

Zbigniew FAJKLEWICZ

Krzysztof JAKIEL

Janusz RADOMIŃSKI

Akademia Górniczo-Hutnicza

ZWIĄZEK ENERGII SEJSMICZNEJ Z MIKROANOMALIAMII  
SIŁY CIĘŻKOŚCI JAKO NOWA MOŻLIWOŚĆ PROGNOZOWANIA  
NIEBEZPIECZNYCH STANÓW NAPRĘŻEŃ W GÓROTWORZE

**Streszczenie.** Jak wykazały badania, dylatacyjnemu przyrostowi objętości skały towarzyszy zmniejszenie się w czasie mikroanomalii siły ciężkości. Osiągają one ekstremum ujemne w momencie wstrząsu lub przed jego wystąpieniem.

Zauważono zależność wielkości amplitudy składowej prostoliniowej czasowo zmiennego trendu mikroanomalii siły ciężkości od wielkości emisji energii sejsmicznej z obszaru dylatacji. Metoda prognozowania niebezpiecznych stanów naprężeń w górotworze daje szczególnie dobre rezultaty gdy dotyczy zagrożeń przy eksploatacji resztkowych partii pokładów węgla.

## 1. WSTĘP

Proces podziemnej eksploatacji złóż może prowadzić do powstania w pewnych partiach górotworu szczególnie dużych kumulacji energii deformacji. W obszarach takich rozwija się proces fizyczny, który w końcowej swej fazie powoduje gwałtowne zniszczenie skał [1]. Zjawisko to manifestuje się deformacjami pierwotnego ułożenia warstw, wstrząsami górniczymi i tąpnięciami.

Znając rangę problemu, zaproponowano włączenie do zespołu metod prognozowania wstrząsów górniczych i tąpnięć metody mikrograwimetrycznej.

## 2. PODSTAWY FIZYCZNE METODY

U podstaw metody leży zjawisko dylatacji skał. W przypadku przyłożenia do próby skalnej liniowo wzrastającego naprężenia trójosiowego od pewnej jego wartości następuje wolniejsze zmniejszanie się objętości skały, niż to wynika z prawa Hooke'a [1], [12]. Po przekroczeniu naprężenia krytycznego działającego w długim czasie objętość skały gwałtownie wzrasta - w końcu tego etapu następuje zniszczenie struktury skały. Przebieg tego zjawiska wskazuje, że przyrostowi objętości skały długo przed wstrząsem towarzyszy zmniejszanie się jej gęstości, a więc zmniejszanie się wartoś-

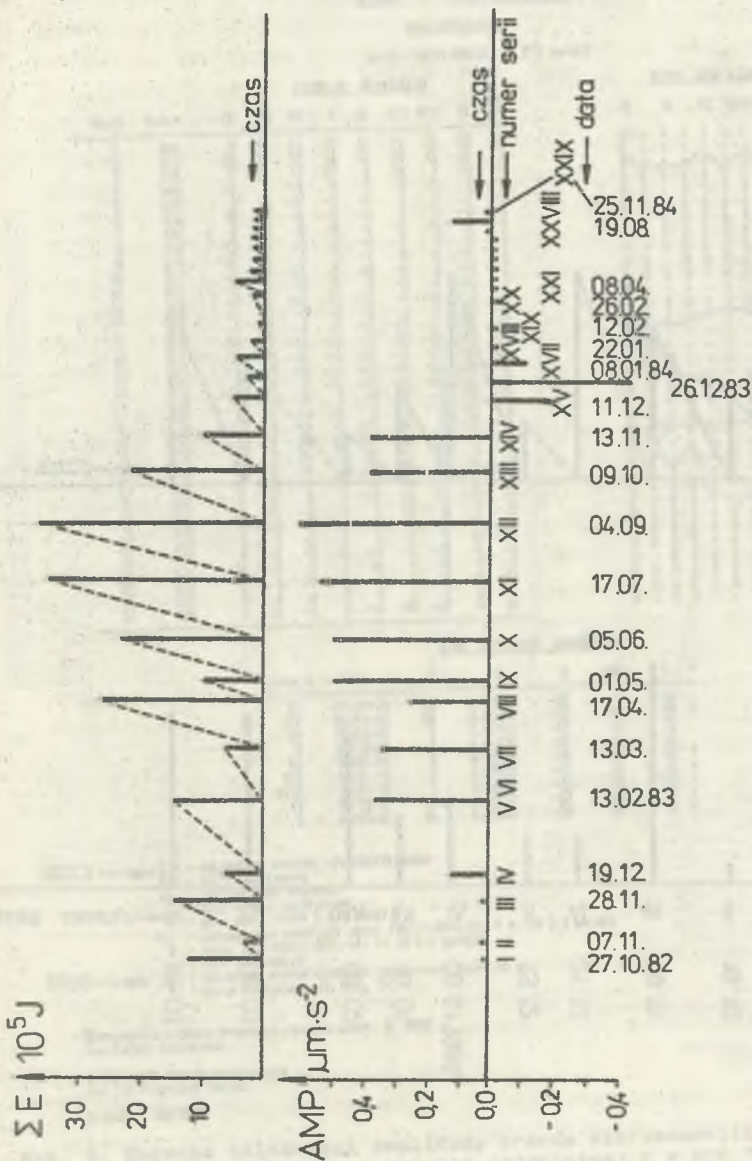
ci mikroanomalii siły ciężkości [9]. Osiągają one ekstremum ujemne w momencie wstrząsu lub w pewnym czasie przed jego wystąpieniem. Ta współzależność uwarunkowana jest przebiegiem analizowanego zjawiska i jego ewentualnej zgodności z istniejącymi modelami [12], [13], [14]. W celu wykrycia omawianej wyżej współzależności w rejonach zagrożonych w kopalniach wykonuje się pomiary czasowych zmian mikroanomalii siły ciężkości [6], [7]. Analizie poddaje się różnicowe mikroanomalie siły ciężkości oznaczone symbolem RBGA - Rock-burst gravity anomalies.

Badane są różnice:  $\Delta g_{i+1} - \Delta g_i$  oraz  $\Delta g_{i+1} - \Delta g_1$ , gdzie  $i = 1, \dots, n$ ; a  $\Delta g_1$  jest 1-tą serią pomiarową.

### 3. ZASADY INTERPRETACJI

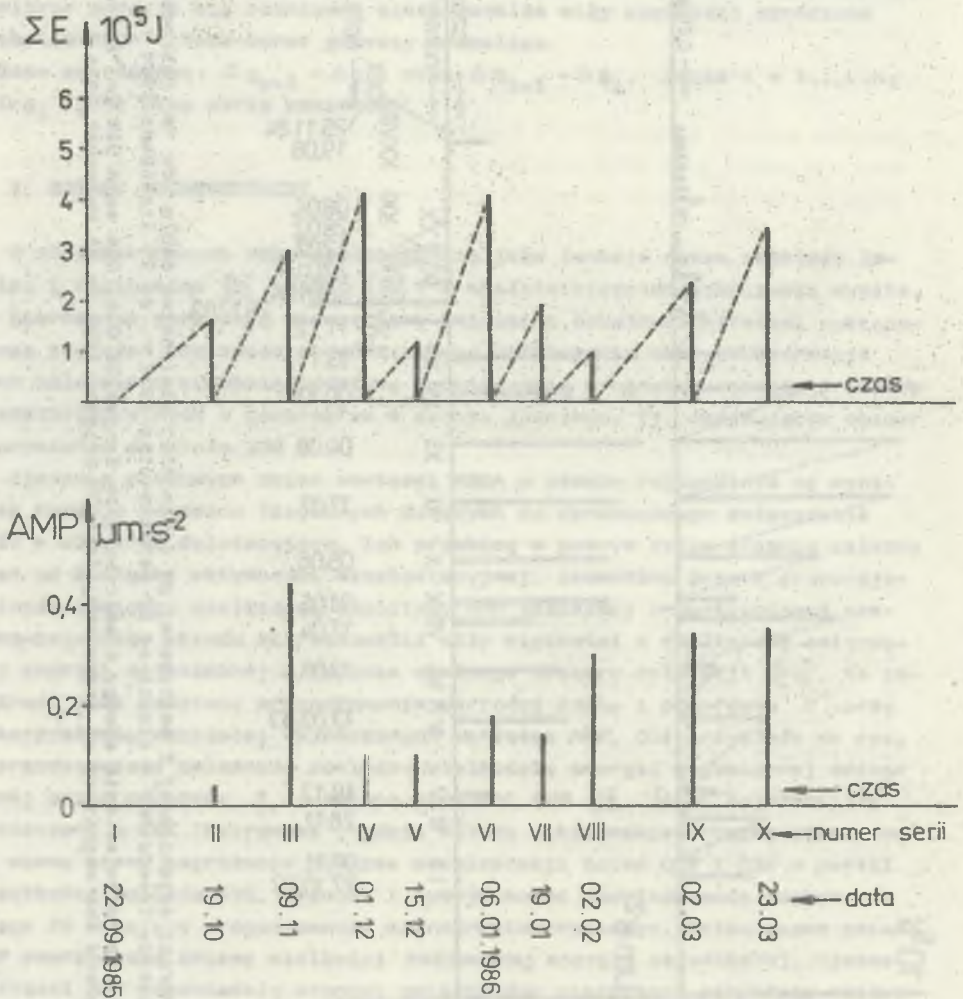
W zbiorach danych RBGA ujawniają się jako funkcje czasu rozkłady lokalne i regionalne [5], [10], [11]. Z wieloletniego doświadczenia wynika, że pierwsze z nich mają niewątpliwą związek z lokalnymi strefami występowania zagrożeń możliwością dynamicznego zniszczenia skały. Obserwacje tych zależności stanowią podstawę sporządzania prognoz w rozwoju procesów destabilizacyjnych w górotworze w sensie lokalnym, tj. obejmującym obszar o promieniu do około 100 m.

Zjawiska czasowych zmian wartości RBGA w sensie regionalnym są wynikiem rozwoju procesów fizycznych dążących do dynamicznego zniszczenia skał w obszarze dylatacyjnym. Ich przebieg w pewnym tylko stopniu zależy od bieżącej aktywności eksploatacyjnej. Zauważono prostą proporcjonalność pomiędzy wielkością amplitudy AMP składowej prostoliniowej czasowo-zmiennego trendu mikroanomalii siły ciężkości a wielkością emitowanej energii sejsmicznej z ośrodka skalnego obszaru dylatacji [10]. Ta zależność jest podstawą prognozowania wartości znaku i przyrostu  $E$  przy wykorzystaniu wcześniej wyznaczonych wartości AMP. Dla przykładu na rys. 1 przedstawiono zależność pomiędzy wielkością energii sejsmicznej emitowanej przez górotwór  $E$  a zmianą wartości AMP [5], [10]. Zależność tę wyznaczono w KWK "Pstrowski", gdzie metodą mikrograwimetryczną stosowano do oceny stanu zagrożenia podczas eksploatacji ścian O18 i O34 w partii resztkowej pokładu 510. Rysunek 1 sumuje nasze doświadczenie zdobyte w ciągu 26 miesięcy prognozowania mikrograwimetrycznego. Każdorazowa zmiana AMP poprzedzała zmianę wielkości emitowanej energii sejsmicznej. Ujemne wartości AMP odpowiadały stanowi zniszczenia pierwotnej struktury skały, a dążenie tych wartości do wartości zerowej procesowi rekonsolidacji ośrodka skalnego w obszarze dylatacyjnym. Na rysunku 2 pokazano identyczną zależność pomiędzy AMP i  $E$  uzyskaną przy kontroli bezpieczeństwa eksploatacji ściany O14, a w pokładzie 510 w tej samej kopalni. Jak widać z rysunku, okres obserwacji trwał od 22 września 1985 r. do 23 marca 1986 r. Zaobserwowano identyczną zależność pomiędzy zmianami AMP i  $E$ , z tym że



Rys. 1. Związek energii sejsmicznej E emitowanej ze ścian O1B, O34 (pokład 510) w KWK "W. Petrowski" z wielkością amplitudy trendu AMP w czasie od 27 października 1982 r. do 25 listopada 1984 r.

Fig. 1. Relationship between seismic energy E emitted from longwalls O1B, O34 seam 510 in "Petrowski" colliery and the magnitude of trend AMP, from 27 October 1982 to 25 November 1984



Rys. 2. Związek energii sejsmicznej E emitowanej ze ściany O14a pokład 510 w KWK "W. Pszowski" z wielkością amplitudy trendu AMP w okresie od 22 września 1985 r. do 23 marca 1986 r.

Fig. 2. Relationship between seismic energy E emitted from seam O14 long-wall 510 in "Pszowski" colliery and the magnitude of trend amplitude AMP, from 22 September 1985 to 23 March 1986

Instytut Geologii  
Prof. Dr hab. inż. E. Fajfrowski

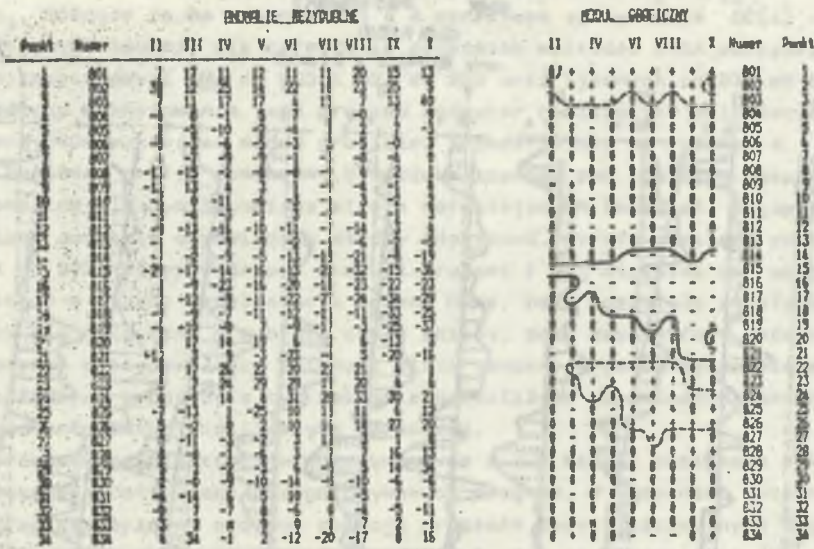
WYDRUK KOMPUTEROWY SYSTEMU )) RBGA ((

ROZLIKA PRZEMIKOWA SZEROKI MIKROSEISMOMETRYCZNY

KWK PSYROWSKI

POZIOM P/825/81

serie 08(1)-08(1) w E-2 mm/s<sup>2</sup>



GENE. PODCZASZE\_POWIAGOM

serie	data	M	R	B	AMP	R	Q
11	85/10/19	13	0.00640	-28	4	10	
111	85/11/09	16	0.06652	-15	44	12	0
IV	85/12/01	9	0.01503	-15	10	12	0
V	85/12/15	7	0.01496	-26	10	13	0
VI	86/01/08	9	0.03504	-15	19	13	0
VII	86/01/19	4	0.03061	-15	14	13	0
VIII	86/02/02	7	0.04488	-30	30	15	0
11	86/03/02	14	0.05152	-42	34	15	0
I	86/03/23	14	0.05267	-38	35	18	0

- A, B - oscylatory prędkości (trendu)
- AMP - amplituda trendu
- R - współczynnik korelacji
- M - błąd średni kwadratowy
- Q - gdy oscyl. / QM / R / AMP / ) a
- Q - odpowiednio znaki, gdy moduł / 05(1)-06(1)-11 / ) a, -10 E-2 mm/s<sup>2</sup>
- Q - szum, gdy / 05(1)-06(1)-11 / ) a (10 E-2 mm/s<sup>2</sup>)
- Q - brak informacji
- Q - odległość między punktami pomiarowymi równa 20 m
- Q - serie pomiarów 11, 111, IV, ...

Obliczenia systemu programów komputerowych )) RBGA ((  
inż. Jacek Radomski

opracowanie danych sejsmicznych  
mgr inż. Krzysztof Janiak

Wzrost : 85/05/27

Rys. 3. Badanie zależności amplitudy trendu mikroanomali siły ciężkości AMP z wielkością emitowanej energii sejsmicznej E w KWK "W. Pstrowski" - ściana O14a pokład 510

Fig. 3. Study of the relationship between the amplitude of gravity micro-anomaly trend AMP and the magnitude of the emitted seismic energy in "Pstrowski" colliery longwall O14a seam 510

Biuro Górnictwa i Geologii  
Prof. dr hab. inż. Z. Fajkiewicz

WYDRUK KOMPUTEROWY SYSTEMU )) RAGA ((

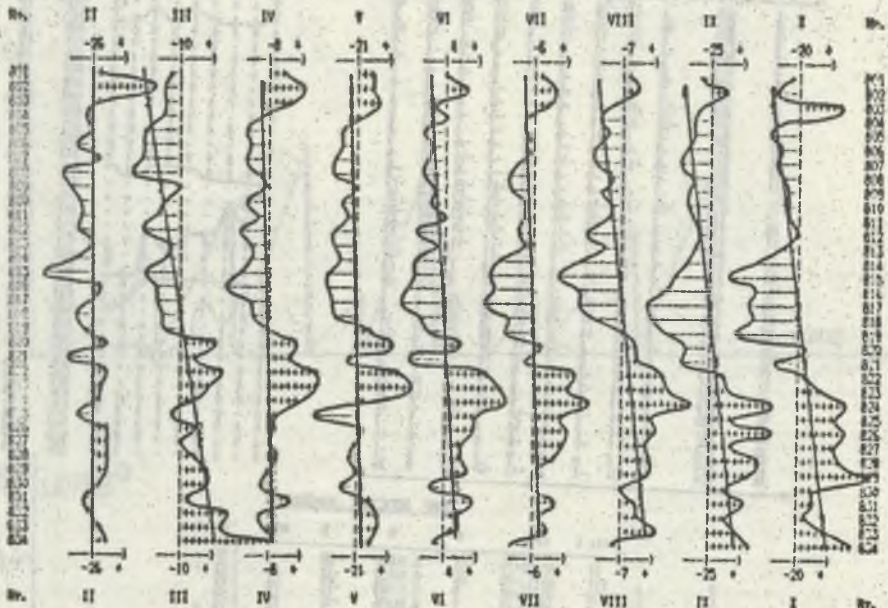
ROZKŁAD SIŁY CIĘŻKOŚCI WYKONANO (I) SIŁY CIĘŻKOŚCI

I ICH TRENDY

KWK BSTRÓWSKI

POZICJA P/B25/81

serie 08(1)-08(1), w E-2 m/s<sup>2</sup>

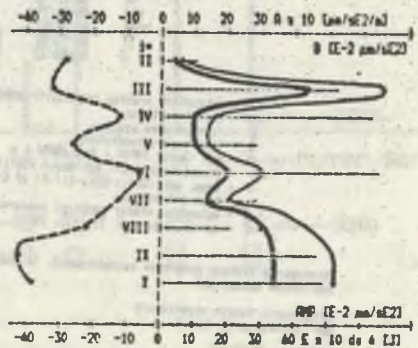


- A, B - estimatorzy prostej regresji (trendu)  
 amp - amplituda trendu  
 d - odległość między punkciami pomiarowymi równa 20 m  
 s - seria pomiarowa II, III, IV, ...  
 I----- wartość odpowiadająca  $-20 \text{ E-2 m/s}^2$   
 I+++++ wartość odpowiadająca  $+20 \text{ E-2 m/s}^2$   
 - 26 - wartość równa  $D \pm 1/2 \text{ amp}$  w  $\text{E-2 m/s}^2$   
 o----- zależna A w funkcji czasu  
 u----- zależna B w funkcji czasu  
 w----- zależna C w funkcji czasu  
 E - energia sejsmiczna  
 2----- zależna E w funkcji czasu  
 2----- prosta regresji (trendu)

Opracowanie systemu programów komputerowych )) RAGA ((  
 inż. Janusz Radomiński

opracowanie danych sejsmicznych  
 mgr inż. Krzysztof Jakiel

Wydruk 4 06/05/77



Rys. 4. Badanie rozwoju lokalnych stref niebezpiecznych naprężeń na podstawie wielkości anomalii rezydualnych siły ciężkości

Fig. 4. Study of the development of local dangerous stress zones on the basis of the magnitude of residual gravity anomalies

poziom zmian emitowanej energii sejsmicznej był znacznie niższy niż w poprzednim przykładzie, a więc towarzyszyły mu odpowiednio niższe przyrosty wartości AMP.

Ostatnim przykładem pragniemy również przedstawić sposób rejestracji w wartościach RBGA narastania zagrożeń w sensie lokalnym. Na rysunku 3 wykreślone są krzywe RBGA odpowiadające różnicom  $\Delta g_2 - \Delta g_1$  do  $\Delta g_{10} - \Delta g_1$ . Różnice te na rysunkach 3 i 4 oznaczone są symbolem  $DG(i) - DG(I)$ . W krzywych zauważa się narastanie dodatnich wartości RBGA pomiędzy punktami pomiarowymi 801 do 803 i 822 do 828 oraz ujemnych od 814 do 821. Dla lepszego zobrazowania tego procesu komputer realizujący obliczenia w systemie RBGA wykreślał moduł graficzny przedstawiony na rysunku 4.

Ponieważ profil pomiarowy był zlokalizowany pod obszarem eksploatacji, anomaliom ujemnym odpowiada strefa narastających naprężeń, natomiast anomaliom dodatnim odpowiadają strefy odprężone. Strefa pomiędzy punktami 801 do 803 występowała pod starymi zrobami i jej wielkość nie ulegała zmianie w czasie eksploatacji ściany O14a. Dwie pozostałe strefy utrzymywały się cały czas w pobliżu czoła ściany, przy czym strefa narastających naprężeń występowała za ścianą i miała tendencje do powiększania się. Sporządzane prognozy w tym zakresie pozwoliły w odpowiednim czasie na zastosowanie metod profilaktyki górniczej.

Pomiary grawimetryczne wykonywane na 2 lub więcej poziomach w kopalni zwiększają dokładność przygotowywanych prognoz. W ostatnich latach podano szereg skutecznych prognoz rozwoju procesów destabilizacyjnych w górotworze, a mających związek ze wstrząsami górniczymi i tąpnięciami [5], [8], [10], [11].

Na podstawie doświadczeń zdobytych w polskich i RFN-owskich kopalniach węgla kamiennego [2], [3], [4] zastosowanie opisywanej metody daje szczególnie dobre rezultaty, gdy dotyczy prognozowania zagrożeń występujących przy eksploatacji partii resztkowych pokładów węgla oraz przy zbliżeniu się frontem eksploatacyjnym do starych zrobów.

#### 4. KOMPUTEROWE SYSTEMY PROGNOZOWANIA

Możliwość wyeliminowania subiektywnego wpływu interpretatora na wynik prognozy uzyskano opracowując komputerowy system prognozowania oparty na analizie mikroanomali siły ciężkości RBGA. System pozwala na:

- 1) wykreślenie krzywych RBGA (rys. 3),
- 2) aproksymację składowej prostoliniowej czasowo zmiennego trendu różnicowych mikroanomali siły ciężkości i na tej podstawie wyznaczenia wartości AMP,
- 3) wykreślenie przez komputer krzywych AMP i pomocniczych w interpretacji krzywych estymatorów prostej regresji (trendu) A i B,

4) na tym samym wykresie odcinkami linii prostej komputer podaje wielkość emitowanej energii sejsmicznej w okresie poprzedzającym przygotowaną prognozę,

5) dane dotyczące badań mikrograwimetrycznych komputer zestawia w tabeli "dane dotyczące pomiarów" (rys. 4).

W celu oceny rozwoju lokalnych procesów destabilizacyjnych w górotworze komputer wykonuje następujące czynności:

1) podaje wartości anomalii rezydualnych, będących różnicą w każdym punkcie pomiędzy wartością RBGA a wartością trendu. Proces ten powtarza się przy uwzględnieniu pomiarów ze wszystkich serii i komputer drukuje go w postaci tabeli (rys. 4),

2) na podstawie obliczenia średnich błędów kwadratowych  $M$  każdej serii, błędu standardowego przyrzędu, średniego błędu kwadratowego różnic poszczególnych serii pomiarowych komputer ocenia poziom szumu i odrzuca wartości rezydualne RBGA mniejsze lub równe od wartości szumu,

3) bezwzględne wartości rezydualne RBGA wyższe od poziomu szumów w module graficznym (rys. 4) komputer podaje zgodnie z ich znakiem. Obszary dodatnich i ujemnych wartości stanowią podstawę prognozowania tworzenia się lokalnych stref destabilizacji.

## 5. WNIOSKI

Jak wynika z przeprowadzonych badań, związek pomiędzy rejestrowaną wielkością amplitudy AMP składowej prostoliniowej czasowo zmiennego trendu mikroanomalii siły ciężkości RBGA a wielkością energii sejsmicznej emitowanej z górotworu w obszarze dylatacji stanowi zasadniczy element prognozowania. Zależność ta i jej związek z występowaniem efektów dynamicznego niszczenia skał były przedmiotem ciągłej obserwacji w okresie 115 miesięcy, tj. około 10 lat. Szczególnie w ostatnich 4 latach metoda prognozowania wykorzystująca opisaną zależność dała szczególnie dobre rezultaty, gdy dotyczyła prognozowania zagrożeń występujących przy eksploatacji partii resztkowych pokładów węgla.

## LITERATURA

- [1] Bieniawski Z.T.: Mechanism of brittle fracture of rock. "International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences" 1967; nr 4, s. 395-430.
- [2] Casten U.: Gravimetrische Untersuchungen zur Erfassung bergbaubedingter Dichteänderungen im Gebirge. "Glückauf" 1982; 118, nr 13, s. 653-657.
- [3] Casten U.: Subsurface gravity measurements to demonstrate mining - induced changes in rock density. "Geophysikai Közlemények" 1984; vol. 30, nr 3, s. 227-236.



- [4] Caeten U., Fajkiewicz Z.: Überwachung gebirgsschlaggefährdeter Bereiche auf Steinkohlenbergwerken mit der Methode der Mikrogravimetrie. "Glückauf" w druku.
- [5] Dilling R., Fajkiewicz Z., Jakiel K., Ostrowski C., Ptak St., Szymura G., Waksmański M.: Prognozowanie metodą mikrograwimetryczną procesów destabilizacyjnych w górotworze w wyniku podziemnej eksploatacji w KWK "W. Petrowski". "Bezpieczeństwo Pracy w Górnictwie" - w druku.
- [6] Fajkiewicz Z.: Patent. Polska, nr 72039. Sposób wykrywania pustek, nieciągłości i stref odprężeń występujących zwłaszcza w górotworze. 25 sierpnia 1975 r.
- [7] Fajkiewicz Z.: Mikrograwimetria górnicza. Wyd. I, "Śląsk", Katowice 1980.
- [8] Fajkiewicz Z.: Rock Burst Forecasting and Genetic Research in Coal Mines by Microgravity Method. "Geophysical Prospecting" 1983; vol. 31, s. 748-765.
- [9] Fajkiewicz Z., Drzewiecki J., Jakiel K., Mutke G.: Przyczynek do problemu predykcji tąpnięć stropowych występujących w kopalniach węgla kamiennego w świetle kompleksowych badań geofizycznych. Materiały I Krajowej Konferencji Nauk.-Techn. - "Zastosowanie metod geofizycznych w górnictwie kopalin stałych". Tom II, wyd. I; AGH, Kraków 1985, s. 311-322.
- [10] Fajkiewicz Z., Jakiel K.: Prognozowanie metodą mikrograwimetryczną zagrożeń wstrząsami górnicznymi w KWK "W. Petrowski". "Publications of the Institute of Geophysics Polish Academy of Sciences" w druku.
- [11] Fajkiewicz Z., Jakiel K.: Zastrzeżenie patentowe, P-254268. Sposób określenia wielkości przemieszczania się stref odkształceń w górnictwie. 1 lipca 1985 r.
- [12] Mjachkin V.I., Brace W.F., Sobolev G.A., Dieterich J.H.: Two models for earthquake forerunners. "Pure and Applied Geophysics" 1975; vol. 113, s. 169-181.
- [13] Marczak H.: Przegląd możliwości wykorzystania metod geofizycznych dla określenia własności fizycznych skał. Mat. I Krajowej Konferencji Nauk.-Techn. - Zastosowanie metod geofizycznych w górnictwie kopalin stałych". Tom II, wyd. I.; AGH, Kraków 1985, s. 143-157.
- [14] Zuberek W.: Modele procesu tąpnięcia. Sympozjum - "Geofizyka dla potrzeb regionu górnośląskiego". Międzybrodzie Żywieckie 9-11 października 1980; referat 7, s. 1-20.

Recenzent: Doc. dr inż. Zofia Wierzchowska

**СВЯЗЬ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ С МИКРОАНОМАЛИЯМИ СИЛЫ ТЯЖЕСТИ  
В КАЧЕСТВЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОПАСНЫХ СОСТОЯНИЙ  
НАПРЯЖЕНИЯ В ГОРНОМ МАССИВЕ**

**Резюме**

Как показали исследования - дилатансному росту объёма скалы сопутствует уменьшение во времени микроаномалий силы тяжести. Рост этот имеет отрицательный экстремум в момент сотрясения или же перед этим моментом. Замечена зависимость величины амплитуда прямолинейной составляющей, изменяющегося во времени тренда микроаномалии силы тяжести от величины эмиссии сейсмической энергии с местности дилатанса.

Метод прогнозирования опасных состояний напряжения в горном массиве показывает особенно хорошие результаты, если касается угроз при эксплуатации оставшегося ресурса угля в пласте.

THE RELATION OF SEISMIC ENERGY AND GRAVITY MIKROANOMALIES  
AS A NEW POSSIBILITY OF PREDICTING DANGEROUS STATES  
OF STRESSES IN THE ROCK - MASS

Summary

As shown from studies, dilatancy increase of the rock volume is accompanied by a decrease with time, of gravity microanomalies. These reach their negative extreme at the moment of tremor or before its occurrence.

A relationship between the magnitude of the linear component amplitude of the time - varied trend of gravity microanomalies and the amount of seismic energy emission from the dilatancy area has been observed.

The method of predicting dangerous states of stresses in the rock mass is especially effective when it refers to the hazards of remnant mining in the hard coal seam.