

Janusz ŚLIZ

Akademia Górniczo-Hutnicza

PROBLEM WYZNACZANIA METODĄ GRAWIMETRYCZNA,
PRZEBIEGU GRANICY KARBON-NADKŁAD
W GÓRNOŚLĄSKIM ZAGŁĘBIU WĘGLOWYM

Streszczenie. Rozpoznanie form erozyjnych powierzchni karbońskiej występującej nad wyrobiskami górniczymi ma szczególne znaczenie przy eksploatacji pokładów węgla. Aby można było bezpiecznie eksploatować pokład, miąższość pólki bezpieczeństwa nie może być mniejsza niż 20 m. W niektórych przypadkach formy erozyjne mogą zmniejszyć miąższość pólki nawet do zera.

Niecki erozyjne mogą być wypełnione kurzawką, która w przypadku naruszenia struktury górotworu eksploatacją górniczą wdziera się pod dużym ciśnieniem do wyrobiska górniczego. Chcąc uniknąć tego rodzaju niebezpieczeństwa, należałoby śledzić strop karbonu w sposób ciągły. Problem ten może być rozwiązany pozytywnie poprzez korzystanie badań geofizycznych.

W pracy przedstawiono praktyczne wykorzystanie metody mikrograwimetrycznej w wersji kompleksowych pomiarów mikroanomali siły ciężkości oraz jej podziemnego wieżowego gradientu pionowego w rozwiązywaniu ww. problemów.

Przedstawiono metodę określania odległości od poziomego wyrobiska górniczego do granicy rozdziału gęstości karbon-nadkład może być z powodzeniem stosowana w praktyce górniczej w celu wykrywania zmiennych deniwelacji w stropie karbonu.

1. WPROWADZENIE

Rozpoznanie form erozyjnych powierzchni karbońskiej występującej nad wyrobiskami górniczymi ma szczególne znaczenie przy eksploatacji pokładów węgla. Aby można było bezpiecznie eksploatować pokład, miąższość pólki bezpieczeństwa nie może być mniejsza niż 20 metrów. W niektórych przypadkach formy erozyjne mogą zmniejszyć miąższość pólki nawet do zera.

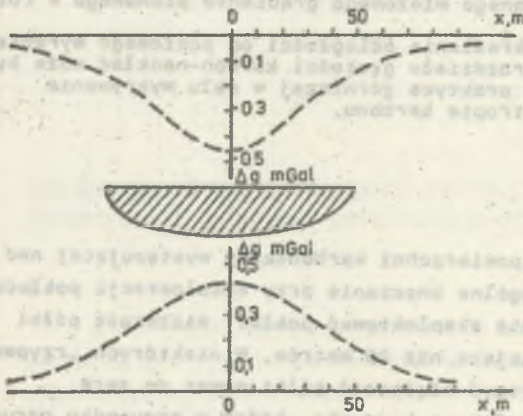
Niecki erozyjne mogą być wypełnione kurzawką, która w przypadku naruszenia struktury górotworu eksploatacją górniczą wdziera się pod dużym ciśnieniem do wyrobiska górniczego. Chcąc uniknąć tego rodzaju niebezpieczeństwa, należałoby śledzić strop karbonu w sposób ciągły. Problem ten może być rozwiązany pozytywnie poprzez wykorzystanie badań geofizycznych. Z badań teoretycznych przeprowadzonych przez autora [6] wynika, że metoda mikrograwimetryczna może być z powodzeniem stosowana do lokalizacji form erozyjnych występujących w stropie karbonu, pod warunkiem iż występują one w odległości, która gwarantuje na powierzchni ziemi lub w poziomych wyrobiskach górniczych mierzenie efektu grawitacyjnego wywołanego tą formą, a strop karbonu stanowi granicę rozdziału gęstości.

W pracy przedstawiono praktyczne wykorzystanie metody mikrogravimetrycznej w wersji kompleksowych pomiarów mikroanomalii siły ciężkości oraz jej podziemnego wieżowego gradientu pionowego w rozwiązywaniu ww. problemów.

Przedstawiona metoda określania odległości od poziomego wyrobiska górniczego do granicy rozdziału gęstości karbon-nadkład może być z powodzeniem stosowana w praktyce górniczej w celu wykrywania zmiennych deniwelacji w stropie karbonu.

2. METODYKA PODZIEMNYCH BADAŃ MIKROGRAWIMETRYCZNYCH

Biorąc pod uwagę fakt występowania powierzchni karbońskiej na głębokości kilkuset metrów pod powierzchnią Ziemi oraz ich rozmiary, można stwierdzić [5], że efekt grawitacyjny wywołany tymi formami, a mierzony na powierzchni fizycznej Ziemi będzie miał wartość mniejszą od dokładności pomiarów. Wówczas wykorzystanie metody mikrogravimetrycznej do wyznaczenia powierzchni karbońskiej będzie możliwe pod warunkiem występowania w rejonie badań poziomych wyrobisk górniczych, zapewniających warunki do wykonania pomiarów w takich odległościach od form erozyjnych, które zagwarantują rejestrację efektu grawitacyjnego.

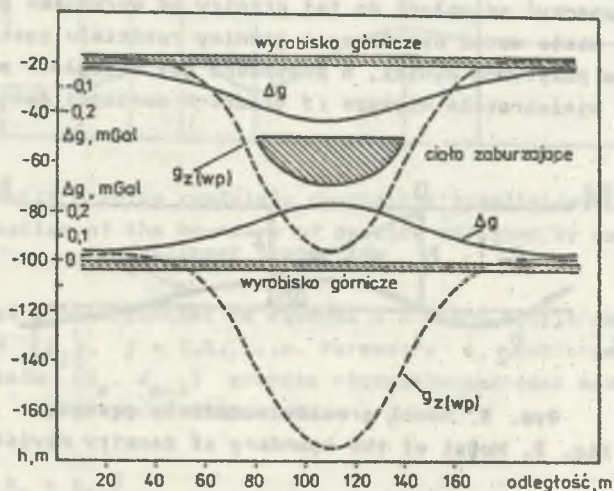


Rys. 1. Inwersja anomalii siły ciężkości nad i pod formę erozyjną

Fig. 1. Inversion of anomaly of earth-pull over under the erosion form

Interpretacja podziemnych pomiarów mikroanomalii siły ciężkości nastęrcza wiele trudności. Bardzo często "czułość" pomiarów Δg okazuje się niedostateczna do wykrywania małych ciał anomalnych. Równocześnie istniejące trudności z rozdziałem mierzonego pola na części generowane przez ciała anomalne, leżące nad i pod poziomem pomiarowym, dodatkowo komplikują sytuację. W zależności od usytuowania ciała zaburzającego oraz jego gęstości efektywnej możemy obserwować przeciwne efekty (rys. 1). Na przykład w wyrobisku górniczym zlokalizowanym nad ciałem zaburzającym o gęstości ujemnej w stosunku do utworów otaczających będziemy obserwować anomalię ujemną Δg , natomiast pod tym ciałem anomalię dodatnią. Anomalie przeciwnego znaku będziemy obserwować w przypadku ciała anomalnego o gęstości dodatniej.

Inny obraz będziemy obserwować w rozkładach anomalii podziemnego wieżowego gradientu pionowego siły ciężkości $W_{zz}(WP)$. W wyrobisku zlokalizowanym tak nad, jak i pod ciałem zaburzącym będziemy obserwować w przypadku gęstości efektywnej formy erozyjnej dodatniej - anomalie dodatnie, natomiast w przypadku gęstości ujemnej - anomalie ujemne (rys. 2).



Rys. 2. Rozkład mikroanomalii siły ciężkości oraz jej podziemnego wieżowego gradientu pionowego nad formę erozyjną

Fig. 2. Distribution of micro-anomalies of earthpull its underground tower vertical gradient under the erosion form

Z faktów tych można wyciągnąć wniosek o dużym znaczeniu dla rozwiązania problemów przebiegu stropu karbonu. Występujące w stropie karbonu formy erozyjne zazwyczaj charakteryzują się ujemną gęstością w porównaniu do otaczających je utworów. W przypadku takim, wykonując pomiary Δg i $W_{zz}(WP)$ pod formą erozyjną, będziemy obserwować dodatnią anomalię siły ciężkości oraz ujemną anomalię $W_{zz}(WP)$. Zgodność znaku obu anomalii będzie świadczyć o występowaniu ciała zaburzącego pod poziomem pomiarowym. Są to bardzo ważne wnioski prowadzące do ograniczenia wieloznaczności interpretacji podziemnych badań mikrogravimetrycznych.

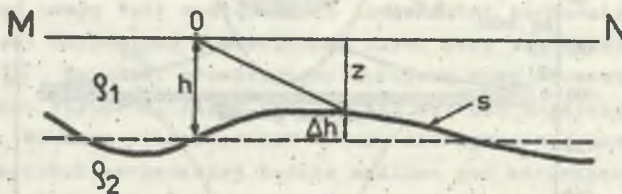
Chcąc metodą mikrogravimetryczną wyznaczać przebieg stropu karbonu (lokalizować formy erozyjne), należy jednocześnie wykonywać pomiary mikroanomalii siły ciężkości oraz jej wieżowego podziemnego gradientu pionowego.

Zasady pomiaru i interpretacji podziemnego wieżowego gradientu pionowego siły ciężkości prezentowane są w już opublikowanych pracach [3, 4, 5] gdzie przedstawiono również ocenę dokładności pomiarów i użyteczności pomierzonych anomalii $W_{zz}(WP)$.

3. WYZNACZANIE ODLEGŁOŚCI STROPU KARBONU OD POZIOMYCH WYROBISK GÓRNICZYCH

Granica karbon-nadkład jest granicą rozdziału dwóch warstw geologicznych o różnej gęstości. Dysponując pomierzonymi wartościami mikroanomalií siły ciężkości w poziomym wyrobisku górniczym, można w każdym punkcie pomiarowym wyznaczyć odległość do tej granicy od wyrobiska pomiarowego.

Istnieje wiele metod wyznaczania granicy rozdziału gęstości [1, 2, 5], ale dają one pozytywne wyniki, w przypadku gdy odległość od punktu pomiarowego jest wielokrotnie większa od średnich wartości deniwelacji w niej



Rys. 3. Model granicy rozdziału gęstości

Fig. 3. Model of the boundary of density division

występujących ($\Delta h \ll h$) - rys. 3. Powodem tego założenia jest trudność w rozwiązaniu całki określającej efekt grawitacyjny pochodzący od granicy rozdziału gęstości [1]:

$$\Delta g(0,0,0) = G\rho \int_0^{2\pi} \int_0^{\infty} \int_h^z \frac{rz \, dr \, d\alpha \, dz}{(r^2 + z^2)^{3/2}} \quad (1)$$

gdzie:

r, α - współrzędne biegunowe punktu $P(0,0,0)$,

z - głębokość granicy rozdziału gęstości w tym punkcie,

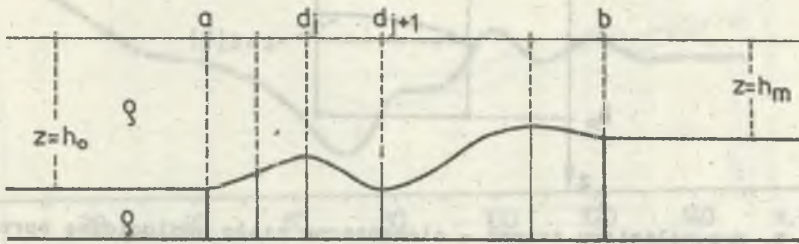
h - średnia głębokość granicy rozdziału gęstości,

ρ - efektywna gęstość dolnej warstwy w stosunku do górnej $\rho = \rho_2 - \rho_1$.

Wyznaczenie wartości $z(r, \alpha)$ związane jest z rozwiązaniem równania, w którym ta funkcja występuje pod znakiem całki. W wyrażeniu (1) funkcja $z(r, \alpha)$ jest nieliniowym całkowym równaniem, dla którego do tej pory nie opracowano rozwiązania. Z tego właśnie powodu dokładne rozwiązanie zadania dotyczącego granicy rozdziału gęstości jest niemożliwe.

Znane do tej pory rozwiązania dają dobre przybliżenie odległości do granicy rozdziału gęstości tylko przy założeniu, że $\Delta h \ll h$. Tego zaś warunku nie można przyjąć w przypadku wyznaczania granicy karbon-nadkład, bowiem wówczas wartości Δh są bardzo często porównywalne z h . Wynika

stąd konieczność innego rozwiązania powyższego problemu. Można np. granicę rozdziału gęstości aproksymować prostopadłościanami (rys. 4).



Rys. 4. Aproksymacja granicy rozdziału gęstości krzywoliniowymi trapezami
 Fig. 4. Approximation of the boundary of density division by means of curvilinear trapezoids

A więc zgodnie z oznaczeniami na rysunku 4 - niech będzie dany na osi Ox ciąg punktów $\{d_j\}$, $j = 1, 2, \dots, m$. Parametry d_j dobieramy tak, aby wewnątrz przedziału (d_p, d_{p+1}) granicę rozdziału gęstości można było aproksymować np. następującą zależnością:

$$z^{(p)}(\xi) = b_p + t_{jp}\xi \tag{2}$$

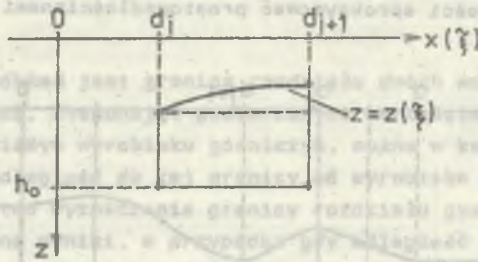
W każdym przedziale parametry b, t_j mogą przyjmować inne wartości. Granicę rozdziału gęstości możemy przedstawić w postaci funkcji $z = z(x)$. Jej asymptotami będą proste $z = h_0$ i $z = h_m$. Wówczas anomalia siły ciężkości może być przedstawiona przy pomocy następującego wyrażenia:

$$\Delta g(x) = \sum_{j=1}^{m-1} \Delta g_j(x) + \Delta g(d_m, h_0, h_m, x) \tag{3}$$

gdzie:

- $\Delta g(x)$ - efekt grawitacyjny ciał anomalnych ograniczonych krzywoliniowymi trapezami,
- $\Delta g(d_m, h_0, h_m, x)$ - efekt grawitacyjny pochodzący od uskoków pionowych.

Efekt grawitacyjny pochodzący od mas skoncentrowanych wewnątrz krzywoliniowego trapezu (rys. 5) przy założeniu (2) można wyznaczyć na podstawie następującego wyrażenia:



Rys. 5. Krzywoliniowy trapez - elementarne ciało geologiczne aproksymujące granicę rozdzielu gęstości

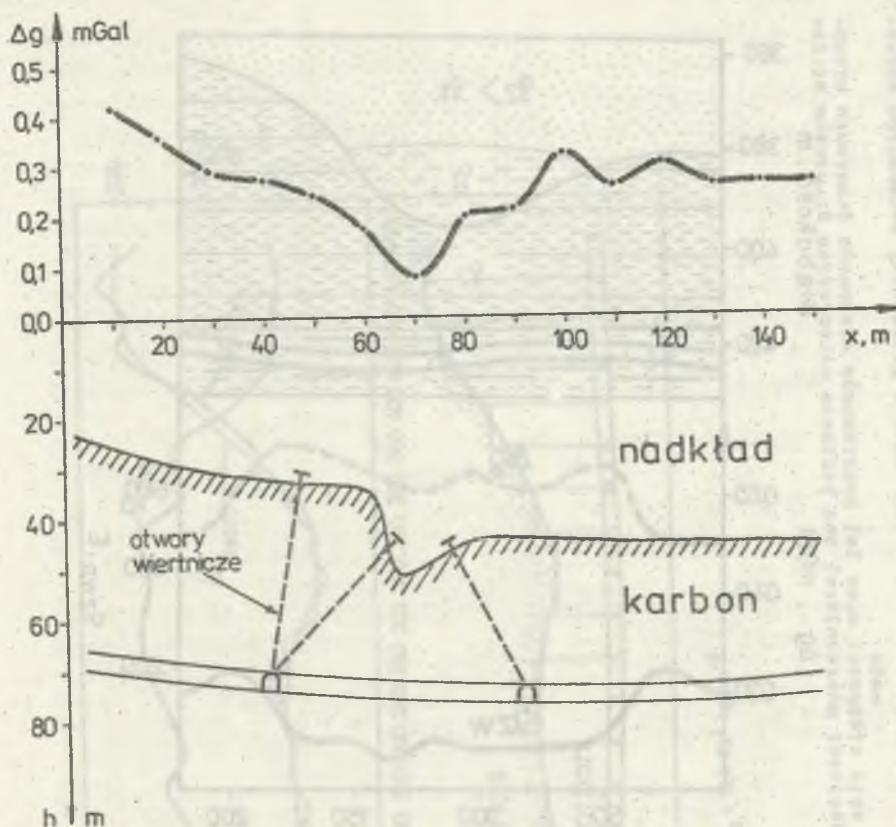
Fig. 5. Curvilinear trapezoid - elementary geological body approximating the boundary of density division

$$\Delta g_j(x) = G \rho_j \left\{ \xi \ln \frac{(x - \xi)^2 + h_0^2}{(x - \xi)^2 + (b_j + \tau_j \xi)^2} - x \ln [(x - \xi)^2 + h_0^2] - 2h_0 \operatorname{arctg} \frac{x - \xi}{h_0} + \frac{x - \tau_j b_j}{1 + \tau_j^2} \ln (x - \xi)^2 + (b_j + \tau_j \xi)^2 - \frac{2(b_j + \tau_j x)}{1 + \tau_j^2} \operatorname{arctg} \frac{(1 + \tau_j^2)\xi + \tau_j b_j - x}{b_j + \tau_j x} \right\} \Big|_{d_j}^{d_{j+1}} \quad (4)$$

Natomiast efekt grawitacyjny generowany przez pionowy uskok opisuje wyrażenie:

$$\Delta g(d_m, h_0, h_m, x) = G \sum_{j=1}^m \rho_j \left\{ x(H_j - h_j) + 2H_j \operatorname{arctg} \frac{x - d_j}{H_j} - 2h_j \operatorname{arctg} \frac{x - d_j}{h_j} + (x - d_j) \ln \frac{H_j^2 + (x - d_j)^2}{h_j^2 + (x - d_j)^2} \right\} \quad (5)$$

Aby jednoznacznie określić anomalię siły ciężkości, należy wyznaczyć wektor $H = h_0 \dots h_m$. Wyznaczymy go minimalizując wyrażenie:



Rys. 6. Rozkład mikroanomalii siły ciężkości obserwowany w wyrobisku górniczym zlokalizowanym pod formą erozyjną

Fig. 6. Distribution of micro-anomaly of earthpull observed in an excavation localized under the erosion form

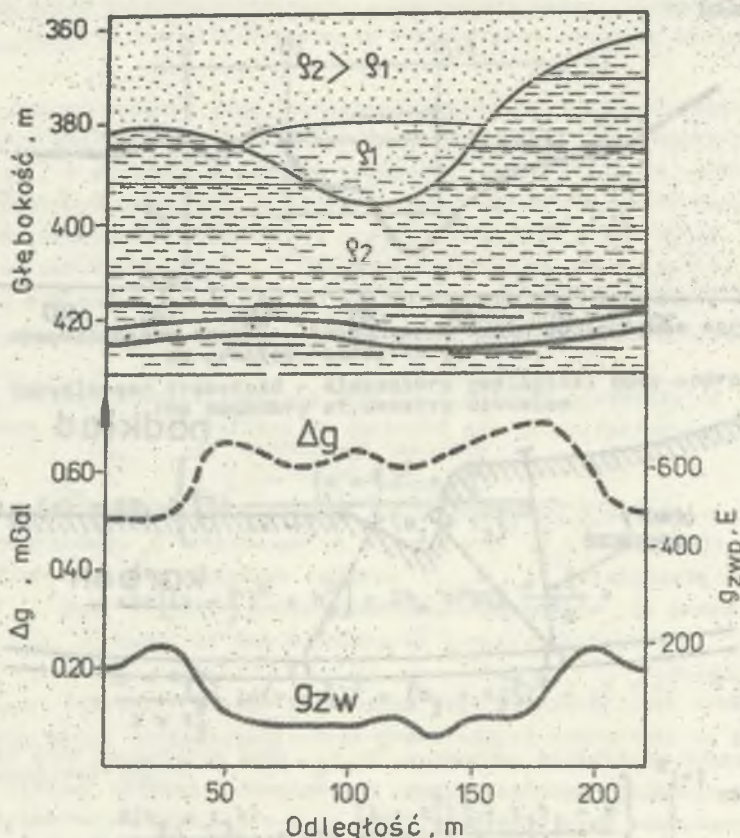
$$F(H) = \sum_{i=1}^n [\Delta g_{\text{pom}}(x_i) - \Delta g_{\text{teor}}(x_i, H)]^2$$

gdzie:

$\Delta g_{\text{pom}}(x_i)$ - wartość pomiarowa siły ciężkości,

$\Delta g_{\text{teor}}(x_i, H)$ - wartość wyznaczona teoretycznie.

W oparciu o ww. założenia teoretyczne opracowano program obliczeniowy GRAW, za pomocą którego można określić przebieg zmienności stropu karbonu na podstawie rozkładu anomalii siły ciężkości oraz jej wiezowego gradientu pionowego.



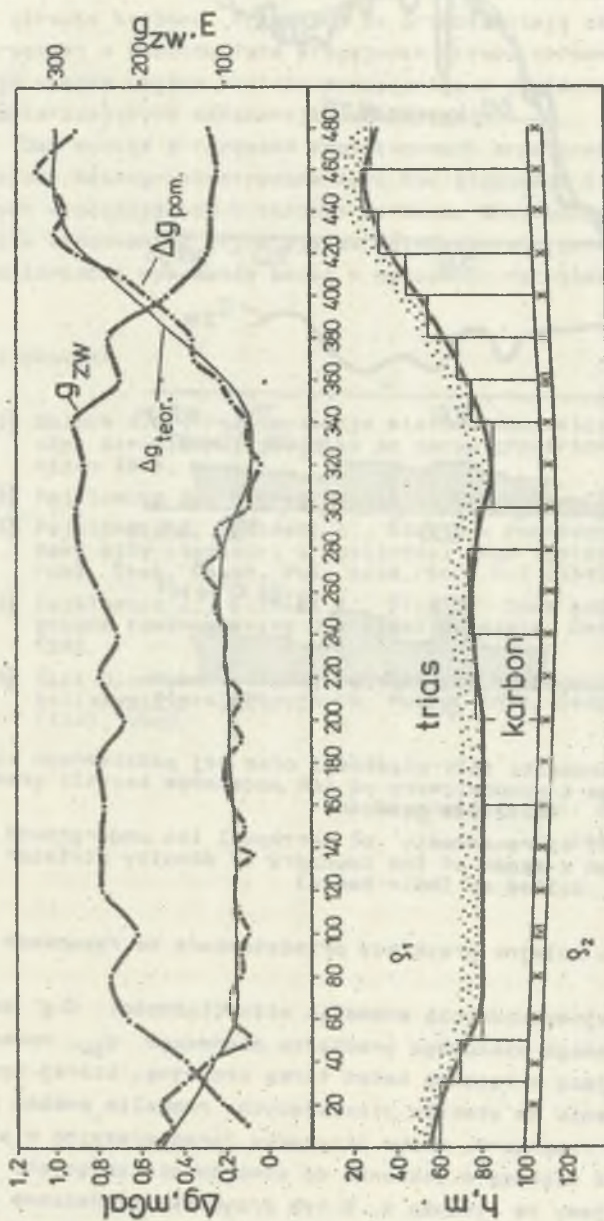
Rys. 7. Rozkład mikroanomalii siły ciężkości oraz jej podziemnego wieżowego gradientu pionowego, obserwowany w wyrobisku górniczym, zlokalizowanym pod formą erozyjną

Fig. 7. Distribution of micro-anomalies of earthpull its underground tower vertical gradient observed in an excavation localized under the erosion form

4. PRZYKŁADY ZASTOSOWAŃ

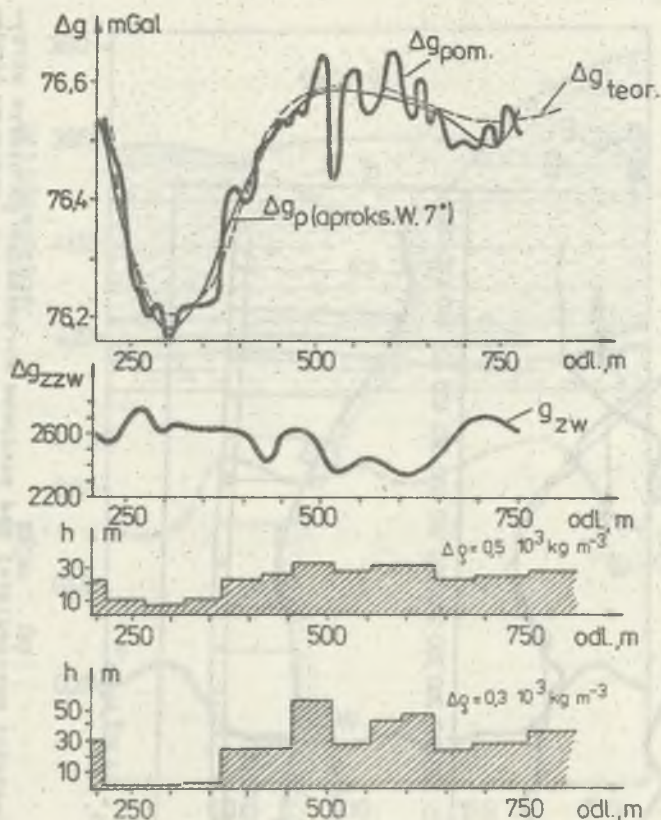
W dotychczasowej praktyce wyżej omówione metody zostały skutecznie zastosowane w kilkunastu kopalniach węgla kamiennego. Na rysunku 6 przedstawiony jest rozkład mikroanomalii siły ciężkości nad formą erozyjną występującą w stropie karbonu. Rozkład mikroanomalii dokładnie oddaje kształt tej półki skalnej, której przebieg wyznaczono licznymi otworami wiertniczymi.

Do wykrywania form erozyjnych w stropie karbonu stosuje się pomiary mikroanomalii siły ciężkości oraz jej podziemnego wieżowego gradientu



Rys. 8. Model geofizyczny granicy rozdziału gęstości występującej pod poziomym wyrobiskiem górniczym otrzymany z interpretacji rozkładów mikroanomali siły ciężkości oraz jej podzielnego wiezowego gradientu pionowego

Fig. 8. Geophysical model of the boundary of density division occurring under a horizontal excavation obtained from the interpretation of distributions of the micro - anomaly of earthpull and its underground tower vertical gradient



Rys. 9. Rozkłady mikroanomali siły ciężkości oraz jej podziemnego wieżowego gradientu pionowego i wymodelowany na ich podstawie kształt granicy rozdziału gęstości

Fig. 9. Distributions of micro-anomaly of earthpull its underground tower vertical gradient on a scope of the boundary of density division (modelled on their basis)

pionowego. Ilustrują to kolejne przykłady przedstawione na rysunkach 7, 8 i 9.

Na rysunku 7 obserwujemy dodatnią anomalię siły ciężkości Δg oraz anomalię ujemną podziemnego wieżowego gradientu pionowego g_{zw} . Anomalie te są wywołane występującą w rejonie badań formą erozyjną, której gęstość jest mniejsza w porównaniu do utworów otaczających. Anomalie znaków przeciwnych obserwujemy na rysunku 8. W tym przypadku forma erozyjna w stropie karbonu posiada gęstość większą w stosunku do utworów otaczających. Taką samą zależność obserwujemy na rysunku 9. W tym przypadku wyznaczono odległość z poziomego wyrobiska do stropu karbonu w dwóch wariantach uwarunkowanych kontrastem gęstości odpowiednio wynoszącej $0,5$ i $0,3 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3}$. W obu przypadkach obserwujemy dużą zgodność pomiędzy deniwelacje

stropu karbonu a rozkładem mikroanomalii siły ciężkości oraz jej podziemnego wieżowego gradientu pionowego. Zgodność krzywych teoretycznych i pomiarowych dostarcza dowodu na prawidłowe wyznaczenie ujemnych deniwelacji w stropie karbonu. Przykłady te przedstawiają zalety metody mikrogravimetrycznej w badaniu form erozyjnych stropu karbonu. Metoda podaje informacje ciągle wzdłuż profilu pomiarowego w odróżnieniu od metod wiertniczych, dostarczających informacji punktowych.

Jak wynika z rozważań teoretycznych oraz praktycznego zastosowania, metoda mikrogravimetryczna może być stosowana do wykrywania form erozyjnych występujących w stropie karbonu. Skuteczność metody uwarunkowana będzie stosowaniem jej w ujęciu metodycznym przedstawionym w pracy oraz możliwością wykonania badań w poziomych wyrobiskach górniczych.

LITERATURA

- [1] Bułach A.G.: Primenieniye metody minimalizatsii dlya resheniya zadach strukturnoy geologii po danym grawirazwiedki. Naukowa Dumka, Kijew 1976.
- [2] Fajkiewicz Z.: Mikrogravimetria Górnicza. "Śląsk", Katowice 1980.
- [3] Fajkiewicz Z., Gliński A., Śliz J.: Podziemny, wieżowy gradient pionowy siły ciężkości i możliwości jego zastosowania w górnictwie. Publ. Inst. Geoph. Pol. Acad. Sc.; M-3 (134), 1980.
- [4] Fajkiewicz Z., Gliński A., Śliz J.: Some applications of the underground tower gravity vertical gradient. Geophysics; vol. 47, No 12, 1982.
- [5] Śliz J.: Wykorzystanie podziemnych badań mikrogravimetrycznych do lokalizacji form erozyjnych. Publ. Inst. Geoph. Pol. Acad. Sc. M-3 (134), 1980.

Recenzenci: Doc. dr hab. inż. Antoni Goszcz
Dr inż. Roman Zakolski