wspólnie z LW Bogdanka S.A., który dotyczył utrzymania chodnika 1/VI/385 za pierwszą ścianą strugową wydrążonego na głębokości 950 m w pokładzie 385/2 (Rak 2011a, 2011b). Wcześniejsze próby utrzymywania wyrobisk w jednostronnym otoczeniu zrobów w latach 80. nie powiodły się. Opracowany model matematyczny górotworu pozwolił na dobór systemu zabezpieczeń chodnika w poszczególnych fazach jego istnienia, rys. 2.



Rys. 1. Nomogram do wyznaczania wartości konwergencji przed i za frontem ściany (Herezy 2013)

Fig. 1. Nomogram for determining the convergence value before and behind the longwall front (Herezy 2013)



Rys. 2. Przesunięcia całkowite (A) i zasięg stref uplastycznienia (B) – chodnik 1/VI/385
Fig. 2. Total displacements (A) and zone range of plasticity (B) – drift 1/VI/385

Dobrano system zabezpieczeń wyrobiska wykorzystując system kotew prętowych oraz strunowych, a także kasztów z drewna bukowego wypemianych wysokosprawnym spoiwem cementowym. Dodatkowo zastosowano szczerłą wykładkę mechaniczną w czole wyrobiska (Małkowski i in. 2011; Małkowski, Rak 2011). Rozwiązanie to zostało wdrożone w LW Bogdanka i do dzisiaj jest to podstawowy element obudowy w tej kopalni, fot. 1.

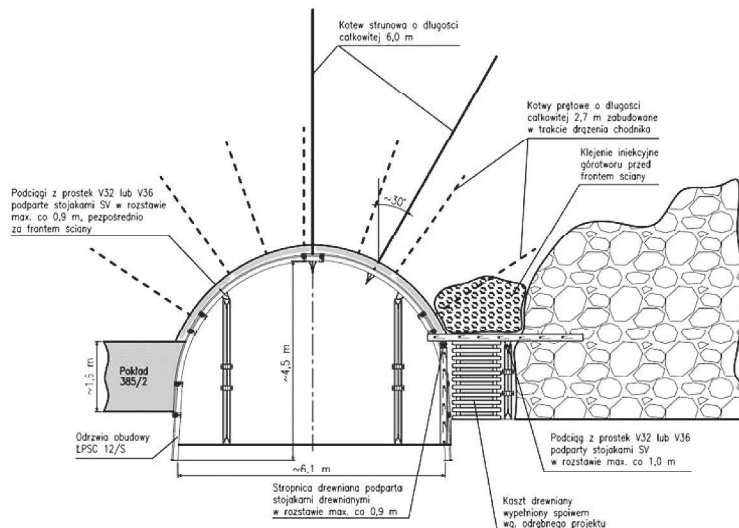
Ostateczny schemat zabezpieczenia chodnika 1/VI/385 przedstawia rys. 3. Ilość i rodzaj środków zaangażowanych dla potrzeb utrzymania tego wyrobiska za ścianą nie miał precedensu w polskim górnictwie.

Koszt utrzymania wyrobiska był o około 50% niższy od kosztu drążenia wyrobiska nowego. Doświadczenia uzyskane w LW Bogdanka stały się przyczyną dla wdrożenia analogicznego systemu utrzymania chodników w PG Silesia. W tym wypadku po raz pierwszy w górnictwie węglowym na Górnym Śląsku zastosowano jednocześnie międzyodrzwiowe kotwienie w przodku oraz wykładkę mechaniczną (Rak i in. 2015). Rezultaty uzyskane w opisanych powyżej dwóch przypadkach aktualnie są przedmiotem wdrożenia w projekcie realizowanym wspólnie przez Katedrę i JSW S.A.

Badania i projekty wdrożeniowe Katedry dotyczą również szybów i komór przyszybowych, jako wyrobisk skompliko-



Fot. 1. Widok przykotwionych luków stropowych oraz wykładki mechanicznej
Photo 1. A view of bolted roof arches and mechanical lining



Rys. 3. Sposób zabezpieczenia chodnika podścianowego 1/VI/385 za ścianą nr 1/VI w pokładzie 385/2
Fig. 3. Supporting method of drift 1/VI/385 behind the longwall no 1/VI in a coal seam 385/2

wanych w zakresie bieżącego zabezpieczania i ewentualnych przebudów. Projekt zrealizowany dla grupy OKD w Republice Czeskiej (Stasica i in. 2015) dotyczył zdarzenia w 2015 roku, wskutek którego bryła betonu odspojonego z obmurza szybu „Darkov 1” spadając uderzyła w przemieszczającą się w szybie klatkę, prowadząc do jej awarii i w efekcie zatrzymania ruchu w szybie. Po dokładnej inwentaryzacji, przeprowadzono badania nieniszczące obudowy z wykorzystaniem metody sklerometrycznej oraz pobrano próby rdzeniowe z obmurza szybu dla potrzeb badań laboratoryjnych, ukierunkowanych głównie na wskazanie stopnia korozji betonu. Do oceny parametrów wykorzystano trzy metody badawcze - skaningowa mikroskopia elektronowa (SEM) wraz ze spektroskopią dyspersji energii (EDS) i analizą elektronów wstecznie rozproszonych (BSE), fot. 2.

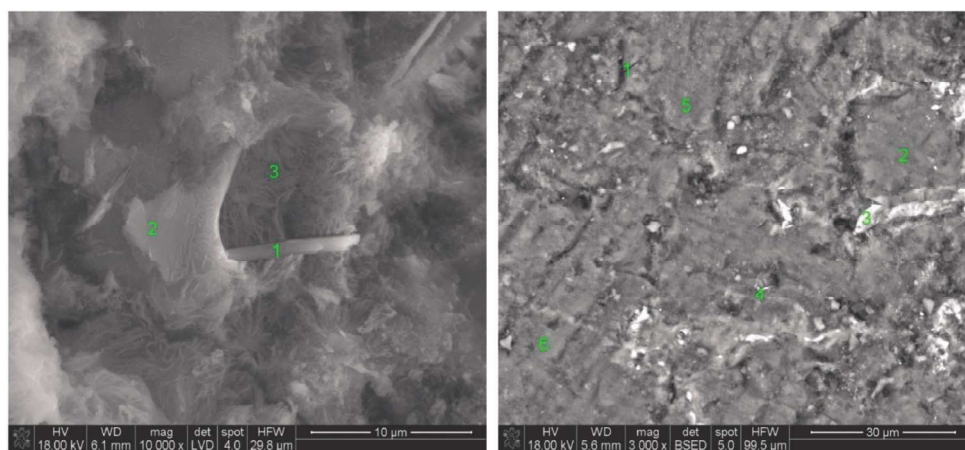
Badania przeprowadzono w laboratoriach AGH, a ich wyniki jednoznacznie wykluczyły korozję chemiczną betonu jako przyczynę degradacji obudowy szybu.

3. Rozpoznawanie nieciągłości górotworu podczas procesu wiercenia w kopalni KGHM

W kopalniach podziemnych otwory kotwowe oraz strzałowe wykonywane są metodą wiercenia obrotowo-udarowego. Analiza cykli wiercenia poszczególnych otworów daje

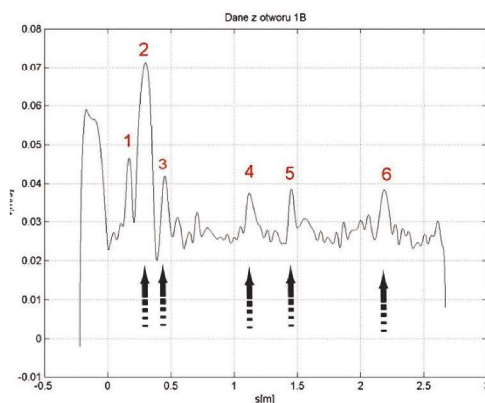
możliwość nie tylko oceny efektywności procesu wiercenia, lecz również określenia niektórych cech górotworu, takich jak powierzchnie nieciągłości, czy też zmiany własności wytrzymałościowych skał w określonym pakiecie. Biorąc pod uwagę fakt wykonywania w każdej z kopalń milionów otworów, podjęto próbę opracowania praktycznej metodyki badań oraz zbudowania i wykorzystania odpowiednio przygotowanej bazy danych. Podjęto projekt badawczy pt.: „Opracowanie metodyki badawczej oraz urządzenia do lokalizowania krytycznych powierzchni nieciągłości górotworu – lokalizatora rozwarstwień” zrealizowany w ramach Przedsięwzięcia Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego „Inicjatywa technologiczna”-2008-2009 (KB/130/12596/IT1-B/U/08).

Wykazano, że przy odpowiednio licznej bazie danych można wprowadzić charakterystyczny parametr górotworu określający położenie i liczbę rozwarstwień bez konieczności wykonywania dodatkowych otworów badawczych (rys. 4). W polskich kopalniach rud miedzi wykonuje się duże ilości otworów strzałowych i kotwowych. Otwory te wykonywane są zwykle trzema metodami: wiercenia obrotowego, obrotowo-udarowego lub udarowego za pomocą wozów wierniczych lub kotwowych. Wozy zaopatrzone są w zestawy wierzące składające się z wiertarki, żerdzi wierniczej i narzędzia. Obciążenie zestawu wierzącego jest wynikiem reakcji calizny na wnikanie ostrza narzędzia w skałę. Wartość, jak i zmienność tego obciążenia charakteryzuje dany proces wiercenia i może



Fot. 2. Zdjęcia skaningowej mikroskopii elektronowej - próbka 11B, (z lewej: przełam - analiza EDS, z prawej: zgląd - analiza BSE)

Photo 2. Scanning electron microscopy photos - sample 11B, (on the left: fracture - EDS analysis, on the right: microsection - BSE analysis)



Rys. 4. Charakterystyka zmienności sygnału podczas wiercenia otworu w stropie wyrobiska z oznaczeniem lokalizacji rozwarstwień

Fig. 4. Characteristics of signal variability during drilling a hole in the roof of excavation with indication the location of the strata separation

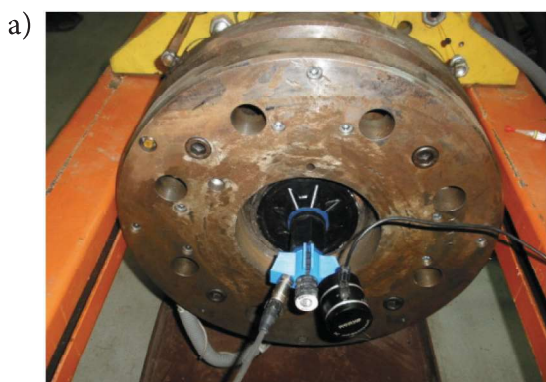
być zbiorem informacji umożliwiających ocenę zestawu wierzącego i/lub własności i jakości górotworu. We współczesnych samojezdnych wozach wierniczych coraz częściej zabudowuje się układy pomiarowe monitorujące zmianę parametrów procesu wiercenia. Układy te umożliwiają ciągłą kontrolę procesu wiercenia oraz sterowanie tym procesem. Jest to możliwe dzięki współczesnym nowoczesnym możliwościom techniki pomiarowej oraz obróbki komputerowej sygnałów pomiarowych. Obecnie istnieją wprawdzie maszyny wiernicze wyposażone w układy kontrolno-pomiarowe z ciągłą rejestracją, jednakże brak jest metody analizy zgromadzonych danych, szczególnie pod kątem oceny jakości górotworu. Na podstawie eksperymentów wykonanych w jednej z kopalń KGHM Polska Miedź opracowano algorytm umożliwiający lokalizowanie rozwarstwień w stropie wyrobisk podczas rutynowego procesu wiercenia. Przykładowa charakterystyka pokazana jest na rys. 4. Rozwiązanie zostało opatentowane (Korzeniowski i in. 2010).

4. Wpływ działania materiału wybuchowego na obciążenie kotew w kopalni rud miedzi

Na podstawie badań zrealizowanych w kopalni KGHM eksperymentalnie określono wielkości siły osiowej w kotwach pojawiającej się wskutek działania materiału wybuchowego. Przeprowadzone badania pozwoliły na ilościowe oszacowanie efektu robót strzałowych realizowanych na potrzeby eksploatacji złoża rud miedzi. Stwierdzono zależności pomiędzy zastosowaną ilością materiału wybuchowego a indukowaną prędkością drgań cząstek górotworu, podając odpowiednie wzory charakterystyczne dla określonych kierunków przemieszczeń (Dudziński i in. 2004). Podano zakres zmienności przyrostu dodatkowej siły obciążającej kotew wskutek eksplozji MW w przodku eksploatacyjnym, która w przypadku warunków kopalni miedzi nie przekroczyła wartości 4% wymaganej nośności kotew wynoszącej 100 kN. Na podstawie podanych zależności i formuł można określić zakres i charakterystyki zmienności prędkości drgań działających w trzech kierunkach oraz wartości ich wypadkowej (tabela 1).

5. Nieniszcząca metoda badania obudowy kotwowej

Nieniszcząca metodę oceny stanu wyężenia kotwy opracowano w ramach grantu TANGO2/340166/NCBR/2017 p.t.:



Fot. 3. Badania laboratoryjne obudowy kotwowej: a) elementy systemu SAS, b) stanowisko laboratoryjne do badania obudowy kotwowej (Skrzypkowski 2014)

Photo 3. Laboratory tests of bolt support; a) components of the SAS system, b) laboratory stand for testing the bolt support (Skrzypkowski 2014)

Tabela 1. Maksymalne prędkości drgań kotew w funkcji odległości R i ilości MW-Q

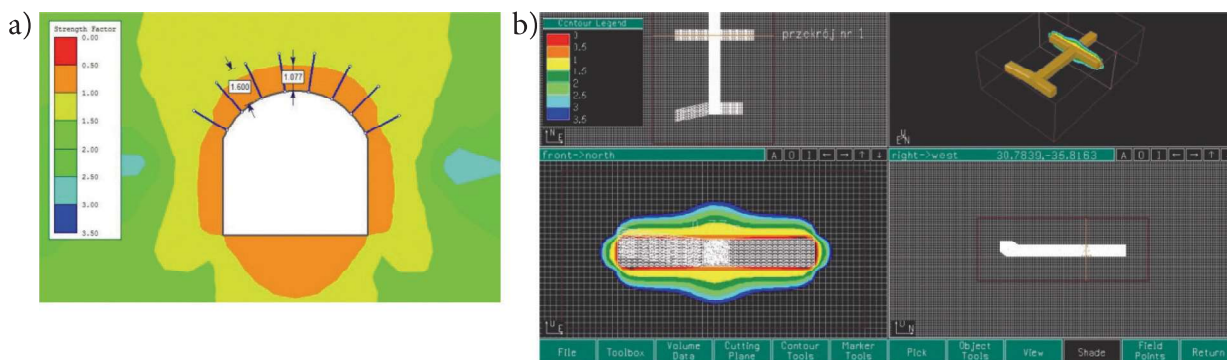
Table 1. Maximal vibration velocities of bolts as a function of distance R and the amount of MW (blasting material) -Q

L.p.	Kierunek składowej	Prędkość maksymalna [cm/s]
1	Pozioma x	$v_x = 1,48 Q^{0,327} R^{-0,667}$
2	Pozioma y	$v_y = 1,36 Q^{0,364} R^{-0,788}$
3	Pozioma xy	$v_{xy} = 1,03 Q^{0,426} R^{-0,671}$
4	Pionowa z	$v_z = 0,228 Q^{0,476} R^{-0,192}$
5	Wypadkowa xyz	$v_{xyz} = 0,772 Q^{0,431} R^{-0,423}$

„Samowzbudny Akustyczny System SAS do monitorowania poziomu bezpieczeństwa w wyrobiskach kopalnianych”. System ten może być zastosowany w wyrobiskach górniczych i tunelach (Skrzypkowski i in. 2019). Obecnie trwają badania laboratoryjne, dzięki którym możliwa będzie ocena obciążenia obudowy kotwowej metodą nieniszcząca w warunkach *in situ* (fot. 3a). Dysponując charakterystykami obciążeniowo-częstotliwościowymi oraz przemieszczeniowo-częstotliwościowymi można, w ciągu kilkunastu sekund, określić wielkość obciążenia obudowy kotwowej. Stanowisko laboratoryjne umożliwia przeprowadzenie badań obudowy kotwowej w geometrycznej skali 1:1 pod obciążeniem statycznym oraz szybkozmiennym, jest także przystosowane do badania żerdzi o długości do 6 m (Skrzypkowski 2014). Maksymalna wartość obciążenia wynosi 1600 kN. Cechą szczególną stanowiska jest bieżący monitoring obciążenia, przemieszczenia oraz odkształcenia kotwy (fot. 3b).

6. Badania dla kopalń rud cynku i ołowiu

Dla kopalń należących do ZGH Bolesław wykonywane są opracowania naukowe dotyczące doboru obudowy wyrobisk, podsadzki hydraulicznej oraz modyfikacji systemów eksploatacji. W opracowaniach wykorzystywane są badania w warunkach *in situ*, laboratoryjne oraz modelowanie numeryczne. Przykładowe wyniki symulacji numerycznych dla nowo projektowanych wyrobisk pokazano na rysunkach (rys. 5a, 5b).



Rys. 5. Określenie zasięgu stref wyężenia wokół wyrobiska w kopalni Olkusz-Pomorzany a) model 2D, b) model 3D
 Fig. 5. Determination of the range of strength factor zones around the excavation in the Olkusz-Pomorzany mine
 a) 2D model, b) 3D model

W 2015 roku opracowano techniczne studium wykonalności eksploatacji złoża „Zapadna Struktura” (Kopalnia Suplja Stijena/Gradir Montenegro) metodą podziemną. Po zakończeniu aktualnie realizowanej eksploatacji metodą odkrywkową (fot. 4a, 4b), można rozważyć przedłużenie żywotności kopalni poprzez eksploatację metodą podziemną, która była stosowana w latach 60. ubiegłego wieku.

7. Stateczność i wykorzystanie wyrobisk w kopalni soli

W 2017 r. w KS „Kłodawa” zaprojektowano i wykonano stanowiska badawcze umożliwiające zbadanie skuteczności obudowy kotwowej, zarówno rozprężnej jak i instalowanej na bazie ładunków klejowych, przeprowadzając próby obciążeniowe kotew z jednoczesnym zdejmowaniem charakterystyk obciążeniowo-odkształceniowych, fot. 5. Przedstawiając wieloaspektowe podejście do zagadnienia łączące rezultaty

badan laboratoryjnych, eksperymentów *in situ*, monitoringu, modelowania numerycznego oraz doświadczenia ruchowego inżynierów, wyszczególniono uwarunkowania, które mogą być pomocne przy podejmowaniu decyzji o stosowaniu obudowy kotwowej w KS Kłodawa. Dokonano klasyfikacji rejonów kopalni o określonej intensywności deformacji komór w kontekście konieczności zabezpieczenia wyrobisk.

Dla KS „Kłodawa” opracowano koncepcję technologii odzysku odpadów wtórnych pochodzących z instalacji termicznego przekształcania odpadów komunalnych (Poborska-Młynarska 2013, Poborska-Młynarska, Korzeniowski 2015, Korzeniowski i in. 2018). Polega ona na wykorzystaniu właściwości samozestalającej się mieszaniny sporządzonej na bazie drobnziarnistych odpadów stałych pochodzących ze spalaní odpadów komunalnych. Zaproponowano dwie technologie:

- 1) opartą na technologii podsadzki hydraulicznej (TPH), w której mieszanina jest przygotowywana w instalacji



Fot. 4. Kopalnia odkrywkowa Stuplja Stijena/Gradir Montenegro; a) zbocze, b) wejście do starej sztolni
 Photo 4. Open Pit Stuplja Stijena/Gradir Montenegro; a) slope, b) entrance to the old adit



Fot. 5. Test obciążeniowo-odkształceniowy kotew w KS Kłodawa; a) komora eksploatacyjna, b) etap obciążania, c) ocena ciągłości górotworu kamerą
 Photo 5. Load – displacement test of rock bolt support at Kłodawa Salt Mine; a) exploitation chamber, b) loading stage, c) assessment of rock mass continuity by means of camera

powierzchniowej i jest dostarczana poprzez szyb do wyrobisk kopalni rurociągiem oraz

- 2) technologię suchego odpadu (TSO), w której odpady z powierzchni transportowane są pneumatycznie rurociągiem do kopalni, następnie dostarczane są do podziemnej instalacji przygotowania mieszaniny, po czym mieszanina jako płynna ciecz lub gęsta pasta jest przepompowana rurociągiem do docelowych wyrobisk.

Po analizie koncepcyjnej wykonano badania laboratoryjne (fot. 6a-6d) wybranych właściwości odpadów wtórnych (popiołów i pyłów), pochodzących ze spalarni odpadów komunalnych, oceniono możliwości odzysku niektórych właściwości odpadów w procesie wypełniania pustek poeksploatacyjnych istniejących w kopalni soli (Skrzypkowski i in. 2018). Zbadano popioły paleniskowe oraz odpady z oczyszczania spalin, pochodzących z jednej z krajowych spalarni. Zwrócono uwagę na ważny aspekt praktyczny wynikający z radykalnie wzrastającej ilości tego typu odpadów w nadchodzących latach w Polsce i jednocześnie olbrzymie potencjalne możliwości kopalni soli dysponujących olbrzymimi pojemnościami komór (Korzeniowski, Poborska – Młynarska 2017).

8. Badanie efektywności systemu podziemnej eksploatacji węgla brunatnego na modelach fizycznych

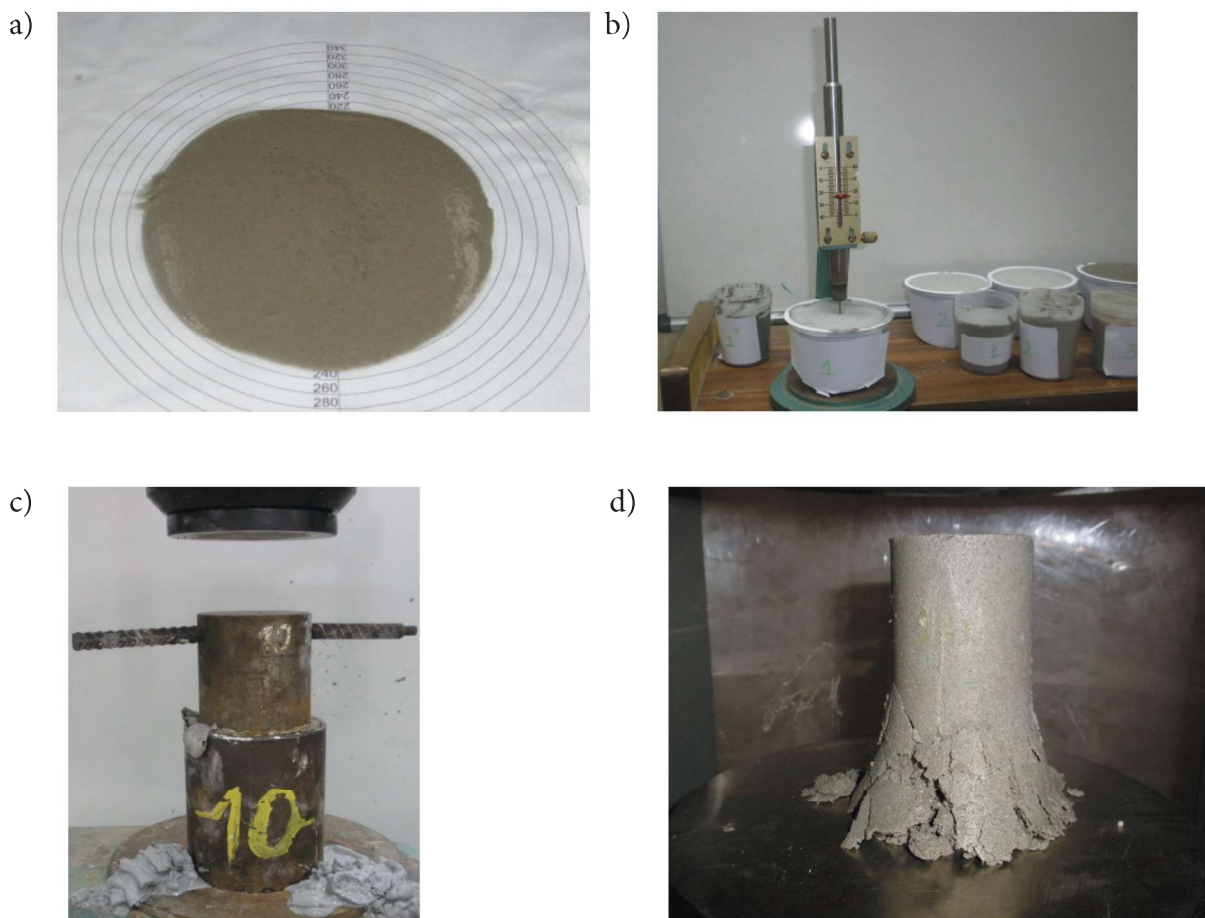
Celem badań było określenie kształtowania strat i zużożenia lignitu przy systemie ścianowo-podbierkowym na

przykładzie kopalni Novaki na Słowacji. Dla określenia wyżej wymienionych wskaźników został zaprojektowany i wybudowany w Katedrze Górnictwa Podziemnego AGH wielowariantowy model fizyczny, fot. 7, w którym wypuszczanie urobku odbywało się z kilku otworów wysypowych jednocześnie, przy przemieszczaniu sekcji obudowy zmechanizowanej z zachowaniem maksymalnego kroku posuwu (Terpak 2019). Eksperymentalnie dowiedziono, że najbardziej efektywnym sposobem wypuszczania urobku jest sposób równomierno-seryjny, przy określonych wielkościach zabiorów i miąższości urabianej półki, co pozwala na uzyskanie maksymalnej objętości urobku z półki stropowej. Wyniki badań zweryfikowano również na modelu numerycznym, rys. 6.

9. Modułowa kapsuła ratunkowa

Wydział Górnictwa i Geoinżynierii jest współrealizatorem demonstratora technologii modułowej kapsuły ratunkowej przeznaczonej do ewakuacji poszkodowanych w środowisku niebezpiecznym. Projekt p.t.: „Modułowa kapsuła ratunkowa do ewakuacji poszkodowanych w środowisku niebezpiecznym - demonstrator technologii pbs2/b2/10/2013” został sfinansowany przez NCBiR w ramach PBS i zrealizowany przez konsorcjum w składzie: IMBiGS, jako lider projektu oraz AGH, CSRG S.A., PW, WIHiE, WIML.

Demonstrator technologii, fot. 8, przeznaczony jest do stosowania w kopalni głębinowej węgla kamiennego, ale można

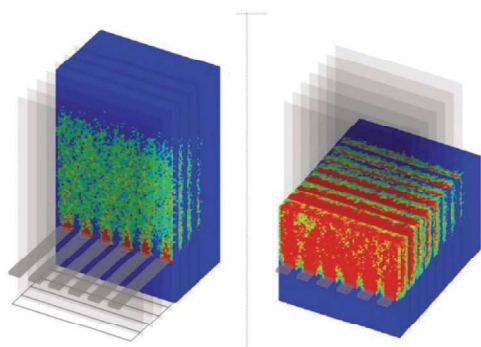


Fot. 6. Wybrane badania laboratoryjne mieszaniny podsadzkowej: a) rozlewność, b) czas tężenia, c) ściśliwość, d) wytrzymałość na ściskanie

Photo 6. Selected laboratory tests of the backfilling mixture: a) flowability, b) setting time, c) compressibility, d) compressive strength



Fot. 7. Model fizyczny systemu ścianowo-podbierkowego, (Terpak 2019)
Photo 7. Physical model of the longwall Top Coal Caving method, (Terpak 2019)



Rys. 6. Model numeryczny systemu ścianowo-podbierkowego, (Terpak 2019)
Fig. 6. Numerical model of the longwall Top Coal Caving method (Terpak 2019)

go również adaptować do innych środowisk niebezpiecznych, takich jak: platformy wiertnicze, zakłady chemiczne, tunele, schroniska wysokogórskie z brakiem możliwości dojazdu cywilnych służb medycznych, duże kompleksy leśne, kolej, duże obiekty budowlane użyteczności publicznej, grotty, jaskinie, itp.

Demonstrator technologii składa się z trzech modułów:

- nośnika modułu medycznego i transportowego (zasobnika) z wyposażeniem,
- modułu transportowego - noszy monitorujących,
- modułu transportowo-medycznego do kopalnianego wozu sanitarnego.

Koncepcja kapsuły istotnie usprawnia transport poszkodowanego z wykorzystaniem infrastruktury transportowej kopalni. Nosze posiadają możliwości adaptacji do poszczególnych systemów transportowych przy znacznej poprawie komfortu (zastosowanie odpowiedniej amortyzacji) oraz możliwości

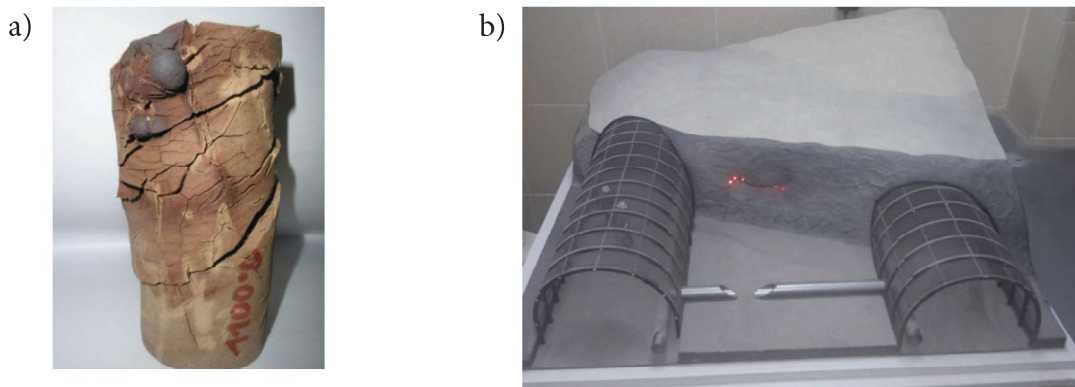
monitoringu stanu poszkodowanego podczas jego transportu. Podczas transportu wozem sanitarnym poszkodowany znajduje się już pod opieką lekarza, który ma do dyspozycji sprzęt oraz środki medyczne znajdujące się w wozie sanitarnym. Moduł medyczny wyposażono w mechatroniczny system monitorowania: wysycenia hemoglobiny tlenem, aktywności oddechowej RR, aktywności serca EKG, ciśnienia krwi NiBP i temperatury ciała poszkodowanego. Ponadto mierzy się parametry klimatyczne panujące wewnątrz zasobnika i stan urządzeń monitorujących. Moduł posiada funkcję przesyłania informacji na dowolne urządzenie mobilne. Innowacyjność kapsuły ratunkowej polega przede wszystkim na przyspieszeniu czasu rozpoczęcia udzielenia pomocy oraz poszerzeniu zakresu czynności ratowniczych do czasu wytransportowania poszkodowanego z zagrożonego obszaru.

10. Badania w zakresie innowacyjnych metod pozyskiwania energii

W ramach strategicznego programu badań naukowych i prac rozwojowych „Zaawansowane technologie pozyskiwania energii” zrealizowano zadanie nr 3 grantu badawczego NCBiR (Nr umowy AGH 23.23.660.8902/R34) p.t.: „Opracowanie technologii zgazowania węgla dla wysokoefektywnej produkcji paliw i energii elektrycznej - Wymagania górnicze i środowiskowe z modelowaniem procesów geo-gazodynamicznych”. Podstawowym celem badań było określenie wpływu wysokiej temperatury (1200°C) na parametry wytrzymałościowe oraz strukturalne próbek skał piaskowca, łupka piaszczystego, łupka ilastego (fot. 9a i 9b), oraz łupka ilastego zapiaszczonego w aspekcie podziemnego zgazowania węgla (Korzeniowski, Skrzypkowski 2012, Małkowski, Skrzypkowski 2013).



Fot. 8. Demonstrator technologii
Photo 8. Technology demonstrator



Fot. 9a. Destrakcja łupka ilastego po wygrzaniu w temperaturze 1100°C

Photo 9a. Destruction of mudstone after heating at 1100°C

Fot. 9b. Makieta procesu podziemnego zgazowania węgla

Photo 9b. Model of underground coal gasification process

11. Koncepcja automatyzacji i robotyzacji procesu ładowania urobku

Obecnie, aby zwiększyć poziom bezpieczeństwa w kopalniach głębokich, na głębokościach poniżej 1200 m, opracowuje się systemy zdalnego sterowania maszyn górniczych (kotwarki, wozy strzałowe, ładowarki, wozy do odstawy urobku), które są obsługiwane bezzałogowo z bezpiecznej odległości. Takie rozwiązania mogą być przydatne zwłaszcza w wyrobiskach z podwyższoną temperaturą pierwotną skał (i powietrza), zagrożonych obwałami i zawałami oraz przede wszystkim dla górotworu skłonnego do tąpnięć. W tym zakresie kilka lat temu podjęto wyzwanie polegające na zaproponowaniu projektu pt.: „Robotyzacja maszyny górniczej z wykorzystaniem technologii skanowania laserowego 3D”, którego celem było opracowanie systemu tworzenia trójwymiarowych map oraz lokalizacji urządzeń w podziemnych obiektach górniczych na podstawie charakterystycznych znaczników. Opracowane procedury oraz algorytmy mogły być wykorzystane do stworzenia prototypu autonomicznego systemu sterowania wybranymi urządzeniami górniczymi. Założono tworzenie trójwymiarowych map obiektów w oparciu o skanery laserowe oraz system wizyjny. Założono lokalizację urządzenia w oparciu o algorytmy SLAM wykorzystujące fuzję sensorów. Niestety, pomimo przygotowania kompletnego programu innowacyjnego projektu ostatecznie nie doszło do jego realizacji z powodu wycofania się partnera przemysłowego. Pomysłodawcy projektu są jednak głęboko przekonani o celowości podjęcia tego typu niełatwych wyzwań w najbliższych latach. Dla podkreślenia roli innowacyj-

ności w górnictwie, przy udziale z firmą LEGO, opracowano model ładowarki kołowo-przegubowej w skali 1:25, która jest sterowana przez tablet (fot. 10). Pozwoli to na prezentowanie działalności górniczej szerszej społeczności w sposób bardziej interesujący, zrozumiały oraz przede wszystkim bezpieczny i zachęcający do pracy w górnictwie podziemnym.

12. Wnioski

Przedstawiona w artykule problematyka badawcza realizowana w Katedrze Inżynierii Górniczej i Bezpieczeństwa Pracy stanowi tylko część zagadnień, którymi zajmowali się pracownicy Pracowni Eksploatacji Złóż w ostatnich latach, pokazując przede wszystkim szeroki zakres zainteresowań dotyczący kopalń podziemnych. Wielokrotnie wynikiem prac były oryginalne rozwiązania konstrukcyjne obudów górniczych, przyrządów do monitoringu górotworu czy też inne technologie dostosowane zarówno do wymagań coraz to głębszych kopalń, jak i coraz surowszych wymogów ochrony środowiska, które jako innowacyjne rozwiązania uzyskały ochronę patentową, jako wynalazki lub wzory użytkowe. Z przedstawionego zakresu wykonywanych projektów badawczych wynika, że współczesne badania naukowe są coraz bardziej interdyscyplinarne i wymagają zaangażowania oraz budowania zespołów badawczych o coraz szerszych kompetencjach. Podejmowanie trudnych zagadnień może prowadzić do powstawania rozwiązań innowacyjnych, które poprawiają efektywność technologii i podnoszą poziom bezpieczeństwa pracy załogi, przyczyniając się jednocześnie do uatrakcyjnienia górnictwa, jako nowoczesnego miejsca pracy, co ma szczególnie ważne znaczenie w odbiorze społecznym.



Fot. 10. Model ładowarki kołowo-przegubowej sterowanej z tabletu

Photo 10. Model of LHD vehicle controlled from a tablet

Literatura

- DUDZIC T. KORZENIOWSKI W., PIECHOTA S. 2004 - Badanie wpływu robót strzałowych na zakotwiony strop wyrobiska komorowego. „Górnictwo i Geoinżynieria”. R. 28, z. 1, s. 9-23.
- HEREZY Ł. 2013 - Prognozowanie zasięgu wzmożonych deformacji chodnika przyścianowego na podstawie monitoringu pracy obudowy zmechanizowanej w warunkach kopalni LW Bogdanka S.A. Rozprawa doktorska. Kraków, AGH.
- KORZENIOWSKI I INNI. 2010÷2012 - Badania obciążeń wyrobisk przyścianowych przy eksploatacji pokładu węgla o małej miąższości na podstawie dynamiki obciążeń obudowy zmechanizowanej i kompleksu

- strugowego w warunkach LW Bogdanka. Projekt badawczy własny nr: N N524 465239.
- KORZENIOWSKI W. 2013 - Kaszt górnicy. Biuletyn Urzędu Patentowego. Nr 12, s. 32-33.
- KORZENIOWSKI W. 2019 - Sposób urabiania skał za pomocą materiału wybuchowego. Biuletyn Urzędu Patentowego. Nr 14, s. 34.
- KORZENIOWSKI W., HEREZY Ł., KRAUZE K., RAK Z., SKRZYPKOWSKI K. 2013 - Monitoring górotworu na podstawie analizy pracy sekcji obudowy zmechanizowanej. Wydawnictwa Naukowe. Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie.
- KORZENIOWSKI W., KRAUZE K., RĄCZKA W., SIBIELAK M. 2010 - Lokalizator rozwarstwień warstw skalnych. Biuletyn Urzędu Patentowego. Nr 20, s. 21.
- KORZENIOWSKI W., POBORSKA-MŁYNARSKA K. 2017 - Analiza SWOT odzysku odpadów w technologii wypełniania wyrobisk w kopalni soli. Przegląd Solny: rocznik Polskiego Stowarzyszenia Górnictwa Solnego. T. 13, s. 156-160.
- KORZENIOWSKI W., POBORSKA-MŁYNARSKA K., SKRZYPKOWSKI K. 2018 - The idea of the recovery of municipal solid waste incineration (MSWI) residues in Kłodawa Salt Mine S.A. by filling the excavations with self-solidifying mixtures. Archives of Mining Sciences. Vol. 63, no. 3, s. 553-565.
- KORZENIOWSKI W., SKRZYPKOWSKI K. 2012 - Badania zmian wybranych właściwości geomechanicznych skał pod wpływem temperatury do 1100°C w aspekcie potencjalnych możliwości procesu podziemnego zgazowania węgla. „Przegląd Górniczy”, nr 5, s. 44-53.
- KORZENIOWSKI W., SKRZYPKOWSKI K., HEREZY Ł., KULIK M., ZAGÓRSKI K. 2016 - Sposób pomiaru obciążenia kotwy oraz dynamometryczna podkładka kotwowa. Biuletyn Urzędu Patentowego. Nr 2, s. 26.
- MAŁKOWSKI P., RAK Z., STASICA J. 2011 - Elementy wykonywania wykładki mechanicznej w świetle dotychczasowych doświadczeń. Prace Naukowe GIG, Problemy współczesnego górnictwa. Kwartalnik nr 1/1 s. 316-326.
- MAŁKOWSKI P., RAK Z. 2011 - Wpływ wykładki mechanicznej na stan naprężenia i wyciężenia górotworu w otoczeniu chodnika przyścianowego wykonanego w słabych skałach karbońskich. Prace Naukowe GIG, Problemy współczesnego górnictwa. Kwartalnik nr 1/1 s. 251-262.
- MAŁKOWSKI P., SKRZYPKOWSKI K. 2013 - Zmiany właściwości mechanicznych i termicznych skał podczas procesu podziemnego zgazowania węgla. „Cuprum” nr 1, s. 67-80.
- POBORSKA-MŁYNARSKA K. 2013 - Assessment of the geological environment in respect of waste disposal in salt mine workings. Geologia : kwartalnik Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie. T. 39, nr 3, s. 223-232.
- POBORSKA-MŁYNARSKA K., KORZENIOWSKI W. 2015 - Model koncepcyjny trzystopniowej izolacji w podziemnym składowisku odpadów w wydzie solnym. Przegląd Solny: rocznik Polskiego Stowarzyszenia Górnictwa Solnego. T. 11, s. 51-56.
- RAK Z. 2011a - Utrzymanie chodnika za ścianą w trudnych warunkach geologiczno-górnicych na przykładzie Kopalni LW „Bogdanka” S.A. - cz. II - doświadczenia ruchowe. „Przegląd Górniczy”, nr 1-2, s. 43-50.
- RAK Z. 2011b - Utrzymanie wyrobisk przyścianowych za frontem eksploatacji w trudnych warunkach geologiczno-górnicych na przykładzie Kopalni LW „Bogdanka” S.A., Cz. 1. Przegląd technologii. „Przegląd Górniczy”, nr 1-2, s. 33-42.
- RAK Z., STASICA J., CIEPLIŃSKI Z., BORGIEL D. 2015 - Wysoko wydajny przodek chodnikowy w drażeniu wyrobisk przewidzianych do późniejszego wykorzystania w jednostronnym otoczeniu zrobów. „Przegląd Górniczy”, nr 6, s. 16-22.
- SKRZYPKOWSKI K. 2014 - Określenie charakterystyk naprężeniowo – odkształceniowych kotwy rozprężnej przy obciążeniach statycznych i dynamicznych, rozprawa doktorska. Kraków, AGH.
- SKRZYPKOWSKI K. 2015 - Podatna stopa podporowa górniczej obudowy chodnikowej. Biuletyn Urzędu Patentowego. Nr 11, s. 72-73.
- SKRZYPKOWSKI K. 2017 - Kaszt górnicy. Biuletyn Urzędu Patentowego. Nr 19, s. 33.
- SKRZYPKOWSKI K., KORZENIOWSKI W., POBORSKA-MŁYNARSKA K. 2018 - Binding capability of ashes and dusts from municipal solid waste incineration with salt brine and geotechnical parameters of the cemented samples. Archives of Mining Sciences. Vol. 63 no. 4, s. 903-918.
- SKRZYPKOWSKI K., KORZENIOWSKI W., ZAGÓRSKI K., DOMINIK I., LALIK K. 2019 - Fast, non-destructive measurement of roof-bolt loads. Studia Geotechnica et Mechanica. Vol. 41, no. 2, s. 93-101.
- STASICA J., RAK Z., KOŁODZIEJ Ł., HOŁDA A., MIK M. 2015 - Ekspertyza górnicy-geologiczna uwzględniająca dalsze wykorzystanie szybu i urządzenia wyciągowego TZ1 w organizacji OKD S.A. Podziemny Zakład nr 1. Praca niepublikowana.
- TERPÁK D. 2019 - Kształtowanie strat i zubożenia lignitu w systemie podbierkowym na przykładzie HBP Prievidza, rozprawa doktorska. Kraków, AGH.

Artykuł wpłynął do redakcji – wrzesień 2019

Artykuł akceptowano do druku – 27.09.2019