

Zbigniew FAJKLEWICZ,
Krzysztof JAKIEL

Międzyresortowy Instytut Geofizyki
Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

BADANIA MIKROGRAWIMETRYCZNE ZJAWISK ZACHODZĄCYCH W ŁAWICACH PIASKOWCA
POD WPŁYWEM EKSPLOATACJI POKŁADU WĘGLA^{x)}

Streszczenie. W opracowaniu przedstawiono wyniki badań mikrograwimetrycznych wykonanych w części NE obszaru górniczego KWK "Szombierki". Celem tych prac było wykrywanie uskoków, szczelin przecinających ławice piaskowców, stref pęknięć i osłabień w nich występujących. Ławice piaskowca zalegają w górotworze otaczającym przygotowywane do eksploatacji partie pokładów warstw siódłowych.

Przeprowadzone pomiary mikrograwimetryczne umożliwiły wykrycie 8 uskoków i szczelin przecinających ławice piaskowców.

Sześć z nich zidentyfikowano już w trakcie eksploatacji pokładów 501, 507 w badanym rejonie.

Wyniki badań przyczyniły się do określenia stopnia zagrożenia możliwością wystąpienia tąpnięć lub wstrząsów w rejonie objętym obserwacjami mikrograwimetrycznymi.

1. WSTĘP

Pierwsze badania grawimetryczne, których zadaniem było wyjaśnienie określonych problemów geologii i geomechaniki górniczej, rozpoczęto w 1956 r. [4]. W następnych latach rozszerzenie tematyki prac naukowo-badawczych realizowanych dla potrzeb górnictwa spowodowało konieczność wyodrębnienia się nowego obszaru naukowych dociekań mikrograwimetrii górniczej. Praktycznie stosuje się ją dla celów poszukiwania rozwiązań zagadnień związanych z:

- tektoniką nieciągłą górotworu, [5], [7]
- formami erozyjnymi i krasowymi, [6]
- pustkami poeksploatacyjnymi, starymi wyrobiskami górniczymi, [9]
- ze stanem górotworu naruszonego eksploatacją, [10], [11], [13]
- ze wstrząsami górniczymi [12], [14], [15], [16], [17].

x) Praca ta stanowi część tematu 01.4 - pt. "Zapobieganie zagrożeniom wynikającym z podziemnej eksploatacji złóż węgla i ich zwalczanie", która wykonana została w ramach prac badawczych Głównego Instytutu Górnictwa.

2. CEL BADAŃ

Podstawowy cel podziemnych badań mikrograwimetrycznych wykonywanych w kopalniach węgla kamiennego stanowi szukanie relacji czasowych zmian mikroanomalii siły ciężkości do zjawisk zachodzących w ławicach piaskowca występujących nad i pod przemieszczającą się eksploatowaną ścianą w pokładzie węgla. Uzyskane obserwacje wskazują kierunki przemieszczeń stref zaburzeń gęstościowych, koncentrację zaburzeń wokół krawędzi pokładów, uskoków. Możemy rejestrować proces odkształcania gęstościowego górotworu w czasie prac górniczych i po ich zakończeniu [8], [15], [16], [17]. Odpowiednio dobrana metodyka podziemnych pomiarów pozwala na wykrywanie uskoków, szczelin przecinających ławicę piaskowca, obszarów pęknięć i osłabień w niej występujących. Często ujawniają się pod wpływem eksploatacji i ich aktywność określają różnicowe anomalie siły ciężkości zmienne w czasie. Oczywiście więc staje się stwierdzenie, że obserwacje wielokrotne tych stref umożliwiają wskazanie miejsc prawdopodobnego zagrożenia, sprzyjających powstaniu wstrząsów.

Dla osiągnięcia wymienionych celów obserwacji metodę czasowych zmian mikroanomalii siły ciężkości zastosowano w kilku kopalniach węgla kamiennego niecki bytomskiej. Mierzone wartości makroanomalii siły ciężkości i obliczone na ich podstawie różnicowe mikroanomalie siły ciężkości śledziły zmiany przestrzenno-czasowego rozkładu gęstościowego górotworu naruszonego eksploatacją górniczą i umożliwiły wysunięcie sugestii odnośnie do stanu naprężeń w górotworze i prognozy zagrożenia.

Ten referat poświęcamy wynikom badań uzyskanych w KWK "Szombierki" dla rozeznania możliwości występowania uskoków, pęknięć i szczelin w górotworze otaczającym przygotowywane do eksploatacji ściany i zabierki w pokładzie 504.

Prowadzona eksploatacja w latach siedemdziesiątych i z początkiem lat osiemdziesiątych w pokładzie 501 powyżej tego rejonu i w pokładach 507 i 509/510 poniżej była dosyć trudna, często wręcz niemożliwa. Ławice piaskowca zalegające w otoczeniu tych pokładów były i są źródłem emisji energii sprężystej uwidaczniającej się w postaci wstrząsów górniczych. Szczególnie niebezpieczeństwo niosą zaburzenia budowy warstw piaskowcowych.

3. PODSTAWY CZASOWYCH ZMIAN MIKROANOMALII SIŁY CIĘŻKOŚCI

Metoda ta polega na wykonywaniu periodycznych obserwacji mikrograwimetrycznych w wybranych profilach w otoczeniu rejonów zagrożonych, podlegających eksploatacji. Przedmiotem analizy są obliczone różnicowe mikroanomalie siły ciężkości pomiędzy kolejnymi seriami pomiarowymi [8]

$$\Delta g_{i+1} - \Delta g_i$$

$$\Delta g_{i+1} - \Delta g_{i-1}$$

$$\Delta g_{i+1} - \Delta g_{i-2}$$

$$\vdots$$

$$\Delta g_{i+1} - \Delta g_1$$

gdzie: $i = 1, \dots, n$.

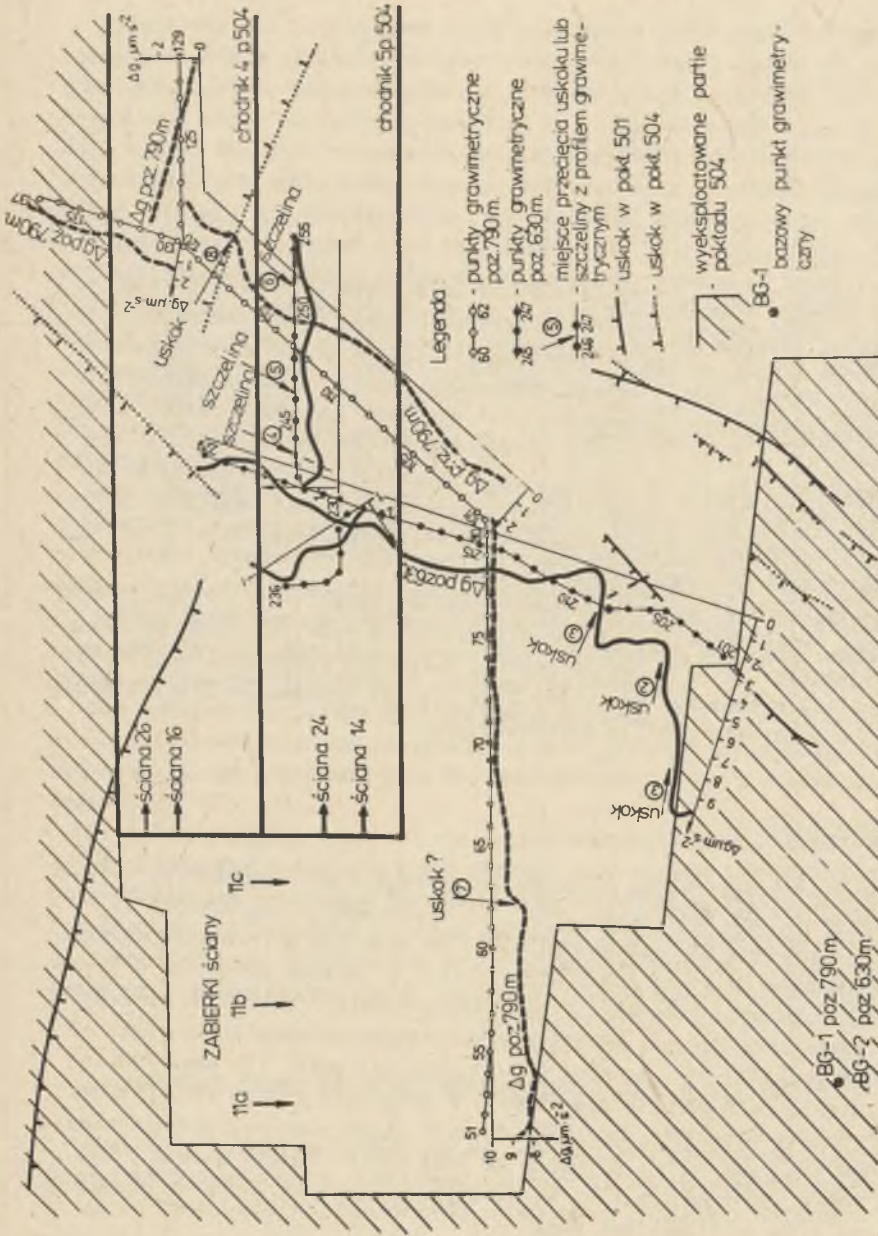
Zawsze odejmuje się w punkcie wartość mikroanomalii siły ciężkości obliczoną w serii wcześniejszej od wartości w danej serii. Anomalie różnicowe $\Delta g_{i+1} - \Delta g_i$ noszą skrótową nazwę RBGA = anomalie wstrząsowe.

U podstaw metody leży zjawisko dylatacji. Zależność naprężenia wieloosiowe - odkształcenia objętościowe skał nie jest liniowa w całym zakresie naprężeń [1], [2], [3]. Przy określonych rosnących wartościach naprężeń następuje wolniejsze zmniejszenie objętości niż wynikające z teorii odkształcenia sprężystego, potem objętość gwałtownie wzrasta. Cyklowi zmian objętościowych muszą towarzyszyć zmiany gęstości skał [16]. A więc RBGA osiągną minimum w momencie wstrząsu.

Inny model - model pękania lawinowo-niestabilnego [13] - wykazuje cykl odkształceń objętościowych, którym też odpowiada przejście RBGA od dodatnich do ujemnych. Tu RBGA osiąga minimum tuż przed wstrząsem. Realizując zadania metody wyznaczamy przyrosty RBGA niosące informacje o stabilności górotworu w otoczeniu profilu obserwacyjnego.

4. REJON BADAŃ

Systematyczne obserwacje mikrograwimetryczne w KWK "Szombierki" wykonaliśmy w profilach badawczych (rys. 1), wyznaczonych w przekopie II wschodnim 2 pokładem 504 pod pokładem 417 na poz. 630 m (punkty 201-229), w przekopie na wschód pod pokł. 417 poz. 630 m (punkty 241-255), w przekopie zachodnim pod pokładem 417 poz. 630 m (punkty 230-236) w NE części obszaru górniczego kopalni. Poniżej tych profili prowadziliśmy prace pomiarowe na poz. 790 m w chodniku podstawowym pod pokł. 510 poz. 790 m (punkty 51-81) na E od pola osadników i w przekopie wodnym pod pokładem 509/510 (punkty 101-137). Całkowita długość ciągu obserwacyjnego wniosła około 1500 m na poz. 630 m i 1550 m na poz. 790 m. Punkty bazowe (3G-2 na poz. 630 m, BG-1 na poz. 790 m) stabilizowaliśmy ok. 90 m na północ od szybika IX w przybliżeniu nad sobą.



Rys. 1. Położenie sidentyfikowanych szczelin i uskoków na podstawie badań mikrogravimetrycznych w części NE obszaru górniczego KWK "Szombierki"
 Fig. 1. Position of identified slits and faults on the base of microgravimetric measurements in NE part of mining area of "Szombierki" coal mine

Profil mikrograwimetryczny na poz. 630 m (rys. 1) rozpoczyna się w strefie południowego skrzydła niecki bytomskiej. Warstwy grupy siódłowej zapadają tu na północ, przechodząc przez przekop II wschodni poz. 630 m. W części centralnej i północnej profilu warstwy siódłowe zapadają na NW pod kątem ok. 7° i biegną poniżej niego. Początek linii obserwacyjnej znajduje się pod strefą krawędzi pokładów (413, 414, ..., 419) warstw rudzkich grupy łękowej i w rejonie wyeksploatowanym w warstwach siódłowych (pokł. 501, 504, 509) grupy siódłowej. Dalej na północ pod profilem zakończono eksploatację w pokł. 501 śc. 3a, w pokł. 507 śc. 9 i 10. W pokładzie 504 przygotowuje się uruchomienia ścian 26, 16, 24, 14.

Profil na poz. 790 m (rys. 1) przebiega po rozciągłości z W na E pod pokł. 509/510 (punkty 51-81) i skręca na NE, leżąc skośnie poniżej profilu na poz. 630 m (punkty 101-137). W spągu tych przekopów znajduje się piaskowiec ze sferosyderytami warstw porębskich grupy brzeźnej.

5. METODYKA PODZIEMNYCH BADAŃ MIKROGRAWIMETRYCZNYCH

Na obu poziomach stabilizowaliśmy co 20 m w profilach obserwacyjnych 120 punktów pomiarowych. Zostały one wyznaczone w sposób umożliwiający jednoznaczna identyfikację. W trakcie pomiarów mikrograwimetrycznych każdej serii pracownicy działu mierniczego kopalni wyznaczali wysokość punktów pomiarowych z dokładnością $\pm 0,01$ m.

Obserwacje mikrograwimetryczne każdej serii wykonaliśmy wysokoczułym grawimetrem Worden-Master mierzącym z dokładnością $\pm 0,1 \mu\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$. Dowiązywanie obserwacji mikrograwimetrycznych do punktów bazowych (BG-1 poz. 790 m i BG-2 poz. 630 m) odbywało się za pomocą punktów pośrednich pomocniczych bazowych nr 221 poz. 630 i nr 120 poz. 790 m. Punkty bazowe były położone w rejonach o dużej stabilności (stała wysokość, brak drgań spągu). Wysokość tych punktów kontrolowano wielokrotnymi dowiązaniem do reperów geodezyjnych przy szybiku IX.

W punkcie bazowym BG-2 poz. 630 m wyznaczono bazową względną wartość obserwowanej siły ciężkości

$$\text{BG-2 ; } g_0 = 100,000 \mu\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$$

Świadczy to o pomiarach w tzw. układzie lokalnym. Poprzez szybik IX wykonaliśmy dowiązanie wielokrotne punktu BG-2 do punktu BG-1 poz. 790 m, wyznaczając w tym ostatnim bazową wartość:

$$\text{BG-1 ; } g_0 = 244,300 \mu\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$$

Znając dokładną odległość pionową punktów bazowych BG-1 i BG-2, obliczyliśmy średnią gęstość kompleksu skalnego pomiędzy poziomami badawczymi ($\rho = 2,57 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$) dla potrzeb redukcji. Obserwacje wypełniające w sieci punktów obserwacyjnych realizowaliśmy wg schematu:

$$A - 101, \dots, 110, A, 111, \dots, 120, A, \dots, A, BG, A, BG,$$

gdzie A - pomocniczy punkt bazowy.

Czas pomiarów w punktach wypełniających był 4-krotnie krótszy od normalnego czasu liniowości dryftu grawimetru używanego do tych obserwacji. Dla podniesienia dokładności wyznaczenia wartości siły ciężkości pomiary powtarzano w całości w niezależnych ciągach pomiarowych każdej serii badań.

Błędy średnie kwadratowe pojedynczej obserwacji wyniosły w poszczególnych seriach:

$$\begin{aligned} \text{poziom 630 m} \quad \mu_{0I} &= \pm 0,08 \mu\text{m} \cdot \text{s}^{-2} \\ &\mu_{0II} = \pm 0,06 \mu\text{m} \cdot \text{s}^{-2} \\ &\mu_{0III} = \pm 0,19 \mu\text{m} \cdot \text{s}^{-2} \\ &\mu_{0IV} = \pm 0,13 \mu\text{m} \cdot \text{s}^{-2} \\ &\mu_{0V} = \pm 0,16 \mu\text{m} \cdot \text{s}^{-2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{poziom 790 m} \quad \mu_{0I} &= \pm 0,09 \mu\text{m} \cdot \text{s}^{-2} \\ &\mu_{0II} = \pm 0,04 \mu\text{m} \cdot \text{s}^{-2} \\ &\mu_{0III} = \pm 0,23 \mu\text{m} \cdot \text{s}^{-2} \\ &\mu_{0IV} = \pm 0,12 \mu\text{m} \cdot \text{s}^{-2} \\ &\mu_{0V} = \pm 0,16 \mu\text{m} \cdot \text{s}^{-2} \end{aligned}$$

gdzie:

I-V - numery serii pomiarów, które zostały wykonane w następujących interwałach czasowych,

seria I - pomiar bazowy
 seria II - po 4 tygodniach
 seria III - po 8,5 miesiącach
 seria IV - po 9 miesiącach
 seria V - po 11 miesiącach

Na rysunku 1 wykryte uskoki i szczeliny przedstawiono na tle zmian mikroanomalii siły ciężkości, które ujawniły się między seriami I i V.

Za podstawę kwalifikowania obserwowanych nieciągłości (szczeliny lub pęknięcia piaskowca) przyjęto czasowe zmiany wartości anomalii siły ciężkości, gdyż powstają one w procesie eksploatacji. Natomiast nieciągłości obserwowane już w pierwszej serii pomiarowej uznano za uskoki, bowiem są to zjawiska pierwotne w stosunku do zmian zachodzących w górotworze pod wpływem eksploatacji.

6. WYNIKI PODZIEMNYCH POMIARÓW MIKROGRAWIMETRYCZNYCH

Na podstawie wyników obserwacji obliczyliśmy mikroanomale siły ciężkości w podwójnej redukcji Bouguera [14].

$$\Delta g = \Delta g_0 + \Delta g_{BB} - \gamma_0.$$

gdzie:

- Δg_0 - wartość obserwowanej siły ciężkości,
- Δg_{BB} - wartość podwójnej redukcji Bouguera w punkcie pomiarowym,
- γ_0 - wartość normalna siły ciężkości obliczona wg wzoru Helmerta 1904 r. (1911 r.).

Przedstawione na rys. 1 rozkłady mikroanomaleli siły ciężkości w poszczególnych profilach w formie poziomych układów odzwierciedlają budowę geologiczną badanego rejonu. Na poz. 630 m odpowiada on formie niecki z uskokami przecinającymi skrzydło niecki w rejonie punktów 202, 205, 208. Ich łączny zrzut wynosi do 15 m, a rozciągłość jest mniej więcej prostopadka do profilu. Są one oznaczone numerami 1, 2, 3 (rys. 1).

Dalej rozkład ma zgodność z morfologią warstw siódkowych. Ujemną anomalię z ekstremum w punkcie pomiarowym 220 wiążemy z chwilowym położeniem krawędzi ściany 9 pokładu 507.

Informacji o nieciągłościach górotworu dostarcza rozkład makroanomaleli pomiędzy punktami 224-241-255. Piaskowiec pomiędzy pokładem 501 a p. 504 wg tego rozkładu jest przecięty szczelinami (pęknięciami). Szczeliny te oznaczone są numerami 4, 5, 6, (rys. 1) w pobliżu punktów 243, 246, 252. Ich przebieg ze względu na pomiar w jednym profilu nie jest możliwy do wyznaczenia. Z wykonanej wyżej analizy wyłączono odcinek profilu zawarty między punktami 230 i 236. Chodnik na tym odcinku ma dużą krzywiznę, która w rozkładzie mikroanomaleli siły ciężkości ujawnia się w postaci lokalnego minimum, jak to zaznaczono na rys. 1.

Morfologia warstw siódkowych znajduje również odbicie w rozkładzie mikroanomaleli siły ciężkości na poz. 790 m. Zwraca uwagę możliwość występowania pęknięcia lub uskoku przecinającego chodnik podstawowy pod pokładem 509/510 poz. 790 m pomiędzy punktami 62-63 (oznaczony nr 7). Występowanie na tym poziomie uskoku oznaczonego nr 8 (pomiędzy punktami 117-119)

świadczy, że uskok zidentyfikowany w pokładzie 504 może obejmować strefę do pokładu 509/510 i poniżej.

7. WNIOSKI

Ocena zjawisk dynamicznych mających miejsce w okresie wykonywania najszybszych badań, wiążąca się z możliwością wystąpienia wstrząsów górniczych i deformacji górotworu, została omówiona w publikacji [17].

Praca ta poświęcona została wyłącznie problemowi wykrywania tworzących się pęknięć w ławicach piaskowca pod wpływem eksploatacji.

Jak przedstawiono na rys. 1, wykryliśmy 8 szczelin, przecinających ławicę piaskowców.

Wyniki zrealizowanej pracy przyczyniły się do określenia stopnia zagrożenia możliwością wystąpienia tąpnięć lub wstrząsów w pokładzie 501 i 507.

Spośród 8 wymienionych szczelin, uskoków, sześć zostało stwierdzonych w trakcie eksploatacji tych pokładów.

Wykonane badania mają również znaczenie dla planowanej eksploatacji pozostałości pokładów warstw siódłowych w tym rejonie.

LITERATURA

- [1] Bieniawski Z.T.: Mechanism of brittle fracture of rocks, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences 4, 1967, 395-430.
- [2] Brace W.F.: Volume changes during fracture and frictional sliding - a review, Pageopch 116, 1978, 603-614.
- [3] Brace W.F., Paulding B.W., Jr and Scholz: C. 1966 - Dilatancy in the fracture of crystalline rocks, Journal of Geophysical Research 71, 3939-3953.
- [4] Fajkiewicz Z.: O podziemnych pomiarach grawimetrycznych w zastosowaniu górnictwa węglowego. Wyniki prac z kopalni Miechowice. Archiwum Górnictwa t. 1, 1956, z. 4.
- [5] Fajkiewicz Z.: Detection of faults in the BD coal mine by means of microgravity measurements. Bulletin de l'Academie Polonaise des Sciences, Série des Sciences Geologique et Geographique, 1963, vol. XI., no 4.
- [6] Fajkiewicz Z.: An attempt at plotting the roof of the carboniferous layer in the BD mine by means of microgravity measurements, Bulletin de l'Academie Polonaise des Sciences, Série des Sciences Geologique et Geographique, vol. XII, 1964, no 1.
- [7] Fajkiewicz Z.: Zastosowanie metod geofizycznych do wykrywania uskoków i pustek w górotworze. Ochrona terenów Górniczych, 1967, nr 2.
- [8] Fajkiewicz Z. Sposób kontroli przemieszczania stref odkształceń w górotworze wywołanych podziemną eksploatacją górniczą lub pustkami występującymi w górotworze. Patent PRL nr 73609, 1971.
- [9] Fajkiewicz Z.: Pustki poeksploatacyjne i odkształcenia objętościowe górotworu w świetle pomiarów gradientu pionowego siły ciężkości i jej mikroanomalii. Przegląd Górniczy nr 10, 1972.

- [10] Fajkiewicz Z.: Pionowe przekroje pola siły ciężkości i ich związek z odkształceniami górotworu. *Więsty Naukowe AGH, Górnictwo z. 76*, Kraków 1975.
- [11] Fajkiewicz Z.: Zastosowanie mikrograwimetrii w górnictwie węglowym. *Publications of the Institute of Geophysics Polish Academy of Sciences*, vol. 97, 1976.
- [12] Fajkiewicz Z.: Versuch zur Voraussage von Gebirgschlägen bei Anwendung der mikrogravimetrischen Methode. *IV Internationales Symposium für Marscheidewesen*, Aschen, 24-29 September, 1979.
- [13] Fajkiewicz Z.: Czasowe zmiany siły ciężkości i ich związek z eksploatacją górnictwa. *Publ. Inst. Geophys. Acad. Sc.*, M-3/134, 1980 a.
- [14] Fajkiewicz Z.: *Mikrograwimetria Górnictwa*, Wyd. "Śląsk", Katowice, 1980 b.
- [15] Fajkiewicz Z.: Pierwsze próby prognozowania wstrząsów górniczych metodą mikrograwimetryczną. *Przegląd Górniczy*, T. 37, nr 10, s. 517-525, 1981.
- [16] Fajkiewicz Z.: Rock burst forecasting and genetic research in coal-mines by microgravity method, *Geophysical Prospecting* 31, 748-765, 1983.
- [17] Fajkiewicz Z., Janicki K., Ostrowski C.: Wyniki prognozowania wstrząsów górniczych i deformacji górotworu metodą mikrograwimetryczną w kopalni "Szombierki". *Przegląd Górniczy*, T. 38, nr 10, s. 121-125, 1982.
- [18] Mjachkin V.J., Brace W.F., Sobolew G.A. and Dieterich J.H.: Two models for earthquake foreshockers, *Pageoph* 113, 169-181, 1975.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Erast Konstantynowicz

Wpłynęło do Redakcji w marcu 1985 r.

МИКРОГРАВИМЕТРИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЯВЛЕНИЙ,
ПРОИСХОДЯЩИХ В ГРЯДАХ ПЕСЧАНИКА ПОД ДЕЙСТВИЕМ
ЭКСПЛУАТАЦИИ ПЛАСТОВ УГЛЯ

Р е з ю м е

В работе представлены результаты микрогравиметрических исследований выполненных в зоне шахтного поля угольной шахты "Шомберки". Целью этих работ было выявление сдвигов, прорезывающих гряды песчаника трещин, зон разрывов и ослаблений, выступающих в них. Гряды песчаника залегают в горных породах, окружающих подготавливаемые к эксплуатации партии пластов седлообразных толщ.

Проведенные микрогравиметрические измерения позволили открыть 8 сдвигов и трещин прорезывающих гряды песчаника.

Шесть из них идентифицировано уже в процессе эксплуатации пластов (толщ) 501, 507 в исследуемом районе.

Результаты исследований содействовали определению степени угрозы возможности появления горных ударов или толчков в районе микрогравиметрических исследований.

MICROGRAVIMETRIC TESTS OF PHENOMENA OCCURRING IN SANDSTONE INFLUENCED
BY COAL BED EXPLOITATION

S u m m a r y

The results of microgravimetric tests carried out in NE part of mining area of the "Szombierki" coal mine are presented in the paper. The aim of these tests was to find faults, slits crossing sandstones, fracture zones and weak points in them. Sandstone is present in a rock surrounding the beds of saddle strata ready for mining.

Microgravimetric measurements allowed to find out 8 faults and slits crossing the sandstone.

Six of them were identified still during the mining of beds 501 and 507 in the area being investigated.

The test results helped us to define the grade of threatening with possibility of crumps or tremors occurrence in the observed area.