

Jan WALASZCZYK

Elżbieta PILECKA

Instytut Geomechaniki Górniczej
AGH - Kraków

STATYSTYCZNE OKREŚLENIE WPŁYWU WARUNKÓW NATURALNYCH I GÓRNICZO-TECHNICZNYCH NA ENERGIĘ TĄPNIEĆ

Streszczenie. W pracy podano wyniki badań statystycznych zmierzających do określenia związków pomiędzy energią tąpnięcia a niektórymi parametrami naturalnymi i górniczo-technicznymi. Do badań wykorzystano wielokrotną analizę regresji w postaci potęgowej. Do analizy wykorzystano materiały z kartotek tąpnięć Głównego Instytutu Górniczego oraz z kopalń Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. Rozpatrzono dwa modele korelacji parametrów mających wpływ na tąpnięcie. Z obliczeń wg modelu I wynika, że największą korelację wpływu na energię tąpnięcia ma postęp eksploatacji i wytrzymałości na ściskanie sztywnych warstw piaskowca. W modelu II postęp dobowy eksploatacji zastąpiono średnim wydobyciem dobowym.

W przyjętych modelach brano głównie pod uwagę tąpnięcia w ścianach. Z otrzymanych zależności wynika duża zależność energii tąpnięcia od parametrów nadległego piaskowca. Potwierdzałoby to hipotezę, że przyczyną tąpnięć jest między innymi przekroczenie wytrzymałości skał nadległych.

Ustalono istotne statystycznie związki między energią tąpnięcia a postępowaniem ściany lub wydobyciem dobowym, głębokością eksploatacji, miąższością i wytrzymałością piaskowca zalegającego nad eksploatowanym pokładem.

1. PRZEGLĄD METOD PROGNOZOWANIA STANU ZAGROŻENIA TĄPANIAMI

Z eksploatacją pokładów węgla w Zagłębiu Górnośląskim związane jest występowanie niebezpiecznego zjawiska tzn. tąpnięć. Istnieje wiele definicji tego zjawiska. Jedną z najnowszych została sformułowana w "Wytycznych bezpiecznego prowadzenia eksploatacji w pokładach zagrożonych tąpnięciami" (1981 r.) [1]: "Przez tąpnięcie należy rozumieć zjawisko będące wynikiem przekroczenia wytrzymałości górotworu połączonego z gwałtownym wyładowaniem zakumulowanej energii, w wyniku którego wyrobisko ulega częściowemu lub całkowitemu zniszczeniu. Tąpnięciu towarzyszą gwałtowne drgania górotworu, efekty akustyczne oraz podmuch powietrza w wyrobiskach górniczych". Inna definicja sformułowana przez H. Filcka [2] jest następująca: "Tąpnięcie jest wybuchem (fizycznym) górotworu w otoczeniu wyrobiska prowadzącym do jego nagłego zawału". Każdemu tąpnięciu towarzyszy silny wstrząs górotworu.

Zjawisko to podobne jest do słabych trzęsień ziemi i dlatego przez długi okres czasu (aż do lat siedemdziesiątych obecnego stulecia) dominował pogląd o wyłącznie tektonicznym charakterze i przyczynach wstrząsów. Dopiero znaczny rozwój kopalnianych stacji sejsmicznych, nowoczesna aparatura oraz wnikliwa analiza rejestrowanych danych doprowadziła do postawienia tezy, że główną przyczyną wstrząsów i tąpnięć jest naruszenie równowagi górotworu (T. Ryncarz [9], Z. Wierzchowska [11]). Decydującą rolę w procesie powstawania tąpnięć mają więc naprężenia powstałe wskutek działalności górniczej, naprężenia tektoniczne oraz własności mechaniczne skał (szczególnie zdolność do akumulacji i oddawania energii sprężystej).

A. Biliński [1] w swej metodzie określania stanu zagrożenia tąpnięciami stropowymi zwraca uwagę na szczególną rolę grubych i mocnych warstw stropowych w procesie powstawania tąpnięć. Podczas uginania się takiej warstwy na skutek prowadzonej eksploatacji górniczej gromadzi ona w sobie olbrzymią energię sprężystą, która po powstaniu pęknięcia wyzwala falę uderzeniową. Fala ta po dojściu do wyrobiska może spowodować jego zniszczenie lub uszkodzenie. W celu określenia stanu zagrożenia tąpnięciami A. Biliński podaje wzór na tzw. wskaźnik zagrożenia tąpnięciem stropowym.

Niektóre poglądy dotyczące modeli i kryteriów stanu zagrożenia tąpnięciami zawiera także praca H. Filcka [3]. Modele omówiono w dwóch grupach, ponieważ z mechanicznego punktu widzenia potraktowano tąpnięcia jako utratę statyczności pod wpływem:

- 1) quasi-statycznego dopływu energii do wyrobiska (tąpnięcia pokładowe),
- 2) dynamicznego dopływu energii do wyrobiska (tąpnięcia stropowe).

Proponowane w niniejszej pracy statyczne podejście do oceny stanu zagrożenia tąpnięciami wynika z losowego charakteru tego zjawiska. Istnieje cały zespół wzajemnie nakładających się czynników, aby zaistniało tąpnięcie, równocześnie nie można jednoznacznie stwierdzić, że został do końca wyjaśniony sam proces powstawania tąpnięć. Istnieją więc przesłanki do tego, aby zastosować statystyczną analizę do opisu tego zjawiska. Informację o danym tąpnięciu można wtedy traktować jako ciąg pomiarowy, a wyniki pomiarów opisać za pomocą funkcji losowych.

Kryterium stanu zagrożenia tąpnięciem polegałoby na określeniu prawdopodobieństwa wystąpienia tego zjawiska. Statystyczne modele wyników pomiarów geofizycznych dla oceny stanu zagrożenia tąpnięciem pokazano w pracy H. Marcaka [6]. Modele te opracowano na podstawie wyników pomiarów sejsmologicznych i sejsmoakustycznych z kopalń węgla kamiennego GZW. W tej samej pracy przedstawiono statystyczne sposoby określania zależności między wynikami pomiarów geofizycznych i niektórymi parametrami górniczymi.

Interesujące jest też zastosowanie przez Marcaka wzoru Bayesa do sformułowania kryterium zagrożenia tąpnięciem. Przegląd metod konstrukcji modeli statystycznych przewidywania wstrząsów zawiera także inna praca H. Marcaka [5].

Nieco odmienne podejście do materiału pomiarowego reprezentuje Owczarz [8]. Traktując parametry geologiczno-górniczne jako ciągi zmiennych losowych, autor dokonał próby klasyfikacji tąpnięć w sensie statystycznie jednorodnych grup. W wydzielonych klasach tąpnięć autor zbadał związki między zmiennymi ilościowymi za pomocą wielokrotnej regresji liniowej.

Wydaje się, że statystyczne podejście do zagadnienia tępań mogłoby być pomocne w ustalaniu stanu zagrożenia tąpnięciami oraz może prowadzić do pełniejszego zrozumienia złożoności tego zjawiska. Uwzględniając postulat, że przyczyną tępań jest prowadzona działalność górnicza, a także warunki naturalne, interesujące jest określenie ich wpływu na energię tąpnięcia. Jest to cel niniejszych badań.

2. ANALIZA WPŁYWU WARUNKÓW NATURALNYCH I GÓRNICZO-TECHNICZNYCH NA ENERGIĘ TĄPNIEĆ

Materiały użyte do analizy zaczerpnięte zostały z Kartoteki Tąpnięć Głównego Instytutu Górnicztwa oraz z kopalń Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. Kartoteka zawiera opis wszystkich tąpnięć z GZW od 1969 do 1983 roku. Dane z Kartoteki uzupełniono profilami geologicznymi z poszczególnych kopalń. Na podstawie tych profili odczytane zostały dwa parametry: odległość od stropu pokładu węgla do spągu grubego piaskowca i miąższość tegoż piaskowca. W przypadku gdy nad pokładem węgla zalegały dwie lub więcej warstwy grubych piaskowców, oceniono na podstawie metody Bilińskiego [1], który z nich daje większe zagrożenie tąpnięciem, obliczając współczynnik zagrożenia W_t . Obliczenia przeprowadzono w III stopniu usztywnienia górotworu. Również korzystając z powyższych profili oszacowano średnią wytrzymałość spągu na ściskanie i średnią wytrzymałość stropu na ściskanie, przy czym brano pod uwagę strop bezpośredni.

W obliczeniach skorzystano z wartości wytrzymałości na ściskanie podanych przez Kidybińskiego [4]. Oceniono także, korzystając z metody Bilińskiego [1], wytrzymałość piaskowca na ściskanie. W pracy niniejszej przeanalizowano tąpnięcia, które wystąpiły w ścianach. Ze względu na niekompletne dane, przede wszystkim brak zanotowanej energii, uwzględniono tąpnięcia od 1976 do 1983 roku. Ogółem wykorzystano 110 obserwacji, z czego 61 dla ścian na zawał, a 49 dla ścian na podsadzkę. Wszystkie tąpnięcia opisane są parametrami ilościowymi i jakościowymi pokazanymi w tab. 1.

Materiały dotyczące tąpnięć zostały zapisane w postaci dogodnej do obróbki na EMC (Elektronicznej Maszynie Cyfrowej). Do tak przygotowanych danych zastosowano standardowy program wielokrotnej analizy regresji.

W badaniach zastosowano iloczynowy model regresji. Schematycznie można go przedstawić w postaci:

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots + b_n x_n + u,$$

gdzie:

- y - zmienna zależna,
 x_1, x_2, \dots, x_n - zmienne niezależne,
 $b_0, b_1, b_2, \dots, b_n$ - nieznanne współczynniki,
 u - błąd.

Poprzez logarytmowanie przy stałej podstawie e wzór przekształca się do postaci:

$$\ln y = \ln b_0 + b_1 \ln x_1 + b_2 \ln x_2 + \dots + b_n \ln x_n + \ln u$$

Ta postać jest już zależnością liniową, którą można badać stosując typową metodę regresji liniowej, gdzie zmienną zależną można aproksymować za pomocą funkcji liniowej o dowolnej ilości zmiennych niezależnych. O błędach wprowadzonych przez aproksymację zakłada się, że są nieskorelowanymi zmiennymi o zerowych wartościach oczekiwanych i stałej wariancji.

Tabela 1

I. Zmienne jakościowe	Kod
1. nazwa kopalni	K
2. data tąpnięcia	D
3. system eksploatacji	S
4. sposób kierowania stropem	SKS
5. miejsce tąpnięcia	M
6. numer pokładu	P
II. Zmienne ilościowe	Kod
1. energia tąpnięcia	E
2. głębokość eksploatacji	H
3. wysokość ściany	HW
4. długość ściany	L
5. upad warstw	U
6. miąższość pokładu węgla	HWW
7. odległość od pkt. (0,0)	R
8. postęp ściany	V
9. odległość spągu piaskowca od stropu pokładu węgla	HD
10. miąższość piaskowca	HP
11. średnia wytrzymałość piaskowca na ściskanie	RCP
12. średnia wytrzymałość stropu na ściskanie	RCST
13. średnia wytrzymałość spągu na ściskanie	RCSP

To, czy dana zmienna wejdzie do układu regresji, zależy od wartości testu t-Studenta dla współczynników regresji na zadanym poziomie istotności. We wszystkich obliczeniach przyjęto poziom istotności 40%. Końcowy rezultat zależy także od wzajemnych powiązań między zmiennymi niezależnymi oraz od ilości obserwacji. Nie zawsze w praktyce udaje się osiągnąć brak korelacji między zmiennymi niezależnymi. Za zmienną zależną przyjęto energię tapania, za zmienne niezależne - pozostałe parametry. Program wyprowadza dla całego układu regresji następującą statystykę:

ESS - suma kwadratów błędów.

Współczynnik korelacji wielokrotnej R_1 i R_2 .

R_1 jest współczynnikiem korelacji wielokrotnej obliczonym przy użyciu początkowego układu obserwacji. R_1^2 wyraża się wzorem:

$$R_1^2 = \left(\sum_{i=1}^m y_i^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^m y_i \right)^2}{m} \right) / \sum_{i=1}^m y_i^2$$

R_2 jest współczynnikiem korelacji wielokrotnej obliczonej przy użyciu wartości otrzymanych przez odejmowanie wartości średniej zmiennych od obserwacji początkowych. R_2^2 wyraża się wzorem:

$$R_2^2 = \left(\sum_{i=1}^m (y_i - \bar{y})^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^m (y_i - \bar{y}) \right)^2}{m} \right) / \sum_{i=1}^m (y_i - \bar{y})^2$$

We wzorach:

y_i - oznacza i-tą zmienną zależną,

\bar{y} - średnią arytmetyczną zmiennych,

u_i - i-tą różnicę między wartością obserwowaną a obliczoną zmiennej zależnej,

m - ilość obserwacji.

Spośród przebadanych modeli konstruowanych w oparciu o macierz współczynników wzajemnej korelacji między parametrami najlepszy statystycznie okazał się model:

$$I. \quad E = b_0 \cdot H^{b_1} \cdot V^{b_2} \cdot HP^{b_3} \cdot RCP^{b_4},$$

gdzie:

$$b_0 = e^{-40} \quad b_1 = 1 \quad b_2 = 2 \quad b_3 = 1 \quad b_4 = 6.$$

Wartości najważniejszych parametrów statystycznych dla obliczonych współczynników regresji przedstawiono w tab. 2.

Tabela 2

Zestaw cech	Cechy istotne	Współ. regresji	Błąd standart.	Przedział ufności	Test t	Współ. cz. korelacji
CONST	CONST	-39.87	16.0	13.5	2.49	-0.25
V	V	1.12	0.38	0.32	2.88	0.28
H	H	1.93	1.46	1.23	1.32	0.13
HP	HP	1.15	0.49	0.42	2.32	0.23
RCP	RCP	5.93	2.53	2.14	2.34	0.23

$$ESS = 0.5 \times 10^3 \quad R_1^2 = 0.57 \quad R_2^2 = 0.34$$

Liczba stopni swobody = 95.

CONST - stała generowana przez program, o stałej wartości równej 1.

Model jest poprawnie określony. Ze wzoru widać dość duży wpływ na wartość energii wytrzymałości na ściskanie piaskowca (znajduje się ona w 6 potęgze). Głębokość znajduje się w kwadracie, co też wskazuje na jej znaczny wpływ na wartość energii tąpnięcia. Analizując współczynniki częściowej korelacji zmiennych niezależnych ze zmienną zależną, widać największą korelację między postępem a energią tąpnięcia.

Podobny model otrzymano, gdy zastąpiono postęp dobowy średnim wydobyciem dobowym obliczonym jako iloczyn $L \cdot HW \cdot V$ (długość ściany \cdot wysokość \cdot postęp dobowy). Model wyraża się wzorem :

$$II. \quad E = b_0 \cdot H^{b_1} \cdot HP^{b_3} \cdot RCP^{b_4} \cdot D^{b_5},$$

gdzie:

$$b_0 = e^{-42} \quad b_1 = 2 \quad b_3 = 1 \quad b_4 = 6 \quad b_5 = 0.4$$

Wartość parametrów statystycznych dla współczynników regresji przedstawiono w tab. 3.

$$ESS = 0.53 \times 10^3 \quad R_1^2 = 0.53 \quad R_2^2 = 0.31$$

Liczba stopni swobody = 95.

Model jest istotny statystycznie. Jak wynika ze wzoru II, wydobywanie w mniejszym stopniu wpływa na wartość energii niż sam postęp dobowy. Porównując statystyki dla obu układów regresji można stwierdzić, że dla pierwszego modelu większy jest współczynnik korelacji wielokrotnej, a mniejsza jest suma kwadratów błędów, co jest korzystniejsze. Ogólnie należy uznać model I za lepszy w porównaniu z modelem II.

Tabela 3

Zestaw cech	Cechy istotne	Współ. regresji	Błąd standart.	Przedział ufności	Test t	Współ. cz. korelacji
CONST	CONST	-43.9	16.7	14.7	2.62	-0.26
H	H	2.21	1.51	1.2	1.46	0.15
HP	HP	1.12	0.51	0.43	2.18	0.22
RCP	RCP	5.9	2.6	0.22	2.23	0.22
D	D	0.4	0.29	0.25	1.46	0.15

Wynika z niego, że energia tąpnięcia jest wprost proporcjonalna do postępu dobowego i miąższości należącego piaskowca.

Głębokość występuje we wzorze w kwadracie, a wytrzymałość piaskowca w szóstej potędze.

Jednocześnie trzeba podkreślić, że otrzymane współczynniki dotyczą jedynie tąpnięć w ścianach. Z otrzymanej zależności widać także silną zależność energii od parametrów nadległego piaskowca. Potwierdzałoby to hipotezę, że przyczyną tąpnięć jest między innymi przekroczenie wytrzymałości skał nadległych. Także zależność energii tąpnięcia od głębokości obrazuje wzrost zagrożenia wraz ze schodzeniem na coraz większe głębokości. Jedynym parametrem górniczo-technicznym we wzorze I jest postęp ściany.

Na obecnym etapie badań model I uznano za zadowalający. Istnieje jednakże potrzeba rozwijania tego typu badań celem pogłębienia wiedzy o tąpnięciach co w konsekwencji może przyczynić się do zmniejszenia stanu zagrożenia tąpnięciami.

LITERATURA

- [1] Biliński A.: Metoda określania stanu zagrożenia tąpnięciem stropowym na podstawie rozeznania warunków naturalnych i górniczych. GIG, Katowice 1980.
- [2] Filcek H.: Geomechaniczne zagrożenie tąpnięciami. Górnictwo (kwartalnik), rok 4, zeszyt 2. "Śląsk", Katowice 1980.
- [3] Filcek H., Kłeczek Z., Zorychta A.: Poglądy i rozwiązania dotyczące tąpnięć w kopalniach węgla kamiennego. Zeszyt Nauk. s. Górnictwo, z. 123, Kraków 1984.
- [4] Kidybiński A.: Podstawy geotechniki kopalnianej. "Śląsk", Katowice 1982.
- [5] Marcak H.: Metody konstrukcji modeli matematycznych przewidywania tąpnięć w kopalniach w oparciu o pomiary mikrosejsmiczne. Publ. Inst. Geoph. Pol. Ac. Sci. Vol 97, 1976.
- [6] Marcak H.: Statystyczne modele interpretacji wyników pomiarów geofizycznych z kopalń dla prognozowania stanu zagrożenia tąpnięciami. Archiwum Górnictwa, tom 22, z. 1, 1977.
- [7] Oprogramowanie EMC Odra 1304 - Analiza statystyczna.
- [8] Owczarż W.: Zastosowanie metod klasyfikacji w geofizyce górniczej. Praca doktorska. AGH, Kraków 1979.

- [9] Ryncarz T.: Badanie charakterystyki wstrząsów górotworu wywołanych eksploatacją górniczą. Referat. Jabłonna, wrzesień 1984.
- [10] Walaszczyk J., Pilecka E.: Próba statystycznego określenia wpływu warunków naturalnych i górniczo-technicznych na energię tapnięć i wstrząsów. Praca Inst. Geomechaniki Górniczej AGH, Kraków 1984 (niepublikowane).
- [11] Wierzchowska Z.: Mikrosejsmologiczna metoda określania stanu zagrożenia tapaniami w kopalniach. GIG, Katowice 1983.
- [12] Wytyczne bezpiecznego prowadzenia eksploatacji w pokładach zagrożonych tapaniami. Min. Górn. Katowice 1981.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Kazimierz Podgórski

Wpłynęło do Redakcji w grudniu 1984 r.

СТАТИСТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ НАТУРАЛЬНЫХ И ГОРНО-ТЕХНИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ЭНЕРГИЮ ГОРНЫХ УДАРОВ

Р е з ю м е

В работе приведены результаты статистических исследований, целью которых являлось выявление связей между энергией горных ударов и некоторыми натуральными и горно-техническими параметрами. В исследовании был использован метод многократного анализа регрессии в степенном виде. Были использованы данные содержащиеся в картотеке горных ударов Главного института горного дела и шахт Верхнесилезского угольного бассейна. Были рассмотрены две модели корреляции параметров, влияющих на горные удары. Расчёты проведённые согласно модели I показали, что наибольшее влияние на энергию горного удара оказывает эксплуатация и прочность на сжатие жёстких пластов песчаника. В модели II суточные результаты эксплуатации были заменены среднесуточной добычей.

В принятых моделях были взяты во внимание горные удары в лавах. На основе полученных зависимостей можно сделать вывод, что энергия горных ударов в большей степени зависит от параметров вышележащего песчаника. Это подтверждало бы гипотезу о том, что причиной горных ударов является также превышение прочности вышележающих скал.

Были установлены важные статистические связи между энергией горного удара и проходкой лавы либо суточной добычей, глубиной эксплуатации слоев и прочностью расположенного над эксплуатируемым пластом песчаника.

STATISTIC DEFINING OF THE INFLUENCE OF NATURAL AND MINING-TECHNICAL
CONDITIONS ON CRUMP ENERGY

S u m m a r y

In the paper the results of statistic investigations aiming at defining the relations between energy and some natural and mining-technical parameters have been given. For the investigations a multiple regression analysis in exponential form has been used. For the analysis the data from crump card files in the Main Mining Institute and the Upper Silesian Coal Field coal-mines have been used. Two models of correlation of the parameters influencing the crump have been considered. From the calculations according to model I it results that the biggest correlation of the influence on crump energy has a progress of exploitation and compressive strength of rigid sandstone strata.

In model II daily progress of exploitation has been substituted by average daily output.

In the models mainly crumps in long walls have been taken into account. From the received dependences a great dependence of crump energy on sandstone parameters results. It would confirm the hypothesis that the cause of crumps is among others exceeding of strength of the rocks covering the bed.

Important statistic relations between crump energy and longwall progress or daily output, exploitation depth, depth of cover and strength of sandstone covering the bed have been determined.