

*Janusz Madej\*, Monika Łój\*, Sławomir Porzucek\**

## MODELOWANIE GRAWIMETRYCZNE STREF ROZLUŻNIEŃ ROZWIJAJĄCYCH SIĘ NAD PUSTKĄ W SKAŁACH METAMORFICZNYCH\*\*

---

### 1. Wprowadzenie

Tereny pogórnice w wielkich aglomeracjach Dolnego i Górnego Śląska zajmują znaczne powierzchnie. Są tym samym bardzo atrakcyjnym rejonem do zagospodarowania. Obszary te wymagają jednak rozpoznania pod kątem występowania płytko położonych wyrobisk. Pozostawienie ich w stanie niezlikwidowanym stwarza duże zagrożenie dla stabilności powierzchni terenu.

Rozpoznanie ich stanu możliwe jest dzięki zastosowaniu metody grawimetrycznej. Celem jednak artykułu jest podanie możliwości powyższej metody geofizycznej w określeniu stanu górotworu nad płytko zalegającymi pustkami poeksploatacyjnymi.

Określenie tego stanu może nastąpić przez podanie stopnia rozluźnienia skał stropowych. Rozluźnienie to może być przyczyną powstania deformacji powierzchni terenu w wyniku rozwoju spękań skał i ich zeszcelinowacenia.

Wyznaczenie spękań, których wielkość decydować może o powstaniu deformacji powierzchni terenu jest trudne. Można jednak dzięki zastosowaniu metody mikrogravimetrycznej, określić to w sposób pośredni — poprzez podanie zmian gęstości objętościowej nad wyrobiskiem w stosunku do jego otoczenia.

### 2. Opis metodyki badań

Rozwój metody mikrogravimetrycznej [2–4] owocował coraz szerszym zakresem jej zastosowania [5–7]. Zwrócono też uwagę, iż mierzony efekt grawitacyjny nad płytko leżą-

---

\* Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

\*\* Praca zrealizowana została w ramach projektu badawczego Ministerstwa Nauki nr 0482/T02/2006/31

cymi pustkami jest znacznie większy, niż wynikałoby to z ich grawitacyjnego oddziaływania. Późniejsze prace [8, 9] zdołały potwierdzić, iż zarejestrowane rozbieżności pochodzą od rozwijających się nad pustkami stref rozluźnień. Strefom tym przypisać można określone zmiany gęstości. Spostrzeżenie powyższe, które w konsekwencji poparte zostało wynikami interpretacji ilościowej [10, 11] potwierdziło dużą skuteczność metody mikrograwimetrycznej. Skuteczność ta jest tym znaczniejsza, iż dzięki modelowaniu grawimetrycznemu wyznaczyć można parametry geometryczne stref niejednorodnych, stref rozluźnień, stref zmian gęstości.

Strefy te ujawniają się w pomiarach mikrograwimetrycznych pod postacią względnie ujemnych mikroanomali. Ich amplituda i zakres stanowią podstawę modelowania.

Głównym celem modelowania w tym wypadku jest wyznaczenie rozkładu gęstości nad badanym wyrobiskiem. Prowadząc modelowanie należy dążyć, by osiągnięty wynik był jednoznaczny. Osiągnąć go można tylko wtedy, gdy znane będą parametry geometryczne wyrobiska łącznie z głębokością jego zalegania. W pracy tej przyjęto założenie, że parametry powyższe są znane — badania wykonano nad takimi obiektami, których położenie i rozmiary były znane. Ten sposób postępowania daje gwarancje, iż konfrontacja wyników interpretacji badań mikrograwimetrycznych z położeniem źródeł mikroanomali będzie jednoznaczna.

W przypadku jednak braku znajomości parametrów pustek skalnych, ich rozmiary przyjmując można z archiwalnych danych geologiczno-górnich.

Interpretacja wyników danych mikrograwimetrycznych prowadzi niejednokrotnie do takich rezultatów, które trudno zaakceptować w kontekście danych archiwalnych dotyczących zaniechanej eksploatacji. Dotyczy to głównie jej głębokości i rozmiarów powstających pustek. Odnosi się to przede wszystkim do tych obszarów górniczych, pod którymi prowadzono wielopoziomową eksploatację.

### **3. Obszar i zakres badań mikrograwimetrycznych**

Badania mikrograwimetryczne wykonano na terenie Gór Sowich na Dolnym Śląsku. Rejon ten obfituje w dużą ilość podziemnych wyrobisk.

Zostały one wykonane w okresie II wojny światowej przez Niemców. Nie wchodząc tu w przeznaczenie wydrążonych chodników, sztolni i tuneli dokonano wyboru wśród nich takich obiektów, które spełniają dwa podstawowe warunki: znajdują się blisko powierzchni terenu i można zmierzyć ich rozmiary. Spośród wielu, które spełniły powyższe warunki wybrano do prezentacji w tej pracy dwa obiekty.

Oba wydrążone zostały w litym kompleksie skał metamorfologicznych budujących żrąb Gór Sowich. Oba też są wyrobiskami poziomymi, dla których najodpowiedniejszą nazwą jest sztolnia. Jedna z nich wcina się w zbocze góry Soboń nad Głuszycą, druga zaś udostępnia nieznanie podziemia we wsi Jugowice [1].

Przed przystąpieniem do prac terenowych przeprowadzono w obu rejonach teoretyczne obliczenia modelowe. Miały one na celu określenie zasięgu planowanych pomiarów, przy

założeniu, że obserwacje zostaną wykonane w co najmniej dwu profilach. Ich kierunki, o przebiegach prostopadłych do rozprzestrzeniania się testowanej sztolni, wyznaczone zostały na długości 70 m.

W wyniku prac modelowych określono również optymalną odległość pomiędzy punktami pomiarowymi na każdym z profili badawczych. Wyznaczone w nich wartości mikroanomalii siły ciężkości zapewniły ciągłość śledzenia grawitacyjnego wpływu od badanych obiektów.

#### 4. Wyniki badań mikrograwimetrycznych

Pomiary mikrograwimetryczne, jak wspomniano, wykonano w dwóch rejonach badawczych. Do prowadzenia obserwacji użyto grawimetru CG-3 produkcji kanadyjskiej firmy Scintrex. Grawimetr tego typu pozwala na wykonanie pomiarów z dokładnością  $\pm 0,01$  mGal, przy powtarzalności  $\pm 0,005$  mGal. Tak wysoka precyzja przeprowadzonych badań gwarantuje, iż uzyskane wyniki pozwolą na wyciągnięcie reprezentatywnych wniosków odnośnie zadań postawionych we wstępie artykułu.

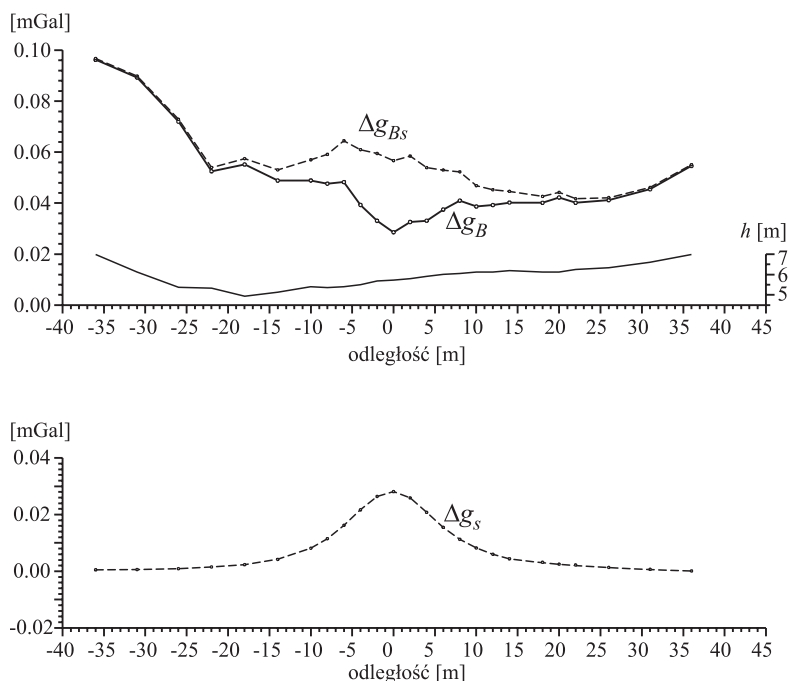
Należy podkreślić, iż dla udokładnienia uzyskanych wyników obserwacji mikrograwimetrycznych wykonano pomiary powtórne w pewnej ilości punktów pomiarowych. Celem powtórnych badań było określenie rzeczywistej dokładności wykonanych badań mikrograwimetrycznych. Wyniosła ona  $\pm 0,007$  mGal.

##### Wzgórze Soboń

Południowe stoki tego wzgórza podcina labirynt podziemnych wyrobisk. Stanowiły one niegdyś zapewne zaplanowaną część ukrytego pod ziemią kompleksu o niezidentyfikowanym do tej pory przeznaczeniu. Niezależnie jednak od tego, zawiła historia tych ziem pozostawiła naukowcom ważny poligon doświadczalny.

Główną „zaletą” tych wyrobisk jest to, iż nie są one obudowane. Można zatem liczyć na obserwacje zjawisk rozluźnienia skał nad tymi obiektami w naturalnych warunkach ich występowania.

Nad jedną ze sztolni wydrążonych we wzgórzu Soboń wykonano badania mikrograwimetryczne. Ich rezultat przedstawiono na rysunku 1. Rozkład pomierzonych mikroanomalii siły ciężkości — krzywa  $\Delta g_B$ , odzwierciedla, w globalnym swym kształcie, grawitacyjny wpływ regionalnych struktur geologicznych. Na tym tle wyróżnić można lokalną mikroanomalie siły ciężkości, której względnie ujemne wartości zlokalizowane są od  $-5$  do  $15$  m profilu. Amplituda tej anomalii sięga wartości  $0,025$  mGal. Jej geneza jest niewątpliwie związana z obecnością sztolni. Znając położenie i rozmiary tej sztolni obliczono wartość grawitacyjnego efektu od niej — krzywa  $\Delta g_S$ . Po uwzględnieniu rozkładu tego efektu otrzymano krzywą  $\Delta g_{B_S}$ . Jak widać jej rozkład odpowiada, kształtem i tendencji zmian ogólnemu trendowi pola siły ciężkości odpowiadającemu wpływom wglębnych struktur geologicznych.



**Rys. 1.** Wyniki badań mikrogravimetrycznych w profilu na stoku góry Soboń:  $\Delta g_B$  — pomierzony rozkład mikroanomalii siły ciężkości;  $\Delta g_s$  — rozkład poprawki górniczej na gravitacyjne oddziaływanie pustki skalnej;  $\Delta g_{Bs}$  — rozkład mikroanomalii siły ciężkości z uwzględnioną poprawką górniczą;  $\Delta g_r$  — rozkład lokalnych mikroanomalii siły ciężkości

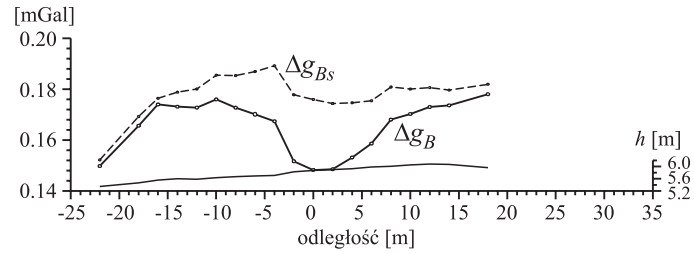
Nic nie stoi na przeszkodzie stwierdzeniu, iż nad tym wyrobiskiem brak jest spękań i szczelin w skałach. Można zatem uznać, iż zaobserwowany badaniami gravimetrycznymi rozkład anomalii odpowiada li tylko wpływowi gravitacyjnemu pochodzącemu od pustki skalnej.

Wynika stąd, iż w tym przypadku, po wyeliminowaniu z pomierzonych wartości siły ciężkości efektu gravitacyjnego pochodzącego od znanej sztolni nie ujawnia się żadna mikroanomalia siły ciężkości w rejonie nad nią. Wynikać stąd może wniosek, iż górotwór skalny nad nią jest stabilny.

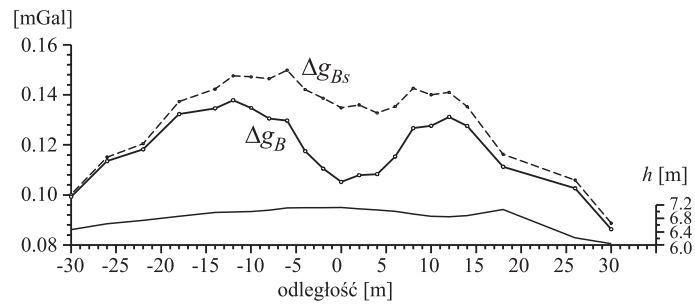
### Sztolnia w Jugowicach

Odmienny rezultat badań gravimetrycznych zarejestrowano w rejonie jednej ze sztolni w Jugowicach (rys. 2 i 3). Udostępnia ona nierozpoznane dotychczas podziemia i rozpoczyna bieg tuż nad drogą biegnącą przez wieś Jugowice.

Pomierzono nad nią rozkłady anomalii siły ciężkości w dwóch profilach. Wyniki badań przedstawiono na rysunku 2 i 3. Profil tzw. „niższy” przebiega w odległościach 7 m od wejścia do sztolni.



**Rys. 2.** Wyniki badań mikrogravimetrycznych w profilu 1 w Jugowicach (Objaśnienia patrz rys. 1)



**Rys. 3.** Wyniki badań mikrogravimetrycznych w profilu 2 w Jugowicach (Objaśnienia patrz rys. 1)

Badania wykonano również w profilu przebiegającym wyżej w odległości 5 m od poprzedniego. Przedstawione na tych rysunkach rozkłady wartości pomierzonych ( $\Delta g_B$ ) wska-

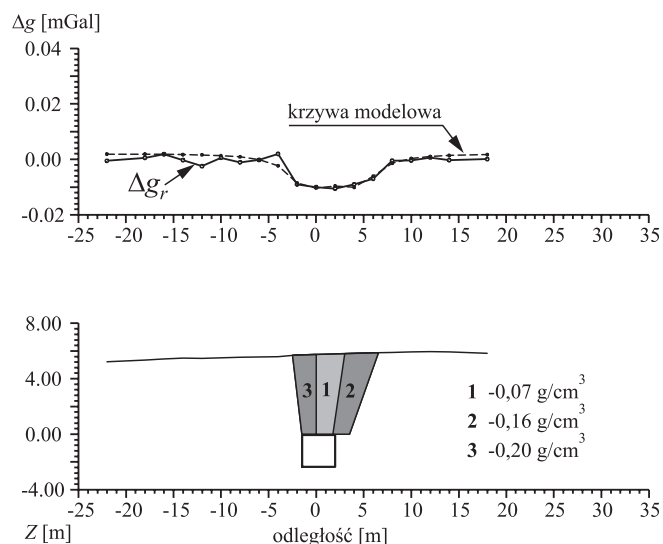
zuje na znaczący wpływ obecności sztolni. By wykazać czy nad nią nie występują strefy obniżonej gęstości, czyli czy nie dochodzi do rozwoju strefy spękań i rozluźnień górotworu nad tym wyrobiskiem, przeprowadzono obliczenia mające na celu wyeliminowaniu grawitacyjnego wpływu samej sztolni.

Na rysunkach 2 i 3 są to rozkłady oznaczone symbolem  $\Delta g_s$ . Wyraźnie widać, iż efekt grawitacyjny, w obu profilach nie przekracza 0,03 mGal. Po uwzględnieniu jego wartości w punktach pomiarowych otrzymano rozkłady opatrzone symbolem  $\Delta g_{Bs}$ . W dalszym ciągu zaobserwować w nich można, rysujące się nad sztolnią, względnie ujemne anomalie. Mimo, iż ich amplitudy nie przekraczają 0,02 mGal, to prawdopodobieństwo związku wydzielonych anomalii z obecnością rozluźnień nad sztolnią jest bardzo wysokie. Po wykonaniu obliczeń tego prawdopodobieństwa okazało się, że wynosi ono 97%. Uzyskany wynik bierze się stąd, iż w obu profilach analizowane anomalie oparte są na znacznej ilości punktów.

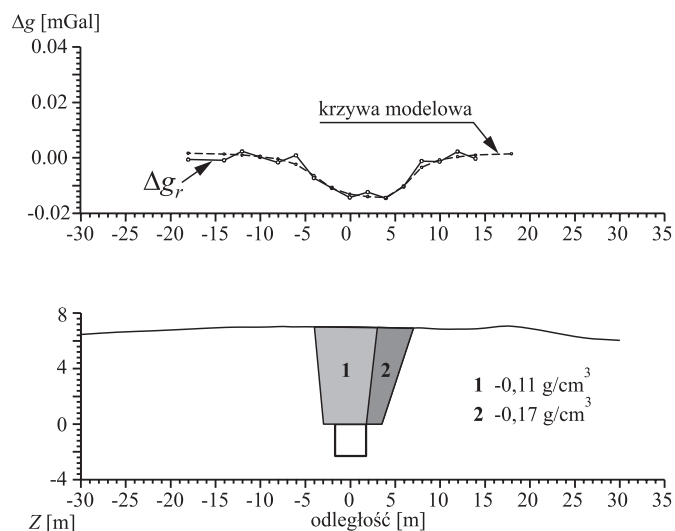
## 5. Interpretacja wyników badań mikrograwimetrycznych

Pod pojęciem interpretacji rozumie się zwykle podanie związku zarejestrowanego rozkładu anomalii siły ciężkości z budową geologiczną, tj. występowaniem struktur i form antropogenicznych. Ten rodzaj interpretacji, zwany interpretacją jakościową polega na wydzieleniu z obserwowanego pola siły ciężkości anomalii lokalnych. W tym wypadku jest to ten rozkład, który odpowiada obecności stref rozluźnień skał nad badaną sztolnią.

Wyodrębniono go aproksymując krzywą  $\Delta g_s$  wielomianem stopnia 3. Po wykonaniu niezbędnych obliczeń otrzymano rozkład — krzywą  $\Delta g_r$ , który poddano interpretacji ilościowej. Przeprowadzono ją za pomocą modelowania. Wyniki przedstawiono na rysunku 4 i 5.



Rys. 4. Wyniki modelowania grawimetrycznego wzdłuż profilu 1 w Jugowicach



**Rys. 5.** Wyniki modelowania grawimetrycznego wzdłuż profilu 2 w Jugowicach

Mimo iż, jak zauważono wyżej, amplitudy mikroanomali w obu interpretowanych profilach są zbliżone do siebie, to wyniki interpretacji — różnią się. Odpowiedzialny jest za to kształt mikroanomali. W profilu „niższym” tj. usytuowanym bliżej wejścia do sztolni, (rys. 4), zaobserwować można zarówno większe zróżnicowanie w wykształceniu stref zmian gęstości jak i w samych wartościach gęstości, w stosunku do wyników modelowania osiągniętych w profilu położonym wyżej od początku sztolni (rys. 5).

Na szczególną uwagę zasługuje fakt pojawienia dominujących stref osłabienia górotworu w skrajnych rejonach nad pustką. Wyinterpretowany model położenia stref rozluźnień nad pustką w sposób jednoznacznych wskazuje na mechanizm, który już w 2001 roku został przedstawiony [10] na podstawie badań grawimetrycznych przeprowadzonych w rejonie Olkusza.

## 6. Podsumowanie

Wyniki przeprowadzonych badań potwierdziły dużą skuteczność metody mikrograwimetrycznej w ocenie stanu górotworu nad pustkami skalnymi. Skuteczność ta zawiera się w możliwościach wyznaczenia położenia stref rozluźnień skał nad wyrobiskami.

Określenie parametrów fizycznych tych stref ma bardzo duże znaczenie w przewidywaniu rozwoju procesów dynamicznych prowadzących do powstawania deformacji powierzchni terenu. Ten aspekt wykorzystania metody mikrograwimetrycznej nabiera szczególnego znaczenia w kontekście aktualnych problemów zagospodarowania terenów pogórnich.

## LITERATURA

- [1] *Aniszewski M.*: Podziemny świat Gór Sowich. Wydawnictwo TECHNOL, Kraków, 2006, s. 294
- [2] *Fajkiewicz Z.*: Wyniki zastosowania mikrograwimetrii w górnictwie węglowym. Materiały Zjazdowe, Stow. Inż. i Tech. Górnictwa. Katowice. IV Zjazd Górnicy, Sekcja VIII, 1965
- [3] *Fajkiewicz Z.*: Wybrane zastosowania mikrograwimetrii do wykrywania starych wyrobisk górniczych i odkształceń górotworu. Zeszyty Nauk. AGH, nr 374. z.sp.36, 1972a
- [4] *Fajkiewicz Z.*: Pustki poeksploatacyjne i odkształcenia objętościowe górotworu w świetle pomiarów gradientu pionowego siły ciężkości i jej mikroanomalii. Przegląd Górnicy, nr 10, 1972b
- [5] *Fajkiewicz Z.*: Geneza anomalii siły ciężkości i jej pionowego gradientu nad pustkami występującymi w skałach kruchych. Ochrona Terenów Górniczych. Nr 73/3–74/4, rok XIX, 3–13, 1985
- [6] *Fajkiewicz Z.*: Znaczenie badań geofizycznych w procesie przywracania wartości użytkowych terenom naruszonym dokonaną eksploatacją górniczą. Konferencja „Geofizyka w inżynierii i ochronie środowiska dla potrzeb samorządności lokalnej”. Dąbie, marzec 2001, 133–176
- [7] *Fajkiewicz Z., Jakiel K., Madej J., Porzucek S.*: Wyniki grawimetrycznej prognozy zagrożenia powierzchni terenu w centrum Wieliczki po wypływie w poprzeczni Mina w 1992 r. Konferencja: „Ekologia w górnictwie, a geofizyka”, Ustroń-Zawodzie, 19-21 październik 1994, 133–142
- [8] *Fajkiewicz Z., Radomiński J.*: Nowe możliwości grawimetrycznego odwzorowania stanu naruszenia górotworu ekspansją pustek poeksploatacyjnych. Archives of Mining sciences, Vol. 41, Iss. 3, 1996, pp. 325–339
- [9] *Fajkiewicz Z., Mikoś T., Radomiński J., Stewarski E.*: Własności fizyczne górotworu w sąsiedztwie pustek i ich grawimetryczne rozpoznanie. XXIV Zimowa Szkoła Mechaniki Górotworu „Geotechnika górnicza i budownictwo podziemne na początku XXI wieku. Łądek Zdrój, 12–16 marca 2001, 163–172
- [10] *Madej J., Jakiel K., Porzucek S.*: Grawimetryczna weryfikacja rozluźnień nad wyrobiskiem w warunkach górotworu olkuskiego. XXIV Zimowa Szkoła Mechaniki Górotworu nt. „Geotechnika górnicza i budownictwo podziemne na początku XXI wieku”. Łądek Zdrój, 12–16. 03. 2001, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 343-350
- [11] *Madej J.*: Badania mikrograwimetryczne w przywracaniu wartości użytkowych terenom pogórnicy. Publications of the institute of geophysics Polish Academy of Sciences. M–27(352), Warszawa 2002, s. 7–22