

Janusz DZIEWAŃSKI

Polska Akademia Nauk, Kraków

Cezary OSTROWSKI

Przedsiębiorstwo Badań Geofizycznych, Warszawa.

BADANIE ROZKŁADU GĘSTOŚCI MASYWU SKALNEGO (OSADOWEGO)
NA PODSTAWIE DANYCH GRAWIMETRYCZNYCH

Streszczenie. W artykule rozpatrzono przypadek, w którym oprócz powierzchniowego kartowania geologicznego, uzupełnionego licznymi górnictwymi wyrobiskami rozpoznawczymi (szybiki, wiercenia), wykonano powierzchniowe zdjęcie mikrograwimetryczne. Badaniami laboratoryjnymi rdzeni wiertniczych określono szczegółowo parametry fizyczne skał w profilach poszczególnych wyrobisk rozpoznawczych. Sporządzono mapy anomalii siły ciężkości w redukcji Bouguera, a po ich transformacji mapy anomalii rezydualnych. Na podstawie tych map wykonano interpretację jakościową. Obecnie prowadzi się interpretację ilościową, w wyniku której wydzielane są w całym kompleksie skał osadowych warstwy różniące się gęstością objętościową. Uzyskany na tej drodze obraz właściwości fizycznych masywu skalnego pozwala na prawidłowe zaprojektowanie selektywnej eksploatacji poszczególnych warstw, quasi-jednorodnych pod względem gęstości.

WPROWADZENIE

Celem artykułu jest przedstawienie obrazu właściwości fizycznych masywu skalnego zbudowanego ze skał osadowych, wykonanego na podstawie klasycznego sposobu rozpoznania budowy geologicznej, uzupełnionego powierzchniowym zdjęciem mikrograwimetrycznym.

Jednym z obiektów inżynierskich budowanej elektrowni pompowej MŁOTY w Górach Bystrzyckich jest zbiornik górny mogący zmagazynować około 6 mln m³ wody. Zbiornik ten zlokalizowano w najwyższym punkcie wzniesienia Kopa Zamkowa (784 m n.p.m.), na spłaszczeniu o powierzchni około 600 tys. m². Jego realizacja wymaga wykonania około 4,5 mln m³ wyłomów skalnych i usypiania obwałowań o łącznej długości 4 tys. m i objętości około 4,5 mln m³. Jednym z warunków racjonalnego zaprojektowania tego zbiornika było zbilansowanie mas skalnych uzyskiwanych z wyłomów, a następnie wykorzystanych w obwałowania. Zadaniem geologiczno-inżynierskim w etapie projektu technicznego było określenie parametrów fizycznych masywu skalnego w rejonie lokalizacji zbiornika górnego, dla udokumentowania złoża materiałów

miejscowych, budowlanych, które mogłyby być wykorzystane przy budowie zbiornika. Odwiezienie i dowiezienie tak dużych objętości materiałów z zewnątrz, stwarzałyby znaczne trudności techniczne, organizacyjne, a przede wszystkim podważałoby opłacalność tej inwestycji.

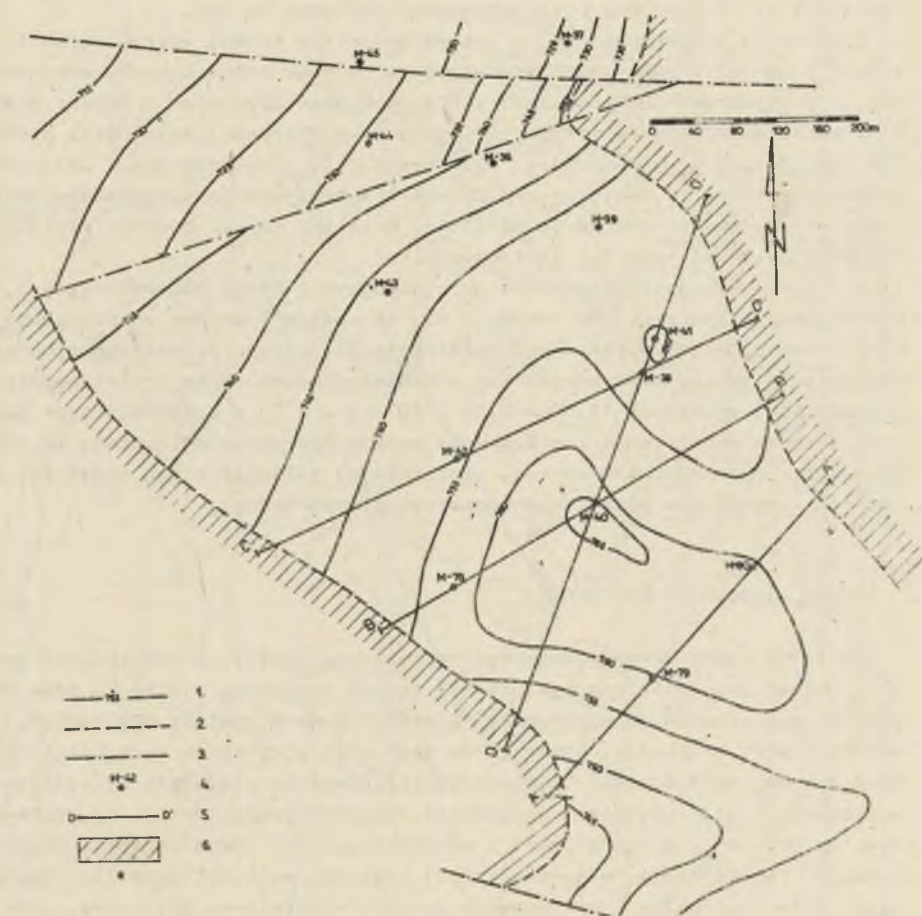
ZARYS BUDOWY GEOLOGICZNEJ

Na terenie wzniesienia Kopa Zamkowa, zajęтым częściowo przez las a częściowo przez łąki i pola uprawne, wykonano powierzchniowe zdjęcie geologiczne uzupełnione szeregiem wyrobisk górniczych (szybków, wykopów, wierceń mechanicznych). Na podstawie wyników tych prac określono budowę geologiczną szczytowej partii wzniesienia. Pod warstwę zwietrzliny (rumoszu skalnego) o niedużej grubości, w części zachodniej wzniesienia występują piaskowce ciosowe [1], poniżej których masyw skalny budują gezy [2]. W części wschodniej warstwa gezy występuje bezpośrednio pod powierzchnią terenu, pod którą na różnej głębokości masyw skalny zbudowany jest z bystrzyckich gnejsów oczkowych. Uzyskane materiały pozwoliły na wykreślenie ukształtowania powierzchni morfologicznej przedkredowej, z dokładnością odpowiadającą zagęszczeniu wyrobisk, w których nawiercono gnejsy (rys. 1). Dla bardziej dokładnego obrazu tej powierzchni wykorzystano dane z symetrycznego profilowania geoelektrycznego.

Historia powstania skał, a następnie przekształcania masywu skalnego w tej części Gór Bystrzyckich jest skomplikowana. Można tutaj wydzielić dwie grupy skał związanych: metamorficzne - starsze wykształcone jako łupki łyszczykowe, gnejsy oczkowe, kataklazyty i mylonity ogólnie wieku paleozoicznego oraz osadowe - wieku kredowego wykształcone jako piaskowce glaukonitowe, gezy i piaskowce ciosowe [3]. Do utworów czwartorzędowych zaliczono: rumosze tkwiące w substancji ilastej, pochodzące ze zwietrzenia skał podłoża i pokrywające gruby płaszczem zbocza Dolin; bloki skalne tzw. gołoborza zgrupowane w górnych odcinkach stoków zbudowanych z piaskowców ciosowych oraz aluwia rzeczne wyścielające dno doliny Bystrzycy Łomnickiej.

Kolejne orogenezy: waryscyjska, laramijska i alpejska zaznaczyły się w masywie skalnym licznymi strefami uskokowymi, a procesy geologiczne egzo- i endogeniczne przyczyniły się do mechanicznego i chemicznego zniszczenia skał, zwłaszcza intensywnie zaznaczającego się w strefach uskokowych.

Wydźwignięcie masywu skalnego w początkach karbonu ponad powierzchnię morza i pozostawienie go przez długi okres aż do okresu kredowego, przyczyniło się do intensywnego zwietrzenia i usunięcia przez procesy denudacyjne nagromadzonej zwietrzliny. Transgresja morza kredowego i złożenie osadów w kompleksach psamitowych i pelitycznych świadczą o oscylacyjnych ruchach dna morskiego.



Rys. 1. Szkic mapy geologicznej

1 - izoliny ukształtowania powierzchni przedkredowej, 2 - granica występowania gnejsów, 3 - uskoki, 4 - otwór wiertniczy - badawczy, 5 - przekrój grawimetryczny, 6 - gnejsowy masyw skalny

Fig. 1. Schematic geological map

1 - isolines of the Pre-Cretaceous morphology, 2 - outline of the gneisses, 3 - faults, 4 - exploratory borehole, 5 - gravimetric cross-section, 6 - gneiss rock-massif

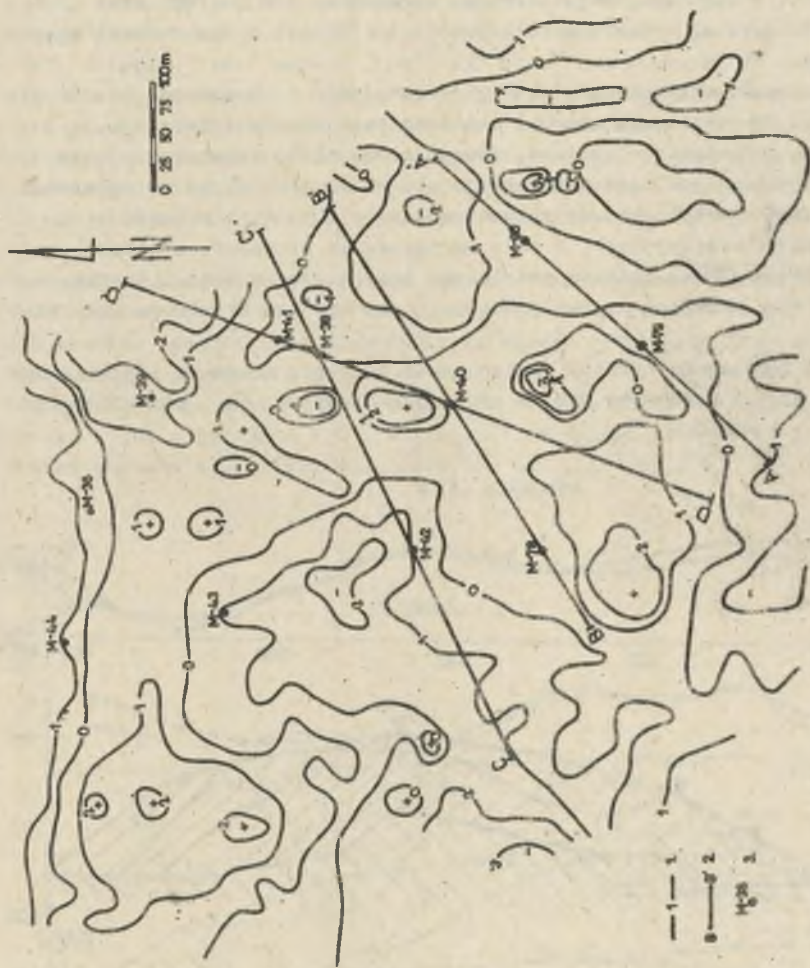
Gezy zaliczane do skał krzemionkowych, występujące w 37 metrowym kompleksie w szczytowej partii wzniesienia, charakteryzują się, w zależności od stopnia zwietrzenia, dużym zróżnicowaniem gęstości objętościowej, porowatości i zawartości CaCO_3 . Geza niezwiętrzała wykazuje wytrzymałość na ściskanie rzędu 200 MPa i porowatość zerową, podczas gdy zwietrzała rozsypuje się w placach, a jej porowatość dochodzi do 49%.

Obserwacje powierzchniowe, a przede wszystkim rdzeni wiertniczych i urobku z wyrobisk rozpoznawczych wskazują na duże zróżnicowanie właściwości fizycznych gez. Badania laboratoryjne próbek pobranych z rdzeni wiertniczych potwierdzają te różnice. Dotyczy to w pierwszej kolejności gęstości objętościowej, porowatości, zawartości CaCO_3 , wytrzymałości na ściskanie. Parametry te decydują o możliwości wykorzystania miejscowego materiału na obwałowania, a także wskazują, w jakiej części budowli piętrzącej dany materiał może być zastosowany.

Zróżnicowanie gęstościowe masywu wynikające z badań laboratoryjnych, stwierdzone w otworach wiertniczych nie stanowiło podstawy do uzyskania przy konwencjonalnych sposobach interpretacji, obrazu przestrzennego rozmieszczenia quasi-jednorodnych mas w obszarze badań. Duże zróżnicowanie gęstości objętościowej ($1,50 - 2,55 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$) w poszczególnych punktach stworzyło możliwość zastosowania metody mikrograwimetrycznej do rozdzielenia poszczególnych warstw, umożliwiając obliczenie ich objętości i tym samym wykonanie zasnania geologiczno-inżynierskiego.

PRACE MIKROGRAWIMETRYCZNE

Terenowe prace mikrograwimetryczne wykonane zostały przed kilkoma laty [7]. Obszar zbiornika górnego pokryty został regularną siatką (o boku 25 m) punktów pomiarowych. W węzłach tej siatki wykonano pomiary względnych wartości siły ciężkości, używając do tego celu przyrządów typu Scintrex CG-2 o dużej dokładności. Uzyskane wyniki pomiarów posłużyły do wyliczenia anomalii siły ciężkości w redukcji Bouguera (uwzględniającej poprawkę Faye'a, Bouguera, topograficzną i wyrobiskową) [4]. Mapę anomalii Bouguera poddano transformacji, w wyniku której uzyskano wartości anomalii rezydualnych. Pole regionalne aproksymowane zostało wielomianem potęgowym. Rozkład anomalii rezydualnych przedstawiono na rys. 2. Na podstawie mapy anomalii Bouguera i anomalii rezydualnych wykonano interpretację jakościową wyników [5], wydzielając rejony różniące się sumarycznym efektem grawitacyjnym, pochodzącym od poszczególnych warstw kompleksu gezewego. Anomalie ujemne zostały powiązane z występowaniem skał osadowych, których średnia gęstość objętościowa całego kompleksu jest mniejsza w stosunku do otoczenia. Anomalie dodatnie przyporządkowano przypowierzchniowym partiom masywu skalnego, charakteryzującym się zwiększoną średnią gęstością objętościową. Szacunkowe obliczenia pozwoliły stwierdzić, że niejednorodność warstwy gez może dochodzić do $0,5 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

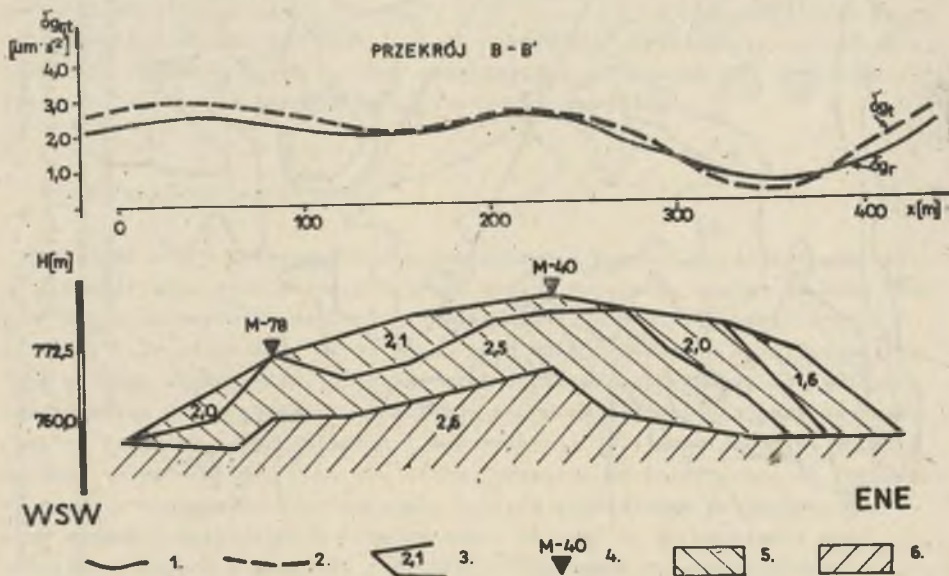


Rys. 2. Rozkład anomalii rezidualnych sił grawitacji.
 1 - izolinie co 1 $\mu\text{m.s}^{-2}$, 2 - przekrój grawimetryczny, 3 - otwór wiercniczy - badawczy
 Fig. 2. Distribution of residual gravity anomalies
 1 - isobars at every 1 $\mu\text{m.s}^{-2}$, 2 - gravimetric cross-section, 3 - exploratory borehole

Obecnie prowadzone są prace reinterpretacyjne, poszerzone o interpretację ilościową. Interpretacja ta oparta jest na dwuwymiarowym modelowaniu gęstościowym ośrodka skalnego. Celem interpretacji ilościowej jest wydzielenie w całym kompleksie utworów geozowych poszczególnych warstw różniących się gęstością objętościową, określenie ich zasięgu oraz głębokości występowania, a także prześledzenie morfologii przedkredowej masywu gnejsowego.

Jedną z metod obliczania efektu grawitacyjnego pochodzącego od przyjętego modelu gęstościowego ośrodka skalnego jest metoda Talwaniego [6]. Pozwala ona aproksymować poziome, dwuwymiarowe ciało zaburzające, nieskończonym walcem poziomym o przekroju poprzecznym w kształcie dowolnego wielokąta zamkniętego. Metodę tę zastosowano w aktualnie prowadzonych pracach reinterpretacyjnych. W celu uproszczenia procedury obliczeniowej przyjęto jednorodność podłoża gnejsowego oraz stałą grubość i gęstość warstwy nadkładu. Uzyskane wyniki prezentują dwa wybrane przekroje grawimetryczne.

Na rys. 3 pokazano rozkład pomierzonych wartości anomalii siły ciężkości δg_r wzdłuż przekroju B-B' i efekt grawitacyjny δg_t pochodzący od

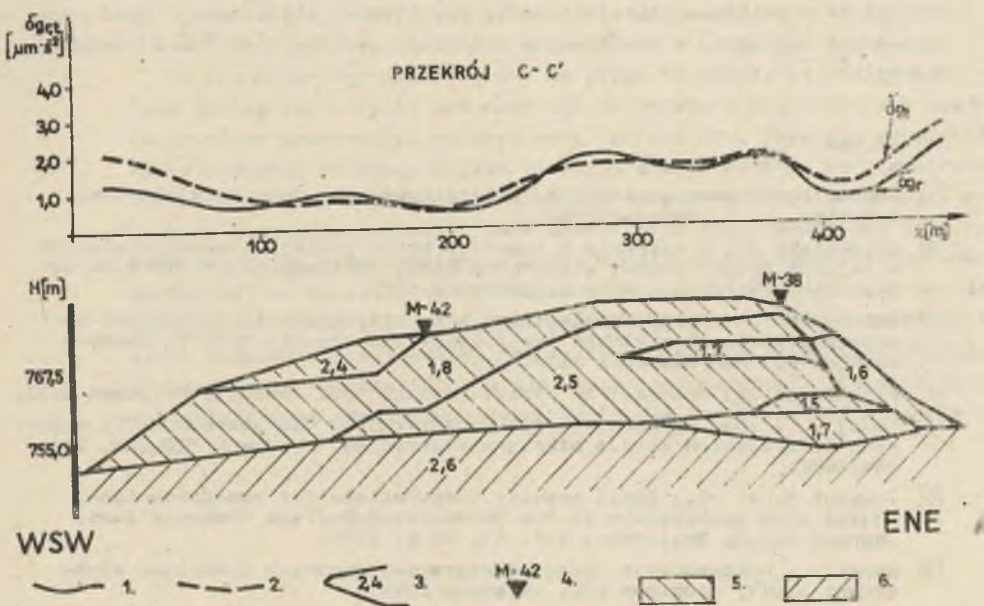


Rys. 3. Model gęstościowy ośrodka skalnego wzdłuż przekroju B-B'
 1 - pomierzony rozkład anomalii siły ciężkości, 2 - efekt grawitacyjny od przyjętego modelu, 3 - gęstość objętościowa w 10^3 kg.m^{-3} , 4 - otwór wiertniczy - badawczy, 5 - gazy, 6 - gnejsy

Fig. 3. Density model of geological phenomena along the cross-section B-B'
 1 - measured distribution of gravity anomalies, 2 - gravitational effect from the model, 3 - bulk density in 10^3 kg.m^{-3} , 4 - exploratory borehole, 5 - gneiss, 6 - gneiss

przyjętego modelu matematycznego ponadgnejsowej części ośrodka skalnego. Zaznacza się tutaj duża zmienność gęstości objętościowej poszczególnych warstw kompleksu gezewego. Centralna część tego kompleksu to osady o gęstości $2,5 \cdot 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$. W przypowierzchniowej części modelu gęstości maleją do wartości $2,0 \cdot 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$, a w części północno-wschodniej przekroju osiągają nawet wartość $1,6 \cdot 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$. W stosunku do obrazu przedstawionego na rys. 1, uzyskanego przy konwencjonalnej metodzie interpretacji wyników, zaproponowano nieco zmieniony kształt powierzchni morfologicznej przedkredowego podłoża gnejsowego. Uzyskany obraz świadczyć może o istnieniu nieznanego dotychczas uskoku o niewielkim zrzucie. Potwierdzeniem tej hipotezy może być również analiza danych wzdłuż przekroju D-D'.

Podobnie dużą niejednorodność wykazują utwory gezewo w przekroju C-C'. Model gęstościowy wraz z rozkładem anomalii przedstawia rys. 4. W kompleksie utworów osadowych wydzielono kilka warstw różniących się gęstością objętościową w przedziale od $1,6$ do $2,5 \cdot 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$. Najlżejsze utwory występują w północno-wschodniej części przekroju. Część centralna jest zbudowana z gezu o gęstości $2,5 \cdot 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$. W części południowo-zachodniej dominują skały o gęstości objętościowej $1,8 \cdot 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$.



Rys. 4. Model gęstościowy ośrodka skalnego wzdłuż przekroju C-C' (oznaczenia jak na rys. 3)

Fig. 4. Density model of geological phenomena along the cross-section C-C' (explanations like on fig. 3)

Dla obu przedstawionych wyżej dwuwymiarowych modeli gęstościowych ośrodka skalnego rozkłady teoretycznie obliczonego efektu grawitacyjnego dość dobrze korelują się z rozkładami pomierzonych anomalii siły ciężkości. Niewątpliwie duży wpływ na to ma wykorzystanie przy modelowaniu parametrów fizycznych skał określonych na podstawie laboratoryjnych badań próbek rdzeni wiertniczych. Na podkreślenie zasługuje również fakt dobrego rozpoznania budowy geologicznej rejonu zbiornika górnego, co w znacznym stopniu ogranicza wieloznaczność interpretacji grawimetrycznych.

WNIOSKI

Poszerzenie wykonanego metodami klasycznymi rozpoznania budowy geologicznej o powierzchniowe zdjęcie mikrograwimetryczne pozwoliło na uzyskanie informacji dotyczących rozkładu mas w przypowierzchniowej partii masywu skalnego.

Wykorzystanie parametrów fizycznych skał określonych w poszczególnych otworach wiertniczych do modelowania gęstościowego ośrodka skalnego stwarza możliwości przestrzennego rozdziału warstw o quasi-jednorodnej gęstości objętościowej.

Uzyskany na tej drodze obraz właściwości fizycznych masywu skalnego pozwala na prawidłowe zaprojektowanie selektywnej eksploatacji skał wbudowywanych następnie w obwałowania zbiornika górnego elektrowni pompowej MŁOTY.

LITERATURA

- [1] Dumicz M.: Budowa geologiczna kryetaliniku Gór Bystrzyckich. Geol. Sudetica, t. 1, Wrocław 1964.
- [2] Dziwiałski J.: O zakresie i kosztach badań geologiczno-inżynierskich w rejonie projektowanej elektrowni szczytowo-pompowej MŁOTY w Górach Bystrzyckich. Gosp. Wodna 1, Warszawa 1972.
- [3] Dziwiałski J.: Metody geologiczne przy projektowaniu elektrowni pompowych w masywach skalnych (na przykładzie obiektu MŁOTY). Zeszyty Naukowe 30, AGH Geologia 1984.
- [4] Fajkiewicz Z.: Grawimetria poszukiwawcza. Wyd. Geolog., Warszawa 1973.
- [5] Madej J. i in.: Wykonanie badań geofizycznych dla obiektu MŁOTY w Górach Bystrzyckich metodą mikrograwimetryczną. Archiwum MIG AGH, Kraków 1981.
- [6] Talwani M. et al.: Rapid gravity computations for two-dimensional bodies with application to the Mendocino Submarine Fracture Zone. Journal Geoph. Research., Vol. 64, No 1, 1959.
- [7] Smrek A.: Dokumentacja badań mikrograwimetrycznych z obszaru elektrowni MŁOTY. Archiwum PBG, Warszawa 1981.

Recenzent: doc. dr hab. inż. Antoni Goszcz

Wpłynęło do redakcji w kwietniu 1988 r.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ОСАДОЧНОГО СКАЛЬНОГО МАССИВА
ПО ГРАВИМЕТРИЧЕСКИМ ДАННЫМ

Р е з ю м е

В статье рассмотрено случай когда кроме поверхностной геологической съемки (геологическое картирование) и многих горно-поисковых выработок (шахты, бурения) применено поверхностную микрогравитационную съемку. Лабораторные исследования кернов определили физические свойства в профилях отдельных выработок. Зделано карту аномалии в сокращении Буге и после этой трансформации карту аналогии резидуальных, а на этой основе зделано качественную интерпретацию. В настоящее время зделано количественную интерпретацию получая в результате распространение в серии осадочных пород пласти различных плотности.

Получена карта физических свойств скального массива допускает зделать рациональный проект селективной эксплуатации отдельных "quasi"-однородных с точки зрения показной плотности пластов.

THE EXAMINATION OF SEDIMENTARY ROCKMASSIF DENSITY DISTRIBUTION
BASING ON GRAVIMETRIC DATA

S u m m a r y

In the paper the case history is given in which, in addition to surface geological mapping and numerous exploratory drillings and headings, the surface gravimetric surveys were carried out. Physical properties of rocks occurring in the profiles of exploratory headings were determined basing on laboratory tests of drilling cores. The maps of gravity anomalies in Bouguer's reduction were constructed and transformed into residual anomalies maps. Basing on them, qualitative interpretation was performed. At present, quantitative interpretation is in progress and the layers with different bulk (apparent) density are distinguished in the total complex of sedimentary rocks. Basing on the determined physical properties of rockmassif, one can design appropriately the selective exploitation of respective layers which are quasi-uniform in terms of density.