



Renata PATYŃSKA\*, Anna PAJDAK\*\*

## Korelacja parametrów przyczyn i skutków tąpnięć zaistniałych w kopalniach węgla kamiennego w GZW

Streszczenie: Zjawisko tąpnięcia występujące w kopalniach węgla kamiennego wynika z wielu czynników naturalnych cechujących skały oraz czynników technicznych związanych z technologią i intensywnością eksploatacji. W artykule przeprowadzono analizę statystyczną i badania korelacyjne wybranych parametrów, w 129 miejscach polskich kopalń Górnośląskiego Zagłębia Węglowego, w których odnotowano tąpnięcia. Wyselekcjonowano „mierzalne” i najbardziej kształtujące stan zagrożenia tąpnięciami parametry, tj.: głębokość eksploatowanego pokładu, w którym odnotowano skutki tąpnięć ( $Ht$ ), grubość warstwy wstrząsogennej ( $Hww$ ) oraz skalę ich oddziaływania w postaci minimalnej odległości od pokładu, pomiędzy ogniskiem a skutkiem wstrząsu sejsmicznego ( $Hos$ ). Do analizy tych parametrów wybrano korelację liniową Pearsona oraz korelację rangową Spearmana. Analiza 129 przypadków tąpnięć pozwoliła na weryfikację wzajemnego wpływu wartości oraz rang rozpatrywanych parametrów na stan zagrożenia tymi zjawiskami. Badanie korelacyjne Pearsona wykazało słabą zależność liniową pomiędzy parametrem głębokości eksploatacji pokładu ( $Ht$ ) i minimalną odległością pomiędzy ogniskiem a skutkiem wstrząsu powodującego tąpnięcia ( $Hos$ ). Współzależności liniowe pozostałych parametrów nie spełniły warunku istotności korelacji. Korelacja nieliniowa Spearmana wykazała słabą korelację parametrów: minimalnej odległości od pokładu pomiędzy ogniskiem a skutkiem wstrząsu sejsmicznego ( $Hos$ ) oraz grubością warstwy wstrząsogennej ( $Hww$ ), a także nikłą zależność pomiędzy pozostałymi parametrami.

Celem pracy była weryfikacja czynników kształtujących stan zagrożenia tąpnięciami, występujących w Metodzie Rozeznania Górniczego (MRG str. 3. L.p. 1 i 4)), opublikowanej w roku 2007 w postaci Instrukcji Nr 20 pt.: „Zasady stosowania metody kompleksowej i metod szczegółowych oceny stanu zagrożenia tąpnięciami w kopalniach węgla kamiennego”. MRG wskazuje na określoną wartość punktową każdego zdefiniowanego czynnika w poszczególnych zakresach ich zmienności. Proponowane zmiany, nie naruszając istoty i podstawowych złożeń MRG, wskazują na możliwość powtarzalności niektórych parametrów, które mogą wpływać na stan zagrożenia tąpnięciami, a które za względu na charakter górotworu są „niezmienialne” i określane jako m.in. podstawowe czynniki geologiczne złożeń.

Słowa kluczowe: zagrożenie tąpnięciami, parametry tąpnięcia, kopalnia węgla kamiennego

\* Dr inż., Pracownia Inżynierii Górniczej, Główny Instytut Górnictwa, Katowice; e-mail: r.patynska@gig.eu

\*\* Dr inż., Instytut Mechaniki Górotworu Polskiej Akademii Nauk, Kraków; e-mail: pajdak@img-pan.krakow.pl

## Correlation of the parameters of causes and effects of rockbursts in coal mines in Upper Silesian Coal Basin

Abstract: Rockbursts that occur in coal mines are a result of a number of natural factors characterizing rocks as well as technical factors connected with the technology and the intensity of exploitation. This paper presents the statistical analysis and correlational studies of the parameters in 129 spots in the mines in the Upper Silesian Coal Basin, where rockbursts were recorded. The parameters that were selected were measurable and best described the rockburst hazard i.e. the exploitation depth of the seam where the effects of a rockburst were recorded ( $Ht$ ), the thickness of the tremor-prone layer ( $Hww$ ), and the scale of their impact defined as the minimal distance from the seam, between the focus and the effect of a seismic tremor ( $Hos$ ). Pearson linear correlation and Spearman rank correlation were selected for the analyses of the above mentioned parameters. The analysis of 129 rockburst cases made it possible to verify the influence of the values and ranks of the analyzed parameters on the rockburst hazard. The Pearson correlation analysis showed a weak linear dependence between the seam exploitation depth ( $Ht$ ) and the minimal distance between the focus and the effect of the tremor causing rockbursts ( $Hos$ ). The linear dependences of the other parameters did not meet the condition of correlation significance. The Spearman non-linear correlation showed a weak dependence between parameters, the focus and the effect of a seismic tremor ( $Hos$ ), and the thickness of the tremor-prone layer ( $Hww$ ).

The aim of this paper was to verify the factors determining the rockburst hazard contained in the Method of rockburst hazard evaluation (Metoda Rozeznania Górniczego (MRG p. 3. No. 1 and 4)), published in 2007 in the form of instruction No. 20 'Rules for the application of the comprehensive method and detailed methods of the rockburst hazard evaluation in coal mines' (*Zasady stosowania metody kompleksowej i metod szczegółowych oceny stanu zagrożenia łąpaniami w kopalniach węgla kamiennego*). MRG indicates a specific point value of each of the above defined factors separately in particular the size of their ranges. MRG indicates a possible coincidence of some of the parameters, which may affect the rockburst hazard and which, due to the characteristics of a rock mass, are unchangeable and defined as, among others, the basic geological factors of a deposit.

Keywords: rockburst hazard, parameters of rockbursts, coal mine

## Wprowadzenie

Wstrząsy sejsmiczne są konsekwencją naruszenia pierwotnej równowagi górotworu w wyniku prowadzonej działalności górniczej. Dokumentują to wieloletnie, kopalniane obserwacje górnicze i geofizyczne (Dubiański i Konopko 2000; Goszcz 1988; Konopko 1994; Patyńska 2008). Liczba i energia wstrząsów wynikają z wielu czynników naturalnych charakteryzujących górotwór, w jakim prowadzone są roboty górnicze oraz czynników technicznych związanych z technologią i intensywnością eksploatacji. Analizy przyczyn występowania łąpanieć oraz rozwój metod pomiarowych (szczególnie bezinwazyjnych technik oceny jakości i własności górotworu) wskazują na różną wagę parametrów decydujących o zagrożeniu sejsmicznym i łąpaniami (Konopko i Patyńska 2008).

Główny Instytut Górnictwa dysponuje obszernymi materiałami źródłowymi odnoszącymi się do zaistniałych w przeszłości łąpanieć, zawierającymi szczegółowe dane zarówno geologiczne, mechaniczne, jak i techniczne prowadzenia robót górniczych (Patyńska 1993–2016). Pozwalają one na analizę poszczególnych parametrów charakteryzujących środowisko skalne i jego eksploatację pod kątem ich specyfiki w przypadkach łąpanieć. Zbór analizowanych parametrów jest zbiorem otwartym, wciąż poszerzanym o kolejne parametry geomechaniczne, strukturalne oraz górnicze.

Podstawową metodą oceny stanu zagrożenia łąpaniami w kopalniach węgla kamiennego w Polsce jest Metoda Rozeznania Górniczego (MRG) (Instrukcja Nr 20 2007). Jest to jedna

z metod szczegółowych metody kompleksowej, o charakterze eksperckim, którą w założeniach dostosowano do przeciętnych warunków geologiczno-górnich złoza w kopalniach Górnośląskiego Zagłębia Węglowego (GZW). Zmienność warunków eksploatacji w pokładach oraz nieprzewidywalność reakcji górotworu w sąsiedztwie wyrobisk, są przyczynami „słabej” skuteczności tej metody (Patyńska 2006). W niniejszym artykule przedstawiono analizę wybranych trzech parametrów z miejsc, w których odnotowano 129 tąpnięć. Zebrane dane należą do dwóch: geologicznych i górniczych niezależnych od siebie, grup czynników kształtujących stan zagrożenia tąpnięciami,

Przepisy do prawa geologicznego i górniczego stanowią, że pokłady zaliczone do I, II bądź III stopnia zagrożenia tąpnięciami zalegają „w górotworze i skałach skłonnych do tąpnięć”. Oznacza to, że roboty górnicze prowadzone są w skałach tąpniących o wytrzymałości  $R_c \geq 60$  MPa. Obecność w stropie warstw skał mocnych o grubości powyżej 20 m jest zmienna i zależy od odległości ich zalegania od eksploatowanego pokładu. Im bliżej pokładu zalegają – warstwy wstrząsogenne, tym większa destrukcja skał, na co wskazuje m.in. parametr – minimalna odległość ognisko-skutek.

Celem oceny współzależności parametrów geologiczno-górnich, charakteryzujących przyczyny i skutki tąpnięć, jest propozycja wprowadzenia zmian do metody rozeznania górniczego. Zmiany polegałyby na przyjęciu innych wag (wartości punktowych) poszczególnych przedziałów głębokości, które uwzględniają przede wszystkim obecność w stropie warstw skał określanych mianem wstrząsogennych. W przeprowadzonych analizach uwzględniono dane odnoszące się do wybranych grup parametrów: strukturalnych, mechanicznych i geometrycznych, charakteryzujących warunki wystąpienia 129 tąpnięć zaistniałych w GZW w latach 1989–2009.

## 1. Parametryzacja przyczyn i skutków tąpnięć

Ilościowe kryteria kwalifikowania skłonności górotworu do tąpnięć, podane w pracy Konopki (2006) określone na podstawie równoważnika wytrzymałościowego stropu piaskowcowego, aktywności sejsmicznej oraz charakterystyki wytrzymałościowo-deformacyjnej układu strop-pokład-spąg. W pokładzie i górotworze, znajdujących się w warunkach niezaburzonych tektonicznie, o zagrożeniu tąpnięciami decydują m.in. stan naprężenia, właściwości mechaniczne pokładu i skał otaczających go oraz sejsmiczność generowana robotami górniczymi (Goszczyński 1988). Ta ostatnia jest rezultatem zachodzącej destrukcji podbieranych warstw skalnych o wysokich parametrach wytrzymałościowych, a w szczególności tzw. warstw wstrząsogennych. Budują je grube, monolityczne warstwy piaskowców i/lub łowców, o odpowiednio wysokiej wytrzymałości i grubości. Zagrożenie tąpnięciami zwiększa się wraz z głębokością prowadzenia robót (Konopko 1994) i wynikającym stąd zwiększonym stanem naprężenia w górotworze i gradientu jego zmian. Przy ogólnym dużym naprężeniu, tąpnięcia występują przy relatywnie małych energiach wstrząsów górotworu (Dubieński i Konopko 2000; Konopko i Patyńska 2008).

Badaniom analitycznym poddano trzy parametry: głębokość eksploatacji, grubość warstwy tąpniącej oraz odległość pomiędzy ogniskiem a tąpnięciem.

Głębokość eksploatacji pokładu jest jednym z najważniejszych czynników decydujących o wartościach naprężenia i wyężenia węgla. Średnia głębokość prowadzonych robót górniczych w Polsce wzrasta statystycznie każdego roku co 8–10 m, natomiast średnia głębokość eksploatacji, w otoczeniu której zaistniało ąpnięcie w ostatnich latach, przekroczyła 750 m i zawiera się w przedziale od 550 m do 1150 m. W ocenie potencjalnego stanu zagrożenia ąpaniami waga tego parametru będzie zwiększała się wraz ze wzrostem głębokości zalegania pokładów. Jest to uwarunkowane przyrostem wartości naprężenia grawitacyjnego w stosunku do wytrzymałości węgla na ściskanie, a zatem wzrostem jego wyężenia, wskazującym na możliwość jego dynamicznego rozpadu (Konopko 1987).

Grubość warstwy wstrząsogennej jest parametrem bardzo istotnym dla oceny zagrożenia ąpaniami. Analiza przypadków ąpnięć wykazała, że w zdecydowanej większości przypadków, w stropie pokładu występowały grube, monolityczne warstwy piaskowców lub/i mułowców, zdolne do generowania wstrząsów sejsmicznych. Są one odpowiedzialne za tzw. zagrożenie ąpaniami stropowymi, do których dochodzi w wyniku deformacji tych warstw, przed frontem eksploatacji. Zasięgi tych deformacji są zmienne i zależą m.in. od prędkości przemieszczania się frontu eksploatacji. Pękająca lub rozwarstwiająca się warstwa wstrząsogenna generuje wstrząs sejsmiczny, którego energia uwarunkowana jest wieloma czynnikami i zależy m.in. od grubości i wytrzymałości warstwy.

Odległość pomiędzy ogniskiem wstrząsu a ąpnięciem, należy do grupy parametrów ąpnięć określanych mianem skutków. Zasięg reakcji górotworu eksploatowanego na określonej głębokości w otoczeniu warstw wstrząsogennych, w wyniku pod- i/lub nadebrania pokładami oraz wielkość i prędkość postępu wydobywania, powoduje jego reakcję w postaci przemieszczania skał do wybranych przestrzeni roboczych. Przejawem ich oddziaływania są deformacje statyczne i dynamiczne. Te w postaci zniszczeń, zawaleń lub uszkodzeń wyrobisk górniczych, są wynikiem wpływu energii sejsmicznej wstrząsów, które je powodują, a ich zasięg i odległość od hipocentrum wstrząsu, wskazują na określony mechanizm i charakter aktywności sejsmicznej danego rejonu.

### 1.1. Wykaz skrótów

$A$	– współczynnik skośności,
$cov(x,y)$	– kowariancja pomiędzy parametrami $x$ i $y$ ,
$d_{50}$	– mediana,
$d_s(x,y)$	– różnica rang parametrów $x$ i $y$ ,
$E$	– wartość oczekiwana,
$F_x(x), F_y(y)$	– dystrybuanty parametrów $x$ i $y$ ,
$Ht$	– głębokość eksploatowanego pokładu, w którym odnotowano skutki ąpnięć,
$H_{ww}$	– grubość warstwy wstrząsogennej,
$H_{os}$	– minimalna odległość od pokładu pomiędzy ogniskiem ąpnięcia i jego skutkiem,
$IQR$	– rozstęp kwartylny,
$n$	– liczność parametrów,

$Q_d$	– kwartył dolny,
$Q_g$	– kwartył górny,
$r^2, r_s^2$	– współczynnik determinacji,
$r(x,y), r$	– współczynnik korelacji liniowej Pearsona pomiędzy parametrami $x$ i $y$ ,
$r_s(x,y), r_s$	– współczynnik korelacji rangowej Spearmana pomiędzy parametrami $x$ i $y$ ,
$R_x, R_y$	– rangi parametrów $x$ i $y$ ,
$SD$	– odchylenie standardowe,
$t$	– wartość rozstrzygającą o istotności korelacji liniowej,
$t_{kr}$	– wartość krytyczna korelacji liniowej.
$t_s$	– wartość rozstrzygającą o istotności korelacji rangowej,
$\bar{x}$	– średnia arytmetyczna,
$\bar{x}, \bar{y}$	– średnie arytmetyczne z wyników parametrów,
$x_i, y_i$	– $i$ -te wyniki parametrów,
$Z$	– wartość krytyczna korelacji rangowej,
$\sigma_x, \sigma_y$	– odchylenie standardowe z wyników parametrów $x$ i $y$ .

## 1.2. Metodyka obliczeń

W statystycznej obróbce wartości wybranych trzech parametrów przyczyn i skutków łąpięć, wykorzystano miary tendencji centralnej (mediana, średnia arytmetyczna), rozproszenia (odchylenie standardowe, rozstęp) i kształtu rozkładu (współczynnik skośności i spłaszczenia). Aby scharakteryzować obszar zmienności parametrów łąpięć, określono rozstęp kwartylny (1). Aby określić stopień asymetrii rozkładu badanych właściwości wokół ich średniej, wyznaczono współczynnik skośności (2):

$$IQR = Q_g - Q_d \quad (1)$$

$$A = 3 \cdot \frac{\bar{x} - d_{50}}{SD} \quad (2)$$

Określono współczynnik korelacji liniowej wybranych parametrów charakteryzujących miejsca w których doszło do łąpięć. Do analiz wykorzystano współczynnik Pearsona:

$$r(x, y) = \frac{cov(x, y)}{\sigma_x \cdot \sigma_y} \quad (3)$$

przy czym:

$$cov(x, y) = E(x \cdot y) - [E(x) \cdot E(y)] \quad (4)$$

Zgodnie ze wzorem (5) obliczono współczynnik korelacji liniowej Pearsona oraz siłę związków korelacyjnych.

$$r = \frac{\frac{1}{n} \sum x_i y_i - \bar{x} \bar{y}}{\sigma_x \cdot \sigma_y} \quad (5)$$

Wyznaczono współczynnik determinacji (6) oraz wartość  $t$  rozstrzygającą o istotności korelacji (7). Wartość  $t$  porównano z wartością krytyczną  $t_{kr}$ , określoną z rozkładu t-Studenta o liczbie stopni swobody  $\nu = n - 2$  i poziomie istotności  $\alpha = 0,05$  ( $t_{kr}(\alpha = 0,05, \nu = n - 2)$ ). Warunkiem istotności korelacji było spełnienie zależności (8).

$$r^2 = \frac{\sum (\hat{y}_i - \bar{y}_i)^2}{\sum (y_i - \bar{y}_i)^2} \quad (6)$$

$$t = \sqrt{n-2} \frac{r}{\sqrt{1-r^2}} \quad (7)$$

$$|t| > |t_{kr}| \quad (8)$$

Korelacja rangowa Spearmana polegała na wyznaczeniu współczynnika korelacji, liczonego dla rang badanych parametrów tąpnięć według zależności:

$$r_s(x, y) = \text{cov}(F_x(x), F_y(y)) \quad (9)$$

Obliczenia oparto na różnicy rang (10), które przyporządkowano poszczególnym wartościom zmiennych parametrów. Współczynnik Spearmana obliczono z zależności (11), siłę korelacji określono według Guilforda (1956).

$$d_s(x, y) = Rx_i - Ry_i \quad (10)$$

$$r_s = 1 - \frac{6 \cdot \sum d_s^2}{n(n^2 - 1)} \quad (11)$$

Dla każdego badania korelacyjnego określono wartość współczynnika  $t_s$ . Wyznaczono wartość krytyczną z zależności (13) dla dużej próby ( $Z(\alpha = 0,05, \nu = n - 2)$ ) oraz przeprowadzono test istotności współczynnika rang Spearmana. Warunkiem spełnienia istotności korelacji było uzyskanie niezerowej hipotezy istotności współczynnika  $r_s$ , o której decydowała zależność (14).

$$t_s = r_s \sqrt{\frac{n-2}{1-r_s^2}} \quad (12)$$

$$Z = \frac{r_s}{\sqrt{\frac{1}{n-1}}} \quad (13)$$

$$|t_s| > |Z| \quad (14)$$

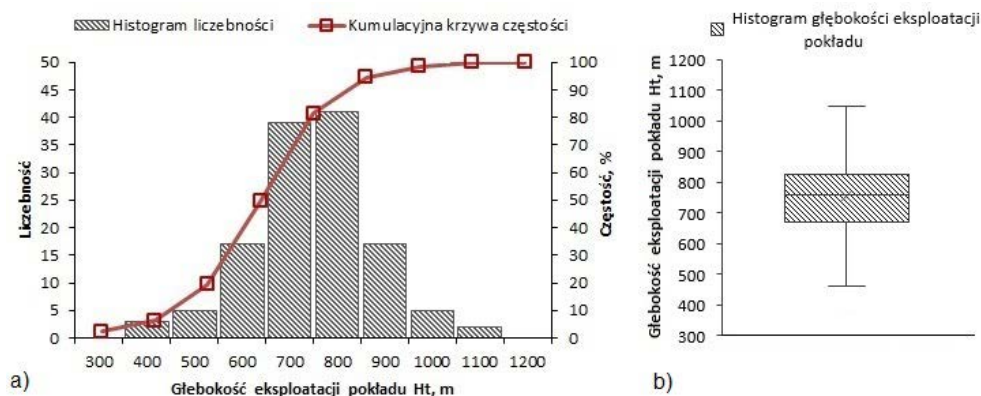
Wartości odstające i ekstremalne w poszczególnych grupach parametrów ustalono z przedziałów:

$$W_o \notin [Q_d - 1,5 \cdot IQR, Q_g + 1,5 \cdot IQR] \quad (15)$$

### 1.3. Analiza statystyczna

W celu oceny warunków geologicznych w kopalniach GZW wyselekcjonowano trzy mierzalne i najbardziej istotne parametry  $Ht$ ,  $Hww$ ,  $Hos$ , charakteryzujące rejony zaistniałych 129 przypadków tąpnięć, odnotowanych w latach 1989–2009 (Patyńska 1993–2016).

Średnia głębokość eksploatowanego pokładu ( $Ht$ , m) wynosiła 755 m, a rozstęp – 750 m. Wartość środkowa (mediana) była bardzo zbliżona do wartości średniej i wynosiła 760 m. Histogram, przedstawiony na rysunku 1a oraz niska wartość współczynnika zmienności, wskazywały na rozkład wartości tego parametru zbliżony do rozkładu normalnego. Rozkład głębokości pokładu jest niemal idealnie symetryczny, o czym świadczy współczynnik skośności bliski zeru. Najistotniejszy udział tąpnięć, nieuwzględniający wartości odstających i ekstremalnych, mieścił się w zakresie głębokości 480–970 m. Rozstęp kwartylny, obejmujący połowę tych wartości wyniósł jedynie 150 m, a współczynnik spłaszczenia (kurtoza) przyjął małą wartość. Świadczy to o dużej koncentracji charakteryzowanych wartości wokół średniej.

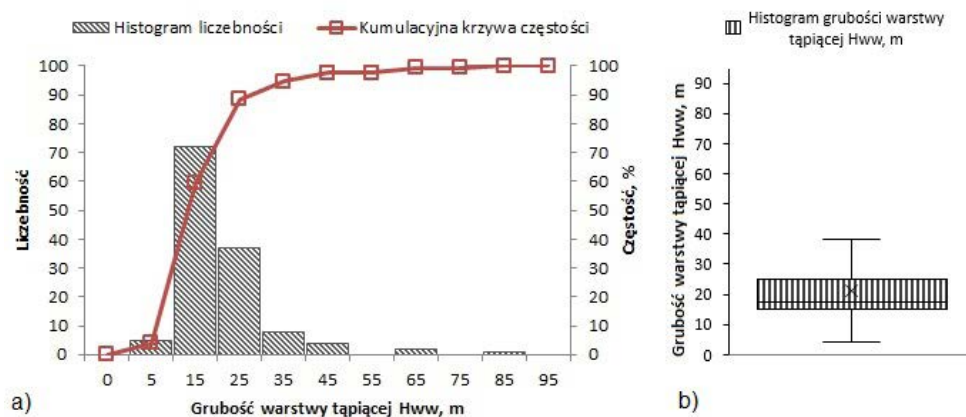


Rys. 1. Histogram parametru głębokości eksploatacji pokładu  $Ht$   
a) histogram liczebności na tle krzywej częstości; b) histogram skrzynkowy wartości parametru

Fig. 1. The histogram of the depth of the seam exploitation  $Ht$   
a) a numerical histogram against a frequency curve, b) a box plot of the parameter values

Grubości warstwy tąpającej ( $Hww$ , m) z rozpatrywanych obszarów kopalń miały bardzo duży rozrzut, od ponad 85 do 4 m. Histogram zaprezentowany na rysunku 2 oraz wartości kwartylny

i ich niewielki rozstęp kwartylny (9,8 m) wskazały jednak, że większość zmierzonych grubości warstwy tąpnięcej (bez wartości odstających i ekstremalnych) wyniosło pomiędzy 4 a 39 m, a połowa ich wartości mieściła się w zakresie pomiędzy 25 a 15 m. Większa wartość współczynnika zmienności oraz współczynnika spłaszczenia wskazują na rozkład wartości znacznie odbiegający od normalnego. Rozkład wykazał prawostronną asymetrię, co świadczy o niewielkim udziale procentowym warstw o grubości powyżej 25 m. Średnia wartość grubości warstwy tąpnięcej wyniosła 21 m, natomiast jej wartość środkowa (mediana) 17,5 m.



Rys. 2. Histogram parametru grubości warstwy tąpnięcej  $H_{ww}$   
 a) histogram liczebności na tle krzywej częstości; b) histogram skrzynkowy wartości parametru

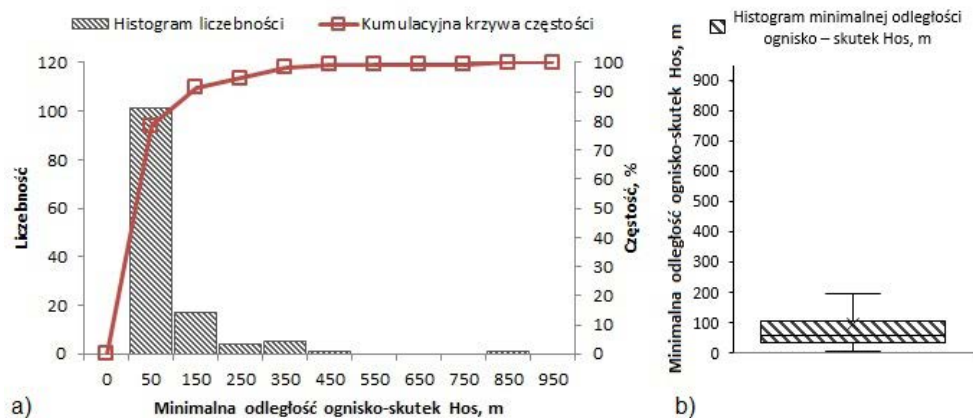
Fig. 2. The histogram of the thickness of the tremor-prone layer  $H_{ww}$   
 a) a numerical histogram against a frequency curve, b) a box plot of the parameter values

Należy nadmienić, że określona dla tego parametru średnia arytmetyczna jest porównywalna z miąższością warstw wstrząsogennych, wymienianą w Kompleksowej ocenie stanu Zagrożenia Tąpnięciami w Metodzie Rozeznania Górnictwa (Instrukcja 20 2007), jako wartość minimalna 20 m.

Średnia wartość minimalnej odległości ognisko-skutek ( $H_{os}$ , m) wyniosła 87,5 m, a wartość środkowa 50 m. Podobnie jak w przypadku  $H_{ww}$ , zaobserwowano duży rozrzut wartości oraz rozkład znacznie odbiegający od normalnego. W przeważającej większości przypadków, nieuwzględniając wartości odstających i ekstremalnych, minimalna odległość ognisko-skutek wynosiła od 1 do 190 m, a połowa tych wartości (rozstęp kwartylny) mieściła się pomiędzy 95 a 30 m. Dodatnia wartość skośności oraz wysoka wartość kurtozy świadczą o braku symetrii wyników i o rozkładzie prawostronnie asymetrycznym. Wartości obliczonych danych statystycznych zaprezentowano w tabeli 1.

Na rysunkach 4, 5, 6 przedstawiono graficzne rozkłady rozpatrywanych parametrów, które poddano kolejno badaniom korelacyjnym.





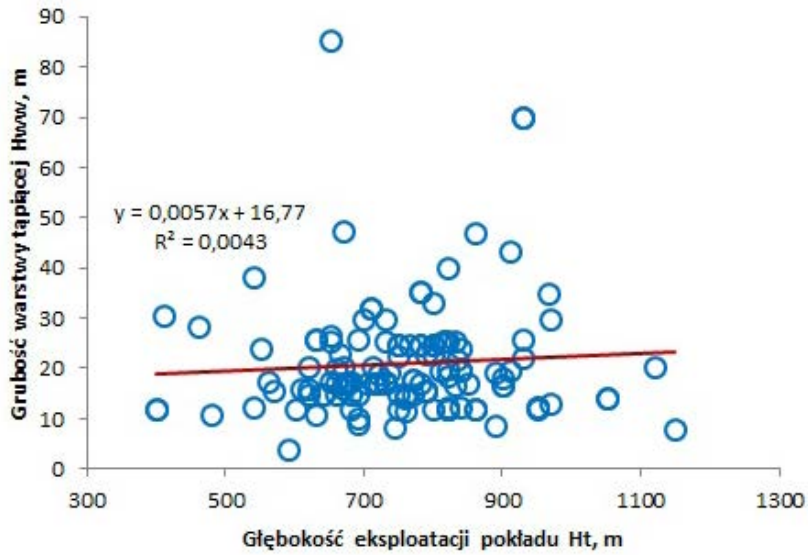
Rys. 3. Histogram parametru minimalna odległość ognisko-skutek *Hos*  
 a) histogram liczebności na tle krzywej częstości; b) histogram skrzynkowy wartości parametru;

Fig. 3. The histogram of the minimal distance between the focus and the effect *Hos*  
 a) a numerical histogram against a frequency curve, b) a box plot of the parameter values

TABELA 1. Zestawienie analizy statystycznej parametrów tąpnięć zaistniałych w latach 1989–2009

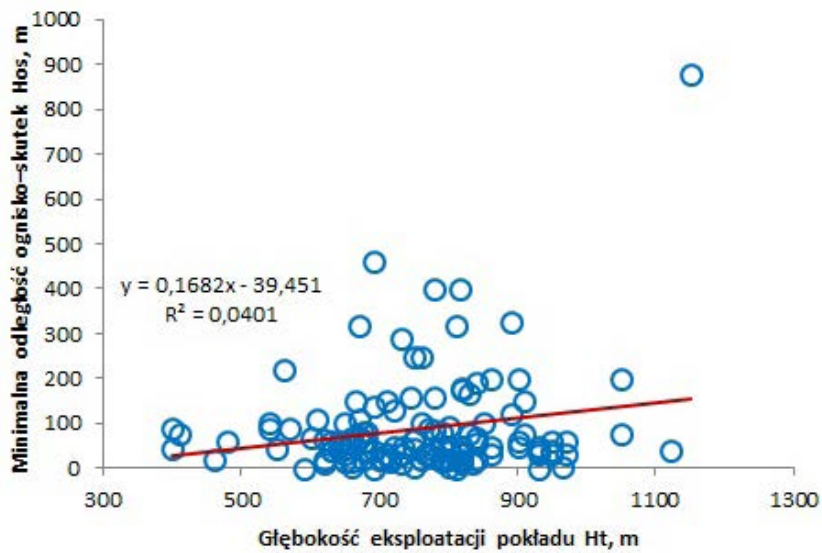
TABLE 1. The statistical analysis of the parameters of rockburst which occurred in the years 1989–2009

Parametr	Głębokość eksploatacji pokładu <i>Ht</i> [m]	Grubość warstwy Tąpnięcej <i>H<sub>ww</sub></i> [m]	Minimalna odległość ognisko – skutek <i>Hos</i> [m]
Liczność	129	129	129
Maksimum	1150	85,5	880
Kwartył górny	820	24,8	95
Mediana	760	17,5	50
Kwartył dolny	670	15	30
Minimum	400	4	1
Rozstęp kwartylny	150	9,8	65
Średnia arytmetyczna	755	21	87,5
Rozstęp	750	81,5	879
Odchylenie standardowe	133,1	11,5	111,7
Skośność	0,02	2,81	3,76
Kurtoza	0,81	11,13	20,43
Współczynnik zmienności	0,18	0,55	1,28



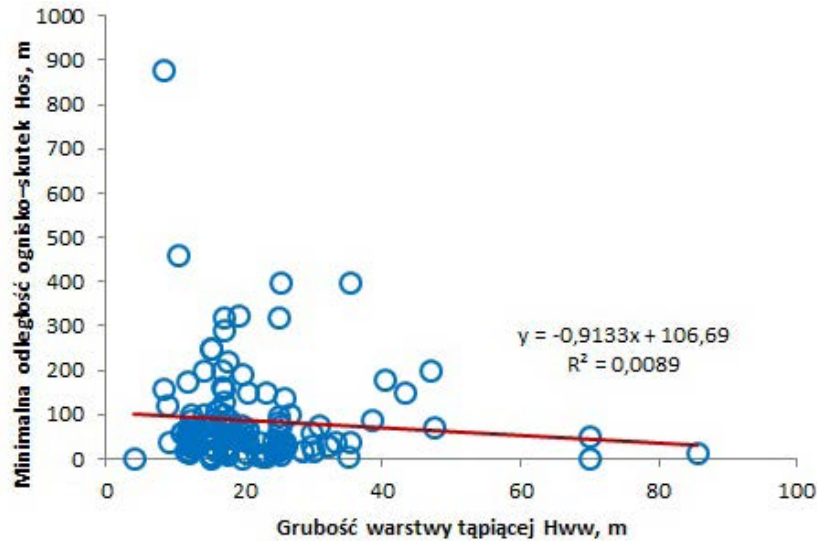
Rys. 4. Korelacja parametrów: głębokości eksploatacji pokładu  $H_t$  i grubości warstwy tąpniącej  $H_{ww}$

Fig. 4. Correlation of parameters: seam exploitation depth  $H_t$  and the thickness of the tremor-prone layer  $H_{ww}$



Rys. 5. Korelacja parametrów: głębokości eksploatacji pokładu  $H_t$  i minimalnej odległości ognisko-skutek  $H_{os}$

Fig. 5. Correlation of parameters: seam exploitation depth  $H_t$  and the minimal distance between the focus and the effect  $H_{os}$



Rys. 6. Korelacja parametrów: minimalnej odległości ognisko-skutek  $Hos$  i grubości warstwy tąpnięcej  $Hww$

Fig. 6. Correlation of parameters: the minimal distance between the focus and the effect  $Hos$  and the thickness of the tremor-prone layer  $Hww$

#### 1.4. Korelacja liniowa Pearsona

Korelacje liniowe cech: głębokości eksploatacji pokładu w zestawieniu z grubością warstwy tąpnięcej ( $Ht - Hww$ ) oraz minimalnej odległości ognisko-skutek w zestawieniu z grubością warstwy tąpnięcej ( $Hos - Hww$ ) charakteryzowały się niezerowym współczynnikiem korelacji liniowej Pearsona  $r$ , który przybiera wartości z zakresu  $-1 < r < 1$ . Wartości tego współczynnika ( $|r| < 0,2$ ) wskazały na brak związku liniowego w zestawieniach tych parametrów. Po porównaniu wartości współczynnika  $t$  z wartością krytyczną  $t_{kr}$  określono istotność korelacji wspomnianych parametrów, której warunkiem było spełnienie zależności (8). Dla rozpatrywanych zestawień parametrów ( $Ht - Hww$ ,  $Hos - Hww$ ) zależność ta nie została spełniona.

Cecha głębokości eksploatacji pokładu w zestawieniu z minimalną odległością pomiędzy ogniskiem a skutkiem ( $Ht - Hos$ ) wstrząsu powodującego tąpnięcia uzyskała współczynnik korelacji większy od zera. Siła związków korelacyjnych ( $0,2 < |r| < 0,4$ ) wykazała słabą korelację. Wartość współczynnika  $t$  porównana z wartością krytyczną  $t_{kr}$ , określaną z rozkładu  $t$ -Studenta spełniła warunek istotności korelacji.

Wartości obliczeń korelacji liniowej cech: głębokości eksploatacji pokładu ( $Ht$ ), grubości warstwy tąpnięcej ( $Hww$ ) i minimalnej odległości pomiędzy ogniskiem a skutkiem wstrząsu ( $Hos$ ) z 129 miejsc, w których nastąpiło tąpnięcie, została przedstawiona w tabeli 2.

Badania korelacyjne wyznaczone dla wszystkich kombinacji parametrów wykazały, że siła ich korelacji liniowej jest słaba lub zerowa. Potwierdzono tym samym, że wytypowane

TABELA 2. Korelacja liniowa Pearsona parametrów tąpnięć

TABLE 2. The Pearson linear correlation of the rockburst parameters

Parametry	$r$	$r^2$	Siła korelacji	$t$	$t_{kr}$	Warunek istotności korelacji
$Ht - H_{ww}$	0,065	0,0043	brak	0,737	1,979	niespełniony
$Ht - Hos$	0,201	0,0401	słaba	2,304	1,979	spełniony
$Hos - H_{ww}$	-0,094	0,0089	brak	1,068	1,979	niespełniony

parametry należą do innych grup określanych mianem tzw. przyczyn i skutków zagrożenia tąpnięciami. To także oznacza, że choć wytypowane parametry wskazują na bardzo istotny ich udział, dla zaistnienia niebezpiecznych warunków mogących powodować zagrożenie zjawiskiem tąpnięcia, należy je analizować indywidualnie.

### 1.5. Korelacja rangowa Spearmana

Dla wartości zmiennych parametrów  $Ht - H_{ww}$  i  $Ht - Hos$ , współczynnik korelacji  $r_s$  przyjął wartości z zakresu  $0 < |r_s| < 0,1$ , co świadczy o nikłej korelacji rang tych parametrów. Korelacja rang parametrów: minimalnej odległości ognisko-skutek w zestawieniu z grubością warstwy tąpniącej ( $Hos - H_{ww}$ ) uzyskała współczynnik  $r_s = -0,102$ . Wskazuje to na słabą korelację tych cech ( $0,1 \leq |r_s| < 0,3$ ). Wszystkie trzy badania korelacyjne wykazały niezerową hipotezę istotności współczynnika  $r_s$ , której warunkiem było spełnienie zależności (14). Wyniki badań korelacyjnych rang Spearmana przedstawiono w tabeli 3.

TABELA 3. Korelacja rangowa Spearmana parametrów tąpnięć

TABLE 3. The Spearman rank correlation of the rockburst parameters

Parametry	$r_s$	$r_s^2$	Siła korelacji	$t$	$Z$	Warunek istotności korelacji
$Ht - H_{ww}$	0,048	0,0023	nikła	0,956	0,305	spełniony
$Ht - Hos$	0,031	0,0009	nikła	0,613	0,196	spełniony
$Hos - H_{ww}$	-0,102	0,0096	słaba	-1,966	-0,625	spełniony

Po odrzuceniu wartości odstających i ekstremalnych w każdym parametrze, przeprowadzono powtórne badanie korelacyjne Spearmana, którego wyniki prezentuje tabela 4. W zestawieniu parametrów  $Ht - H_{ww}$  rozpatrzono 114 przypadków tąpnięć, natomiast w zestawieniach  $Ht - Hos$  oraz  $Hos - H_{ww}$  – po 109. Poszczególnym wynikom parametrów tąpnięć przypisano nowe rangi i dokonano powtórnych obliczeń. Wyznaczone współczynniki korelacji  $r_s$  uzyskały nieznacznie większe wartości, świadczące o wzroście ich współzależności. Ostatecznie nie wpłynęło to jednak na ocenę istotności korelacji.

TABELA 4. Korelacja rangowa Spearmana wyselekcjonowanych wartości parametrów tąpnięć

TABLE 4. The Spearman rank correlation of selected rockburst parameter values

Parametry	$r_s$	$r_s^2$	Siła korelacji	$t$	$Z$	Warunek istotności korelacji
$Ht - H_{ww}$	0,055	0,0031	nikła	1,037	0,331	spełniony
$Ht - Hos$	-0,051	0,0026	nikła	-0,940	-0,300	spełniony
$Hos - H_{ww}$	-0,127	0,0161	słaba	-2,347	-0,744	spełniony

Przeprowadzając dwustopniową korelację rangową wykazano, że siła korelacji rangowej analizowanych parametrów tąpnięć jest nikła i słaba, nawet po usunięciu wartości odstających i ekstremalnych. Wyselekcjonowane do badań parametry reprezentują grupy czynników geologicznych i górniczych istotnych z punktu widzenia oceny zagrożenia tąpnięciami, ale nie wykazują wzajemnej zależności nieliniowej pomiędzy ich wartościami.

### Podsumowanie i wnioski

Parametry określone w 129 przypadkach, gdzie w latach 1989–2009 odnotowano tąpnięcia, umożliwiły częściowe scharakteryzowanie warunków geologiczno-górniczych w tąpniących kopalniach GZW. Przeprowadzona analiza statystyczna oraz siła wzajemnych zależności liniowych i rangowych umożliwiła stwierdzenie:

1. Głębokość rozpatrywanych pokładów ( $Ht$ ), w których odnotowano tąpnięcia, wynosiła średnio 755 m, przy czym w 121 na 129 miejsc, wartość głębokości mieściła się w zakresie 480–970 m. Rozkład głębokości był bardzo zbliżony do rozkładu normalnego, co wskazuje na dużą koncentrację badanych wartości wokół średniej.
2. Grubości warstwy tąpniącej ( $H_{ww}$ ) z rozpatrywanych obszarów kopalń miały bardzo duży rozrzut, ale większość wartości (122 pomiarów) mieściło się w zakresie 4–39 m. Udział procentowy warstw o grubości powyżej tego zakresu był bardzo niewielki. Średnia grubość warstwy tąpniącej wyniosła 21 m i jest porównywalna z wartością „krytyczną” wynoszącą 20 m, wymienianą w MRG jako czynnik wpływu warstw wstrząsogennych na wzrost stanu zagrożenia tąpnięciami.
3. Średnia wartość minimalnej odległości ognisko-skutek ( $Hos$ ) wyniosła 87,5 m. Miała duży rozrzut wartości oraz rozkład znacznie odbiegający od normalnego. W przeważającej większości przypadków (115 pomiarów) mieściła się w zakresie 1–190 m.
4. Wykazano brak korelacji liniowej oraz nikłą korelację rangową pomiędzy głębokością eksploatacji pokładu i grubością warstwy tąpniącej ( $Ht - H_{ww}$ ). Dla parametrów minimalnej odległości ognisko-skutek i grubości warstwy tąpniącej ( $Hos - H_{ww}$ ) określono słabą korelację rangową. Dla parametrów głębokości eksploatacji pokładu i minimalnej odległości pomiędzy ogniskiem a skutkiem wstrząsu ( $Ht - Hos$ ) wykazano słabą korelację liniową oraz nikłą korelację rangową.

5. Dowiedziono, że współzależność parametrów  $H_t$ ,  $H_{ww}$  i  $H_{os}$  w aspekcie przyczyny i skutków zaistnienia zjawiska tąpnięcia nie istnieje lub jest bardzo niska. Uwzględniając ten fakt, udział każdego z nich w zaistnieniu zjawiska tąpnięcia należy rozpatrywać indywidualnie.

Przeprowadzone analizy zmierzające do oceny zmienności wybranych parametrów charakteryzujących środowisko, w którym występują tąpnięcia, pozwoliły ocenić przedziały ich wartości. Kwantyfikacja parametrów wskazuje, że tylko niektóre z nich mogą być przydatne dla analiz prognostycznych. Wynika to zarówno z ich liczebności w analizowanym zbiorze tąpnięć, jak i ich oceny statystycznej.

Mając na uwadze obowiązującą instrukcję (*Instrukcja Nr 20 2007*) podkreślić należy, że wyniki analiz uzasadniają eliminację z przedmiotowej metody (MRG) takich czynników jak fakt występowania tąpnięć oraz potrzebę wprowadzenia do tablicy czynników nowych bądź korekty wartości istniejących. Zebrane dane wskazują na potrzebę podniesienia roli parametrów charakteryzujących ośrodek skalny pod względem mechanicznym oraz czynników, które stanowią o rzeczywistym utrudnieniu prowadzenia rytmicznej eksploatacji (uskoki, bliskie sąsiedztwo mocnych warstw wstrząsogennych, zbyt mała bądź zbyt duża wysokość eksploatacji).

Wprowadzone zmiany wyróżniają i wzmacniają jedynie te parametry, które z punktu widzenia mechanizmów powstawania zagrożenia oraz wyników analiz statystycznych w istotny sposób wyróżniają się na tle innych, np. parametry mechaniczne węgla, grubość i odległość warstw sprężystych od eksploatowanego pokładu, duże uskoki, wysokość eksploatacji.

## Literatura

- Dubiński, J. i Konopko, W. 2000. *Tąpnięcia-ocena-prognoz-zwalczanie*. Katowice: Wyd. GIG.
- Goszcz, A. 1988. Wpływ niektórych czynników technologicznych na stan zagrożenia wstrząsami górnictwami i tąpnięciami. *Publikacje Instytutu Geofizyki Polskiej Akademii Nauk M-10* (213), s. 141–153.
- Guilford, J.P. 1956. *Fundamental Statistics in Psychology and Education*. New York: Wyd. McGraw-Hill.
- Instrukcja Nr 20, 2007 – Zasady stosowania metody kompleksowej i metod szczegółowych oceny stanu zagrożenia tąpnięciami w kopalniach węgla kamiennego. Katowice: Wyd. GIG.
- Konopko, W. 1987. Głębokość eksploatacji a zagrożenia tąpnięciami. *Przegląd Górniczy* nr 11/12.
- Konopko, W. 1994. Doświadczalne podstawy kwalifikowania wyrobisk górniczych w kopalniach węgla kamiennego do stopni zagrożenia tąpnięciami. *Prace Naukowe GIG* nr 795, Katowice.
- Konopko, W. 2006. *Wyrobiska–nie pokłady–zagrożone tąpnięciami*. Podstawy nowelizacji przepisów. Bezpieczeństwo pracy i ochrony środowiska w górnictwie. Nr 8.
- Konopko, W. i Patyńska R. 2008. Warunki występowania tąpnięć w kopalniach węgla kamiennego. *Przegląd Górniczy* nr 1, s. 12–17.
- Patyńska, R. 1993–2016. *Zagrożenie tąpnięciami. Raport roczny o stanie podstawowych zagrożeń naturalnych i technicznych w górnictwie węgla kamiennego*. Praca zbiorowa, Katowice: Wyd. GIG.
- Patyńska, R. 2006. Modyfikacja metody rozeznania górnictwa dla oceny stanu zagrożenia tąpnięciami w Zakładach Górniczych. *XIII Międzynarodowa Konferencja Nauk-Tech. Górnicze Zagrożenia Naturalne 2006*, nt.: Głębokość eksploatacji a zagrożenia górnicze. Katowice: Wyd. GIG, s. 257–268.
- Patyńska, R. 2008. Uwarunkowania górnictwo-geologiczne eksploatacji pokładów zagrożonych tąpnięciami w latach 1987–2007. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi – Mineral Resources Management* t. 24, z. 2/3, s. 227–243.