GÓRNICTWO I GEOLOGIA 2011
Tom 6 Zeszyt 3

Łukasz TARSKI
Politechnika Śląska, Gliwice
Jerzy KORNOWSKI
Główny Instytut Górnictwa, Katowice; Politechnika Śląska, Gliwice

PROGNOZA ZAGROŻENIA TĄPNIĘCIEM NA PODSTAWIE PROGNOZY ENERGII WSTRZĄSU I ZNANYCH WARUNKÓW LOKALNYCH

Streszczenie. Artykuł opisuje wyniki badań autorów nad zjawiskiem sejsmiczności w górnictwie i wynikającego z niej zagrożenia tąpnięciem. Bazując na Kompleksowej Metodzie Oceny Zagrożenia Tąpaniami, a w szczególności wchodzącej w jej skład Metodzie Rozeznania Górniczego, wykazano, że wszystkie składniki tych metod mają prostą matematyczną interpretację – innymi słowy – charakter zarówno całej metody, jak i każdego z czynników może być transformowany z formy eksperckiej (jakościowej) do formy czysto matematycznej (ilościowej).

FORECAST OF ROCKBURST HAZARD BASIS ON TREMOR'S ENERGY AND KNOWN LOCAL'S CONDITIONS

Summary. This article describes the results of research on seismic activity in mining and rockburst hazard as a result of it. All of the constituents of Complex Method of Rockburst Hazard's Estimation especially the instruction of the Method of Hazard Evaluation got simple and mathematical form. It has been shown, that character of whole method and each constituent could be transform from qualitative (expert) form to straight mathematical quantitative form.

1. Wprowadzenie

Celem pracy jest przedstawienie prostego (intuicyjnego), matematycznego, dobrze zdefiniowanego zagadnienia prognozy zagrożenia tąpnięciem. Bazując na Kompleksowej Metodzie Oceny Zagrożenia Tąpaniami (Metodzie Kompleksowej – MK), a w szczególności wchodzącej w jej skład Metodzie Rozeznania Górniczego (MRG), wykazano, że wszystkie

składniki tych metod posiadają prostą interpretację w kontekście teorii prawdopodobieństwa, zatem mogą być obliczane i przekształcane z gwarancją logicznej i matematycznej poprawności. Artykuł treścią nawiązuje do publikacji Kornowskiego [1], gdzie dyskutowano nad tym samym zagadnieniem na tle danych z całego GZW. Te badania były przeprowadzone na danych z grupy kopalń GZW, tj. KWK „Bobrek-Centrum", KWK „Bielszowice" oraz KWK „Halemba".

„Instrukcja Metoda Rozeznania Górniczego" z 2007 roku (IMRG) bazuje na 19 czynnikach kształtujących zagrożenie (CKZ) tąpaniami, wymienionych i po wielu dyskusjach ekspertów określonych przez wagi w tab. 1 tej Instrukcji. Tabela 1 w IMRG przypisuje punkty rozmaitym warunkom geologicznym i górniczym (np. głębokości eksploatacji, występowaniu tąpań (np. w danym pokładzie), wytrzymałości R_C itp.), a suma tych punktów decyduje o ocenie (*a, b, c, d*). Zatem zgodnie z przedstawioną tam tabelą, dziedzina każdego czynnika dzieli się na klasy, a każdej klasie i-tego czynnika przypisana jest pewna punktowa wartość, która określa intensywność oddziaływania tego czynnika na zagrożenie tąpnięciem.

Poniżej przedstawiamy fragment tabeli 1 z IMRG.

Tabela 1

Początkowy fragment tab. 1 IMRG

Lp.	**czynnik C_i**	**poziom/klasa C_i czynnika**	**punkty**
1.	głębokość robót	<400 m 400 – 700 m >700 m	0 1 3
2.	występowanie tąpań po 1980 r. w danej kopalni	nie tak, w danym pokładzie tak, w danym pokładzie i danej parceli	-2 0 3
3.	R_C	$R_C \leq 16$ MPa $R_C \geq 16$ MPa	0 2

Nowa, formalno-matematyczna, wersja Metody Kompleksowej dla typowego odbiorcy – inżyniera ds. tąpań czy pracowników Stacji Geofizyki Górniczej – nie różni się od tej znanej i stosowanej od 2007 r. Metody Kompleksowej (MK), gdyż implementowane (programowane) są te same informacje, których używamy w MK, a wynikiem jej działania jest informacja o stanie zagrożenia tąpnięciem (A, B, C, …).

2. Definicje

W całej literaturze naukowej, także tej odległej od górnictwa, przyjęta jest definicja ryzyka:

$$\text{Ryzyko}=\left\{\begin{matrix}\text{Prawdopodobieństwo}\\ \text{wystąpienia}\\ \text{szkodliwego zdarzenia}\end{matrix}\right\}\left\{\begin{matrix}\text{Straty wywołane}\\ \text{tym wydarzeniem}\end{matrix}\right\},$$

gdy zagadnienie strat zostanie pominięte (gdyż wiąże się z nimi wycena życia, co nie jest przedmiotem tego artykułu), definicja ograniczona zostanie do oceny lub prognozy prawdopodobieństwa i będzie wtedy mowa o zagrożeniu:

$$\text{Zagrożenie}=\left\{\begin{matrix}\text{Prawdopodobieństwo}\\ \text{wystąpienia}\\ \text{szkodliwego zdarzenia}\end{matrix}\right\}.$$

Chcąc ułatwić ewentualną dyskusję, celowy jest komentarz terminologiczny. Mówiąc o zagrożeniu ze strony górotworu, rozróżnić należy (za: [2]) trzy pojęcia bezpośrednio je charakteryzujące: zagrożenie sejsmiczne, zagrożenie tąpaniami i zagrożenie tąpnięciem.

Zagrożeniem sejsmicznym Z^S, lub $Z^S[(t,t+\Delta t),S]$, nazywa się prawdopodobieństwo przekroczenia – w ustalonym czasie i w określonej przestrzeni – pewnego progu wartości (np. energii krytycznej (inna literatura nazywa mianem granicznej) $E_{KR}=1\cdot 10^5$ J) przez całkowitą sumaryczną energię sejsmiczną, która (w tym czasie i przestrzeni) zostanie wyemitowana:

$$0 \le Z^S = Z^S(E^*) = P\{E^*[(t,t+\Delta t),S] \ge E_g\} \le 1, \tag{2.0}$$

gdzie E^* – jest całkowitą (sumaryczną) energią wyemitowaną w [(t,t+Δt),S], bez podziału na wstrząsy i emisje sejsmoakustyczne (AE) i nie wskazując ile zdarzeń w [(t,t+Δt),S] może wystąpić – jest to więc górna granica energii wstrząsu, jeśli cała energia uwolniona zostanie w pojedynczym wstrząsie.

Zagrożenie tąpaniami to możliwość wystąpienia tąpnięcia w rezultacie niekorzystnych warunków górniczo-geologicznych w wyrobisku górniczym lub w jego otoczeniu – dotyczy ono konkretnej partii pokładu i ustalane jest bezterminowo przez organy nadzoru górniczego.

Zagrożenie tąpnięciem $Z^{T!}$, lub $Z^{T!}[(t, t+\Delta t),S]$, również dotyczy konkretnego obszaru (S), którym może być np. wyrobisko ścianowe wraz z jego bezpośrednim otoczeniem, oraz przedziału czasowego (t, t+Δt), w którym zagrożenie to może się zmieniać z godziny na godzinę. Z^T jest to prawdopodobieństwo wystąpienia tąpnięcia w [(t, t+Δt),S]:

$$0 \le Z^{T!} \equiv Z^{T!}\left[(t, t+\Delta t), S\right] \equiv P^{T!}_{\Delta t, S}(t) \le 1 \qquad (2.1)$$

i jako prawdopodobieństwo spełnia nierówność $0<Z^{T!}<1$, której przedział możliwych rozwiązań można podzielić na podprzedziały wg określonego klucza, np.:

$$0 \overset{A}{—} 10^{-5} \overset{B}{—} 10^{-4} \overset{C}{—} 10^{-3} \overset{D}{—} 1,$$

i nazwać stanami zagrożenia tąpnięciem, a te z kolei opisać w sposób już znany inżynierom górnikom (A, B, C, ...).

Podobnie można opisać zagrożenie sejsmiczne Z^S, którego wartości (jako prawdopodobieństwa) również zawierają się w przedziale zamkniętym $Z^S \in <0,1>$, w którym mniejsze podprzedziały można opisać jako stany zagrożenia sejsmicznego.

Ponieważ wszystkie powyższe zagrożenia są opisane przez prawdopodobieństwo, estymator zagrożenia (Z^T) można zapisać w postaci wiążącej zagrożenie tąpnięciem z zagrożeniem sejsmicznym i z czynnikami CKZ z Metody Rozeznania Górniczego:

$$Z^T(t) = Z^S(t) \cdot P^T\left(E \mid E > E_g\right) \cdot \left[P^T\left(\Theta_1 \mid E > E_g\right) \cdot \ldots \cdot P^T\left(\Theta_M \mid E > E_g\right)\right], \qquad (2.2)$$

gdzie $P^T(\Theta_i|E>E_g)$ to brzegowe, warunkowe prawdopodobieństwo tąpnięcia wskutek oddziaływania CKZ(i) o lokalnej wartości Θ_i (np. w przypadku CKZ(1), Θ_1 to głębokość [m]), pod warunkiem, że wystąpił wstrząs $E>E_g$ o energii przekraczającej energię graniczną. Początkowy fragment wzoru $Z^S(t)\cdot P^T(E|E>E_g)$ dla uproszczenia może być określony symbolem $\mathbf{Z^{TS}(t)}$ i określony mianem zagrożenia wyłącznie wskutek „czynnika sejsmicznego", czyli wstrząsu o $E>E_g$; jest to zagrożenie dynamiczne $\mathbf{Z^{TS}(t)} \equiv \mathbf{Z^T_{dyn}}(t)$.

Opisując kolejne elementy wzoru: $P^T(E|E>E_g)$, dowiadujemy się, że brzegowe, warunkowe prawdopodobieństwo tąpnięcia na skutek wystąpienia wstrząsu o zarejestrowanej energii E przekraczającej energię graniczną E_g:

$$\{P^T(\Theta_1|E>E_g)\cdot \ldots \cdot P^T(\Theta_M|E>E_g\},$$

czyli $\mathbf{Z^{MRG}}$ to warunkowe prawdopodobieństwo tąpnięcia wskutek oddziaływania czynników CKZ, opisanych w IMRG 2007.

Iloczyn $P^T(E|E>E_g)\cdot[P^T(\Theta_1|E>E_g)\cdot \ldots \cdot P^T(\Theta_M|E>E_g)$ to zagrożenie ($\mathbf{Z^T_{prior}}$) możliwe do oszacowania przed wystąpieniem wstrząsu (tzw. zagrożenie potencjalne) lub aprioryczne zagrożenie tąpnięciem.

Analizując wzór (2.2), będący iloczynem prawdopodobieństw zdarzeń elementarnych, szczególnie dobrze widać jak złożone jest zagadnienie obliczania prawdopodobieństwa wystąpienia tąpnięcia, lecz stosując symbole zastępcze. można (2.2) uprościć do postaci:

$$Z^T(t) = Z^S(t) \cdot Z^T_{prior}, \tag{2.3}$$

możliwej do odczytania jako iloczyn zagrożenia sejsmicznego i zagrożenia apriorycznego, wzór (2.2) można również uprościć do drugiej postaci:

$$Z^T(t) = Z^T_{dyn} \cdot Z^{MRG}, \tag{2.4}$$

możliwej do odczytania jako iloczyn zagrożenia dynamicznego i zagrożenia wynikającego z czynników kształtujących zagrożenie CKZ, zawartych w MRG (głębokość eksploatacji, skłonność węgla do tąpań czy eksploatowanie na całą grubość pokładu).

Po przekształceniu otrzymać można postać zagrożenia dynamicznego:

$$Z^T_{dyn}(t) = Z^S(t) \cdot P^T(E \mid E > E_g) \tag{2.5}$$

oraz postać apriorycznego zagrożenia tąpnięciem:

$$Z^T_{prior} = P^T(E \mid E > E_g) \cdot Z^{MRG}, \tag{2.6}$$

w efekcie otrzymując iloczyn prawdopodobieństwa wstrząsu, prawdopodobieństwa tąpnięcia i wzmocnienia (przez CKZ z I-MRG):

$$Z^T(t) = Z^S(t) \cdot P^T(E \mid E > E_g) \cdot Z^{MRG}. \tag{2.7}$$

Powyższy sposób estymacji Z^T zagrożenia tąpnięciem gwarantuje logiczną spójność, gdyż wszystkie elementy zdefiniowane są w ramach teorii prawdopodobieństwa i całe równanie (2.7) może być zgodnie z nią przekształcane.

3. Prognoza

Przytoczone w rozdziale 2 definicje zagrożeń opisane zostały (w określonych warunkach) jako prawdopodobieństwa, a przypomnieć należy, że prawdopodobieństwo *(P)* łączne zdarzenia złożonego z „M" niezależnych czynników jest iloczynem prawdopodobieństw brzegowych:

$$P(\Theta_1,...,\Theta_M) = P(\Theta_1) \cdot ... \cdot P(\Theta_M), \tag{3.0}$$

gdzie Θ_i to wektor parametrów i-tego czynnika.

Rozkład P(T|E), pod warunkiem wstrząsu o energii E'=logE, określony jest równaniem uśrednionego prawdopodobieństwa tąpnięcia (GZW/dziesięciolecie), dobrze znanym z publikowanych już materiałów Kornowskiego i Kurzeji [2]:

$$P(T!\mid E') = \frac{1}{1 + \exp[-2{,}1(E' - 9)]}, \tag{3.1}$$

z wyliczonymi parametrami a=2,1 oraz b=9. Jest on aproksymacją rozkładu brzegowego P|(T|E), $C_1=\infty$, $C_3=\infty$|, a zapis ten oznacza, że o wartościach rozkładu brzegowego decydują maksymalne wartości nieuwzględnionych zmiennych.

W przypadku tej publikacji bazę danych do obliczeń stanowiła grupa wstrząsów z rejonu trzech kopalń, o czym wspominaliśmy we wstępie. Zgodnie z algorytmem przedstawionym w [2], na podstawie uproszczonej statystyki wstrząsów i tąpań w polskim górnictwie (z założeniem, że tąpnięcia liczone były tylko dla wybranej grupy trzech kopalń oraz dla dwóch pięcioletnich okresów: 2004 – 2008 oraz 2005 – 2009), otrzymano dwa układy równań:

okres 2004 – 2008	*okres 2005 – 2009*
$a\cdot \mathrm{Log}(5\cdot 10^5)-d=7{,}7608$	$a\cdot \mathrm{Log}(5\cdot 10^5)-d=8{,}3710$
$a\cdot \mathrm{Log}(5\cdot 10^6)-d=6{,}5117$	$a\cdot \mathrm{Log}(5\cdot 10^6)-d=6{,}4861$
$a\cdot \mathrm{Log}(5\cdot 10^7)-d=3{,}6109$	$a\cdot \mathrm{Log}(5\cdot 10^7)-d=3{,}2054$
$a\cdot \mathrm{Log}(5\cdot 10^8)-d=1{,}3862$	$a\cdot \mathrm{Log}(5\cdot 10^8)-d=1{,}7917$

Rozwiązaniem minimalizującym sumę błędów kwadratowych (nazywanym rozwiązaniem minimalnokwadratowym) jest para liczb a= -2,24 oraz d= -20,87, czyli pamiętając, że a·b=d, parametrami równania (2.4) będą (podając w zaokrągleniu) a=-2,24 oraz b=9,29; oraz druga para dla drugiego czasookresu: a=-2,30 i b=9,35.

Po podstawieniu ich do (2.4) otrzymujemy:

$$P(T!|\,E') = \frac{1}{1+\exp[-2{,}2(E'-9{,}3)]} \qquad \text{– dla lat 2004 – 2008} \tag{3.2}$$

oraz odpowiednio:

$$P(T!|\,E') = \frac{1}{1+\exp[-2{,}3(E'-9{,}4)]} \qquad \text{– dla lat 2005 – 2009,} \tag{3.3}$$

czyli najlepsze (optymalne) aproksymacje prawdopodobieństwa tąpnięcia w odpowiednich pięcioletnich przedziałach czasu.

Przedstawione powyżej formuły są właściwe tylko dla tego rejonu i tego przedziału czasu, podczas gdy równanie (3.4) charakteryzowało całe GZW. Należy zdawać sobie sprawę również z tego, że błąd aproksymacji rośnie gwałtownie z malejącą ilością zdarzeń (tąpnięć) poddanych analizie.

4. Charakterystyki czynników i ich kalibracja

Charakterystyką (np. głębokościową) danego czynnika nazywamy funkcję aproksymującą wpływ i-tego czynnika CKZ na zagrożenie tąpnięciem. Natomiast lokalnym współczynnikiem wzmocnienia (zagrożenia tąpnięciem) jest wartość liczbowa, jaką osiąga ta funkcja, $P^T(\Theta_i)|E>E_g)$, gdy jej parametr (Θ_i) przyjmuje konkretną wartość (np. gdy R_C wyniesie ponad 16 MPa). Prosta aproksymacja charakterystyki czynnikowej, spełniająca warunki stawiane skumulowanym rozkładom prawdopodobieństwa, a równocześnie w pełni wykorzystująca informacje zawarte w punktach określonych przez IMRG, ma postać:

$$0 \le P^T\left(\Theta_i \mid E > E_g\right) = \frac{1}{1+\exp\left[-Q\left(i,\Theta_i\right)\right]} \le 1, \tag{4.1}$$

gdzie $Q(i, \Theta_i)$ to punkty (wagi), którymi IMRG w sposób ilościowy określa wpływ czynnika CKZi na zagrożenie tąpnięciem, gdy Θ_i przyjmuje konkretną wartość.

Istnieje jednak możliwość lepszego dopasowania charakterystyk czynnikowych. Odbywa się to na drodze tak zwanej kalibracji charakterystyki czynnikowej (wzmocnienia zagrożenia Z^T), która jest estymacją optymalnych, w danych warunkach informacyjnych, wartości parametrów (a_i, b_i) rozkładu brzegowego. Jest to takie samo (w sensie procesu) dopasowanie, jak to, które Kornowski i Kurzeja [2] wykonali w celu otrzymania uśrednionego prawdopodobieństwa tąpnięcia na podstawie dziesięciolecia 1997 – 2006 (3.1).

Rozkład brzegowy parametrów (a_i, b_i) przedstawia się wzorem:

$$P^T\left(\Theta_i \mid E > E_g\right) = \left\{1+\exp\left[-a_i\left(\Theta_i - b_i\right)\right]\right\}^{-1}, \tag{4.2}$$

natomiast estymację tych parametrów nazywamy kalibracją.

Kalibracja ma na celu najlepsze dopasowanie modelu do zbioru danych, zatem w rezultacie jak najlepsze uwzględnienie wpływu danego czynnika na zagrożenie. Po zebraniu na tyle dużej liczby danych, by wyniki stały się wiarygodne, charakterystyki czynnikowe i wynikające z nich dla konkretnych wartości Θ_i czynniki wzmacniania zagrożenia umożliwiają ocenę zagrożenia lepszą od tej, którą dają punkty z IMRG.

Chcąc zweryfikować ten zamiar, potrzebne są obszerne zbiory zróżnicowanych danych dotyczących wstrząsów i tąpnięć. Na podstawie danych z KWK „Bobrek Centrum" przeprowadzona została analiza głębokościowej charakterystyki zagrożeń, gdzie badany był wpływ zmiany poziomu głębokości na zagrożenie tąpnięciem, czyli prawdopodobieństwo tąpnięcia w funkcji głębokości. Pierwszym etapem było zgromadzenie danych, w tym przypadku ze względu na niewystarczającą ilość danych opisujących wstrząsy, by móc je

katalogować wg głębokości, na jakiej zostały zlokalizowane, przyjęto pewne założenie upraszczające. Na podstawie dokonanej obserwacji trendu liczby wstrząsów na przestrzeni lat 2000 – 2009 oraz na podstawie liczby kopalń, w których występują tąpnięcia, stworzono sztuczny zbiór. By móc katalogować wstrząsy i tąpnięcia na podstawie głębokości, w stumetrowych przedziałach (600 – 700 – … – 1000 m) przyjęto – mając dane tylko z jednej kopalni – że na pozostałych sytuacja jest podobna. Przyjęto więc, że każda z kopalń „tąpiących" w poszczególnych klasach głębokości będzie miała taką samą liczbę obserwacji. Obrazując to przykładem: jeśli w KWK „Bobrek" (Ruch Bobrek) od 2000 – 2009 r. w przedziale głębokości 600 – 800 m zarejestrowano 10 wstrząsów, to na każdej z pozostałych kopalń można było w tych samych warunkach zarejestrować tyle samo wstrząsów, co daje nam w efekcie 100 zarejestrowanych zjawisk w tym samym dziesięcioleciu, w samym zakresie głębokości 600 – 800 m.

Jeżeli zatem rozkład brzegowy określony został ogólnym wzorem (4.2), to w celu estymacji jego parametrów (a_i, b_i) utworzono układ 4 równań dla 4 przedziałów głębokości:

$$\begin{cases} a\cdot\log(650) - d = 3{,}028 \\ a\cdot\log(750) - d = 3{,}490 \\ a\cdot\log(850) - d = 4{,}634 \\ a\cdot\log(950) - d = 1{,}806, \end{cases} \tag{4.3}$$

którego minimalnokwadratowym rozwiązaniem jest para liczb:

$$\begin{cases} a = -3{,}85 \\ b = 3{,}74. \end{cases} \tag{4.4}$$

Korzystając z estymowanych parametrów a oraz b, aproksymowane zostało warunkowe prawdopodobieństwo wystąpienia tąpnięcia dla wstrząsu o energii E>Eg:

$$P^T\left(\Theta_1 \mid E > E_g\right) = \left\{1 + \exp\left[-3{,}85\left(\Theta_1 + 3{,}74\right)\right]\right\}^{-1}, \tag{4.5}$$

które jest najlepszym (optymalnym) dopasowaniem charakterystyki głębokościowej (Θ_1 - CKZ_1 – głębokość) do warunków z przedstawionych założeń.

Jeżeli rozkład (4.5) traktujemy jako aproksymację brzegowego rozkładu $PT(\Theta_1|E>Eg)$, gdzie Θ_1 to głębokość eksploatacji, to w pierwszym przybliżeniu, zgodnie z (2.6):

$$\begin{aligned} Z^T_{prior} &= P^T\left(E \mid E > E_g\right)\cdot P^T\left(\Theta_1 \mid E > E_g\right) \\ Z^T_{prior} &= \frac{1}{1+\exp\left[-2{,}1\left(\log E - 9\right)\right]}\cdot\frac{1}{1+\exp\left[-3{,}8\left(\log H - 3{,}74\right)\right]} \end{aligned} \tag{4.6}$$

i oczywiście:

$$Z^T(t) = Z^S(t)\cdot Z^T_{prior}, \tag{4.7}$$

gdzie $Z^S(t)$ to (zgodne z definicją w rozdziale 2) zagrożenie sejsmiczne określone na przykład na podstawie bazowego zbioru minionych wstrząsów i rozkładu Gutenberga-Richtera, jak to opisują Gołda i Kornowski [6].

Zgodnie z wiedzą autorów, jest to pierwsza w literaturze przedmiotu próba formalno-matematycznej oceny równoczesnego wpływu energii wstrząsu i głębokości eksploatacji na zagrożenie tąpnięciem – próba wykonana przez zdefiniowanie charakterystyk czynnikowych i estymacji ich parametrów. Uogólnienie zastosowanej tu metody na inne czynniki jest bardzo proste, wymagające jedynie danych (z kopalni) o wstrząsach, tąpnięciach i warunkach, w jakich warunkach wystąpiły.

5. Wnioski

Przedstawiona przez nas metoda jest prostą formalizacją zagadnienia zagrożenia tąpnięciem, a jednocześnie symbiozą znanych metod opisanych w tzw. Kompleksowej Metodzie Oceny Zagrożenia Tąpaniami, a w szczególności w Metodzie Rozeznania Górniczego. Po raz pierwszy przedstawiona została próba oceny wpływu energii wstrząsu oraz głębokości eksploatacji na stan zagrożenia tąpnięciem. Brany był pod uwagę tylko pierwszy Θ_1 - CKZ_1 czynnik, czyli głębokość, co było podyktowane brakiem wystarczającej ilości danych dla przeprowadzenia szerszej (z wykorzystaniem większej liczby czynników kształtujących zagrożenie) analizy.

Zaprezentowany w rozdziale 2 algorytm szacowania zagrożenia tąpnięciem, ze względu na swój charakter łączący wiele czynników, posiada ogromny potencjał. Algorytmy, na których bazuje pokazana tu metoda, często zawierają parametry o nieformalnym charakterze (zwane jakościowymi), na wartości których mógł wpłynąć subiektywizm oraz własne doświadczenia eksperta.

Przedstawiony tu sposób estymacji Z^T zagrożenia tąpnięciem:

$$Z^T(t) = Z^S(t) \cdot P^T(E \mid E > E_g) \cdot \left[P^T(\Theta_1 \mid E > E_g) \cdot \ldots \cdot P^T(\Theta_M \mid E > E_g)\right], \tag{5.0}$$

gwarantuje logiczną spójność, gdyż wszystkie elementy utrzymane są w ramach teorii prawdopodobieństwa, co umożliwia operowanie nimi z gwarancją logicznej i matematycznej poprawności. Zaletą jest także możliwość kalibracji charakterystyk czynnikowych $P^T(\Theta_i|E>E_g)$ dla wybranych, niezależnych czynników CKZ.

W rozdziale 4 pokazaliśmy, że jest możliwość matematycznego dopasowania charakterystyki czynnikowej do warunków konkretnej kopalni (czy grupy kopalń) i pokazaliśmy, że nie musi się to wiązać z potężnymi obliczeniami, a odbywa się ono na drodze kalibracji charakterystyki czynnikowej (wzmocnienia zagrożenia Z^T), czyli estymacji optymalnych, w danych warunkach informacyjnych, wartości parametrów (a_i, b_i) rozkładu brzegowego.

Podobne badania należy przeprowadzić na pełniejszej bazie danych z tego (i/lub) innego rejonu GZW. Zebranie rzetelnych danych dotyczących wstrząsów – gdyż do opisów zaistniałych tąpnięć mamy swobodny [4] dostęp – pozwoli na przeprowadzenie podobnych badań jednak na szerszym i bardziej zróżnicowanym zbiorze.

BIBLIOGRAFIA

1. Kornowski J.: Niektóre aspekty prognozy indukowanego eksploatacją zagrożenia sejsmicznego w górnictwie. Materiały Konferencyjne Szkoły Eksploatacji Podziemnej, Kraków 2011.
2. Kornowski J., Kurzeja J.: Krótkookresowa prognoza zagrożenia sejsmicznego w górnictwie. Wydawnictwo GIG, Katowice 2008.
3. Kornowski J.: Formalizacja „metody rozeznania górniczego" i górniczo-geofizyczna prognoza zagrożenia tąpnięciem. GZN 2009, Górnictwo i Środowisko, Katowice 2009, s. 120-129.
4. Konopko W. (red.): Raport roczny (2004 – 2009) o stanie podstawowych zagrożeń naturalnych i technicznych w górnictwie węgla kamiennego.
5. Tarski Ł., Bura I.: Wykorzystanie Metody Rozeznania Górniczego do ilościowej prognozy zagrożenia tąpnięciem. GZN 2010, Górnictwo i Środowisko, nr 4/3, Katowice 2010, s. 449-459.
6. Gołda I., Kornowski J.: Zastosowanie rozkładu Gutenberga–Richtera do prognozy zagrożenia sejsmicznego wraz z oceną jego niepewności. Materiały konferencyjne „Aktualne problemy zwalczania zagrożeń górniczych", Brenna 2011.

Recenzent: Dr hab. inż. Zenon Pilecki, prof. IGSMiE PAN

Abstract

In this paper the "potential hazard" (Z^{MRG}), defined by the Expert Method of (rockburst) Hazard Evaluation (MRG) and shaped by various "Risk Factors" (CKZ) is evaluated. It has been shown that each constituent could be transform from qualitative form to straight mathematical form with guaranty of logic's and mathematics correctness. Method "Factors' characteristics calibration" has been presented, as a instrument that quantify the "Risk Factors" (CKZ) influence on "potential hazard" (Z^{MRG}), in optimal and numerical way (in the light of available information).