

MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA METOD GEOFIZYCZNYCH W GÓRNICTWIE ODKRYWKOWYM

THE POSSIBILITIES OF USAGE OF GEOPHYSICAL METHODS IN SURFACE MINING

Krzysztof Barański, Adrian Borcz, Michał Patyk - Wydział Górnictwa i Geoinżynierii, Katedra Górnictwa Odkrywkowego, AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

W artykule omówiono wykorzystanie metod geofizycznych do rozwiązywania problemów eksploatacyjnych w kopalniach odkrywkowych. Przedstawiono podział poszczególnych grup metod geofizycznych oraz dokonano ich charakterystyki, a także przeanalizowano perspektywy i możliwości ich zastosowania w górnictwie odkrywkowym. W artykule, ponadto, dokonano oceny skuteczności i efektywności działania poszczególnych metod geofizycznych w warunkach kopalnianych.

Słowa kluczowe: metody badań geofizycznych, geofizyka, górnictwo odkrywkowe

The paper presents the use of geophysical methods for solving operational problems in surface mines. The classification of particular groups of geophysical methods were presented and their characteristics were made, as well as perspectives and possibilities of their usage in surface mining were analyzed. The article also presents evaluation of the effectiveness and efficiency of various geophysical methods in mining conditions.

Keywords: geophysical research methods, geophysics, surface mining

Wprowadzenie

Jednym z możliwych obszarów zastosowania metod geofizycznych jest ich wykorzystanie w kopalniach odkrywkowych do rozwiązywania problemów pojawiających się podczas prowadzenia bieżącej eksploatacji.

Większość eksploatowanych obecnie złóż węgla brunatnego, a także znaczna część złóż projektowanych do zagospodarowania, charakteryzuje się złożoną budową geologiczną z występowaniem różnego typu zaburzeń związanych między innymi: z formą złoża, niejednorodnością podstawowych cech fizyko-mechanicznych skał nadkładowych (występowanie utworów o różnej charakterystyce urabialności) oraz pustek (pochodzenia najczęściej krasowego). Ponadto obszary te cechują liczne zaburzenia tektoniczne: uskoki, fałdy, fleksury oraz zapadliska. Są one wynikiem głównie procesów sedymentacyjnych oraz ruchów tektonicznych występujących w czasie tworzenia złoża oraz zachodzących po jego powstaniu. Obszar Polski w czasie geologicznym był wielokrotnie deformowany w okresach zlodowaceń poprzez oddziaływanie wywołane naciskiem mas lądolodu. W wyniku procesów glacictonicznych przemieszczeniu na znaczne odległości uległy duże ilości skał, dlatego w obszarach eksploatacyjnych często występują głązy narzutowe (tzw. eratyki).

Wysoki wskaźnik zmienności złoża powoduje, że rozpoznanie budowy geologicznej wykonane w ramach dokumentowania złoża, jest niewystarczająco dokładne do prowadzenia eksploatacji. Dlatego konieczne jest bieżące rozpoznanie

eksploatacyjne. W tym celu wykorzystanie metod geofizycznych, ze względu na ich mało inwazyjny charakter, może być pomocne i pożądane do zachowania ciągłości wydobycia oraz zapewnienia bezpieczeństwa osób pracujących w kopalni, a ponadto uniknięcia kosztów związanych z usuwaniem awarii maszyn i zmianą technologii eksploatacji.

Prowadzone w wyrobisku górnictwem badania geofizyczne umożliwiają rozwiązywanie niżej podanych problemów [3,8,9,10]:

- zadania geologiczne – w szczególności badanie cech ciągłości pokładów (lokalizowanie uskoków, zmian miąższości, rozpoznawanie utworów trudno urabialnych, pustek skalnych, lokalnych warstw wodonośnych itp.) oraz warunków tektonicznych złoża,
- zadania geomechaniczne – przewidywanie wpływów działalności górniczej na strukturę górotworu (tąpnięcia, osuwiska i inne grawitacyjne ruchy masowe),
- zadania ekologiczne – badanie wpływu eksploatacji na środowisko naturalne, szacowanie migracji zanieczyszczeń.

Podział metod geofizycznych

Istnieje wiele podziałów grup metod geofizycznych. Najważniejszy podział dotyczy rodzaju metod geofizycznych w zależności od wykorzystywanych pól fizycznych. Można wyróżnić tutaj m. in. następujące grupy metod [3,11]:

- metody radiofale (georadarowe),
- metody geofizyki otworowej (profilowania elektroopor-

- we, radiofalowe, akustyczne),
- metody sejsmiczne (pionowe profilowania sejsmiczne, prześwietlenia sejsmiczne),
 - metody geoelektryczne (geoelektryka oporowa, metody magnetotelluryczne),
 - metody magnetyczne (magnetometria),
 - metody grawimetryczne (grawimetria).

Metody geofizyczne można podzielić ze względu na cel badań na:

- badania poszukiwawcze – prowadzone w celu poszukiwania i identyfikacji złóż surowców,
 - badania eksploatacyjne – prowadzone w celu dokładniejszego rozpoznania formy i budowy geologicznej złoża oraz rozwiązywania bieżących problemów eksploatacyjnych.
- Trzeci podział metod geofizycznych dotyczy czasu wyko-

nywania pomiaru i uzyskiwania wyników:

- Metody wykonywane podczas przerw w eksploatacji – wymagające wstrzymania ruchu zakładu górniczego lub powodujące zakłócenia jego pracy, a niekiedy wycofania parku maszynowego poza obszar badań (wariant klasyczny).
- Metody realizowane w czasie rzeczywistym – niepowodujące przerw w eksploatacji, (wariant w czasie rzeczywistym).

Stosowanie metod geofizycznych w wariacie klasycznym powoduje konieczność przerw lub zakłócenia w pracy zakładu górniczego, a wyniki przeprowadzonych badań uzyskuje się po przetworzeniu i interpretacji otrzymanych danych przez podmiot realizujący badanie. Niekiedy konieczne staje się wycofanie sprzętu, który w przypadku niektórych metod (np. geoelektryka) ze względu na ich specyfikę może przyczynić się

Tab. 1. Znane i stosowane metody pomiarowe geofizyki otworowej [4]

Tab. 1. Known and applied borehole geophysics measurement methods [4]

Grupa profilowania	Podgrupa	Sposób działania metody	Uzyskane informacje	Zastosowanie
Elektrooporowe	Profilowania potencjałów naturalnych PS (polaryzacji samoistnej)	Infiltracja strefy przyodwiertowej filtrem płuczki bądź na skutek koncentracji jonowych w wodach złożowych i w filtracie	Powstaje potencjał filtracyjno-dyfuzyjny	<ul style="list-style-type: none"> • przestrzenna korelacja warstw, • wydzielenie warstw przepuszczalnych i nieprzepuszczalnych, • określanie miąższości warstw, • określanie mineralizacji wód złożowych, • interpretacja środowisk sedymentacji
	Profilowanie oporności PO (oporności pozornej)	Pomiar oporności pozornej profilu warstw	Podstawa do określenia porowatości efektywnej oraz rodzaju i wielkości przestrzeni porowej skał	<ul style="list-style-type: none"> • wykrywanie surowców mineralnych (ropa, gaz, węgiel, itd.), • badanie litologii, • wyznaczanie współczynnika porowatości i przepuszczalności
Radiometryczne	Profilowanie gamma PG	Pomiar naturalnej promieniotwórczości emitowanej przez pierwiastki: tor (Th), uran (U), potas (K)	Całkowita wielkość radiacji uzyskana od wymienionych pierwiastków: Th, U, K	<ul style="list-style-type: none"> • określanie litologii, • określanie zasobów minerałów promieniotwórczych, • określanie zailenia, korelacja międzyotworowa
	Spektralne profilowanie sPG	Rejestracja naturalnej promieniotwórczości izotopów Th, U oraz K. Profilowanie wykonywane sondą wyposażoną w kryształ NaI (jodek sodu aktywowany talem Tl)	Zapis promieniowania gamma przekształcony w widmo umożliwiające rejestrację poszczególnych izotopów	<ul style="list-style-type: none"> • określanie litologii, • wykrywanie stref spękanych i stylolitów, • rozpoznanie środowisk sedymentacyjnych, • korelacja międzyotworowa
	Profilowanie gamma-gamma PGG	Rejestracja rozproszonego stężenia promieniowania wzbudzanego sztucznie generatorem w sondzie (np. aktywnym kobaltem)	Przeliczona z tzw. gęstości elektronicznej intensywność promieniowania wtórnego pozwala na określenie gęstości objętościowej	<ul style="list-style-type: none"> • ocena zmian gęstości objętościowej warstw (a także ich porowatości), • określanie składu mineralnego i litologii, • kontrola stanu zacementowania przestrzeni pozarurowej, • wykrywanie węglowodorów
	Profilowanie neutronowe PN	Bombardowanie strefy przyodwiertowej strumieniem neutronów wzbudzanych w sondzie	Określenie wielkości wtórnego promieniowania (gamma)	<ul style="list-style-type: none"> • określanie porowatości, • określanie litologii, • oznaczanie horyzontów gazonośnych
Akustyczne	Profilowanie akustyczne PA	Badanie zmienności prędkości rozchodzenia się fal sprężystych	Zależność fal sprężystych od parametrów ośrodka	<ul style="list-style-type: none"> • ocena współczynnika porowatości, • określanie litologii, • identyfikacja stref spękań, • określanie przepuszczalności

do degradacji otrzymanych wyników. Większość pomiarów w kopalniach wykonywanych jest w wariancie klasycznym. Zaletą tego wariantu pomiarowego jest wyższa dokładność wyników w stosunku do danych uzyskanych w wariancie natychmiastowej interpretacji. Interpretacja geofizyczna w wariancie czasu rzeczywistego, z punktu widzenia pracy kopalni, jest bardziej pożądana, gdyż dostarcza natychmiastowej informacji geologicznej niezbędnej do planowania bieżącej eksploatacji górniczej oraz nie wstrzymuje pracy kopalni. Niestety, część badań geofizycznych nie może być realizowana w tym wariancie, a uzyskane wyniki cechują się niższą rozdzielczością w stosunku do pomiarów realizowanych w wariancie klasycznym. Ponadto konieczne staje się dostosowanie sprzętu i metodyki pomiarowej do tego trybu pracy (np. umieszczenie anten georadarowych na kole czerpakowym koparki wielonaczyniowej kołowej oraz odpowiednie ustawienie rozdzielczości urządzenia i prędkości obrotu koła) [7].

Charakterystyka poszczególnych grup metod geofizycznych

Metody radiofalowe

Metody radiofalowe (georadarowe) mają obecnie bardzo powszechne wykorzystanie zarówno w technice cywilnej jak i wojskowej. Zadaniem radarów jest wykrywanie i określanie odległości do badanych obiektów przy użyciu fal elektromagnetycznych. *Georadar Ground Penetrating Radar* (metoda GPR) to urządzenie wykorzystywane w geofizyce do rozpoznania budowy geologicznej struktur przypowierzchniowych. Urządzenie składa się z trzech elementów: anteny nadawczej, anteny odbiorczej oraz jednostki centralnej (komputer). Zasada działania georadaru jest następująca [5]:

- antena nadawcza emituje falę elektromagnetyczną, która odbija się od obiektów, warstw geologicznych o zmiennych parametrach petrofizycznych, a następnie jest rejestrowana przez antenę odbiorczą,
- znając prędkość fali elektromagnetycznej i czas od momentu nadania sygnału do jego odbioru można obliczyć odległość (położenie obiektu),
- analizując echogramy poprzez zastosowanie metod przetwarzania sygnałów można określić kształt, wielkość obiektu, zidentyfikować otaczające skały, a także występujące struktury tektoniczne.

Geofizyka wiertnicza

Geofizyka wiertnicza (otworowa) jako zespół metod geofizycznych, dostarcza wielu szczegółowych informacji o parametrach fizycznych skał w postaci tzw. profilowań. Metody te dostarczają informacji o właściwościach ośrodka skalnego w warunkach naturalnego zalegania występujących w obrębie danego otworu warstw geologicznych. Pomiar wykonywany jest przy pomocy sond przymocowanych z reguły do świdrów wiertniczych i odbywa się zazwyczaj podczas przemieszczania sondy z dołu do góry, z ciągłą rejestracją danych [4].

Na chwilę obecną stosowane metody pomiarowe geofizyki otworowej można podzielić na trzy grupy według tabeli 1.

Pionowe profilowania sejsmiczne

Pionowe profilowania sejsmiczne (*PPS, Vertical Seismic Profiling*) to sejsmiczny wariant pomiarów, wykonywany w otworach wiertniczych. Stanowią one pomost pomiędzy geofizyką otworową a sejsmiką. Jest to odmiana sejsmicznego

pomiaru otworowego, w którym sygnał sejsmiczny generowany jest na powierzchni ziemi, a rejestracja odbywa się w geofonach umieszczonych w otworze [2, 6]. Zmniejszenie odległości pomiędzy horyzontem odbijającym a odbiornikiem poprzez umieszczenie geofonów w otworze powoduje ograniczenie strefy Fresnela, tym samym uzyskuje się poprawę rozdzielczości. Metodyka profilowania wymaga następujących elementów: otwór wiertniczy, źródło energii, geofon otworowy (geofony otworowe), kabel, aparatura rejestrująca. Odbiorniki stosowane w pomiarach VSP to najczęściej sondy geofonowe, choć czasem stosuje się także hydrofony. Podczas pomiaru sonda geofonowa przemieszczana jest z dna otworu do góry. Na etapie zapuszczania sondy wykonuje się pomiary kontrolne zwykle w interwale 300 – 500 m w celu doboru odpowiednich parametrów wzmocnienia, energii źródła i ilości wzbudzeń na pozycję głębokościową. Pionowe profilowania sejsmiczne dają najlepsze rezultaty w otworach zarurowanych, zacementowanych, gdzie zapewniony jest dobry kontakt geofonu otworowego ze ścianą otworu za pomocą docisków. Dane PPS obecnie próbkuje się krokiem 1 ms, co daje możliwość rejestracji częstotliwości do 500 Hz wolnych od aliasingu [2,6].

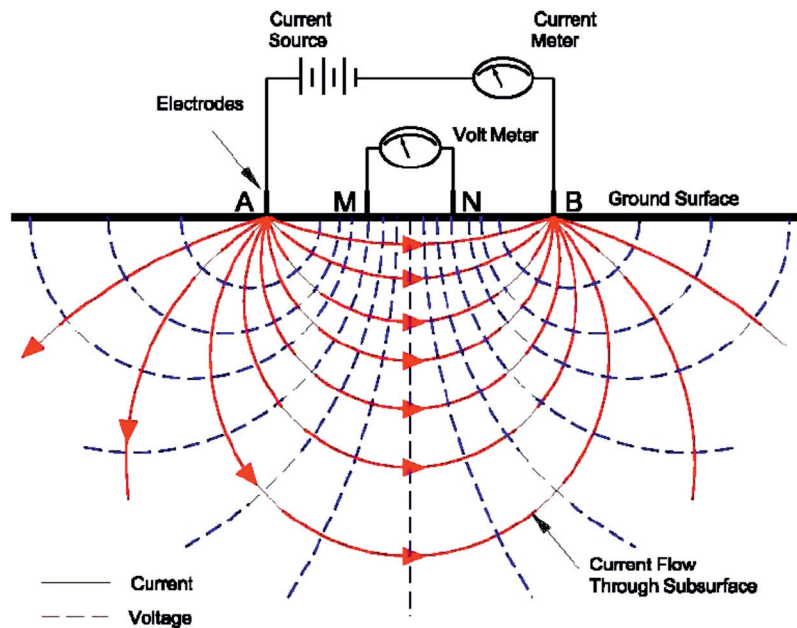
Geoelektryka

Geoelektryka to zespół metod stosowanych do rozpoznania głębszej budowy zewnętrznej części skorupy ziemskiej, wykorzystujących różnicowanie właściwości elektrycznych skał. Są one stosowane głównie w poszukiwaniach geologicznych oraz w geologii inżynierskiej. W górnictwie najpowszechniej wykorzystuje się metodę elektrooporową. Ze względu na rozbudowaną infrastrukturę kopalni wykorzystanie metody magnetotellurycznej jest praktycznie niemożliwe. W metodzie elektrooporowej przedmiotem obserwacji są właściwości pola elektrycznego wytworzonego sztucznie w podłożu przez system elektrod, na których utrzymywana jest stała różnica potencjałów. Metodą tą wykonuje się pomiar oporu właściwego skał występujących w obrębie pola i na podstawie tych pomiarów bada się sposób ułożenia skał różniących się zdolnością przewodzenia prądu elektrycznego. Badania elektrooporowe stosuje się głównie na powierzchni terenu [3]. Wykonanie pomiaru polega na rozmieszczeniu na powierzchni ziemi, najczęściej w linii prostej, czterech elektrod metalowych tworzących układ pomiarowy. Dwie z tych elektrod – A i B (zasilające) – podłącza się do źródła prądu, z którego emitowany jest w podłożu prąd o natężeniu I . Na dwóch pozostałych elektrodach – M i N (pomiarowe) mierzona jest różnica potencjałów (rys. 1).

Analiza możliwości zastosowania poszczególnych grup metod geofizycznych w górnictwie odkrywkowym

Możliwości techniczne pozwalają na obecnym etapie rozwoju wykorzystywać bardzo wiele grup metod geofizycznych do eksploatacyjnego rozpoznania złoża. Trudno porównywać efektywność poszczególnych metod w oderwaniu od rodzaju zadania, specyfiki obszaru badań a także oczekiwanych rezultatów. W zależności od sytuacji niektóre metody będą uzyskiwały lepsze rezultaty. Porównanie cech najważniejszych grup metod geofizycznych przedstawiono w tabeli 2.

Zasięg głębokościowy. W przypadku wszystkich metod (za wyjątkiem geofizyki otworowej) pojęcie zasięgu głębokościowego jest bardzo umowne. Zdolność detekcji danej warstwy lub struktury geologicznej uzależniona jest od kilku czynników



Rys. 1. Schemat układu pomiarowego stosowanego w metodzie elektrooporowej [3]

Fig. 1. Diagram of measuring system used in geophysical resistivity methods [3]

Tab. 2. Zestawienie najważniejszych wad i zalet metod geofizycznych stosowanych do eksploatacyjnego rozpoznania złoża**** [1,7]

Tab. 2. Summary of main advantages and disadvantages of geophysical methods used for operational deposit exploration **** [1, 7]

Metoda geofizyczna	Zasięg głębokościowy	Wariant wykonywania pomiarów	Czas wykonywania pomiaru/interpretacji	Koszt wykonywania pomiarów	Dokładność uzyskanych wyników
Georadarowa	Średni Do 80 m (efektywny zasięg do 20 m)*	Wariant klasyczny lub Wariant w czasie rzeczywistym	Krótki Natychmiastowy	Średni Niski	Dobra – warunkowo (występuje ekwiwalencja wyników)
Geofizyki otworowej	W zależności od głębokości otworu wiertniczego	Wariant klasyczny	Długi	Duży lub bardzo duży (w przypadku braku otworów)	Doskonała***
Sejsmiki otworowej	W zależności od głębokości otworu wiertniczego	Wariant klasyczny	Średni	Duży	Bardzo dobra
Elektrooporowe	Duży 150 – 200 m**	Wariant klasyczny	Krótki	Średni	Dobra – warunkowo (występuje ekwiwalencja wyników)

Objaśnienia: *zasięg głębokościowy uzależniony jest głównie od częstotliwości stosowanych anten, ** zasięg głębokościowy uzależniony jest głównie od szerokości rozstawu AB i MN, *** kompleksowe dane geofizyki otworowej stanowią wyznacznik do korelacji dla pozostałych metod. W przypadku zasięgu głębokościowego określono maksymalne wartości. W zależności od warunków geologicznych oraz wielu czynników zdolność rejestracji może się znacząco zmniejszyć. ****Zastosowano skalę porównawczą określającą zależności względne poszczególnych cech opisywanych metod.

m. in. rozdzielczości, miąższości rozpoznawanych utworów, głębokości zalegania, złożoności budowy geologicznej badanego obszaru oraz od kontrastu parametrów pola fizycznego wykorzystywanego przez daną metodę. Brak kontrastu w przypadku metody elektrooporowej (oporność elektryczna skał), sejsmiki otworowej (prędkość propagacji fal sprężystych), metody georadarowej (różnicy stałej dielektrycznej) powoduje duże utrudnienia w identyfikacji szukanych struktur. Może się także przyczynić do niezarejestrowania cienkich laminek lub pojedynczych wkładek przewarstwiających grube masywy. W tego typu przypadkach dana metoda powinna być eliminowana

a następnie zastępowana alternatywną wykorzystującą inne pole fizyczne.

Wariant wykonywania pomiarów. Większość pomiarów w kopalniach wykonywana jest w wariantcie klasycznym. Obecnie podejmuje się próby modyfikacji sposobów prowadzenia pomiarów, a także wprowadzania specjalnych rozwiązań, celem dostosowania danych metod do warunków panujących w kopalni. Zabiegi te mają na celu przyspieszenie czasu pomiaru i interpretacji, minimalizację utrudnień w pracy kopalni oraz poprawę efektywności. Najlepsze rezultaty udało się osiągnąć w przypadku metody georadarowej poprzez m. in.:

zamontowanie anten odbiorczych w odpowiedniej odległości na kole czerpakowym i optymalizację prędkości obrotu koła i rozdzielczości anten.

Spośród metod realizowanych w wersji klasycznej najbardziej czasochłonna jest geofizyka otworowa i metoda pionowych profilowań sejsmicznych. W przypadku braku otworów rozpoznawczych do czasu wykonania pomiaru należy doliczyć czas wiercenia. Geofizyka otworowa jest także jedyną inwazyjną metodą geofizyczną. Długi czas wykonywania pomiarów sejsmicznych w wariancie otworowym związany jest z koniecznością rozstawienia ciężkiego sprzętu – pojazdu/pojazdów generujących sygnał (wibratora), a także rozmieszczenia geofonów w otworze.

Koszt wykonania pomiarów. Najwyższe koszty wykonywania pomiarów ponosi się w przypadku zastosowania geofizyki otworowej oraz sejsmiki otworowej. Jest to związane z koniecznością wykorzystania zaawansowanego zaplecza technicznego. Znaczące są same koszty wiercenia i późniejszego utrzymania otworu, gdyż tego typu ingerencja w górotwór powoduje szereg komplikacji i zagrożeń eksploatacyjnych. Zdecydowanie tańsze i prostsze w zastosowaniu są metody geoelektryczne i georadarowe.

Dokładność uzyskanych wyników. Dane uzyskiwane w wyniku sejsmiki i geofizyki otworowej, wykorzystującej bardzo szeroki wachlarz profilowań, są zdecydowanie najdokładniejsze i stanowią reper korelacyjny dla stosowanych metod kontrolnych. W przypadku pozostałych metod można określić ich dokładność warunkową. Dla geoelektryki będzie ona zależna od kontrastu oporności elektrycznej poszczególnych warstw. W przypadku metod georadarowych lepszą rozdzielczość uzyskuje się dla skrajnych wartości stałej dielektrycznej sąsiadujących warstw skalnych. W obu przypadkach może wystąpić zjawisko ekwiwalencji wyników, tzn. ich wieloznaczności (np. dla krzywej geoelektrycznej można dopasować różne modele

geoelektryczne). Zabudowa rejonu badań stanowi poważną przeszkodę w stosowaniu metod geoelektrycznych. Wysoki poziom zakłóceń, wynikający z występowania prądów przemysłowych, uniemożliwia wykonanie pomiarów [1,7]. Poprawę dokładności rozpoznania geofizycznego uzyskuje się poprzez wykonywanie badań z różnych grup metod oraz dowiązywanie ich wyników. Wyróżnia się: metodę podstawową i kontrolną. Ponadto dokładność wyników można poprawić dokonując korelacji danych geofizycznych z wynikami wierceń, badaniami geochemicznymi, petrograficznymi itd.

Podsumowanie

Powyższe rozważania dotyczące wykorzystania metod geofizycznych w górnictwie odkrywkowym wyraźnie świadczą o dużych możliwościach i użyteczności tej dziedziny nauki. Pomimo szerokiego wachlarza dostępnych metod nie każda spełnia swoją funkcję ze względu na inwazyjność (np. geofizyka otworowa) oraz ograniczenia techniczne i organizacyjne pracy w kopalni. Dobra metoda badawcza przydatna w górnictwie musi spełniać szereg wymagań takich jak: niskie koszty, duża dostępność, krótki czas wykonania badań i otrzymania wyników, możliwość specjalnego wykorzystania i realizacji w czasie rzeczywistym, dokładność analizy itp. Nie powinna także nadmiernie zakłócać procesu eksploatacji. Wyżej wymienione restrykcje eliminują część rozwiązań oraz ograniczają możliwości wykorzystania innych (np. geofizyki otworowej).

Podsumowując, na obecnym poziomie rozwoju geofizyka w dużym stopniu spełnia swoją rolę jako narzędzie pomocnicze w procesie prowadzenia bieżącego rozpoznania eksploatacyjnego w górnictwie odkrywkowym. Należy oczekiwać w najbliższej przyszłości adaptacji poszczególnych metod do wariantu pracy w czasie rzeczywistym nie kolidującym z prowadzeniem eksploatacji górniczej.

Artykuł opracowano w ramach realizacji pracy statutowej 11.11.100.597

Literatura

- [1] Barański K., *Wykorzystanie metod geofizycznych do lokalizacji utworów trudno urabialnych w kopalniach węgla brunatnego*. Kraków, 2012, praca końcowa na studium podyplomowe (niepubl.)
- [2] Barański K., *Wykorzystanie filtracji F-K w przetwarzaniu danych sejsmiki powierzchniowej i otworowej*, Kraków, 2009, praca magisterska (niepubl.)
- [3] Dubiński J., Pilecki Z., Zuberka W. M., *Badania geofizyczne w kopalniach*, Katowice, Wyd. GIG, 2001
- [4] Jarzyna J., Bała M., Zorski T., *Metody geofizyki otworowej: pomiary i interpretacja*, Kraków, AGH Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne, 1999
- [5] Karczewski J., *Zarys metody georadarowej*, Kraków, AGH, 2007
- [6] Kasina Z., *Metodyka badań sejsmicznych*, Kraków, Wydawnictwo Centrum PPGSMiE PAN, 1998
- [7] Kozioł W., Barański K., Borcz A., Machniak Ł., *Zastosowanie metod geofizycznych do identyfikacji skał trudno urabialnych w kopalniach odkrywkowych*, Górnictwo Odkrywkowe, 2013, LIV.1:13-22. ISSN 0043-2075
- [8] Kozioł W., Machniak Ł., *Wybrane technologie wydobywania skał trudno urabialnych w kopalniach węgla brunatnego*, *Górnictwo i Geoinżynieria*, 2009, 33.2:263-283, ISSN 1732-6702
- [9] Kozioł W., Machniak Ł., *Metody rozpoznawania skał trudno urabialnych w kopalniach węgla brunatnego*, *Przegląd Górniczy*, 2009, CV.3-4: 50-56. ISSN 0033-26X
- [10] Petrich F., Kohler U., *Stone detection and stone excavation*, *World of Mining*, 2005, 57.6: 412-420, ISSN 1613-2408
- [11] *Poradnik Górnika T. 4*, Katowice: „Śląsk”, 1982, 1399 s. ISBN 83-216-0283-5