

Zbigniew FAJKLEWICZ

Krzysztof JAKIEL

Janusz MADEJ

Akademia Górniczo-Hutnicza

WYKRYWANIE METODĄ GRAWIMETRYCZNĄ PUSTEK
POWSTAJĄCYCH ZA OBUDOWĄ SZYBU I ZAGROZEŃ
Z NIMI ZWIĄZANYCH

Streszczenie. W pracy przedstawiono podstawy fizyczne i praktyczne zastosowanie metody pionowego profilowania grawimetrycznego - PPGR w szybie górniczym w celu wykrywania pustek występujących poza jego obudową.

Nowa jej wersja - w ujęciu pomiarów czasowych zmian anomalii siły ciężkości mierzonych podczas PPGR stwarza możliwość oceny intensywności procesów dynamicznych zachodzących za obudową szybu, w szczególności rozwoju pustek.

Obserwacja tych zjawisk jest możliwa bez naruszenia struktury szybu, a więc jej zastosowanie nie ma charakteru niszczącego.

1. WSTĘP

Występowanie pustek w skałach poza obudową szybu górniczego jest zjawiskiem dość częstym. Nie wnikając w przyczyny ich powstawania, stwierdzić należy, iż stanowią one poważne zagrożenie dla jego stabilności. Nieraz mogą przyczynić się do zniszczenia całego szybu lub pewnej jego części.

Wykrywanie pustek skalnych występujących poza obudową szybu jest trudne, gdyż jest ona ekranem dla pól elektromagnetycznych i fal sprężystych ze względu na swoje własności fizyczne. Z tego powodu zastosowanie metod geofizycznych: geoelektrycznych, akustycznych czy radarowych nie może przynieść pozytywnych rezultatów.

Obudowa szybu nie ekranuje jednak pola grawitacyjnego generowanego przez otaczający szyb ośrodek geologiczny. Mierzone w pionie zmiany siły ciężkości w szybie odzwierciedlają zmienność litologiczną przebitych przez niego warstw i wszelkich niejednorodności w rozkładzie gęstości występujących bezpośrednio poza jego obudową. Stwierdzenie to jest ważne, pod warunkiem że obudowa szybu jest wykonana z jednorodnego materiału.

Zastosowanie metody pionowego profilowania grawimetrycznego (PPGR) w szybie w aspekcie rejestracji czasowych zmian siły ciężkości pozwala również śledzić dynamikę procesów fizycznych zachodzących poza obudową szybu.

W pracy omówione są wyniki badań dynamiki wzrostu z upływem czasu, wielkości wymyc materiału skalnego poza obudowę szybu, dla oceny wielkości i stopnia zagrożenia dla tej konstrukcji.

Podkreślić należy, iż przeprowadzone badania grawimetryczne w szybie metodą pionowego profilowania (PPGR) podjęte zostały po raz pierwszy w 1984 roku w Zakładzie Geofizyki Technicznej Międzyresortowego Instytutu Geofizyki Akademii Górniczo-Hutniczej. Są w dalszym ciągu kontynuowane. Osiągnięte rezultaty przyczynią się niewątpliwie do dalszego rozwoju metod grawimetrycznych.

2. FIZYCZNE PODSTAWY METODY PIONOWEGO PROFILOWANIA GRAWIMETRYCZNEGO - PPGR

Rzeczony metody pionowego profilowania grawimetrycznego (PPGR) datuje się od prac Lukavčenkí [7], Smitha [8], Hammersa [5], Fajkiewicza [2]. Metoda zyskała swe zastosowanie w kompleksowych badaniach karotażowych dzięki możliwości wyznaczania gęstości objętościowej przewierczonych skał. Dalszy jej rozwój wyznaczają prace Goodell [4], Howell [6], Bayer [1], Fajkiewicz [3].

W ośrodku geologicznym warstwowanym poziomo składowa pionowa grawitacyjnego przyciągania i -tej warstwy o grubości h_1 i gęstości ρ_1 w punkcie położonym na jej powierzchni wynosi:

$$g_1 = 2\pi G \rho_1 h_1$$

a w punkcie leżącym w pionie w spągu tej warstwy w odniesieniu do wartości g_1 :

$$g_{1+1} = -2\pi G \rho_1 h_1 + \frac{dg}{dh} h_1$$

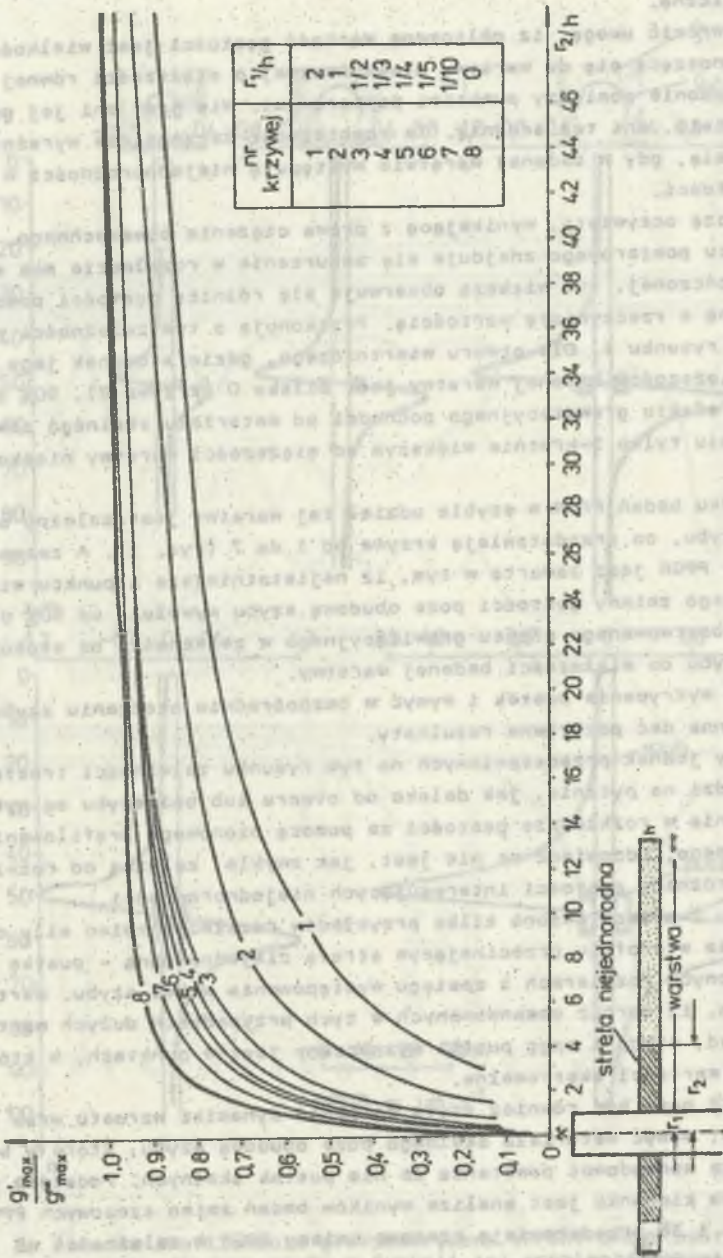
gdzie $\frac{dg}{dh}$ jest średnim gradientem pionowym siły ciężkości.

Zmiana składowej pionowej przyciągania grawitacyjnego wywołana przez tę warstwę wynosi $g_{1+1} - g_1$, czyli gęstość tej warstwy:

$$\rho_1 = \frac{1}{2\pi G h_1} (g_1 - g_{1+1} + \frac{dg}{dh} h_1)$$

W praktyce, mierząc zmianę siły ciężkości pomiędzy stropem a spągiem warstwy, można obliczyć za pomocą powyższego wzoru jej gęstość pod warunkiem eliminacji innych czynników wpływających na wartość mierzonej siły ciężkości. Dokonać tego można przez wprowadzenie stosownych poprawek.

W opracowaniu pomiarów grawimetrycznych wykonywanych w szybie należy u zględnić w każdym punkcie pomiarowym poprawkę górniczą uwzględniającą



Rys. 1. Względne zmiany siły ciężkości w pionie wywołane strefą niejednorodną występującą poza obudowę szybu
 Fig. 1. Relative change of vertical component of gravity caused by the heterogeneous zone behind the shaft lining

wpływ zarówno szybu, jego obudowy, jak i innych wyrobisk górniczych znajdujących się w bezpośrednim jego otoczeniu. Wpływ rzeźby terenu na mierzone wartości siły ciężkości w szybie eliminuje się wprowadzając poprawkę topograficzną.

Należy zwrócić uwagę, iż obliczona wartość gęstości jest wielkością pozorną, odnoszącą się do warstwy nieskończonej o miąższości równej odległości w pionie pomiędzy punktami pomiarowymi. Nie jest ani jej gęstością rzeczywistą, ani też średnią. Ta rozbieżność szczególnie wyraźnie uwidacznia się, gdy w badanej warstwie występują niejednorodności w rozkładzie gęstości.

Jest rzeczą oczywistą, wynikającą z prawa ciężenia powszechnego, iż im bliżej punktu pomiarowego znajduje się zaburzenie w rozkładzie mas w warstwie nieskończonej, tym większą obserwuje się różnicę gęstości pomiędzy jej obliczoną a rzeczywistą wartością. Przekonują o tym zależności przedstawione na rysunku 1. Dla otworu wiertniczego, gdzie stosunek jego promienia do miąższości badanej warstwy jest blisko 0 (krzywa 8), 90% zaobserwowanego efektu grawitacyjnego pochodzi od materiału skalnego zawartego w promieniu tylko 5-krotnie większym od miąższości warstwy nieskończonej.

W przypadku badań PPGR w szybie udział tej warstwy jest zależny od promienia szybu, co przedstawiają krzywe od 1 do 7 (rys. 1). A zatem cała treść metody PPGR jest zawarta w tym, iż najistotniejsze z punktu widzenia poznawczego zmiany gęstości poza obudową szybu wywołują od 50% do 90% całego obserwowanego efektu grawitacyjnego w zależności od stosunku promienia szybu do miąższości badanej warstwy.

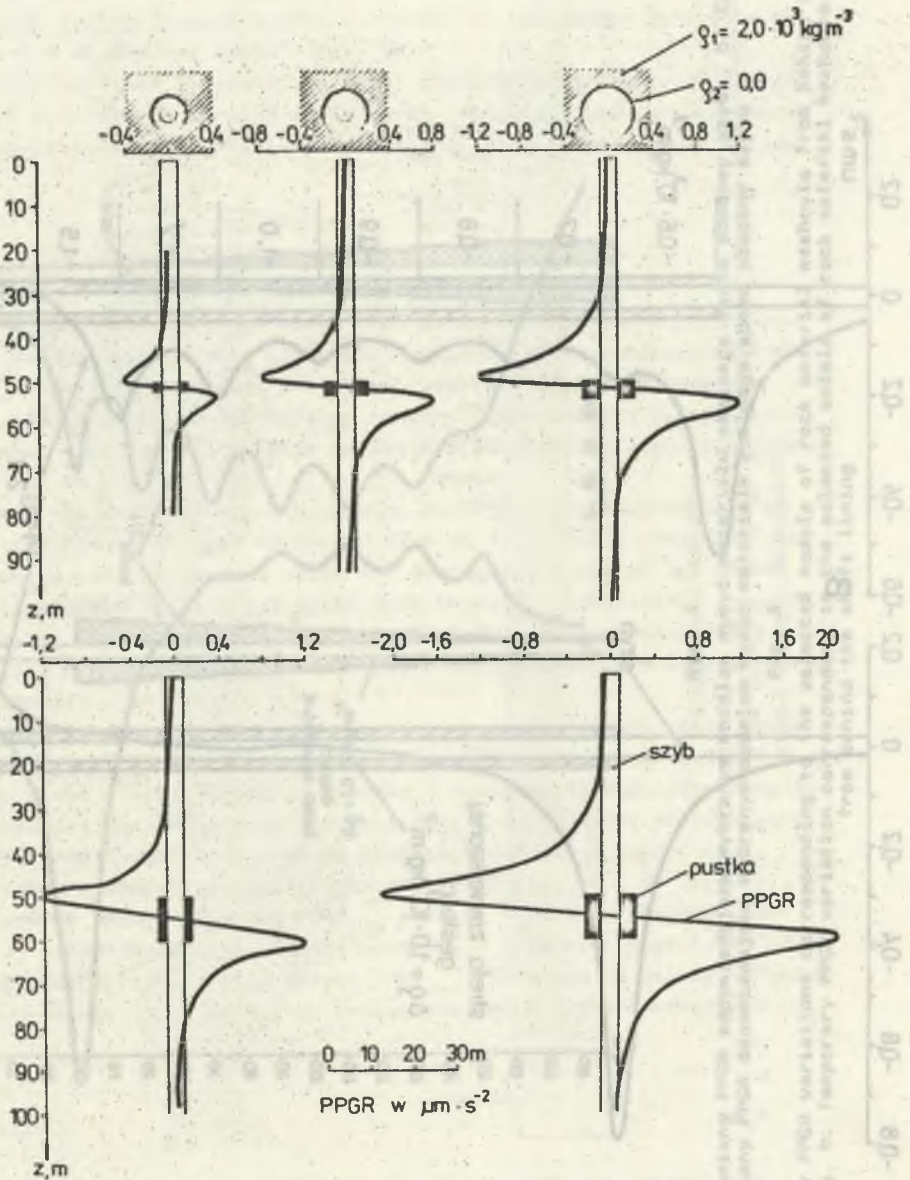
Zatem dla wykrywania pustek i wymyc w bezpośrednim otoczeniu szybu metoda PPGR winna dać pozytywne rezultaty.

Nie należy jednak przedstawionych na tym rysunku zależności traktować jako odpowiedzi na pytanie, jak daleko od otworu lub osi szybu są wykrywane zaburzenia w rozkładzie gęstości za pomocą pionowego profilowania grawimetrycznego. Odpowiedź na nie jest, jak zwykle, zależna od rozmiarów, położenia i różnicy gęstości interesujących niejednorodności.

Na rysunku 2 przedstawiono kilka przykładów rozkładów zmian siły ciężkości w pionie w profilu przecinającym strefę niejednorodną - pustkę skalną o zaznaczonych rozmiarach i zasięgu występowania wokół szybu. Warto zwrócić uwagę, iż oprócz obserwowanych w tych przypadkach dużych wartości amplitud, strop i spąg pustki wyznaczany jest w punktach, w których osiągają one wartości ekstremalne.

Metoda PPGR może być również użyta do badań dynamiki wzrostu wraz z upływem czasu, wymyc materiału skalnego poza obudowę szybu, które w konsekwencji mogą spowodować powstanie za nim pustek skalnych. Podstawą wnioskowania w tym kierunku jest analiza wyników badań zmian czasowych PPGR.

Rysunki 3a i 3b przedstawiają czasowe zmiany PPGR w zależności od przyjętych następujących zmian gęstości skał za obudową szybu:



Rys. 2. Pionowe profilowanie grawimetryczne (PPGR) przez pustkę skalną występującą poza obudowę szybu w funkcji jej promienia zewnętrznego i rozmiarów pionowych

Fig. 2. Shaft gravity logging (PPGR) across the rock cavity behind the shaft lining in the function of its external radius and vertical dimensions

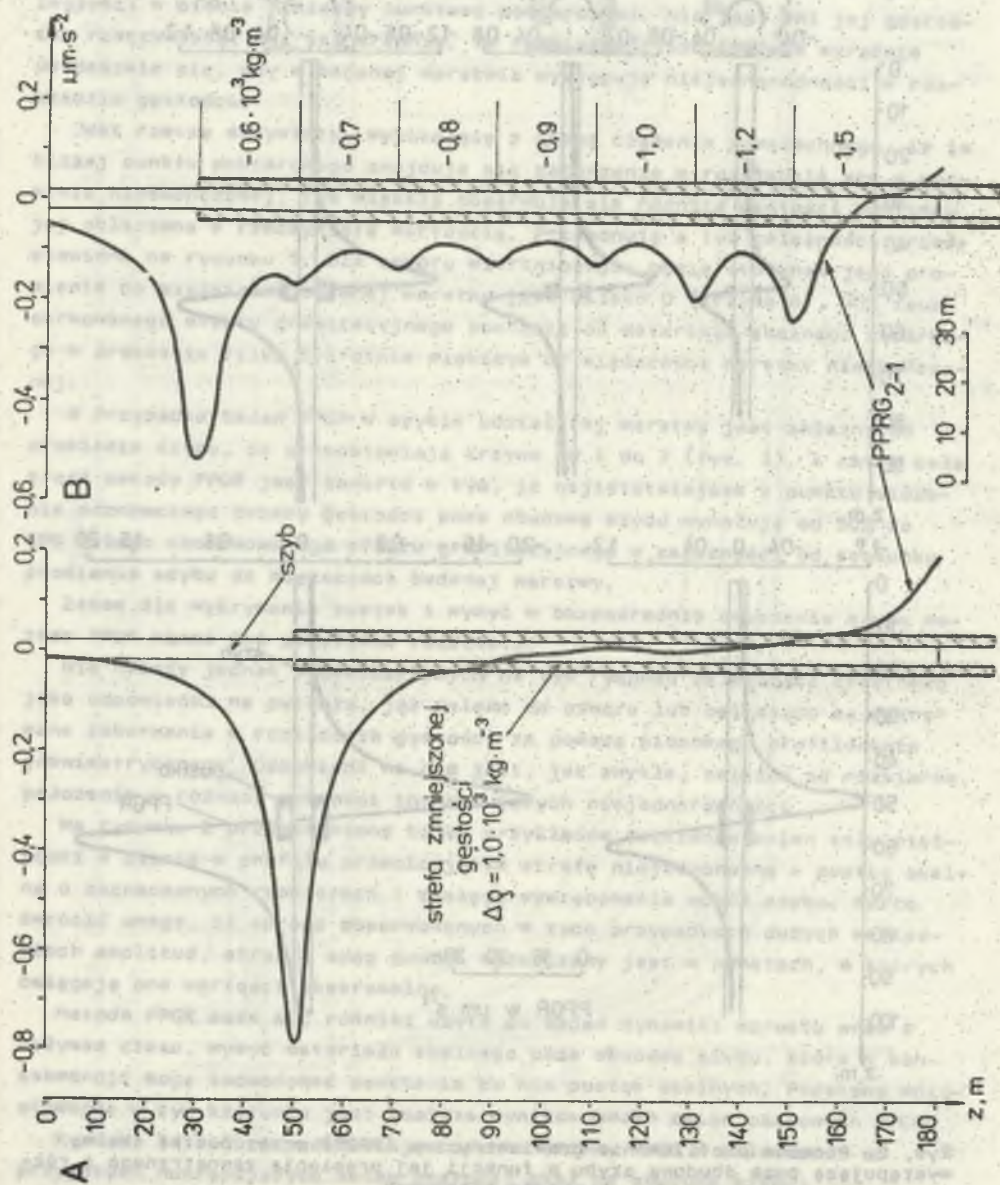
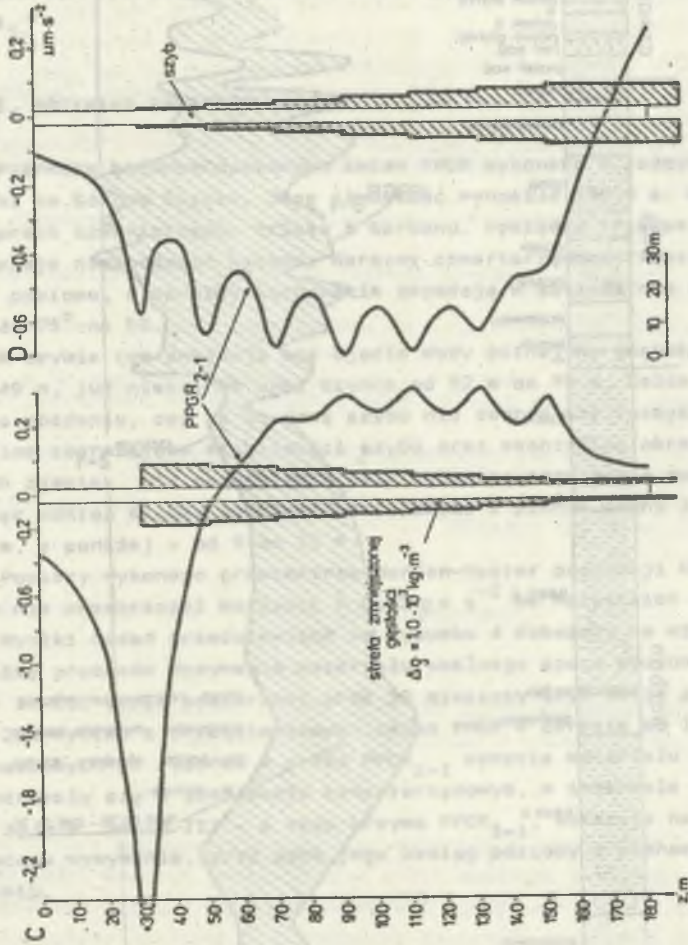


Fig. 2. Shaft gravity logging (PPRG) across the roof cavity behind the shaft lining in the function of the external radius and vertical distance.

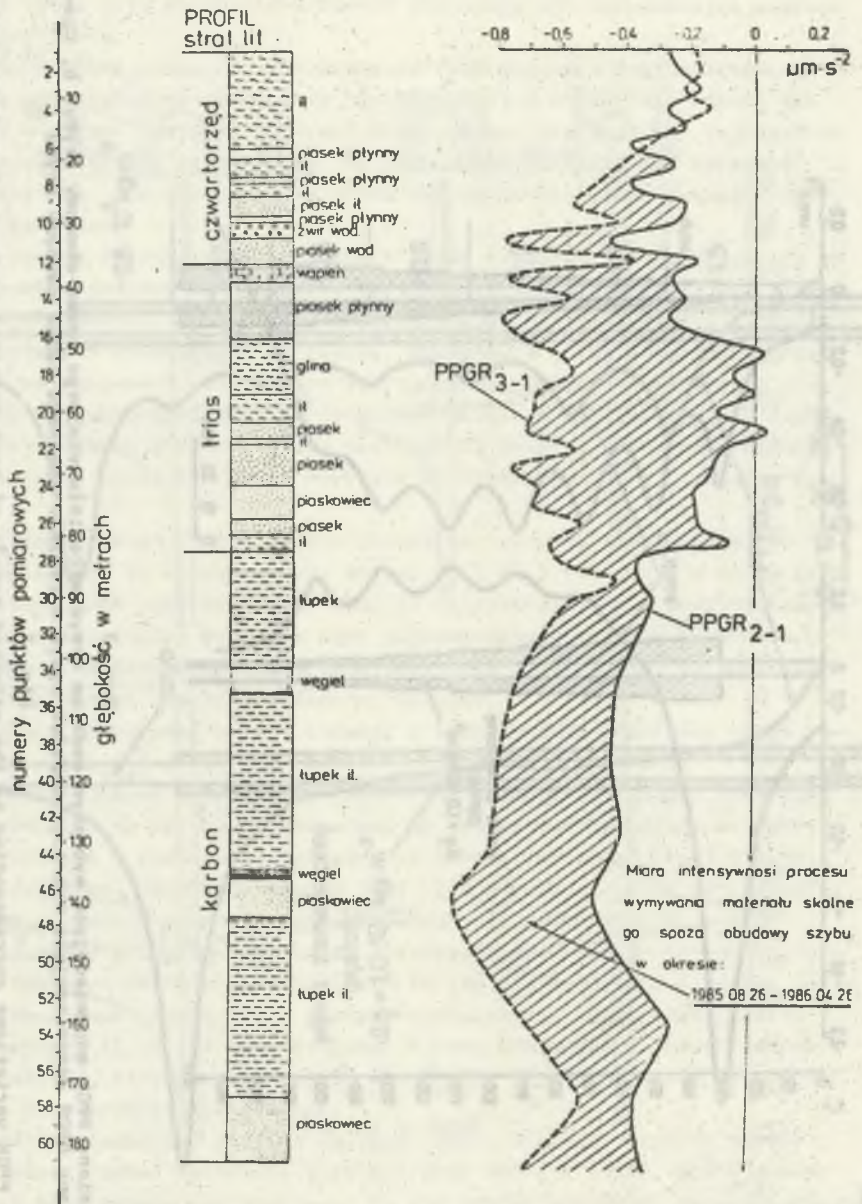


Rys. 3

a. Czasowe zmiany PPCR odpowiadające wybranym modelom wymyc materiału skalnego spoza obudowy szybu, b. Czasowe zmiany PPCR odpowiadające wybranym modelom wymyc materiału skalnego spoza obudowy szybu

Fig. 3

a. Temporary PPCR variations corresponding to the selected models of rock material washouts from behind the shaft lining, b. Temporary PPCR variation corresponding to the selected models of rock material washouts from behind the shaft lining



Rys. 4. Czasowe zmiany PPGR i ich związek z procesem wymywania materiału skalnego spoza obudowy badanego szybu

Fig. 4. Temporary PPGR variations and their relation to the process of the washing out of rock material from behind the lining of the shaft studied

$1,0 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3}$ w przypadku C - rys. 3a oraz A i D - rys. 3b, zmiany gęstości w przypadku B podane są na rysunku 3a. Poziomy zasięg tych zmian również przedstawiono na rysunkach - jest on równy 2 m od obudowy szybu - rys. 3a oraz systematycznie rośnie (przykład D) lub maleje (przykład C) od 1 m do 9 m od obudowy szybu - rys. 3b.

Przykłady powyższe przekonują o dużej selektywności metody czasowych zmian PPGR w kolejnych seriach pomiarowych. Pozwalają one udokumentować możliwości wykrywania dynamiki zmian gęstości poza obudowę szybu metodą PPGR.

3. PRZYKŁAD ZASTOSOWANIA

Pierwsze badania czasowych zmian PPGR wykonano w jednym z szybów kopalni na Górnym Śląsku. Jego głębokość wynosiła 198,8 m. Głębiońo go w utworach czwartorzędu, triasu i karbonu. Pomiędzy triasem a karbonem istnieje niezgodność kątowa. Warstwy czwartorzędu i triasu zalegają prawie poziomo, a warstwy karbońskie zapadają w sąsiedztwie szybu pod kątem około 75° na SE.

W szybie tym znajdują się ujęcia wody pitnej na głębokościach od 30 m do 49 m, już nieczynne oraz czynne od 57 m do 78 m. Celem podjętych prac było zbadanie, czy za obudowę szybu nie tworzą się rozmycia lub pustki skalne zagrażające stabilności szybu oraz ewentualne określenie dynamiki tych zjawisk. Dla osiągnięcia celu wykonano trzy serie pomiarowe przyjmując odstęp między punktami pomiarowymi w pionie równy 3 m do głębokości 81 m, a poniżej - od 9 do 15 m.

Pomiary wykonano grawimetrem Worden-Master produkcji USA. Błąd pomiarów nie przekraczał wartości $\pm 0,12 \mu\text{m s}^{-2}$ we wszystkich seriach.

Wyniki badań przedstawione na rysunku 4 wskazują na względnie dużą dynamikę procesów wymywania materiału skalnego spoza obudowy szybu w okresie 11 (II seria pomiarowa) oraz 19 miesięcy (III seria pomiarowa).

Jak wynika z przedstawionych zmian PPGR w okresie od I do II serii, oznaczonych na rysunku 4 przez PPGR_{2-1} wymycia materiału skalnego koncentrowały się w kompleksie czwartorzędowym, w interwale głębokości od 18 do 36,5 m. Seria III - a więc krzywa PPGR_{3-1} , wskazuje na dalszy wzrost procesu wymywania, przy czym jego zasięg poziomy i pionowy uległ powiększeniu.

4. WNIOSKI

Przedstawiona wyżej metoda pionowego profilowania grawimetrycznego PPGR w szybie górniczym pozwala na wykrywanie pustek występujących poza jego obudowę. Nowa jej wersja - pomiar czasowych zmian anomalii siły ciężkości mierzonych podczas PPGR stwarza możliwość oceny intensywności pro-

cesów dynamicznych zachodzących za obudową szybu w szczególności rozwoju pustek.

Te nowe metoda pozwala obserwować rozwój zjawisk fizycznych zachodzących za obudową szybu bez konieczności naruszenia jego struktury. Wyniki to z własności pola siły ciężkości, dla którego obudowa nie stanowi ekranu.

LITERATURA

- [1] Beyer L.A.: The interpretation of borehole gravity surveys. "Geophysics" 1977; vol. 42 s. 141.
- [2] Fajkiewicz Z.: O podziemnych pomiarach grawimetrycznych w zastosowaniu do górnictwa węglowego. Wyniki prac z KWK "Miechowice". "Archiwum Górnictwa" 1956; t. 1.
- [3] Fajkiewicz Z.: Mikrograwimetria górnicza. Wyd. I; Śląsk, Katowice 1980.
- [4] Goodell R.R., Fay C.H.: Borehole gravity meter and its application. "Geophysics" 1964; vol. 29, nr 5, s. 774-782.
- [5] Hammer S.: Density determinations by underground gravity measurements. "Geophysics" 1950; vol. 15, nr 4, s. 637-652.
- [6] Howell L.G., Heintz K.O., Barry A.: The development and use of a high - precision downhole gravity meter. "Geophysics" 1966; vol. 31, nr 4 s. 764-772.
- [7] Lukavčenko P.J.: K voprosu ob izmerenijach sily tjezesti v burovych skrazinach. "Prikładnaja geofizika" 1948; no 4.
- [8] Smith N.J.: The case for gravity data from boreholes. "Geophysics" 1950; vol. 15, nr 4, s. 605-636.

Recenzent: Doc. dr hab. inż. Wacław Zuberek

ОБНАРУЖЕНИЕ МЕТОДОМ ГРАВИТАЦИОННОГО КАРТАЖА ПУСТОТ ВОЗНИКАЮЩИХ СНАРУЖИ ЗАСТРОЙКИ СТВОЛА ШАХТЫ И СВЯЗАННАЯ С ЭТИМ УГРОЗА

Р е з ю м е

В работе даются физические и практические основы применения метода вертикального гравитационного картожа ВГК в стволе шахты, с целью обнаружения пустот выступающих снаружи застройки ствола. Новая идея метода, состоящая в другой трактовке временных изменений аномалий силы тяжести, измеряемой во время ВГК, позволяет оценить интенсивность динамических процессов имеющих место снаружи застройки ствола, в частности позволяет оценить процесс развития пустот. Наблюдения над этим явлением возможны без нарушения структуры ствола.

DETECTION BY THE GRAVIMETRIC METHOD OF THE CAVITIES
CREATED BEHIND THE SHAFT LINING AND THE RELATED HAZARDS

S u m m a r y

In the paper are presented the physical basis and practical application of the method of shaft gravity logging - PPGR, in the mining shaft for the purpose of detection of the cavities behind its lining.

Its new version - expressed in the form of measurements of temporary variations in gravity anomalies, measured during PPGR, creates a possibility for estimating the intensity of the dynamic processes occurring behind the shaft lining, especially the development of cavities.

Observation of these phenomena is possible without disturbing the shaft structure so that its application is not of destructive character.

W artykule przedstawiono podstawy fizyczne i praktyczne zastosowanie metody grawimetrycznej wykrywania pustek i zagrożeń powstających za wyłożeniem szachtu. Nowa wersja metody, wyrażona w postaci pomiarów zmian anormalii grawitacji, umożliwia szacowanie intensywności procesów dynamicznych zachodzących za wyłożeniem szachtu, szczególnie rozwoju pustek.

Observation of these phenomena is possible without disturbing the shaft structure so that its application is not of destructive character.

W artykule przedstawiono podstawy fizyczne i praktyczne zastosowanie metody grawimetrycznej wykrywania pustek i zagrożeń powstających za wyłożeniem szachtu. Nowa wersja metody, wyrażona w postaci pomiarów zmian anormalii grawitacji, umożliwia szacowanie intensywności procesów dynamicznych zachodzących za wyłożeniem szachtu, szczególnie rozwoju pustek.