

Piotr BAŃKA

## WPLYW DEFORMACJI GÓROTWORU NA CZASOWE ZMIANY AKTYWNOŚCI SEJSMICZNEJ

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono wyniki badań zależności czasowych zmian aktywności sejsmicznej od wielkości wybranych wskaźników deformacji górotworu, wywołanych prowadzonymi robotami górniczymi. Opracowany liniowy model regresji został wykorzystany do opisu rejestrowanej aktywności sejsmicznej w wybranych, silnie zagrożonych wstrząsami i tąpniętami rejonach kopalń GZW. W wyniku obliczeń stwierdzono dobre dopasowanie rzeczywistych przebiegów aktywności sejsmicznej z obliczonymi za pomocą opracowanego modelu regresji.

## INFLUENCE OF ROCK MASS DEFORMATION ON TEMPORARY CHANGES OF SEISMIC ACTIVITY

**Summary.** The paper presents investigation results concerning the dependence of temporary changes of seismic activity on the changes of selected rock mass deformation factors effected by mining works.

The worked out model of linear regression has been used for the description of recorded seismic activity in the selected areas of the Upper Silesia Coal Basin, heavily troubled by tremors and crumps.

As a result of the calculations, it has been ascertained that the real runs of seismic activity correspond with the runs calculated by means of the worked out regression model.

### 1. Wstęp

Badania sejsmiczności towarzyszącej prowadzonym robotom górniczym były przedmiotem prac wielu autorów. W ich wyniku wykazano (Drzęźła B. i in. [5], Kijko A. i in. [9], Gibowicz [7], Lasocki S. [10], Zuberek W. [13]), że w zbiorze wszystkich wstrząsów górniczych można wyróżnić dwie, nieco odmiennie grupy wstrząsów:

- wstrząsy związane wyraźnie z eksploatacją górniczą, powstające w sąsiedztwie wyrobisk górniczych, o ogniskach przemieszczających się wraz z postępowaniem frontu eksploatacji,

- nieliczne wstrząsy o dużych energiach, występujące niejednokrotnie w dużych odległościach od eksploatacji. Wstrząsy powyższe mają charakter bardziej regionalny, powstawanie ich na ogół związane jest z większymi nieciągłościami tektonicznymi.

Bezsprzeczny związek wstrząsów pierwszej grupy z prowadzoną eksploatacją górnictw skłonił wielu autorów do poszukiwania związków pomiędzy parametrami prowadzonej eksploatacji a poziomem rejestrowanej aktywności sejsmicznej. Jako parametry eksploatacji górnictw przyjmowano szereg czynników, takich jak: głębokość prowadzenia eksploatacji, szybkość postępu frontu ścianowego, wysokość furty eksploatacyjnej, sposób likwidowania zrobów, objętość wybranego złoża, powierzchnia odsłoniętego stropu, obecność krawędzi i resztek w pokładach sąsiednich itp. Porównania te miały najczęściej charakter jakościowy, utrudniający, o ile nie uniemożliwiający ich wykorzystanie do prognozowania zagrożenia sejsmicznego projektowanych robót górnictw.

Prowadzone od kilku lat badania w Instytucie Eksploatacji Złóż wykazały, że istnieją zależności korelacyjne pomiędzy procesami deformacyjnymi w górotworze, zachodzącymi wskutek prowadzenia eksploatacji a rejestrowaną aktywnością sejsmiczną (Białek J. i in. [1], [2], [3], Jaworski A. [8]).

Dotychczasowe prace dotyczyły problemu czasoprzestrzennego, tj. celem ich było badanie zależności pomiędzy rejonami występowania silnie deformowanych obszarów górotworu a obszarami podwyższonej aktywności sejsmicznej, w określonym przedziale czasu. Biorąc jednak pod uwagę fakt, że większość rejestrowanych wstrząsów lokalizowanych jest w bezpośrednim sąsiedztwie prowadzonych robót górnictw, wydaje się uzasadnione zrezygnowanie z rejonizacji stref zagrożonych podwyższoną aktywnością sejsmiczną, natomiast porównywanie aktywności sejsmicznej i stanów deformacyjnych określonych w funkcji czasu. Podejście takie pozwala bowiem na wyeliminowanie błędów określania współczynników regresji, wynikających z występowania, niejednokrotnie bardzo dużych, niedokładności w procesie lokalizacji ognisk wstrząsów górnictw.

## **2. Przyjęte wskaźniki charakteryzujące aktywność sejsmiczną i procesy deformacyjne zachodzące w górotworze**

W literaturze funkcjonuje wiele różnorodnie definiowanych wskaźników rejestrowanej aktywności sejsmicznej. Oprócz najprostszych, wyrażających liczbę (sumaryczną energię) wstrzą-

sów, które wystąpiły w określonym przedziale czasu, ewentualnie na określonym wybiegu danego wyrobiska, można spotkać bardziej skomplikowane, takie jak np. stosunek sumy wydzielonej energii sejsmicznej do energii średniej liczonej na 5 m postępu wyrobiska lub cykl - zgodnie z Instrukcją stosowania metody sejsmologii górniczej, czy też, zaproponowane przez Gerlacha Z.[6]:

$\Sigma E/N$ - energia średnia wstrząsów [J],

$\Sigma E/W$  - intensywność sejsmiczna [J/t],

$\Sigma E/S$  - energia sejsmiczna wydzielona na jednostkę pow. wyeksploatowanego złoża [J/m<sup>2</sup>],

$N/S$  - liczba wstrząsów na jednostkę powierzchni wyeksploatowanego złoża [1/m<sup>2</sup>].

W omawianych badaniach przyjęto podstawowe wskaźniki, charakteryzujące sejsmiczność indukowaną prowadzonymi robotami górniczymi, tzn. sumaryczną energię i liczbę wstrząsów zarejestrowanych w jednostkowym przedziale czasu (przyjęto jego długość równą 7 dni).

Zgodnie z prawem Gutenberga-Richtera wielkości te są ze sobą powiązane. Biorąc jednak pod uwagę fakt, że prawo to, wskutek tego, że jedynie część zdarzeń słabszych jest rejestrowana, jest spełnione dla wstrząsów górniczych powyżej pewnej energii (Lasocki S.[11]), a w prowadzonych badaniach uwzględniano wszystkie zarejestrowane zjawiska, jak również to, że parametr  $b$  rozkładu ulega zmianom w zależności od aktualnego poziomu zagrożenia sejsmicznego, zdecydowano się na uwzględnienie obu wskaźników charakteryzujących poziom aktywności sejsmicznej.

Stan zdeformowania górotworu opisywano za pomocą wskaźników będących pochodnymi przemieszczeń pionowych, obliczonych wzorami teorii Budryka-Knothego: nachyleń i odkształceń pionowych. Wskaźniki charakteryzujące ruchy poziome pominięto z uwagi na fakt, że prognozowane są one z dużo większymi błędami w porównaniu do ruchów pionowych, Popiołek J.[12]. W modelu regresji uwzględniono osobno dodatnie i ujemne przyrosty nachyleń i odkształceń pionowych. Podejście takie wynika z analizy obszernego materiału obserwacyjnego, świadczącego o tym, że proces generowania wstrząsów zachodzi z różną intensywnością przed oraz za frontem postępujących wyrobisk eksploatacyjnych.

Deformacje wybranej, bądź wybranych warstw skalnych, z niszczeniem których można wiązać rejestrowane zjawiska sejsmiczne, obliczano programem EEN46 (autorem algorytmu i programu jest J.Białek). Program ten umożliwia obliczanie składowych pionowych ruchów górotworu również pod eksploatowanym pokładem - Białek J.i in.[4].

### 3. Przyjęty model regresji, metodyka wyznaczania współczynników regresji

W trakcie badań przyjęto następujący model regresji wiążący zmiany wartości wskaźników deformacji ze zmianami aktywności sejsmicznej

$$E_t = \sum_{k=1}^{lw} \sum_{j=1}^4 a_{kj} d_{kjt} + \varepsilon_t \quad \text{dla } t = 1 \dots ldt \quad (1)$$

gdzie :

$E_t$  - suma energii wstrząsów (liczba wstrząsów) zarejestrowana w określonym przedziale czasu,

$lw$  - liczba wytrzymałych warstw skalnych, w których zachodzące procesy deformacyjne powodują powstawanie wstrząsów,

$d_j$  - wartość „j”-tego wskaźnika deformacji,

$ldt$  - liczba przedziałów czasu, dla których wyznaczane są parametry modelu regresji,

$a$  - parametry regresji,

$\varepsilon_t$  - składnik losowy.

Współczynniki regresji wyznaczono metodą najmniejszych kwadratów, zgodnie z którą minimalizowano wyrażenie

$$\sum_{t=1}^{ldt} (E_t - E_{obs t})^2 \quad (2)$$

gdzie :

$E_t$  - suma energii (liczba wstrząsów) prognozowana w przedziale czasu  $t$ ,

$E_{obs t}$  - suma energii (liczba wstrząsów) zaobserwowana w przedziale czasu  $t$ .

Uwzględniając w (2) równanie (1) otrzymamy

$$\sum_{t=1}^{ldt} \left( \sum_{k=1}^{lw} \sum_{j=1}^4 a_{kj} d_{kjt} - E_{obs t} \right)^2 \quad (3)$$

Rozwiązanie (3) znajdujemy obliczając pochodne cząstkowe po kolejnych parametrach  $a_{kj}$  i przyrównując je do zera. Otrzymamy w ten sposób układ  $4 \cdot lw$  równań liniowych z  $4 \cdot lw$  niewiadomymi.

#### 4. Związki korelacyjne aktywności sejsmicznej ze stanem zdeformowania górotworu

Wykorzystując przedstawiony w poprzednim rozdziale model regresji przeprowadzono badania zależności korelacyjnych aktywności sejsmicznej i deformacji górotworu dla wybranych, silnie zagrożonych sejsmicznie, rejonów kopalń GZW:

- rejon 1 - rejon ścian 4 i 5 w pokładzie 509 KWK Bobrek,  
 rejon 2 - rejon ścian 5 i 6 w pokładzie 506 KWK Halemba,  
 rejon 3 - rejon ścian M3 i M4 w pokładzie 703 KWK Marcel,  
 rejon 4 - rejon ścian V i VI-W1 w pokładzie 703 KWK Rydułtowy,  
 rejon 5 - rejon ścian VIII i IX-W1, pokład 713/1-2 KWK Rydułtowy.

Eksploatacji prowadzonej w tych partiach górotworu towarzyszyła utrzymująca się wysoka aktywność sejsmologiczna; i tak w rejonie 1 zarejestrowano ogółem 1077 wstrząsów, z czego 77 o energii powyżej  $10^5$  J, w rejonie 2 zarejestrowano 1915 wstrząsów, w tym 198 o energii powyżej  $10^5$  J, w rejonie 3 - 1391 wstrząsów, 6 powyżej  $10^5$  J, w rejonie 4 odpowiednio 3913 i 161 wstrząsów, natomiast w rejonie 5 - 1870 i 218. Sumaryczna energia sejsmiczna wynosiła: w rejonie 1 -  $3,5 \times 10^7$  J, w rejonie 2 -  $1,4 \times 10^8$  J, w rejonie 3 -  $2,4 \times 10^8$  J, w rejonie 4 -  $1 \times 10^8$  J oraz w rejonie 5 -  $9,9 \times 10^7$  J.

Przeprowadzone obliczenia pozwoliły stwierdzić istnienie silnych zależności korelacyjnych pomiędzy procesami deformacyjnymi, zachodzącymi w górotworze wskutek dokonanej i aktualnie prowadzonej eksploatacji górniczej, a rejestrowaną aktywnością sejsmiczną. Świadczyć o nich mogą wysokie wartości współczynników korelacji liniowej pomiędzy zarejestrowaną a prognozowaną, w oparciu o wyznaczone równania regresji, liczbą (sumą energii) wstrząsów.

Przeprowadzone testy statystyczne potwierdziły istotność (na poziomie powyżej 0,95) wszystkich współczynników regresji. Wyniki przeprowadzonych obliczeń zestawiono w tabelicy 1.

Tablica 1

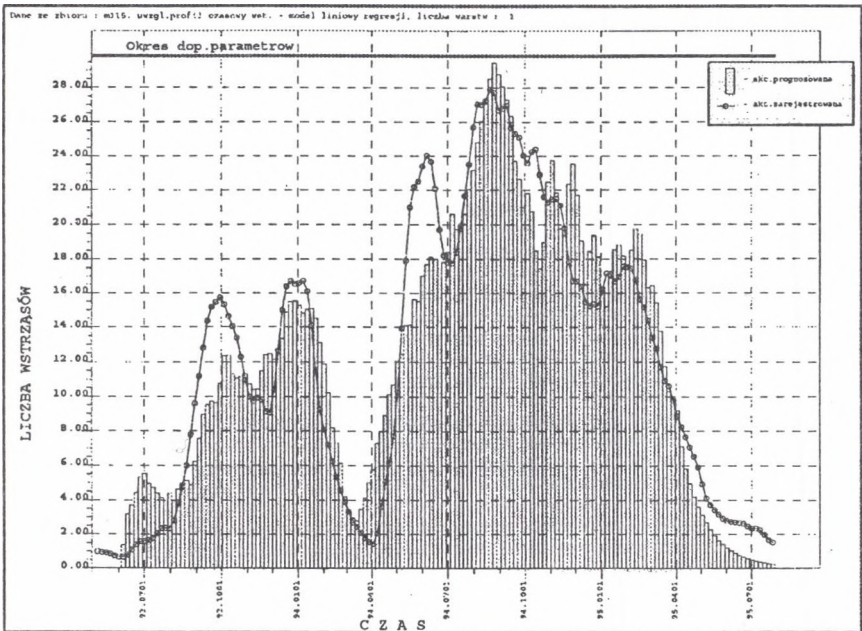
Obliczone wartości współczynnika korelacji liniowej pomiędzy zarejestrowaną i prognozowaną aktywnością sejsmiczną

Rejon	Rozpatrywany wskaźnik aktywności sejsmicznej	ldt	lw	Współczynnik korelacji
1	N	90	2	0,95
	$\Sigma E$			0,96
2	N	150	2	0,90
	$\Sigma E$			0,81

cd. tablicy 1

3	N	164	1	0,94
	$\Sigma E$			0,69
4	N	147	1	0,86
	$\Sigma E$			0,89
5	N	244	1	0,76
	$\Sigma E$			0,74

Na rysunku 1 przedstawiono przebieg zarejestrowanej (linia ciągła) i prognozowanej (wykres słupkowy) liczby wstrząsów w rejonie ścian M3 i M4 KWK Marcel. Prognozę wykonano w oparciu o przedstawiony model regresji. Zwraca uwagę dobre dopasowanie krzywej teoretycznej z przebiegiem rejestrowanej aktywności sejsmicznej.



Rys. 1. Zarejestrowana i prognozowana liczba wstrząsów - rejon KWK Marcel  
Fig. 1. Recorded and forecasted number of tremors - area of Coal Mine Marcel

## 5. Uwagi końcowe

Przeprowadzone badania potwierdziły istnienie związków korelacyjnych pomiędzy przebiegiem rejestrowanej aktywności sejsmicznej a zmieniającym się w czasie stanem zdeformowania górotworu.

Wyznaczenie równania regresji, w oparciu o wstrząsy górotworu towarzyszące dotychczasowej eksploatacji, pozwala na wykonanie prognozy aktywności sejsmicznej, która będzie towarzyszyła projektowanym robotom górniczym w danym rejonie kopalni. Prognoza taka może być pomocna na etapie projektowania robót górniczych, jak również w celu odpowiedniego ustalenia zakresu i metod profilaktyki przeciwtąpaniowej.

## LITERATURA

1. Białek J., Jaworski A.: Próba oceny aktywności sejsmicznej na podstawie prognozowanych stanów deformacyjnych. ZN AGH s.Górnictwo z.142, Kraków 1989.
2. Białek J., Drzęźła B., Jaworski A.: Próba ustalenia zależności funkcyjnych pomiędzy przebiegiem deformacji górotworu w czasie a energią sejsmiczną dla warunków KWK Rydułtowy. Publs.Inst.Geophys.Pol.Acad.Sc.,M-16 (245), Warszawa 1992.
3. Białek J., Drzęźła B., Jaworski A.: Prognozowanie metodą analityczną wydatku energetycznego wstrząsów indukowanych w górotworze deformowanym eksploatacją wielopokładową. Publs.Inst.Geophys.Pol.Acad.Sc.,M-19 (281), Warszawa 1995.
4. Białek J., Jaworski A., Pham Quang Ai: Propozycja efektywnego opisu składowej pionowej ruchów górotworu pod eksploatowanymi pokładami. ZN Pol.Śl.,Gliwice 1995.
5. Drzęźła B., Mendecki A., Garus A.: Czasowe zmiany w powtarzalności wstrząsów z rejonu niecki bytomskiej. ZN Pol.Śl. s.Górnictwo z.138, Gliwice 1985.
6. Gerlach Z.: Empiryczne modele przewidywania stanu zwiększonego zagrożenia tąpnięciami w oparciu o wyniki sejsmologii górniczej. Praca doktorska. MIG AGH, Kraków 1990.
7. Gibowicz S.: Mechanizm ognisk wstrząsów górniczych. Publs.Inst.Geophys. Pol. Acad. Sc., M-13 (221), Warszawa 1989.
8. Jaworski A.: Związek pomiędzy deformacją górotworu a wydatkiem energetycznym wstrząsów górniczych z rejonu kopalń Bobrek i Miechowice. ZN Pol.Śl. s. Górnictwo z.225, Gliwice 1995.

9. Lasocki S.: Predykcja silnych wstrząsów górniczych. ZN AGH, s. Geofizyka Stosowana nr 7, Kraków 1990.
10. Lasocki S.: Ocena i prognoza lokalnego ryzyka sejsmicznego poprzez analizę danych sejsmologicznych. Biblioteka Szkoły Eksploatacji Podziemnej. Seria Wykłady Nr 12, Kraków 1996.
11. Popiołek E.: Probabilistyczna ocena zagrożenia obiektów chronionych filarem ochronnym. ZN AGH, s. Sozologia i Sozotechnika nr 33, Kraków 1991.
12. Zuberek W.: Wpływ tektoniki na występowanie sejsmiczności indukowanej eksploatacją górnictwem. Materiały Szkoły Eksploatacji Podziemnej, tom 2, Kraków 1993.

Recenzent: Prof.dr hab.inż. Bogdan Dzegniuk

Wpłynęło do Redakcji 14 sierpnia 1996 r.

### **Abstract**

The paper presents investigation results concerning the dependence of temporary changes of seismic activity on the changes of selected rock mass deformation factors effected by mining works.

Deformation changes taking place as a result of the completed and present mining process have been described by means of deformation factors, which are derivatives of vertical movement of the rock mass, i.e. vertical strain and dip. Positive and negative increments of the above factors have been investigated separately. The seismic activity taking place in the course of mining works have been described using two factors: number of tremors per week and total energy of the recorded tremors per week.

The worked out model of linear regression has been used for the description of recorded seismic activity in the selected areas of the Upper Silesia Coal Basin, heavily troubled by tremors and crumps.

As a result of the calculations, it has been ascertained that the real runs of seismic activity correspond with the runs calculated by means of the worked out regression model.