



Renata PATYŃSKA*, Krystyna STEC**

Aktywność sejsmiczna Górnośląskiego Zagłębia Węglowego a zagrożenie tąpnięciami w latach 2001–2015

Streszczenie: Podziemna eksploatacja górnictwa złóż węgla w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym (GZW) powoduje naruszenie równowagi w rozkładzie naprężeń górotworu, zarówno w bezpośrednim, jak i dalszym otoczeniu wyrobisk górniczych. Konsekwencją tego procesu jest między innymi występowanie wstrząsów sejsmicznych. Intensywność zjawisk sejsmicznych, które występują w kilku rejonach GZW (niecce bytomskiej, siódle głównym, niecce głównej, niecce kazimierzowskiej oraz niecce jejkowickiej) jest bardzo zróżnicowana, począwszy od wstrząsów niewyczuwalnych przez ludzi, do silnych o charakterze słabych trzęsień Ziemi (Patyńska i Stec 2017). W okresie obejmującym 15 lat, tj. 2001–2015, poziom aktywności sejsmicznej ulegał zmianom i zależał zarówno od intensywności eksploatacji, jak i od zmienności budowy litologicznej i tektonicznej.

Analiza sejsmiczności górotworu kopalń węgla kamiennego na Śląsku wykazała, że w ostatnich latach, pomimo zmniejszenia wydobycia ogółem, aktywność sejsmiczna i zagrożenie tąpnięciami wzrosły. Jedną z przyczyn był wzrost wydobycia z pokładów zagrożonych tąpnięciami. Prawie połowa wydobycia pochodziła z pokładów zaliczonych do zagrożonych tąpnięciami. Skutkowało to zwiększeniem liczby wysokoenergetycznych wstrząsów o energiach rzędu 10^7 , 10^8 i 10^9 J. Wykazano, że wielkość energii wstrząsów ma duży wpływ na poziom zagrożenia tąpnięciami. W latach 2001–2015 wystąpiło aż 20 tąpnięć spowodowanych wstrząsami o energii sejsmicznej powyżej 10^7 J z 42 zjawisk ogółem (Patyńska 2002–2016). Celem scharakteryzowania przyczyn tego zjawiska określono parametry, charakteryzujące budowę strukturalną górotworu w miejscach, w których odnotowano tąpnięcia.

Słowa kluczowe: aktywność sejsmiczna, zagrożenie tąpnięciami, parametry strukturalne, kopalnia węgla kamiennego

The seismic activity of mines in the Upper Silesian Coal Basin and rockburst hazard in the years 2001–2015

Abstract: The underground mining of coal deposits in the Upper Silesian Coal Basin (GZW) results in an imbalance in the distribution of the stress in the rock mass, both in the immediate and distant surroundings of mining excavations. The occurrence of seismic tremors, among others, is the consequence of this process. The intensities of seismic phenomena, which occur in several regions of the GZW (Bytomian Basin, Main Saddle, Main Basin,

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

** Dr hab. inż., prof. GIG, Zakład Geologii i Geofizyki, Główny Instytut Górnictwa

Kazimierzowska Basin, and the Jejkowice Basin) are very diverse, ranging from tremors unrecognizable by humans to strong tremors of the nature of weak earthquakes (Patyńska and Stec 2017). During the period of 15 years, i.e. from 2001 to 2015, the level of seismic activity changed and depended on both the intensity of the excavation work and the variability of the lithological and tectonic structures.

On the other hand, the seismic activity analysis has shown that in recent years, despite a decrease in total output, seismic activity and rockburst hazard have increased. One of the reasons was the increase in mining output. Almost half of the output came from coal seams under the rockburst hazard. This resulted in an increase in the number of great energy tremors with the energy of 10^7 , 10^8 and 10^9 J. It has been shown that the amount of energy tremors has a high impact on the level of the rockburst hazard. Between 2001 and 2015, as many as 20 rockburst were caused by seismic tremors above 10^7 J with 42 total phenomena (Patyńska 2002–2016). The purpose of characterizing the causes of this phenomenon was determined by the parameters characterizing the structure of the rock mass in places where the rockburst was recorded.

Keywords: seismic activity, rockburst hazard, structural parameters, coal mine

Wprowadzenie

Górnictwo polskie charakteryzuje się wysokim poziomem aktywności sejsmicznej indukowanej działalnością górniczą dlatego też, dla właściwej oceny zagrożenia wstrząsami, a w szczególności zagrożenia tąpnięciami, niezbędne jest wszechstronne rozpoznanie zarówno strukturalnych cech górotworu, jak i parametrów górniczych rejonów związanych bezpośrednio ze skutkami wstrząsów, które spowodowały tąpnięcia.

Wstrząsy sejsmicznie występują w rejonach o zróżnicowanych warunkach geologiczno-górniczych (Patyńska 2001; Konopko i Patyńska 2008). Ogniska wstrząsów koncentrują się przede wszystkim:

- w strefach aktualnie prowadzonej eksploatacji, bez względu na stopień zaangażowania tektonicznego,
- przed frontem eksploatacji, w przypadku gdy eksploatacja prowadzona była w strefie zaangażowanej tektonicznie, przy czym wśród nich wystąpiły wstrząsy o wysokich energiach sejsmicznych,
- w starych zrobach i rejonach niedawno prowadzonej eksploatacji w przypadku sąsiedztwa znacznych obszarów starych zrobów,
- w starych zrobach w strefach zaangażowanych tektonicznie oraz na uskockach, o zrzućtach co najmniej kilku metrów, gdy w jednym ze skrzydeł prowadzona jest eksploatacja;
- poza obszarami prowadzonej eksploatacji w strefach struktur tektonicznych.

Jedne z pierwszych badań dotyczące istnienia związku między geomechaniczną strukturą górotworu a zagrożeniem sejsmicznym indukowanym robotami górniczymi prowadził J. Dubiński (1992). W celu określenia stanu struktury geomechanicznej oraz jej zmian zastosował sejsmiczną technikę pomiarową połączoną z tomograficznym odwzorowaniem pola prędkości rozchodzenia się fal sejsmicznych. Wyniki dołowych pomiarów sejsmicznych prowadzonych w celu wyprzedzającego rozpoznania geotechnicznej struktury górotworu przed frontem ścianowym wykazały wyraźny związek tej struktury z charakterem aktywności sejsmologicznej.

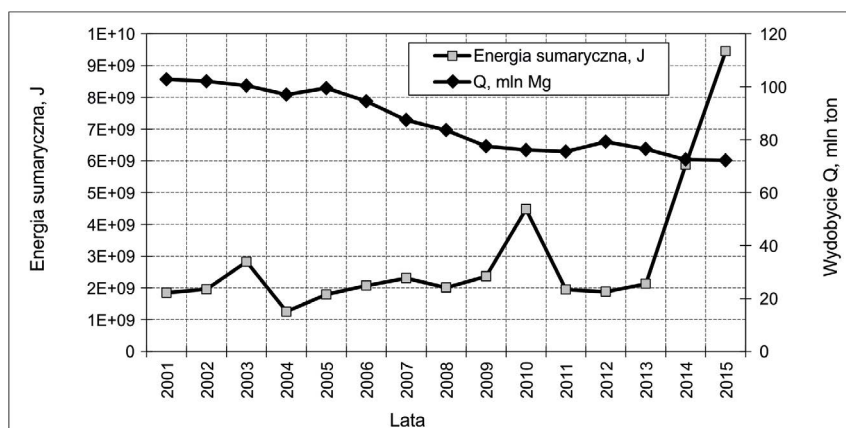
Próbie korelacji parametrów zuskokowania obszarów niecki bytomskiej i siodła głównego z parametrami aktywności sejsmicznej przeprowadzili G. Sagan i W. Zuberek (1986). Na podstawie analizy związków statystycznych między wskaźnikami budowy tektonicznej a wskaźnikami aktywności sejsmicznej wykazali ścisłe zależności między obydwo-

wiskami (bez i z uwzględnieniem wielkości zrzutu), wynikające przede wszystkim z liczby wstrząsów oraz z wielkości wyzwolonej energii sejsmicznej. Badania te wykazały, że wysokoenergetyczne zjawiska sejsmiczne, ale rzadkie koncentrują się w pobliżu uskoków, zaś niskoenergetyczne ale częste związane są głównie z eksploatacją.

Szczegółowe badania dotyczące cech strukturalnych górotworu w sąsiedztwie tąpnięć zostały przeprowadzone przez R. Patyńską (2001, 2008). Wykazały one, że dla przypadku eksploatacji pokładów węgla w rowie tektonicznym złożonym z dwóch uskoków z uwagi na zagrożenie tąpnięciami bezpieczniej jest najpierw prowadzić eksploatację po obu stronach uskoków, a następnie między nimi. Kluczowym problemem, przed którym stoi od lat nauka i praktyka górnicza jest postęp w identyfikowaniu bezpośrednich przyczyn zaistnienia tąpnięcia, szczególnie w fazie dotyczącej powstania impulsu dynamicznego związanego z wstrząsem sejsmicznym. Wówczas można prowadzić bardziej skuteczne działania profilaktyczne przeciwdziałające tąpnięciom. Zjawiska sejsmiczne i związane z nimi zagrożenie tąpnięciami w danym polu eksploatacyjnym jest bowiem determinowane szeregiem czynników naturalnych i technicznych, z których dominujące to parametry wytrzymałościowe węgla i skał otaczających, parametry strukturalne górotworu oraz wielkości naprężeń w otoczeniu wyrobisk. Parametryzacja rejonów występowania wstrząsów sejsmicznych powodujących tąpnięcia pozwoli na wytypowanie tych cech górotworu, które dotyczą uwarunkowań górniczogeologicznych eksploatacji jak i oceniają charakter przyczyn i skutków aktywności sejsmicznej w otoczeniu wyrobisk górniczych.

1. Aktywność sejsmiczna Górnośląskiego Zagłębia Węglowego a zagrożenie tąpnięciami w latach 2001–2015

W okresie obejmującym lata 2001–2015 poziom aktywności sejsmicznej w kopalniach węgla kamiennego, pomimo stałej tendencji spadku wydobywania był zróżnicowany. Rozkład energetyczno-ilościowy sumarycznej energii wstrząsów górotworu ($\geq 10^5$ J), które wystąpiły w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym oraz wydobywania przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Rozkład sejsmiczności kopalń węgla kamiennego na tle wydobywania

Fig. 1. Distribution of the seismicity of hard coal mines against the total output

Aktywności sejsmicznej występującej w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym towarzyszą tąpnięcia należące do najbardziej niebezpiecznych zjawisk, jakie mają miejsce w podziemnych kopalniach.

Ogólne zestawienie liczby wstrząsów i tąpnięć oraz spowodowanych nimi wypadków, rozmiary uszkodzonych wyrobisk, ogólną wielkość wydobywania węgla oraz wydobywania z pokładów zagrożonych tąpnięciami przedstawiono w tabeli 1 (Patyńska i Stec 2017).

Z danych wynika, że w 2001 roku wystąpiło 1137 wstrząsów i 3 tąpnięcia, w kolejnych dwóch latach widoczny jest wzrost liczby wstrząsów, ale porównywalna liczba tąpnięć. W 2003 roku wystąpiły 1524 zjawiska i 4 tąpnięcia, jednak w kolejnym roku zaznaczył się wyraźny spadek liczby wstrząsów – wystąpiły tylko 973 wstrząsy, ale 3 tąpnięcia. Kolejny wzrost liczby wstrząsów miał miejsce w 2005 roku (1451 wstrząsów, 3 tąpnięcia) ale w latach 2006–2009 widoczna jest znów tendencja spadkowa. Jednak liczba tąpnięć pozostała na porównywalnym poziomie. W 2008 roku pomimo stosunkowo małej liczby wstrząsów (917) wystąpiło aż 5 tąpnięć. W 2010 roku wystąpiło około o 1/3 więcej wstrząsów w stosunku do roku 2009, ale tylko 2 tąpnięcia.

TABELA 1. Zestawienie wydobywania węgla, wstrząsów wysokoenergetycznych, tąpnięć oraz skutków tąpnięć w kopalniach GZW w latach 2001–2015

TABLE 1. Summary of coal mining output, high-energy tremors and the effects of tremors in mines of Upper Silesian Coal Basin in the years 2001–2015

Rok	Wydobycie ogółem	Wydobycie z pokładów zagrożonych tąpnięciami		Liczba wstrząsów $E \geq 1,0E+05$ J	Liczba tąpnięć	Wypadki spowodowane tąpnięciami		Długość zawałonych i uszkodzonych wyrobisk [m]
	mln t	mln t	%			śmiertelne	pozostałe	
2001	102,8	37,6	37	1 137	3	2	19	723
2002	102,1	42,2	41	1 324	4	3	17	540
2003	100,4	41,8	42	1 524	4	2	16	255
2004	96,99	39,2	40	973	3	0	11	358
2005	99,5	41,0	41	1 451	3	1	12	270
2006	94,5	42,6	45	1 172	4	4	20	>510
2007	87,4	44,6	51	939	3	0	16	530
2008	93,6	41,9	45	917	5	0	26	710
2009	77,5	34,3	44	772	1	0	5	101
2010	76,1	35,8	47	1 206	2	2	12	117
2011	75,5	34,2	45	1 034	4	1	6	168
2012	79,2	37,6	47	1 022	1	1	2	380
2013	76,5	36,9	48	1 427	1	0	5	163
2014	72,5	36,0	50	1 765	1	0	0	550
2015	72,2	37,1	51	1 322	2	2	2	1 276,6

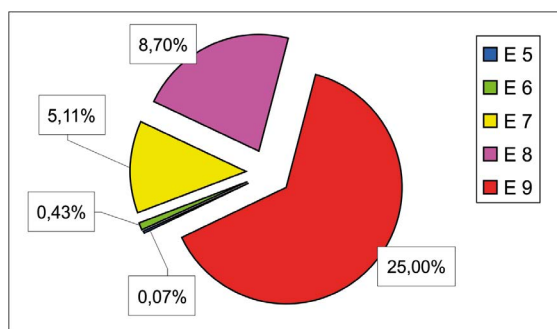
Natomiast w kolejnych latach 2011–2012 wystąpił znów stopniowy spadek liczby wstrząsów, głównie w klasie energetycznej rzędu 10^5 J, co wpłynęło na zmniejszenie ogólnej liczby wstrząsów. Wystąpiły w tych latach 2 i 4 tąpnięcia. Lata 2013 i 2014 to wzrost liczby wstrząsów. Miały miejsce kolejno 1427 i 1765 wstrząsów. Liczba 1765 była maksymalną w całym piętnastolecu.

W 2015 roku wystąpiło o 443 wstrząsy mniej w stosunku do 2014 roku. Zauważa się, że w ostatnich latach wzrosła liczba wstrząsów o najwyższych energiach rzędu 10^7 , 10^8 i 10^9 . Średnia liczba wstrząsów o energii 10^7 J w latach 2001–2013 wynosiła 17 a w roku 2014 wystąpiło 64 zjawiska tego rzędu.

W całym 15-letnim okresie występowały rocznie jeden lub dwa wstrząsy o energii rzędu 10^8 J z wyjątkiem roku 2011, w którym miały miejsce trzy zjawiska i w roku 2014, w którym wystąpiło aż 5 wstrząsów o tej energii. W latach 2008 i 2010 wystąpiło po jednym wstrząsie o energii rzędu 10^9 J, a w 2015 dwa wstrząsy o tej energii. W ostatnich latach analizowanego okresu wystąpiło również jedno lub dwa tąpnięcia.

Dane w tabeli 1 wskazują również, że w ostatnich latach, pomimo zmniejszenia wydobycia ogółem względem 2001 roku, wydobycie z pokładów zagrożonych tąpnięciami wzrosło. Prawie połowa wydobycia pochodziło z pokładów zaliczonych do zagrożonych tąpnięciami. Skutkowało to zwiększeniem liczby wysokoenergetycznych wstrząsów o energiach rzędu 10^7 J, 10^8 J i 10^9 J i liczby tąpnięć o energiach powyżej 10^7 J. Najliczniejszą grupę stanowią tąpnięcia o energiach 10^7 J, wśród których odnotowano 17 przypadków, spośród 333 zarejestrowanych wstrząsów. Energię rzędu 10^6 J posiadało 12 tąpnięć. Wstrząsów w tej grupie energetycznej wystąpiło 2801. W grupie 14 824 wstrząsów o energii 10^5 J wystąpiło 10 tąpnięć. Dwa tąpnięcia miały energię 10^8 J na 23 zarejestrowane wstrząsy. W okresie analizy obejmującym 15 lat z czterech wstrząsów o energii 10^9 J jeden spowodował tąpnięcie. Pomimo dużej liczby wstrząsów o energii 10^5 J tąpnięcia w tej grupie stanowiły tylko 0,07%.

Spośród 42 tąpnięć odnotowanych w latach 2011–2015, aż 20 przypadków spowodowały wstrząsy o energii powyżej 10^7 J. W wyniku tych zdarzeń, uszkodzeniu uległo prawie 3995,6 m wyrobisk górniczych, zginęło 18 osób i 169 uległo wypadkom. Dla lepszego zobrazowania tych danych statystycznych przedstawiono na rysunku 2-procentowy udział tąpnięć w danej grupie energetycznej wstrząsów.



Rys. 2. Procentowy udział tąpnięć w przedziałach energetycznych wstrząsów o energii od 10^5 do 10^9 J
Źródło: Stec 2002–2016

Fig. 2. Percentage of tremors in the intervals of energy shock energy of 10^5 to 10^9 J

2. Tąpnięcia a kierunki osłabienia w górotworze

Wstrząsy sejsmiczne, w wyniku których dochodzi do tąpnięć, stanowią jedno z podstawowych zagrożeń bezpieczeństwa pracy i ciągłości wydobywania. Do najbardziej niebezpiecznych zalicza się wstrząsy ze skutkami w postaci zniszczeń wyrobisk oraz wypadków (ciężkich oraz śmiertelnych) górników przebywających w ich zasięgu. Dlatego też rozpoznanie uwarunkowań górniczo-geologicznych eksploatacji, jak i cech strukturalnych górotworu w rejonie występowania tąpnięć jest niezwykle ważne w aspekcie predykcji tego zagrożenia. Analiza oparta na danych m.in. z Raportu nt. zagrożenia tąpnięciami z lat 2001–2015 (Patyńska 2002–2016, 2008) pozwoliła na szczegółowe scharakteryzowanie warunków zaistnienia tych groźnych dla eksploatacji górniczej zjawisk.

Charakterystyczna dla tąpnięć wysokość wyrobisk wynosiła 2,0–6,0 m, przy czym w większości, bo w 30 przypadkach, skutki stwierdzono w otoczeniu ścian (tj. w chodnikach przyścianowych oraz przecinkach ścianowych). Pozostałe 12 tąpnięć wystąpiło w wyrobiskach chodnikowych drażonych lub istniejących, niezwiązanych bezpośrednio z robotami eksploatacyjnymi.

Skutki w postaci uszkodzonych wyrobisk lub ich zniszczenia wystąpiły w 27 ścianach zawałowych i 3 ścianach podsadzkowych.

Analiza wpływu uskoków lokalnych znajdujących się najbliżej miejsc skutków tąpnięć pozwala na następujące stwierdzenia:

- 28 tąpnięć zlokalizowano w strefach uskoków lokalnych o zrzutach dochodzących do kilkunastu metrów (<12 m),
- 12 tąpnięć zaistniało w sąsiedztwie dużych uskoków (charakterystycznych dla struktury tektoniki pierwotnej), o zrzutach dochodzących do 200 m,
- 2 tąpnięcia nie dotyczyły sąsiedztwa uskoków.

Charakterystyka miejsc tąpnięć na podstawie zebranych materiałów opisowych i map górniczych, pozwala na usystematyzowanie usytuowania frontu robót (ścian lub chodników) względem najbliższego uskoku. Stąd jednoznaczna ocena dotycząca zaliczania frontów do skrzydeł wiszących lub zrzuconych, a określona na podstawie zalegania płaszczyzn uskokowych w ich bezpośrednim otoczeniu. Odnotowano 17 przypadków, w których front robót górniczych znajdował się w skrzydle zrzuconym, natomiast w skrzydle wiszącym zaistniało 19 tąpnięć. W 2 przypadkach tąpnięcia nie były związane z uskokami. Cztery tąpnięcia spowodowały skutki w ścianach, w których front pól ścianowych znajdował się w otoczeniu zarówno uskoku wiszącego, jak i zrzuconego.

Kierunek eksploatacji frontem robót oraz kierunek najbliższego uskoku w przypadku 13 tąpnięć pokrywały się. W 18 przypadkach tąpnięcia zaistniały wtedy, kiedy fronty dochodziły do stref uskokowych, tylko 4 tąpnięcia odnotowano przy odchodzeniu od uskoku oraz 2 zdarzenia w sytuacji przechodzenia frontami robót górniczych, stref uskokowych.

Analizowane tąpnięcia w otoczeniu czynnych frontów robót, wystąpiły w określonych odległościach od najbliższych stref uskokowych. I tak skutki tych zdarzeń zaistniały:

- do 5 m – zaistniało 5 tąpnięć,
- 20–90 m – zaistniało 11 tąpnięć,
- 100–160 m – zaistniało 12 tąpnięć,
- 200–250 m – zaistniało 7 tąpnięć,

- 300–450 m – zaistniało 4 tąpnięcia,
- >800 m – zaistniało 1 tąpnięcie.

W 2 przypadkach brak jest dokładnych danych odnoszących się do odległości miejsca położenia front-uskok.

Z powyższego zestawienia wynika, że 23 tąpnięcia (co stanowi 55% rozpatrywanych) spowodowały skutki w wyrobiskach w odległości do 100 m od płaszczyzny najbliższego uskoku. W odległości od uskoku wynoszącej od 120 do 200 m, było 9 tąpnięć oraz 27 tąpnięć w odległości powyżej 220 m.

Odnosząc te dane do danych literaturowych należy nadmienić, że 14 tąpnięć zaistniało w odległości uskok – skutki wynoszącej 40 m, co stanowi ok. 33% udziału wszystkich analizowanych przypadków. Analogicznie w odległości 50 m zaistniało 17 tąpnięć, tj. 40%.

Już pierwsze obliczenia numeryczne wykonane przez zespół T. Majcherczyk, A. Tajduś, M. Cała (1994), dowiodły wpływu płaszczyzn osłabionej spoiwości ze szczególnym uwzględnieniem uskoków, na wzrost zagrożenia wstrząsami i tąpnięciami. Zasadniczo wykazano istnienie wyraźnego wpływu uskoku na stan naprężeń w stropowych warstwach piaskowca występującego w sąsiedztwie wyrobisk. Stwierdzono także, że koncentracja naprężeń może doprowadzić do nagłego zniszczenia warstwy piaskowca połączonego z wyzwoleniem energii i w efekcie tąpnięciem. Z obliczeń numerycznych wynikało, że w przyjętych warunkach geologiczno-górnictwowych strefy maksymalnych koncentracji naprężeń, a tym samym największego zagrożenia tąpnięciami, występują w odległości do około 40 m od uskoku.

Analizy przeprowadzone dla potrzeb tego artykułu potwierdziły prognozy. Ponadto dane statystyczne wskazują, że przy odległości frontów robót zlokalizowanych od uskoku do 40 m, na 14 tąpnięć aż 9 zaistniało w otoczeniu ścian, co stanowi około 65%.

Konfrontacja wzajemnego układu uskok-front ścian w odległości do 50 m pomiędzy nimi, pozwala także na kolejny wniosek. Ponieważ przeciętny wybieg ścian w kopalniach węgla kamiennego wynosi 600–700 m, z rocznych raportów o zagrożeniu tąpnięciami (Patyńska 2002–2016) wynika, że częstotliwość występowania tąpnięć w otoczeniu frontów ścian (31 zdarzeń) jest około trzykrotnie większa niż w otoczeniu chodników (11 tąpnięć).

Kolejny parametr to kąt upadu uskoków, wynoszący od 75–90°, średnio 85°.

Z map pokładów, w których wystąpiły tąpnięcia wynika, że uskoki w 22 przypadkach miały rozciągłość południkową, w pozostałych 18 – równoleżnikową. Dwa tąpnięcia odnotowano w osi dna niecki. Generalnie rozciągłość uskoków w większości przypadków była zgodna z kierunkiem łupności złoża.

Na podstawie analizy górotworu w otoczeniu zaistniałych skutków tąpnięć, stwierdzono, że najbezpieczniejszą dla eksploatacji jest rozciągłość łupności, której kąt w płaszczyźnie poziomej w stosunku do linii frontu wynosi 51–70° i/lub 11–20°.

Z oceny wielkości kąta zawartego między linią frontu a najbliższym uskokiem (tab. 2) wynika, że kąt zawarty między linią frontu ściany lub przodka wyrobiska chodnikowego a płaszczyzną uskoku lokalnego jest najbardziej niebezpieczny, gdy ma wartość pomiędzy 41–50°. W zasadzie kąt około 45° odpowiada udziałowi 31% tąpnięć. Najmniejszą liczbę tąpnięć wykazuje przedział o kącie 51–80°, z czego można wnosić, że wraz ze wzrostem kąta front-uskok maleje liczba tąpnięć. Im kąt front-uskok mniejszy, tym większe prawdopodobieństwo wystąpienia tąpnięcia.

Ocena wpływu odległości skutków tąpnięć od ognisk wstrząsów prowadzi do wniosku, że im odległość mniejsza, tym więcej tąpnięć. Stan taki wynika z zasięgu oddziaływania

TABELA 2. Zależność liczby tąpnięć od wartości kąta układu front robót górniczych-uskok

TABLE 2. Dependency of the number of rockbursts from the angle of the mining works front-fault angle

Wartość kąta front-uskok [°]	<10	11–20	21–30	31–40	41–50	51–60	61–70	71–80	81–90	Brak uskoku
Liczba tąpnięć	4	5	7	2	13	2	2	2	3	2

aktywności sejsmicznej ogniska przyjmowanego w obliczeniach jako „punkt” oraz z własności i właściwości parametrów geologiczno-górnictwowych górotworu.

Z zestawienia zasięgów skutków w zależności od energii wstrząsu, który spowodował dane tąpnięcie, wynika skala analizowanego zjawiska. Skutki w postaci zniszczeń i/lub uszkodzeń wyrobisk w przedziałach od 101 m do ponad 1200 m, dotyczą tąpnięć spowodowanych wstrząsami sejsmicznymi rzędu $2 \cdot 10^5$ – $4 \cdot 10^9$ J (tab. 1).

W tabeli 3 wynika także, że spośród 42 tąpnięć aż 31 zaistniało w odległości < 100 m pomiędzy epicentrum ogniska wstrząsu i jego skutkiem, co stanowi 74 % wszystkich tąpnięć zaistniałych w latach 2001–2015.

TABELA 3. Liczba tąpnięć w klasach odległości od ogniska wstrząsów

TABLE 3. The number of rockbursts from the distance of the tremors and its effects

Odległość [m]	<25	26–50	51–100	101–150	151–200	>200
Liczba tąpnięć w funkcji odległości ognisko-skutek	7	10	14	4	4	3
Liczba tąpnięć w funkcji odległości uskok-ognisko	8	5	9	6	2	9
Liczba tąpnięć w funkcji odległości uskok-czynny front	7	4	10	6	6	7

Na podstawie danych dotyczących tąpnięć zaistniałych w kopalniach węgla kamiennego w latach 2001–2015, można stwierdzić prawidłowość, co do usytuowania epicentrum wstrząsu, którego odległość wpływa znacząco na liczbę tąpnięć. Im odległość ogniska bliższa linii frontu oraz strefy uskokowej, tym większa liczba wstrząsów, zwłaszcza ze skutkami w postaci tąpnięć w tym zniszczeń i/lub uszkodzeń wyrobisk zlokalizowanych do 100 m.

Dane parametrów tąpnięć wskazują także, że najbardziej niebezpieczne są lokalizacje frontów ścian w odległości do około 40 m od uskoku, kiedy kąt pomiędzy linią frontu robót oraz płaszczyzną uskoku wynosi około 4–50°.

Usytuowanie linii frontu eksploatacji względem kierunków płaszczyzn osłabionej spistości (łupności) oraz stref uskokowych wpływa zarówno na wzrost zagrożenia wstrząsami, jak i tąpnięciami.

Znajomość struktury górotworu w połączeniu z działalnością górnictwem, umożliwiającą optymalne i bezpieczne rozcięcie i eksploatację złoża, jest ważna szczególnie w pobliżu stref uskokowych. Można przypuszczać, że dokładne poznanie tektoniki, w połączeniu z właściwie zaprojektowaną profilaktyką, pozwolą na ograniczenie oraz zmniejszenie energii generowanych wstrząsów. Przy prowadzeniu eksploatacji na dużych głębokościach, w warunkach dużych wartości naprężeń tektonicznych, pomocne jest formowanie odpowiedniej strefy spękań wokół wyrobisk górniczych, zwłaszcza z uwzględnieniem pierwotnej struktury górotworu, przy dochodzeniu frontów eksploatacji do uskoku.

Przeprowadzone analizy parametryzacji górotworu, w którym odnotowano tąpnięcia, wskazują na niewątpliwą rolę pierwotnej i wtórnej strefy spękań na intensywność tego zjawiska.

W wyniku procesów tektonicznych pierwotne formy zalegania złóż skalnych uległy zakłóceniom (Pawłowicz 1966), wytworzyły się bowiem w nich sfałdowania, spękania, uskoki, intruzje. Spękania powstały w wyniku działania dużych naprężeń rozciągających lub ścinających, które nie zawsze muszą ujawniać się w postaci szczelin.

W praktyce górniczej jest możliwa jakościowa i ilościowa parametryzacja górotworu w zasięgu uskoku, które m.in. charakteryzują: kąt kierunkowy rozciągłości, kąt upadu powierzchni uskoku oraz wysokość zrzutu uskoku, tzn. pionowa odległość skrzydeł. Uskoki występują przeważnie w zespołach, tworząc rozległe strefy uskoku. Dla praktyki oznacza to, że jeżeli wyrobiskiem górnictwem napotka się na nieudokumentowany dotychczas uskoku, można z dużym prawdopodobieństwem przewidzieć jego przebieg, przypisując go do jednego z wyżej wymienionych systemów.

Podsumowanie

Dane statystyczne przedstawione w pracy wykazały związek występowania uskoku oraz powierzchni osłabienia spójności z zagrożeniem sejsmicznym i tąpnięciami. Ustalenia te wykonano w oparciu o analizę protokołów 42 tąpnięć zaistniałych w kopalniach węgla kamiennego GZW w latach 2001–2015. Na tej podstawie można sformułować następujące prawidłowości:

1. Spośród 42 analizowanych tąpnięć 23 zdarzenia (co stanowi 55% rozpatrywanych) spowodowało skutki w wyrobiskach w odległości do 100 m od najbliższego uskoku.
2. Aż 14 tąpnięć zaistniało w odległości uskoku – skutki wynoszącej 40 m, co stanowi około 33% udziału wszystkich analizowanych przypadków. Analogicznie w odległości 50 m zaistniało 17 tąpnięć, tj. 40%.
3. Maksymalną liczbę 28 tąpnięć zlokalizowano w strefach uskoku lokalnych o zrzutach dochodzących do kilkunastu metrów (<12 m).
4. W skrzydłach wiszących stref uskoku zaistniało 19 tąpnięć. W 17 przypadkach front robót górniczych znajdował się w skrzydle zrzuconym.
5. Tylko w 2 przypadkach tąpnięcia nie były związane z uskokami.
6. W 18 przypadkach tąpnięcia zaistniały wtedy, kiedy fronty robót dochodziły do stref uskoku, tylko 4 tąpnięcia odnotowano przy odchodzeniu od uskoku oraz 2 zdarzenia w sytuacji przechodzenia stref uskoku frontami robót górniczych.
7. Częstotliwość występowania tąpnięć w sąsiedztwie frontów ścian (31 tąpnięć) jest około trzykrotnie większa niż w sąsiedztwie chodników (11 tąpnięć).

8. Kąt zawarty między linią frontu ściany lub przodka a płaszczyzną uskoku lokalnego jest najbardziej niebezpieczny gdy ma wartość pomiędzy 41–50°. Zasadniczo kąt około 45° odpowiada udziałowi 31% tąpnięć.
9. Najmniejszą liczbę tąpnięć wykazuje przedział o kącie 51–80°, z czego można wnosić, że wraz ze wzrostem kąta front-uskok maleje liczba tąpnięć. Im kąt front-uskok mniejszy, tym większe prawdopodobieństwo wystąpienia tąpnięcia.

Przedstawiona analiza może być pomocna przy opracowywaniu projektów eksploatacji i może przyczynić się do poprawy bezpieczeństwa pracy, równocześnie może pozwolić na bardziej właściwy dobór aktywnej profilaktyki tapaniowej do lokalnych warunków geologiczno-górnictwowych.

Literatura

- Dubiński, J. 1992. Związek geomechanicznej struktury górotworu z indukowaną aktywnością sejsmiczną. *IV Konferencja nt.: Postęp naukowy i techniczny w geologii górniczej węgla kamiennego*. Szczyrk, Katowice: SITG, s. 39–42.
- Konopko, W. i Patyńska, R. 2008. Warunki występowania tąpnięć w kopalniach węgla kamiennego. *Przegląd Górniczy* nr 1, s. 12–17.
- Majcherczyk, T., Tajduś, A. i Cała, M. 1994. Wpływ uskoków na stan zagrożenia tapaniami pokładów węgla, *Materiały Sympozjum Naukowo-Techniczne, Tapania '94, nt. Rozwiązanie inżynierskie w problematyce tapani*, Katowice, s. 265–278.
- Patyńska, R. 2001. *Wpływ kierunku eksploatacji pokładów węgla na zagrożenie tapaniami*. Katowice: GIG (praca doktorska).
- Patyńska, R. 2002–2016. *Zagrożenie tapaniami. Raport roczny o stanie zagrożeń naturalnych i technicznych w przemyśle węglowym, ich ocena oraz kierunki ulepszania i profilaktyki*. Katowice: Wyd. GIG.
- Patyńska, R. i Stec, K. 2017. Regional Rockburst Indicator for structural units of Upper Silesian Coal Basin. *Studia Geotechnica et Mechanica* t. 39, z. 2, Wrocław: Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej.
- Patyńska, R. 2008. Uwarunkowania górniczo-geologiczne eksploatacji pokładów zagrożonych tapaniami w latach 1987–2007. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi – Mineral Resources Management* t. 24, z. 2/3, Kraków, s. 227–243.
- Pawłowicz, K. 1966. *Rozkład powierzchni osłabionej spoistości w skałach, metoda oznaczania trwałości i próba klasyfikacji stropów pokładów węgla w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym*. Katowice: Wyd. GIG.
- Sagan, G. i Zuberek, W. 1986. *Analiza związku sejsmiczności z tektoniką i przebiegiem eksploatacji w obszarze górniczym kopalni Polkowice*. Pubs. Inst. Geophys. Pol. Acad. Sc., M-8 (191).
- Stec, K. 2002–2016. *Zagrożenie sejsmiczne. Raport roczny o stanie zagrożeń naturalnych i technicznych w przemyśle węglowym, ich ocena oraz kierunki ulepszania i profilaktyki*. Katowice: Wyd. GIG.