

RENATA PATYŃSKA\*

## Uwarunkowania górniczo-geologiczne eksploatacji pokładów zagrożonych tapaniami w latach 1987–2007

### Wprowadzenie

Podstawą rozważań na temat eksploatacji górniczej w aspekcie uwarunkowań geologicznych i górniczych jest wielkość i charakter zasobów. Istotne znaczenie dla eksploatacji pokładów bazy zasobowej, posiadają w szczególności obszary resztkowe, w rejonach przygranicznych czy też w filarach szybowych likwidowanych.

Na przestrzeni ostatnich dwudziestu lat można było zaobserwować znaczne zmiany w wielkości zasobów, polegające głównie na zmianie ich klasyfikacji, której zasadniczym efektem było pozbycie się zasobów nieprzemysłowych, z punktu widzenia możliwości wydajnościowych stosowanych aktualnie technologii. Pomimo tego w zasobach, znajduje się duży udział pokładów w których istnieją trudne warunki naturalne i górnicze. Do dziś praktyka górnicza nie radzi sobie z wybieraniem wszystkich, nawet udostępnionych zasobów. Eksploatowane są głównie zasoby zaliczone do przemysłowych. Wśród zasobów niezaburzonych tektonicznie istnieją warunki naturalne, mające wpływ często niekorzystny, na procesy technologii eksploatacji. Do nich zaliczyć należy [11]:

- grubość pokładu (1,5–2,0 m;  $\geq 4,5$  m),
- nachylenie pokładu ( $> 100^\circ$ ),
- głębokość zalegania ( $> 700$  m),
- zagrożenie tapaniami,
- zagrożenie metanowe,
- zagrożenie wybuchem pyłu węglowego,
- zagrożenie termiczne.

---

\* Dr inż., Główny Instytut Górnictwa, Katowice; e-mail: r.patynska@gig.katowice.pl

Eksploatacja pokładów węgla prowadzona w GZW przebiega w złożonych warunkach geologiczno-górnictwowych. Konsekwencją tego jest współwystępowanie w kopalniach wielu naturalnych zagrożeń górnictwowych. Dla ich zwalczania stosowane są indywidualne metody prewencji. Skutki stosowania indywidualnych, skutecznych dla danego zagrożenia, metod profilaktyki wielokrotnie nie są obojętne dla innych współwystępujących zagrożeń. W praktyce górnictwowej często wyłania się problem priorytetu w doborze metod profilaktyki dla różnego rodzaju zagrożeń – optymalizacji doboru zestawu najmniej kolizyjnych profilaktyk.

### 1. Uwarunkowania geologiczno-górnictwowe eksploatacji

Do uwarunkowań geologicznych związanych z warunkami zalegania złoża węgla kamiennego należą: głębokość, miąższość (grubość pokładu) i nachylenie, urabialność i własności fizykomechaniczne, charakter skał spągowo-stropowych oraz zmienność i zaburzenia w zaleganiu pokładów [8, 12]. Będące pochodną przytoczonych parametrów warunki górnictwowe, wynikają z eksploatacji, w tym z kolejności wybierania pokładów, obecności zaszczości eksploatacyjnych, występowania zagrożeń naturalnych oraz wymogów ochrony powierzchni. Zasadniczymi elementami decydującymi o warunkach eksploatacji są:

1. Grubość pokładu – jest podstawowym parametrem determinującym wybór systemu eksploatacji. Minimalna miąższość pokładu, w myśl obowiązujących kryteriów bilansowości, powinna wynosić nie mniej niż 1,0 m. Do zasobów przemysłowych zakwalifikowano pokłady o miąższości większej, tj. ponad 1,2 m. Udział zasobów w poszczególnych przedziałach grubości pokładów nie koreluje z wielkością wydobycia w poszczególnych przedziałach wysokości ścian. Najlepsze wyniki uzyskuje się w ze ścian o wysokości 2,0–3,5 m (około 75% wydobycia). Drugi atrakcyjny przedział eksploatacji to wysokość ścian 3,5–4,5 m. Należy jednak nadmienić, że z tego przedziału wysokości pochodzi tylko 5,4% wydobycia. Pokłady cienkie do 1,5 m są prawie całkowicie wyeliminowane z produkcji. Zbyt mało wykorzystywana jest baza zasobowa z przedziałów 1,5–2,0 m oraz powyżej 4,5 m.
2. Nachylenie pokładów – jest czynnikiem geologicznym, który ma zasadnicze znaczenie dla wszelkiego rodzaju robót górnictwowych a przede wszystkim dla robót eksploatacyjnych. Aż 80% całkowitych zasobów operatywnych zalega poziomo bądź o niewielkim nachyleniu do 12°. Nieznaczny jest udział pokładów o nachyleniu powyżej 35°. Pokłady strome stanowią jedynie 0,33% zasobów operatywnych. Generalnie około 1,2 mld ton, czyli 47,2% zasobów operatywnych udostępnionych (na poziomach czynnych i w budowie) zalega w warunkach optymalnych dla eksploatacji. Występują one w pokładach poziomych o miąższości 1,5–3,5 m. Znaczna część zasobów udostępnionych zalegających poziomo występuje w pokładach grubych, powyżej 3,5 m (21,2%).
3. Głębokość zalegania pokładów – to czynnik geologiczny eksploatacji, który stale wzrasta (około 8 m rocznie). Obserwuje się przyrost średniej głębokości eksploatacji z 527 m w 1990 r. do 653 m w 2004 r. i 702 m w roku 2007. Generalnie w roku 2005 aż 92%

wydobycia pochodziło z głębokości powyżej 500 m, w roku 2007 blisko 43% z głębokości powyżej 800 m. Sytuacja ta stwarza pogarszające się warunki w zakresie wzrostu ciśnienia górotworu co ma bezpośredni wpływ na utrzymanie stropu w pokładach.

4. Struktura złoża – to kolejny czynnik utrudniający w znaczącym stopniu produkcję węgla, wynikający ze struktury złóż, jej tektoniki, kształtu pól eksploatacyjnych i innych warunków górniczych, w tym długości wybiegów ścian. Aktualnie wybiegi pól ścianowych wynoszą: do 500 m – 33% ścian, w przedziale od 500 m do 1000 m – 41% ścian, kolejny przedział od 1000 m do 1500 m dotyczy 22% ścian, powyżej 1500 m to 4% ścian. Podane dane dotyczące wybiegów dotyczą stanu w roku 2006 [12]. Nie uwzględniają stanu początkowego, a jedynie stan istniejący. Reasumując należy przyjąć, że około 75% ścian ma wybiegi poniżej 1000 m, w tym 33% ścian poniżej 500 m.

Analizując charakterystykę zasobów można wyodrębnić obszary, w których występują utrudnienia wpływające negatywnie na skuteczną i efektywną eksploatację. Do obszarów tych zaliczyć należy:

- 16,5% zasobów zalegających w pokładach o grubości poniżej 1,5m,
- 25% zasobów zalegających w różnego rodzaju filarach ochronnych,
- 16% zasobów zalegających w pokładach o II i III stopniu zagrożenia tąpnięciami,
- 25% zasobów zalegających w pokładach o III i IV kategorii zagrożenia metanowego,
- 29% zasobów zalegających w podkładach o temperaturze górotworu powyżej 28°.

Są to warunki naturalne, które występują prawie w każdej kopalni równocześnie, stwarzając utrudnienia bezpiecznej eksploatacji górniczej. Należy nadmienić, że w przypadku rezygnacji z eksploatacji zasobów w pokładach cienkich oraz w filarach ochronnych, nasze zasoby zmniejszają się o około 30–40%.

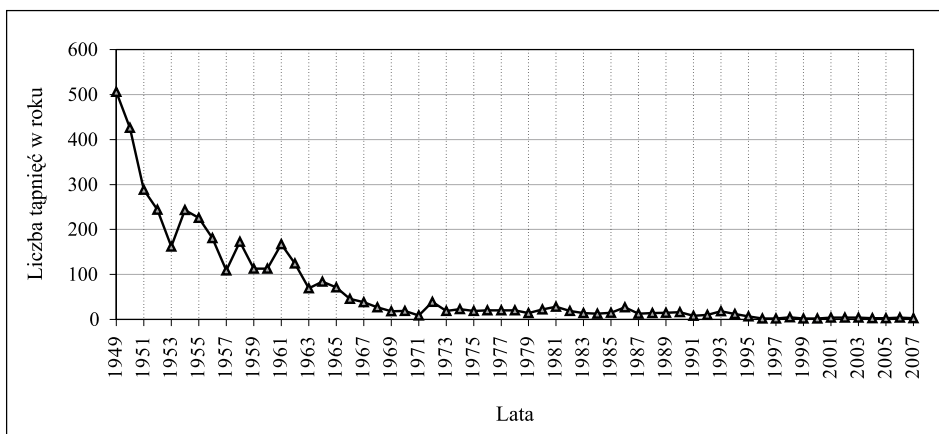
Bezpieczna eksploatacja w pokładach zagrożonych tąpnięciami i wstrząsami górotworu to jeden z warunków funkcjonowania polskiego przemysłu węglowego. W pokładach o II i III stopniu zagrożenia tąpnięciami zalega ponad 16% zasobów przemysłowych, tj. około 600 mln ton. Szczególnie niekorzystny jest wzrost wydobycia z pokładów w III stopniu zagrożenia tąpnięciami. Pomimo tak wysokiego stopnia zagrożenia wstrząsami górotworu, kopalnie osiągają korzystne wskaźniki koncentracji wydobycia z przodków ścianowych. To świadczy o istnieniu i stosowaniu w nich bezpiecznych technologii wybierania, dostosowanych do lokalnych warunków geomechanicznych. Świadczy to także o możliwościach stosowania takich rozwiązań, które pozwalają incydentalnie na uzyskiwanie pożądanych wskaźników koncentracji.

Drugim poważnym ograniczeniem dla wzrostu koncentracji wydobycia z przodka ścianowego jest metanowość kopalń [2]. Aktualnie około 70% wydobycia pochodzi z pokładów metanowych. W latach 2004–2007 spośród 34 kopalń metanowych w 23 kopalniach stosowano techniki i technologie odmetanowania. W pozostałych – metody wentylacyjne.

Warto nadmienić, że na koniec 2006 roku średnie wydobycie z przodka ścianowego o III i IV kategorii zagrożenia metanowego było o 30% wyższe od wydobycia z pokładów tąpających. W stosunku do pokładów nie metanowych i nie tąpających odnotowano spadek wydobycia o około 15%.

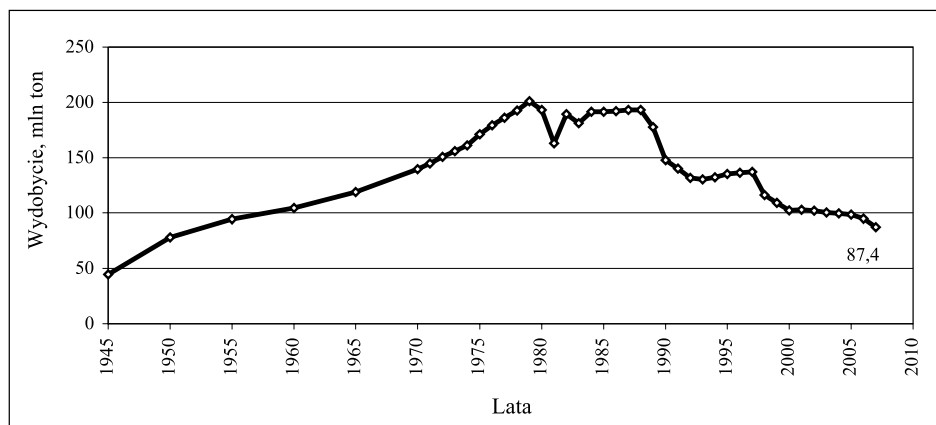
## 2. Skala zagrożenia tąpnięciami w kopalniach GZW

Rozpoznanie przyczyny występowania zwiększonych stanów zagrożenia tąpnięciami pozwala na stwierdzenie, że istotny wpływ na jego zmianę wywiera technika i technologia prowadzenia robót górniczych oraz praktycznie wykorzystywany stan wiedzy z zakresu problematyki tępnięć. Współczesne technologie eksploatacji węgla kamiennego w Polsce stosowane są od przełomu lat sześćdziesiątych i siedemdziesiątych XX wieku. W miarę rozwoju tych technologii i metod ograniczania zagrożenia tąpnięciami – liczba tępnięć w kopalniach węgla kamiennego zmniejszyła się z 39 w roku 1972 do 2–3 w ostatnich latach. W latach 1995–2007 notowano od 2 do 7 tępnięć rocznie (rys. 1). Od roku 1978 produkcja węgla w Polsce stale maleje (rys. 2), jednak pomimo tego w ostatnich latach liczba tępnięć



Rys. 1. Tąpnięcia w latach 1949–2007 w kopalniach węgla kamiennego GZW

Fig. 1. Number of rock bursts in the Silesian hard coal mines in the period 1949–2007



Rys. 2. Produkcja węgla w latach 1945–2007 w kopalniach węgla kamiennego GZW

Fig. 2. Coal output from Silesian hard coal mines in the period 1945–2007

pozostaje na stałym poziomie – 3–4 rocznie w ostatnich 10 latach (rys. 3). Oprócz czynników geologiczno-górnich, wpływ na skalę zagrożenia tapaniami posiadają zarówno niedostatek wyposażenia technicznego stosowanych systemów eksploatacji, jak i niewystarczający poziom wiedzy w zakresie metod prognozy stanu i zwalczania tego zagrożenia.

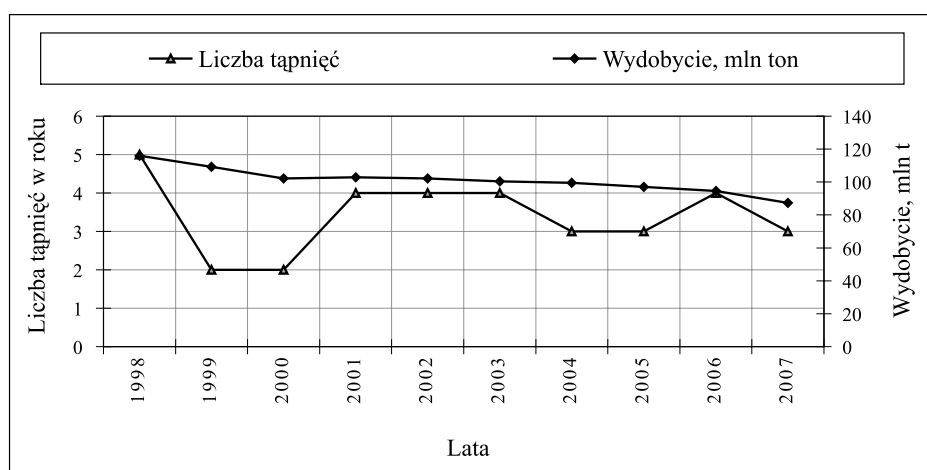
Zagrożenie sejsmiczne i tapaniami występuje w większości polskich kopalń węgla kamiennego. Na jego stan wpływa szereg czynników, z których najważniejsze to [1, 4, 5, 7]:

- grube monolityczne warstwy piaskowców o dużej wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie (60–150 MPa) występujące w stropach pokładów,
- zaszczości eksploatacyjne w postaci resztek, filarów i krawędzi pokładów,
- tektonika złoża (uskoki, łupność),
- eksploatacja resztkowych partii pokładów,
- głębokość prowadzenia robót górniczych i wynikające stąd ciśnienie górotworu,
- naturalna skłonność węgla do tapani (tępliwość układu strop-pokład-spąg).

Zgodnie ze statystyką [9, 11] dokumentującą miejsca i warunki tapani zaistniałych w latach 1998–2007 można stwierdzić, że zjawiskom tym towarzyszyły wstrząsy górotworu o energii  $10^5$ – $10^8$  J. Generowana aktywność sejsmiczna jest niewątpliwie związana z eksploatacją, a w szczególności z koncentracją robót górniczych i wydobywania. Świadczy o tym fakt, że przy stałej tendencji spadku wielkości wydobywania z około 116 mln ton w 1998r. do 87,4 mln ton w 2007r. i zbliżonej w tym okresie liczby tapani od 2–5 w roku (rys. 3), jednostkowy wydatek energetyczny JWE stale się zwiększa (rys. 4).

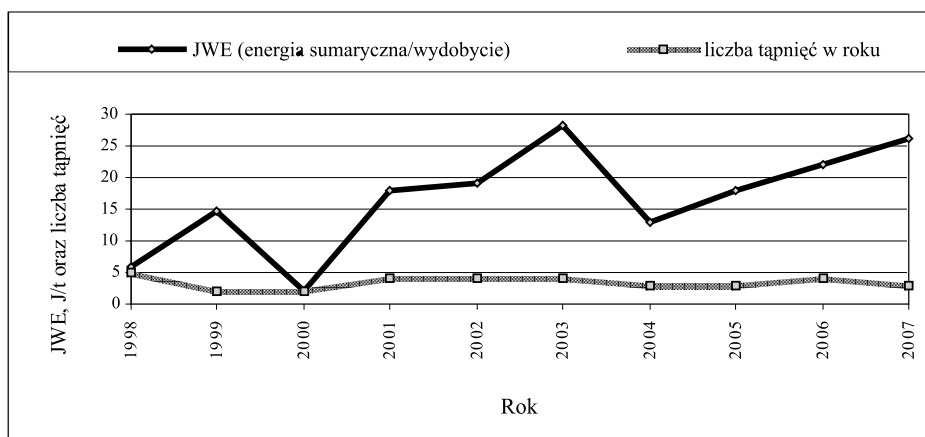
W ostatnich 10 latach odnotowano wzrost aktywności sejsmicznej, która w przeliczeniu na tonę wydobywania zwiększyła się z 6 J/t do 27 J/t. Średnio w tym okresie wyniosła ona 16,7 J/tonę.

Wysoką aktywność sejsmiczną górotworu w GZW potwierdzają również dane statystyczne przedstawione w tabeli 1 [13]. Wspomniany wyżej trend wzrostu sejsmiczności jest



Rys. 3. Wydobywanie w GZW na tle liczby tapani w latach 1998–2007

Fig. 3. Coal output and annual rock bursts number in the period 1998–2007



Rys. 4. Jednostkowy wydatek energetyczny (JWE) dla GZW na tle liczby tąpnięć w latach 1998–2007

Fig. 4. Unit energy release (JWE) for Silesia compared with the number of rock bursts in 1998–2007

szczególnie widoczny w zakresie występowania wstrząsów wysokoenergetycznych, o energiach rzędu  $10^7$ – $10^9$  J. Jest to zjawisko wyjątkowo niekorzystne ze względu na silny związek takich wstrząsów z występowaniem tąpnięć.

Zjawiska tąpnięć są nierozdzielnie związane ze skutkami w wyrobiskach górniczych a często również z wypadkami. Z praktycznego punktu widzenia jest to najbardziej niepożą-

TABELA 1

Aktywność sejsmiczna górotworu GZW w latach 1998–2007 [13]

TABLE 1

Seismic activity of Silesia rock masses in the period 1998–2007 [13]

Rok	Liczba wstrząsów o energii E, J					
	$10^5$	$10^6$	$10^7$	$10^8$	$10^9$	razem
1998	572	86	5	0	0	663
1999	941	183	10	1	0	1 135
2000	877	192	18	1	0	1 088
2001	927	192	18	0	0	1 137
2002	1 135	171	18	0	0	1 324
2003	1 302	193	28	1	0	1 524
2004	845	112	16	0	0	973
2005	1 256	180	14	1	0	1 451
2006	976	168	26	2	0	1 172
2007	833	99	5	1	1	939

dany aspekt zagrożenia tąpnięciami. Prewencja tego zagrożenia, oprócz zapobiegania powstawaniu wstrząsów i tąpnięć, uwarunkowana jest na ograniczanie występowania tych niebezpiecznych ich przejawów. W tabeli 2 podano liczbę tąpnięć i spowodowanych nimi wypadków, wielkości wydobywania (z wyszczególnieniem pokładów zagrożonych tąpnięciami) i rozmiary szkód spowodowanych zaistniałymi tąpnięciami. Liczba wypadków oraz skutki w postaci uszkodzeń wyrobisk górniczych w omawianym okresie utrzymują się na zbliżonym poziomie, a wskaźnik wypadkowości osiągnął wartość średnią 0,14.

Na 34 przypadki tąpnięć (tab. 3) – w wyrobiskach eksploatacyjnych i w chodnikach przyścianowych pozostających w zasięgu wpływów ciśnienia eksploatacyjnego wystąpiło 26 takich zdarzeń. Pozostałe 8 przypadków wystąpiło w wyrobiskach korytarzowych usytuowanych poza strefami ciśnień aktualnie prowadzonej eksploatacji.

TABELA 2

Wydobycie węgla, wstrząsy wysokoenergetyczne oraz skutki tąpnięć w kopalniach GZW w latach 1998–2007

TABLE 2

Coal output, high energy seismic events and resulting rockbursts in the Silesian mines in the years 1998–2007

Rok	Wydobycie ogółem		Wydobycie z pokładów zagrożonych tąpnięciami		Wskaźnik wypadkowości (wypadki/ /wydobywanie)	Liczba tąpnięć	Wypadki spowodowane tąpnięciami		Skutki w wyrobiskach	
	mln ton	% do ogółem	Wskaźnik wypadkowości (wypadki/ /wydobywanie)	śmier- telne			pozostałe (ciężkie i lekkie)	zniszczone i zawałone, [m]	uszkodzone, [m]	
1998	116,0	42,2	36,4	0,14	5	2	14	239	184	
1999	109,2	38,2	35,0	0,03	2	0	3	0	119	
2000	102,2	37,0	36,2	0,00	2	0	0	0	120	
2001	102,8	37,6	36,6	0,20	4	2	19	0	668	
2002	102,1	42,2	41,3	0,20	4	3	17	0	590	
2003	100,4	41,8	40,9	0,18	4	2	16	110	145	
2004	96,99	39,2	39,4	0,11	3	0	11	0	358	
2005	99,5	41,0*	41,2*	0,13	3	1	12	0	270	
2006	94,5	42,15	44,6	0,25	4	4	20	0	ponad 510	
2007	87,4	44,6*	49,43*	0,11	3	0	10	0	530	

\* – dane przybliżone

TABELA 3

Skutki tąpnięć w ścianach i wyrobiskach chodnikowych w GZW w latach 1998–2007

TABLE 3

Rockbursts in the longwalls and roadway working in the GZW in the years 1998–2007

Rok	Liczba tąpnięć	Chodniki z dala od czynnego frontu	Ściany	Chodniki przyścianowe	Ściana wraz z chodnikiem przyścianowym
1998	5	2	1	2	–
1999	2	–	1	–	1
2000	2	2	–	–	–
2001	4	2	–	2	–
2002	4	–	–	4	–
2003	4	1	–	1	2
2004	3	1	–	–	2
2005	3	–	–	–	3
2006	4	–	–	1	3
2007	3	–	–	3	–
Razem	34	8	2	13	11

W tabeli 3 przedstawiono miejsca występowania skutków tąpnięć z punktu widzenia rodzaju wyrobiska oraz jego usytuowania względem strefy oddziaływania ciśnienia eksploatacyjnego. Podział taki uzasadniony jest zróżnicowaniem wartości występujących w otoczeniu tych wyrobisk ciśnień (wytężenia skał) oraz odmiennością ich budowy.

### 2.1. Warunki geologiczno-górnice eksploatacji pokładów zagrożonych tapaniami

Niezależnie od mechanizmu zjawiska, tąpnięcie może zaistnieć wyłącznie w przypadku nałożenia się na siebie pewnych szczególnych warunków geologicznych (spękań, łupności, uskoków, warstw wstrząsogennych) i górniczych (krawędzi i resztek, kierunku prowadzenia ścian pod stropem o łupności wiszącej lub leżącej, w strefie uskoku lub w strefie niezaburzonej, w sąsiedztwie filarów) w których prowadzone są roboty górnicze.

Charakterystyka miejsc tąpnięć na podstawie zebranych materiałów archiwalnych [10] pozwala na usystematyzowanie usytuowania frontu robót (ścian lub chodników) względem nieciągłości górotworu związanych z istnieniem uskoków lokalnych. Najwięcej (ponad 60%) przypadków tąpnięć odnotowano w polach, w których front robót górniczych znajdował się w skrzydle zrzuconym uskoku, a strop wykazywał własności stropu o łupności leżącej w stosunku do kierunków prowadzonej eksploatacji. W nielicznych przypadkach tąpnięcia nie były związane z uskokami.



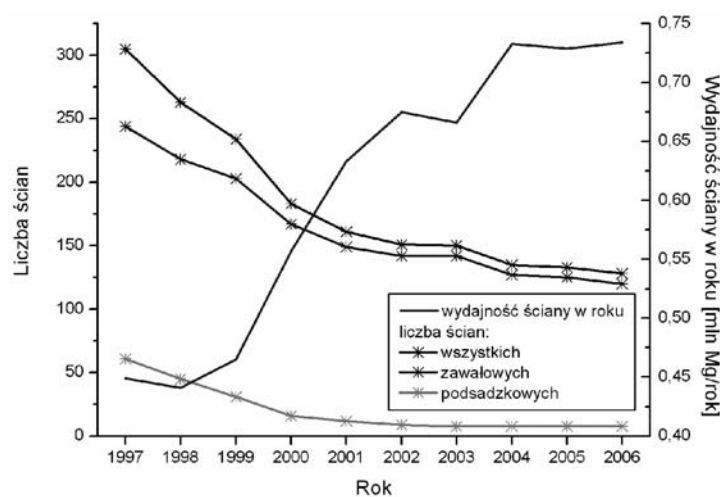
Tąpnięcia głównie powodowały skutki w chodnikach ścian, w których front pól ściannych znajdował się w niewielkiej odległości od płaszczyzn uskokowych (<25 m). Z katalogu tąpnięć [9] wynika również, że w 47% przypadków tąpnięć skutki w wyrobiskach występowały w odległości do 50 m od powierzchni najbliższego uskoku. Z oceny kąta zawartego między linią frontu a najbliższym uskokiem można przyjąć, że im kąt front-uskok był mniejszy, tym większe było prawdopodobieństwo wystąpienia tąpnięcia.

Ocena wpływu odległości skutków tąpnięć oraz ognisk wstrząsów doprowadziła do wniosku, że im odległość mniejsza tym większe skutki tąpnięć [9].

Bieżąca rejestracja aktywności sejsmicznej pozwala między innymi na ocenę zmian dobowych wartości jednostkowych wydatków energetycznych (JWE, J/t) lub wydatków energetycznych (WE, J/m) związanych z postępem przodków. Z danych [10] niezaprzeczalnie wynika, że tuż przed każdym tąpnięciem nastąpiły bardzo wyraźne zmiany (wzrosty lub spadki) dobowych wydatków energetycznych w stosunku do wartości tła aktywności sejsmicznej w analizowanym rejonie.

Pomimo małej liczby tąpnięć i ich skutków (lata 1998–2007), w porównaniu do okresów poprzednich, wielkości te nie wykazują już tendencji spadkowej, a wręcz przeciwnie, można zaobserwować pewną tendencję wzrostu – zwłaszcza w przypadku rejestrowanych wstrząsów sejsmicznych o energiach nie mniejszych od  $10^6$  J. Prawdopodobnie można to wiązać z wielkością wydobycia z pojedynczych przodków i zwiększeniem głębokości eksploatacji.

Poniżej przedstawiono dane dotyczące wydajności ścian na tle ich liczby [14]. Z danych wynika, że pomimo spadku średniorocznej liczby czynnych ścian (zarówno podsadzkowych jak i zawałowych) w kopalniach GZW zaznaczył się wzrost wydajności każdego z pól eksploatacyjnych (rys. 5).



Rys. 5. Liczba ścian eksploatowanych w latach 1997–2006 [14]

Fig. 5. Number of longwalls mining in the period 1997–2007 [14]

### 3. Czynniki warunkujące wystąpienie tąpnięć

Na podstawie Przepisów do prawa geologicznego i górniczego, pokłady zalicza się do I, II bądź III stopnia zagrożenia tapaniami, m.in. wtedy jeżeli zalegają „w górotworze i skałach skłonnych do tapani”. Według Dubińskiego i Konopki [1, 4, 6] ilościowe kryteria kwalifikowania skłonności górotworu do tapani podano w oparciu o równoważnik wytrzymałościowy stropu piaskowcowego, aktywność sejsmiczną lub też w oparciu o charakterystykę wytrzymałościowo-deformacyjną układu strop-pokład-spąg. Zasadniczo w warunkach pokładu i górotworu niezaburzonego tektonicznie, o zagrożeniu tapaniami decydują: stan naprężenia, właściwości mechaniczne pokładu i skał go otaczających oraz sejsmiczność generowana robotami górnictwem. Ta ostatnia jest rezultatem zachodzącej destrukcji podbieranych warstw skalnych o wysokich parametrach wytrzymałościowych, a w szczególności tak zwanych *warstw wstrząsogennych*. Zasadniczo stanowią je grube, monolityczne warstwy piaskowców i/lub iłowców, o odpowiednio wysokiej wytrzymałości i grubości. Zagrożenie tapaniami zwiększa się wraz z głębokością prowadzenia robót [5] i wynikającym stąd zwiększonym stanem naprężenia w górotworze i gradientu jego zmian [1]. Przy ogólnym wysokim naprężeniu tąpnięcia występują przy relatywnie niskich energiach wstrząsów górotworu [6].

Naprężenia w górotworze istotnie mogą różnić się w zasięgu oddziaływania *zrobów* w danym pokładzie lub w pokładach wyżej zalegających i w zasięgu oddziaływania *krawędzi* zależnej również od pionowej i poziomej odległości od wyrobiska [1, 6]. Szczególnie niekorzystne – ze względu na zagrożenie tapaniami – jest sumowanie się wpływów krawędzi.

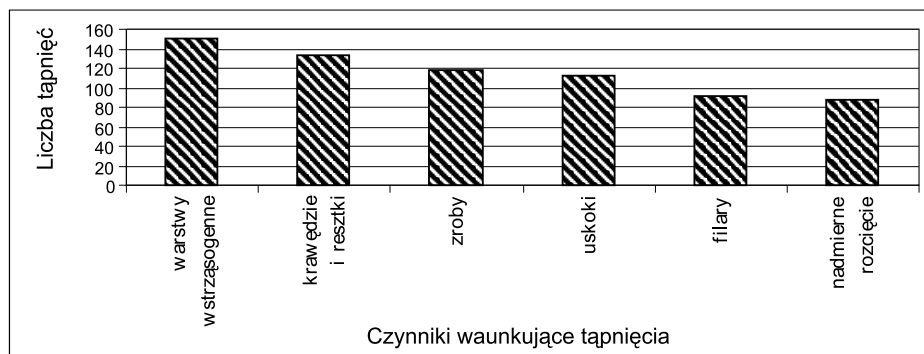
W pobliżu *uskoków* o zrzutach przekraczających grubość wybieranego pokładu pozostawione są w różnych pokładach resztki. Sumowanie się wpływu resztek i/lub ich krawędzi, łącznie z oddziaływaniem kompakcyjnych uskoków [1, 6], stwarza szczególnie niekorzystne warunki naprężeniowo-deformacyjne w górotworze, a tym samym powoduje wzrost zagrożenia tapaniami.

Szczególnymi przypadkami resztek są *filary oporowe*, z reguły pocięte licznymi wyrobiskami, czyniącymi najczęściej tak zwane *nadmierne rozcięcie pokładu*.

Na podstawie analiz czynników stanowiących przyczynę tąpnięcia, w oparciu o protokoły tąpnięć zaistniałych w latach 1987–2007 w kopalniach GZW, udało się określić i wytypować najważniejsze i najczęściej występujące przyczyny tych zjawisk [9]. Wśród 151 tąpnięć aż 150 miejsc skutków wstrząsów sejsmicznych, które spowodowały tąpnięcia znajdowało się w górotworze w którym w stropie pokładu zalegały warstwy wstrząsogenne. Drugim istotnym czynnikiem biorącym udział w zjawisku tąpnięcia było podchodzenie frontem robót w strefach oddziaływania krawędzi i resztek w pokładach nadległych. Kolejne czynniki powodujące wzrost zagrożenia tapaniami to: wpływ zrobów w pokładzie, wpływ filarów oraz nadmierne rozcięcie wyrobiskami korytarzowymi. Istotne znaczenie posiada także wpływ stref uskokowych, zarówno reprezentujących uskoki lokalne o niewielkich zrzutach, możliwe do przejścia przodkiem górnictwem lub też uskoków o dużych zrzutach występujących w otoczeniu frontu robót.

Na podstawie analiz danych (rys. 6) głównymi czynnikami, które wpływają na zaistnienie tąpnięcia są [9]:

- czynniki geologiczne: warstwy wstrząsogenne i uskoki,
- czynniki górnicze: krawędzie i resztki w pokładach wyżej zalegających, zroby, filary i nadmierne rozcięcie.

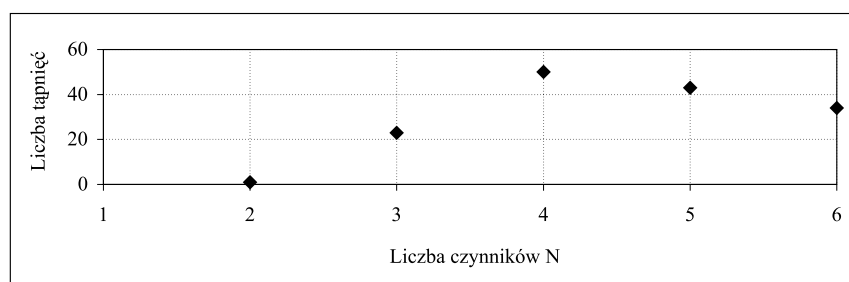


Rys. 6. Udział czynników przy tąpnięciach zaistniałych w latach 1987–2007

Fig. 6. Participation elements beside of rockbursts in the period 1987–2007

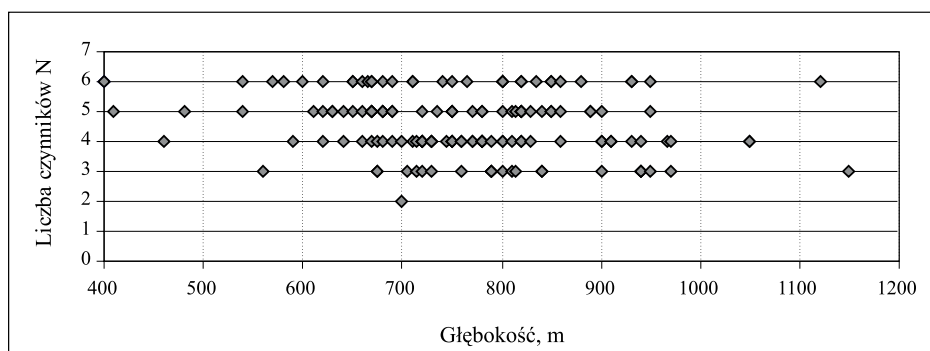
Ich udział w zjawisku tąpnięcia świadczy o tym, że przy występowaniu czterech z nich, prawdopodobieństwo zaistnienia tąpnięcia jest największe. Istotą tej analizy jest jednak stwierdzenie, że przy trzech czynnikach również dochodzi do tąpnięcia. Zatem przy ocenie stanu zagrożenia należy przyjąć, że stan zagrożenia tąpnięciami jest istotny przy kombinacji trzech i więcej czynników (rys. 7).

Głębokość eksploatacji pokładów wpływa na stan zagrożenia w sposób pośredni. Jest jednym z czynników, który charakteryzuje rejon zagrożony i w sposób bezpośredni wpływa na niekorzystne oddziaływanie innych czynników geologicznych i górniczych. Dane dotyczące występowania tąpnięć w zależności od liczby czynników  $N$ , wymienianych jako przyczyny tąpnięcia wskazują, na silne zagrożenie tąpnięciami w przypadku łącznego oddziaływania kilku z wymienionych czynników (rys. 8). Głównymi czynnikami geologicznymi



Rys. 7. Udział liczby czynników w przyczynach tąpnięć w latach 1987–2007

Fig. 7. Participation numbers of element in the estimate of rockbursts in the period 1987–2007



Rys. 8. Liczba czynników wpływających na występowanie tąpnięcia na danej głębokości w latach 1987–2007

Fig. 8. Number of estimate beside of rockburst on the depth in the period 1987–2007

decydującymi o występowaniu tąpnięć są: warstwy wstrząsogenne i uskoki. Wystąpiły one kolejno w 150 i 113 przypadkach analizowanych 151 tąpnięć zaistniałych w latach 1987–2007. Razem pojawiły się w 112 przypadkach. Druga grupa czynników określona mianem górniczych, to występowanie krawędzi i resztek (133 tąpnięcia), zrobów (118 tąpnięć), filarów (91 tąpnięć) i nadmiernego rozcięcia (88 tąpnięć). W przypadku 38 tąpnięć odnotowano zaistnienie wszystkich z nich. Spośród ww. czynników w 93 przypadkach tąpnięć eksploatacji towarzyszył wpływ 2 z nich, tj. krawędzi i resztek oraz zrobów. Wynika z tego, że bardzo ważną rolę w generowaniu tąpnięć odgrywają zaszczości eksploatacyjne, co w warunkach kopalń GZW jest zjawiskiem powszechnym.

Porównując udział czynników geologicznych i górniczych można stwierdzić, że pojawienie się choćby jednego z każdej z grup (czynnika geologicznego i górniczego), wpływa na wzrost zagrożenia tąpnięcia.

Spośród 151 tąpnięć w 133 przypadkach odnotowano również jednoczesny udział 2 czynników, do których należały warstwy wstrząsogenne oraz krawędzie i resztki w pokładach wyżej zalegających. Istotny udział czynnika określonego mianem filarów pojawia się przy eksploatacji resztkowej lub zamykającej. Aż 90 tąpnięć zaistniało w filarach w stropie których zalegały warstwy wstrząsogenne. Udział 3 czynników (warstwy wstrząsogenne, krawędzie i resztki, uskoki) odnotowano aż w 100 przypadkach tąpnięć.

Reasumując, należy stwierdzić że przy analizach dotyczących oceny stanu zagrożenia istotne znaczenie posiadają zarówno czynniki geologiczne (warstwy wstrząsogenne, uskoki) jak i czynniki górnicze (krawędzie i resztki, zroby).

Wymienione czynniki górnicze (warstwy wstrząsogenne, krawędzie i resztki, zroby) wpływające na zagrożenie tąpnięciami, szczególnie niekorzystnie oddziałują na dużych głębokościach ( $H = 600\text{--}900\text{ m}$ ) i stanowią o realnym zagrożeniu tąpnięciami.

Silne zagrożenie tąpnięciami (71 przypadków tąpnięć) występuje w przypadku łącznego oddziaływania wszystkich wymienionych czynników górniczych (rys. 8) oraz czynnika geologicznego – uskoku.

TABELA 4

Występowanie tąpnięć w zależności od energii wstrząsu i liczby czynników N warunkujących je w latach 1987–2007

TABLE 4

Relationship between the number of rockbursts and the energy seismic and number of elements N in the years 1987–2007

N \ E <sub>T</sub>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>4</sup>	10 <sup>5</sup>	10 <sup>6</sup>	10 <sup>7</sup>	10 <sup>8</sup>	10 <sup>9</sup>
6	–	4	<b>10</b>	<b>12</b>	6	2	
5	1	8	<b>14</b>	<b>11</b>	7	1	1
4	1	5	<b>11</b>	<b>20</b>	<b>11</b>	2	–
3	–	3	<b>12</b>	7	1	–	–
2	–	–	<b>1</b>	–	–	–	–
1	–	–	–	–	–	–	–

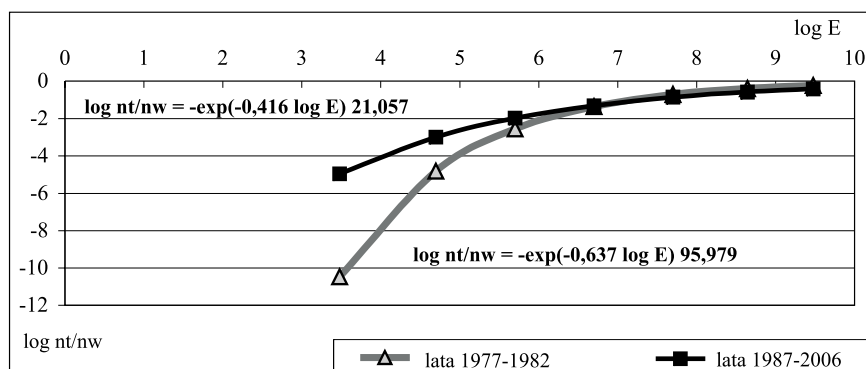
Należy zauważyć, że im większa liczba czynników łącznie występujących, tym górotwór może wyemitować silniejszy wstrząs i tym samym sprowokować wystąpienie tąpnięcia (tab. 4).

Dwa tąpnięcia, które w analizowanym okresie wystąpiły przy energii wstrząsu rzędu 10<sup>3</sup> J, warunkowane były odpowiednio 4 i 5 czynnikami oraz głębokością prowadzenia robót odpowiednio 750 m i 590 m. Przy energii wstrząsu rzędu 10<sup>5</sup> J tąpnięcia wystąpiły przy równoczesnym oddziaływaniu na dane wyrobisko co najmniej dwóch czynników. Natomiast przy energii wstrząsów nie mniejszej od 10<sup>6</sup> J tąpnięcia notowano już przy trzech czynnikach mającym wpływ na to zagrożenie. Zatem najbardziej niebezpieczne dla eksploatacji to warunki występowania kombinacji 4 lub 5 czynników do których należą:

- warstwy wstrząsogenne – 150 tąpnięć,
- krawędzie i resztki – 133 tąpnięcia,
- zroby – 118 tąpnięć,
- uskoki – 113 tąpnięć,
- filar (wymycie, zręb tektoniczny) – 91 tąpnięcia.

Statystyki tąpnięć zaistniałych w latach 1987 – 2007 odnoszące się do udziału liczby wstrząsów generowanych w kopalniach GZW w poszczególnych rzędach energetycznych, wskazują na przedział energetyczny  $\geq 10^5$  J. Dla tego zakresu ustalono prawdopodobieństwo sprowokowania tąpnięcia przez wstrząs o danej energii dla okresu lat 1977–1982 i 1987–2006 (rys. 9).

Zależności te przedstawiają ryzyko wystąpienia tąpnięcia przy określonej liczbie i energii wstrząsów. Wynika z niej, że dla okresu lat 1987–2006 przy energii wstrząsów rzędu 10<sup>3</sup> J ryzyko to wynosi 10<sup>-4</sup>–10<sup>-5</sup>, a przy energii wstrząsów rzędu 10<sup>4</sup> J – wynosi 10<sup>-3</sup>–10<sup>-4</sup>. Nawet przy energii wstrząsów rzędu 10<sup>9</sup> J jest ono mniejsze od jedności i wynosi około 0,5. Z tego można wnosić, że przy prognozowanych bądź stwierdzonych wstrząsach o energii



Rys. 9. Prawdopodobieństwo wystąpienia tąpnięcia w zależności od liczby i energii wstrząsów górotworu [3]

Fig. 9. Probably of the rockbursts appears still to relationship between the number and energy seismic massive [3]

rzędu  $10^4$  J ryzyko wystąpienia tąpnięcia jest stosunkowo małe, i mieści się w granicach ryzyka tolerowanego. Przy stwierdzonych bądź prognozowanych energiach wstrząsów  $E \geq 10^5$  J – niezbędne jest prowadzenie profilaktyki tąpniowej adekwatnej do stanu zagrożenia [3].

W konfrontacji do analogicznych ustaleń w oparciu o dane z lat 1977–1982 ryzyko wystąpienia tąpnięcia przy słabych i średnich energiach zwiększyło się nawet o 2–3 rzędy (rys. 9). Natomiast przy  $E > 10^6$  J praktycznie pozostało bez zmian. Potwierdza to słuszność stwierdzenia, że na większych głębokościach prowadzenia robót (aktualnie średnio 702 m, a w roku 1977– 486 m) i wynikającym stąd większym wyężeniu górotworu nawet średniej wartości wstrząsy górotworu mogą powodować wystąpienie zjawisk dynamicznych.

### Podsumowanie

Pomimo małej liczby tąpnięć i ich skutków, notowanych w ostatnich 10 latach na stosunkowo niskim poziomie, można zaobserwować pewną tendencję wzrostu stanu zagrożenia tąpnięciami, zwłaszcza w odniesieniu do aktywności sejsmicznej górotworu. Prawdopodobnie można to wiązać z wielkością i koncentracją wydobywania z poszczególnych pól ścianowych na dużej głębokości eksploatacji.

Na podstawie analizy warunków występowania tąpnięć zaistniałych w kopalniach węgla kamiennego, można wykazać wpływ usytuowania linii frontu eksploatacji względem kierunków płaszczyzn osłabionej spójności i powierzchni uskokowych na zagrożenie tąpnięciami i aktywność sejsmiczną eksploatowanych rejonów. Sytuowanie ścian w polach eksploatacyjnych pod stropem o łupności wiszącej jest bardziej niekorzystne aniżeli sytuowanie ścian pod stropem o łupności leżącej.

Od wielu lat obserwuje się wzrost wielkości wydobywania z rejonów zaliczonych do III stopnia zagrożenia tąpnięciami. To skłania do stwierdzenia, że koniecznym jest prowadzenie

eksploatacji odprężającej, umożliwiającej bezpieczne wybieranie pokładów sąsiednich zarówno wyżej jak i niżej zalegających.

Synteza warunków występowania tąpnięć w latach 1987–2006 w kopalniach węgla kamiennego upoważnia do podania następujących stwierdzeń:

1. Wydobycie węgla kamiennego zmniejszyło się ze 192,7 mln ton w roku 1987 do 87,4 mln ton w roku 2007. W roku 1987 udział wydobycia systemem zawałowym wynosił 81,6%, a systemem z podsadzką hydrauliczną 16,8%. W roku 2006 wynosił on odpowiednio 95,4% i 4,5%. Pozostałą wielkość wydobycia w roku 1987 (1,6%) uzyskano z systemów z podsadzką suchą. Średnia głębokość eksploatacji zwiększyła się w tym czasie od około 552 m do 702 m. Z pokładów zaliczonych do zagrożonych tąpnięciami uzyskano odpowiednio 26,4%, wydobycia w roku 1987 i 49,4% wydobycia w roku 2007.
2. Roboty górnicze generowały wstrząsy górotworu o energiach sejsmicznych dochodzących do  $10^9$  J. Jednostkowy wydatek energetyczny JWE wstrząsów górotworu w przeliczeniu na jednostkę (tonę) ogólnego wydobycia mieścił się w granicach 3,6–30,3 J/t, przy średniej 16,7 J/t.
3. Energia wstrząsów górotworu towarzysząca tąpnięciom wynosiła od  $3 \cdot 10^3$  J do  $3 \cdot 10^9$  J. Prawdopodobieństwo wystąpienia tąpnięcia przy energii wstrząsu rzędu  $10^3$  J wynosi  $10^{-4}$ – $10^{-5}$ . Tąpnięcia te należy traktować jako incydentalne, zaistniałe w szczególnie niekorzystnych geologiczno-górnicych uwarunkowaniach. Przy wstrząsie rzędu  $10^9$  J ryzyko zaistnienia tąpnięcia kształtuje się na poziomie 0,5. Przy wstrząsach rzędu  $>10^4$  J zasadnym zaleceniem jest stosowanie odpowiednich obserwacji stanu zagrożenia, a w przypadku stwierdzenia zwiększania się stanu zagrożenia – zastosowanie odpowiednich zabiegów profilaktycznych.
4. Zasadniczymi czynnikami warunkującymi wystąpienie tąpnięcia są: warstwy wstrząso-genne, krawędzie i resztki, zroby, uskoki, filary oraz nadmierne rozcięcie pokładu. Ich negatywne oddziaływanie zwiększa się wraz ze zwiększeniem głębokości prowadzenia robót górniczych.
5. Im wyższa energia wstrząsu górotworu i większa głębokość – tym mniejsza liczba czynników może być przyczyną wystąpienia tąpnięcia. Przy równoczesnym oddziaływaniu co najmniej czterech czynników notowano tąpnięcia nawet przy energii wstrząsów rzędu  $10^3$  J, natomiast przy  $E_0 \geq 10^5$  J tąpnięcia mogą występować już przy dwóch z wymienionych czynników.

#### LITERATURA

- [1] Dubiński J., Konopko W., 2000 – Tąpnięcia – ocena – prognoza – zwalczanie. Wydawnictwo GIG, Katowice.
- [2] Kidybiński A., Patyńska R., 2008 – Analiza zjawisk gazogeodynamicznych w kopalniach węgla kamiennego w Polsce i na świecie. Monografia. Prace Naukowe GIG, Katowice.
- [3] Konopko W., Patyńska R., 2008 – Warunki występowania tąpnięć w kopalniach węgla kamiennego. Przegląd Górniczy, nr 1, s. 12–17. Katowice.

- [4] Konopko W., 1994 – Doświadczalne podstawy kwalifikowania wyrobisk górniczych w kopalniach węgla kamiennego do stopni zagrożenia tąpnięciami. Prace Naukowe GIG, nr 795, Katowice.
- [5] Konopko W., 1987 – Głębokość eksploatacji a zagrożenia tąpnięciami. Przegląd Górniczy nr 11/12.
- [6] Konopko W., 1984 – Stan i przyczyny zagrożenia tąpnięciami w kopalniach węgla kamiennego Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. Bezpieczeństwo Pracy w Górnictwie nr 3.
- [7] Konopko W. – Wyrobiska – nie pokłady – zagrożenie tąpnięciami. Podstawy nowelizacji przepisów. Bezpieczeństwo pracy i ochrony środowiska w górnictwie. nr 8, 2006.
- [8] Kozieł A., Turek M., 2007 – Scenariusze rozwoju technologicznego przemysłu wydobywczego węgla kamiennego. Materiały VIII Międzynarodowej Konferencji Naukowo- Technicznej nt. Innowacyjne i bezpieczne maszyny i urządzenia dla górnictwa węgla kamiennego. Szczyrk 13–15 listopada 2007 r. Wyd. CMG KOMAG, Gliwice.
- [9] Patyńska R., 1987–2007 – Bank danych o tąpnięciach. Dokumentacje prac planowych GIG z lat 1987–2007. Archiwum Zakładu Tapań i Mechaniki Górnotworu GIG, Katowice.
- [10] Patyńska R., 2004 – Tąpnięcia a tektonika GZW. XXVII Zimowa Szkoła Mechaniki Górnotworu, Kraków, s. 741–753.
- [11] Patyńska R., 1992–2007 – Zagrożenie tąpnięciami. Raport roczny (za lata 1992–2007) o stanie podstawowych zagrożeń naturalnych i technicznych w górnictwie węgla kamiennego. Praca Głównego Instytutu Górnictwa, pod kierunkiem W. Konopko, Katowice.
- [12] Sikora W., 2007 – Scenariusz rozwoju technologii węgla w warunkach utrudnień górniczych. Materiały VIII Międzynarodowej Konferencji Naukowo-Technicznej nt. Innowacyjne i bezpieczne maszyny i urządzenia dla górnictwa węgla kamiennego. Szczyrk 13–15 listopada 2007 r. Wyd. CMG KOMAG, Gliwice.
- [13] Stec K., 2007 – Aktywność sejsmiczna Górnośląskiego Zagłębia Węglowego – 30 lat ciągłej obserwacji przez Górnośląską Regionalną Sieć Sejsmologiczną. Przegląd Górniczy nr 7–8.
- [14] Trenček S., 2007 – Charakterystyka akcji przeciwpożarowych w kopalniach węgla kamiennego w okresie lat 1997–2006. Materiały XXIV Seminarium naukowo–technicznego na temat: Ratownictwo Górnicze – Teoria i Praktyka. XXXIII Dni Techniki ROP 2007. Rybnik, 24.10.2007. Wyd. WGiG Pol. Śl., Gliwice.

**UWARUNKOWANIA GÓRNICZO-GEOLOGICZNE EKSPLOATACJI POKŁADÓW ZAGROŻONYCH TĄPNĘCIAMI  
W LATACH 1987–2007**

Słowa kluczowe

Ocena stanu zagrożenia tąpnięciami, przyczyny tąpnięć

Streszczenie

Aktualnie w Polsce zagrożenie sejsmiczne i tąpnięciami występuje w większości kopalń węgla kamiennego. W latach 1987–2007 w kopalniach węgla kamiennego zaistniało 151 tąpnięć. Zjawiskom tym towarzyszyły wstrząsy o energii  $10^5$ – $10^8$  J. W tym samym okresie produkcja węgla spadła z 193 mln ton w roku 1987 do 87,4 mln ton w roku 2007. Generalnie wydobywanie węgla kamiennego było najmniejsze w roku 2007.

Aktualnie sejsmiczność górotworu GZW wykazuje tendencję wzrostu. Najbardziej niepokojące są statystyki tąpnięć o energiach powyżej  $10^7$  J.

Analiza tąpnięć zaistniałych w latach 1987–2007 potwierdza słuszność wniosków analizy sejsmiczności GZW. Okazuje się, że skutki tąpnięć znajdowały się w większości przypadków w chodnikach w otoczeniu ścian (zwłaszcza zawałowych tj. w chodnikach przyścianowych oraz przecinkach ścianowych). Nieliczne tąpnięcia (8 przypadków) wystąpiły w wyrobiskach chodnikowych drażonych lub istniejących, nie związanych bezpośrednio z robotami eksploatacyjnymi.

Tylko w latach 1998–2007 notowano od 5 do 2 tąpnięć rocznie. Spadek tąpnięć w ostatnich latach uzyskano dzięki rozwojowi metod oceny źródeł i stanu zagrożenia, co pozwoliło na właściwe projektowanie eksploatacji pokładów węgla zalegających w warunkach zagrożenia tąpnięciami, a także rozwoju metod zwalczania tąpnięć.



Pomimo małej liczby tąpnięć i ich skutków po roku 1996, w porównaniu do okresów poprzednich, wielkości te nie wykazują już tendencji spadkowej, a wręcz przeciwnie, można zaobserwować pewną tendencję wzrostu. Prawdopodobnie można to wiązać ze wzrostem wydobycia z pojedynczych przodków i zwiększeniem głębokości eksploatacji. Zestawienie danych dotyczących przyczyn tąpnięć wykazało, że wpływ na tąpnięcie posiadają głównie: warstwy wstrząsogenne, uskoki, krawędzie i resztki w pokładach wyżej zalegających, zroby, filary i nadmierne rozcięcie pokładu.

#### MINING-GEOLOGIC CONDITIONS OF EXTRACTION OF SEAMS UNDER ROCKBURST HAZARD IN THE PERIOD 1987–2007

##### Key words

Rockburst hazard, reasons of the rockbursts

##### Abstract

Presently the seismic and rock burst hazard appears still to be important in most of hard coal mines in Poland. In the period 1987–2007 the hard coal mines experienced 151 rock bursts. They were accompanied by seismic events of rock mass with seismic energy  $10^5$ – $10^8$  J. In the same period, overall coal output was oscillating from 193 mln tons in 1987 to 87,4 mln tons in 2007. Generally the output of mines dropped and was the lowest in 2007.

Lately, the seismic activity of Silesia rock masses has increased significantly. The most disturbing are the statistics of rock bursts with energies of more than  $10^7$  J.

An analysis of rock bursts that have occurred in The Upper Silesia Coal Basin (GZW) over the period 1987–2007 confirms the rightness of conclusion of the GZW seismicity analysis. It appears that the consequences of rock bursts were mostly located in the headings located close to longwall faces (especially those driven with caving i.e. in the longwall entries and cross-cuts). Rare rock bursts (8 occurrences) took place in mine headings, either under drivage or existing ones, but not related directly to mining operations.

Merely in the period 1998–2007 there were noted 5 to 2 rock bursts per year. The decrease of rock bursts in the last years has been achieved owing to the development of methods of source and hazard condition evaluation, which enabled to plan properly the process of mining of coal seams located in the rock burst hazard areas, as well as to develop the rock burst control methods.

In spite of low number of rock burst occurrences annually and their effects after 1996, the magnitude do not show any decreasing tendency in comparison to the previous years. Probably this may be related to increased volume of production from a single face and increased depth of mining. In the main reasons of rockbursts were: the high-energy rock mass, faults, the impact of edge and remains high situated of seams, pillars and overmuch slit of seams.