

Jan Drzewiecki*

ZAGROŻENIE TĄPANAMI A RYZYKO ZAWODOWE

1. Wprowadzenie

Praca w miejscu niebezpiecznym, wiąże się z możliwością powstania szkody, której rozmiar zależy od intensywności, zasięgu i czasu trwania (ekspozycji) czynników szkodliwych. W takim przypadku, mając na uwadze bezpieczeństwo pracownika, aby scharakteryzować miejsce pracy, należy wyodrębnić zespół cech określających (opisujących) obszar stanowiska pracy, czyli przestrzeń pracy, wraz z wyposażeniem w środki i przedmioty pracy, w której pracownik lub zespół pracowników wykonuje pracę. Każdy pracownik, który może się znaleźć całkowicie lub częściowo w strefie niebezpiecznej *narażony jest na ryzyko zawodowe*. Ten ostatni termin należy rozumieć jako „prawdopodobieństwo wystąpienia niepożądanych zdarzeń związanych z wykonywaną pracą powodujących straty, w szczególności wystąpienie u pracowników niekorzystnych skutków zdrowotnych w wyniku zagrożeń występujących w **środowisku pracy** lub sposobu wykonywania pracy”. Ocena ryzyka obejmująca analizę ryzyka zmierza do opracowania skutecznych działań zapobiegawczych w celu usunięcia przyczyn potencjalnej niezgodności lub innej niepożądanego sytuacji w celu niedopuszczenia do ich wystąpienia. W trakcie tych badań za priorytetowe uznać należy zdefiniowanie stref niebezpiecznych, czyli miejsc/przestrzeni, w których występują strefy zagrożenia, bądź miejsc narażonych na transmisję czynnika/ów zagrożenia z ich źródeł. Praca, bądź przebywanie w miejscach, w których bezpieczeństwo lub zdrowie przebywających tam osób jest zagrożone, wiąże się z możliwością fizycznego urazu lub/ i utratą zdrowia lub majątku, czyli powstaniem szkody.

Celem oceny ryzyka jest zapobieganie skutkom zagrożeń zawodowych, poprzez wskazanie pracodawcy źródeł zagrożeń, rodzajów zagrożeń występujących na stanowiskach roboczych i ich ewentualne skutki oraz sposobów ich eliminowania. W przypadku braku możliwości wyeliminowania zagrożeń bądź ich źródeł należy dążyć do ich maksymalnego ograniczenia z jednoczesną ich kontrolą.

* Zakład Tąpań i Mechaniki Górotworu, Główny Instytut Górnictwa, Katowice

W górnictwie podziemnym roboty prowadzone są w środowisku, w którym występuje szereg zagrożeń o różnym poziomie oddziaływania na pracownika i jego środowisko pracy. Najogólniej zagrożenia te dzielimy na zagrożenia naturalne (np. tąpnięcia, metan), zagrożenia górnicze (np. opad skał, zaciśnięcie obudowy), maszynowe (np. pochwycenie, wciągnięcie, przygniecenie) i osobowe związane z kulturą pracy (np. lekceważenie przepisów, rutyna).

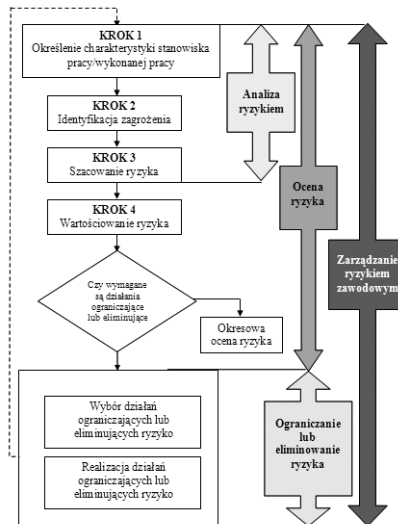
Postęp techniczny sprawia, że w coraz szerszym zakresie bezpieczeństwo pracy zależy od niezawodności działania systemów sterowania oraz systemów blokadowych (np. metanometria, systemy sterowania kombajnów), które wypełniają zaimplementowaną w nich funkcję bezpieczeństwa. Metody oceny poziomu niezawodności pracy tych systemów, wyrażonego poziomem nienaruszalności bezpieczeństwa SIL (*Safety Integrity Level*), regulują wymagania norm PN-EN 62061 i PN-EN 61508 dotyczące bezpieczeństwa funkcjonalnego elektrycznych/elektronicznych/programowalnych elektronicznych systemów wiążących się z bezpieczeństwem.

Wzrost świadomości technicznej, przy jednoczesnym wzroście znajomości norm i proponowanych przez nie metod oceny, są gwarancją właściwego doboru systemów sterowania, a tym samym poprawy bezpieczeństwa pracy poprzez minimalizację ryzyka zawodowego wynikającego z błędnego działania systemów czy maszyn. Równocześnie filozofia tych norm skupiająca się nie tylko na samym zagrożeniu, a także na scenariuszu jego rozwoju, może być szeroko wykorzystana do oceny każdego rodzaju zagrożeń, a nie tylko do oceny niezawodności działania systemów sterowania.

Szczególnym zagadnieniem jest ryzyko zawodowe wynikające z występujących w górnictwie podziemnym zagrożeń naturalnych. Nie chodzi tutaj o ryzyko niezadziałania danego systemu zabezpieczającego czy urządzenia. Problemem jest ryzyko zawodowe w środowisku pracy, którego poziom wynika z natury górotworu bądź jest konsekwencją działalności człowieka. Praktyka wskazuje, że podstawowym zagrożeniem górniczym, niezwykle trudnym do oszacowania a następnie opanowania, jest zagrożenie tąpnięciami. Symptomy/prekursory tego zagrożenia nie pozwalają w pełni jednoznacznie oszacować z nim związanego ryzyka zawodowego. Symptomami mogą być między innymi mierzalne zjawiska, jak np.: ilość wysokoenergetycznych wstrząsów sejsmicznych, aktywność sejsmoakustyczna, odległość wyrobisk od stref silnie wytężonego górotworu, wielkość deformacji grubych sprężystych warstw wstrząsogennych w obszarze wyrobisk czy zaciskanie wyrobisk. Trudno jednak określić w sposób precyzyjny wielkości kryterialne tych zjawisk/prekursorów. Posiadane w GIG dane wskazują, że w górnictwie podziemnym miało miejsce szereg przypadków tąpnięć dla pozornie wykluczających takie zdarzenia wartości prekursorów tego zagrożenia, np.: mała energia i aktywność wstrząsów sejsmicznych, brak ruchów górotworu czy zaciskania obudowy. Wydaje się zatem zasadnym, aby dla tego typu zagrożenia górniczego ryzyko zawodowe mogło być szacowane nie jako wartość ustaloną definitywnie, ale jako wartość zmienną w czasie. Zmiana ta jest konsekwencją zmian w procesie produkcji, co z kolei ma wpływ na zasięg zmian postaciowych i objętościowych skał w górotworze, w tym przypadku rozumianego jako środowisko pracy.

2. Algorytm zarządzania ryzykiem zawodowym

Ocena ryzyka zawodowego jest procesem analizowania i wyznaczania granic ryzyka w zakresach odpowiednich do zastosowanej metody jego oceny. W wyniku analizy otrzymuje się z reguły informacje werbalne typu b. małe, małe, średnie, duże, czy b. duże, pomijalne, niskie, ale istotne, wysokie, nie do przyjęcia, akceptowalne, mało znaczące, ekstremalne czy niedopuszczalne. Ocena ryzyka jest następstwem uporządkowanego, wg z góry założonej kolejności, systematycznego oraz systemowego badania zagrożeń czy zdarzeń niebezpiecznych w środowisku pracy. W wyniku takiego badania, w miejscach, gdzie jest to wymagane, informacje werbalne są podstawą dla podejmowania działań zmierzających do eliminacji bądź zmniejszenia/ograniczenia ryzyka zawodowego. Proces badań i działań związanych z ryzykiem w miejscu pracy jest zarządzaniem ryzykiem zawodowym, którego algorytm przedstawiono na rysunku 1. Proces oceny ryzyka poddaje się ocenie w kolejnych krokach obejmujących zbliżone tematycznie grupy zagadnień umożliwiających prowadzenie analizy ryzyka (Krok 1 do 3), jego wartościowanie (Krok 4), i ocenę. Kolejno, jeżeli jest to konieczne a zarazem możliwe, zagrożenia są likwidowane bądź ograniczane przez podjęcie odpowiednich działań eliminujących lub ograniczających ryzyko.



Rys. 1. Algorytm zarządzania ryzykiem zawodowym [13]

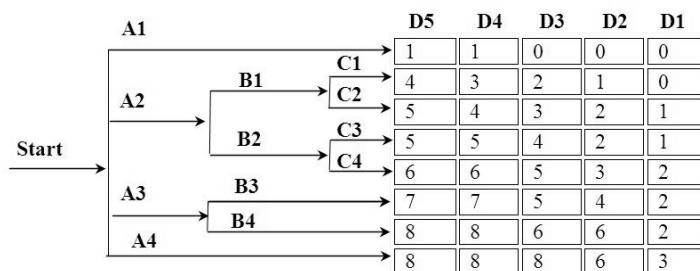
Pełna realizacja działań w zakresie zarządzania ryzykiem pozwala na zapewnienie ciągłej poprawy bezpieczeństwa i higieny pracy poprzez:

- zidentyfikowanie zagrożenia oraz ocenę wynikającego z niego ryzyka zawodowego,
- ustalenie priorytetów w działaniach zmierzających do eliminowania lub ograniczania ryzyka zawodowego,

- przyjęcie właściwej organizacji pracy, wyposażenia stanowisk roboczych oraz odpowiednich materiałów,
- zastosowanie środków ochrony odpowiednich do zidentyfikowanych zagrożeń,
- wykazanie pracownikom oraz organom nadzoru i kontroli, że ryzyko zawodowe jest znane oraz poinformowane o ryzyku pracowników.

3. Metody badań oceny ryzyka zawodowego

Ocena ryzyka zawodowego, w zależności od zastosowanej metody, wyróżnia różne stopnie szczegółowości takiej oceny [11]. Dobór metody jest podyktowany dostępnością i szczegółowością posiadanych informacji. Metody indukcyjne i dedukcyjne wykorzystujące prawa logiki bądź metody jakościowe, ilościowe czy półilościowe prowadzą od ogólnych zależności i sformułowań do szczegółowych porównań analizowanych, bądź przypisanych pewnym stanom zagrożenia wartości liczbowych. Przy braku dostępu danych szczegółowych uniemożliwiających oszacowanie ilościowe ryzyka, mają zastosowanie metody jakościowe. Oszacowanie jakościowe ryzyka następuje z różnym natężeniem, niezbędnym dla podjęcia odpowiednich do tej oceny działań profilaktycznych. Biorąc pod uwagę każde zidentyfikowane zagrożenie, stosując metody matrycowe, można oszacować prawdopodobieństwo i następstwa jego występowania w założonej skali (PN-N-18002). Kolejno stosując metody wskaźnikowe (półilościowe) uzyskujemy informację o ewentualnych skutkach zdarzenia poprzez założone z góry parametry ryzyka (Metoda *Risk Score*, Wskaźnik Ryzyka WPR). Postać graficzna oceny ryzyka zawodowego w postaci łańcucha zdarzeń, tzw. grafu, także pozwala określić jego poziom w danym obszarze, stanowisku roboczym czy wynikającego z zawodności pracy systemów technicznych (Metody Grafów Ryzyka wg norm DIN V 19250, rys. 2 bądź *Mayser Polimer Elektronik*, czy modelami Markowa dla oceny niezawodności pracy). Ta ostatnia metoda obrazuje przejścia od jednego stanu pracy do kolejnego stanu z sekwencją występowania uszkodzeń komponentów składowych tych systemów oraz prowadzonych ich napraw.



Rys. 2. Wartościowanie ryzyka za pomocą grafu [11]

Wymienione metody uwzględniają szereg charakterystycznych dla danej metody parametrów, bądź stanów pracy systemu umożliwiających wartościowanie ryzyka.

Parametrami takimi mogą być:

- zakres możliwych wielkości szkód **A** (strat), jakie może spowodować zagrożenie,
- okres (czas) przebywania w strefie zagrożenia **B**,
- odwrócenie zagrożenia **C** (możliwości zastosowania ochrony przez zagrożeniem),
- prawdopodobieństwo wystąpienia niepożądanego zdarzenia **D**,
- prawdopodobieństwo następstw,
- ciężkość urazu (strata), jaki może spowodować zagrożenie,
- ekspozycja,
- możliwość uniknięcia urazu,
- współczynniki ilustrujące stan początkowy oraz przejściowe prace systemu tj. sprawny, uszkodzony czy naprawy,
- naturalne, techniczne, organizacyjne przyczyny występowania tąpnięć [6].

Na rysunku 2 pokazano przykład wartościowania ryzyka za pomocą grafu według normy DIN V 19250 w ośmiostopniowej skali, dla założonych trzech poziomów (przedziałów) tj dla.:

Poziom I — ryzyko akceptowalne — wartość ryzyka do 2,

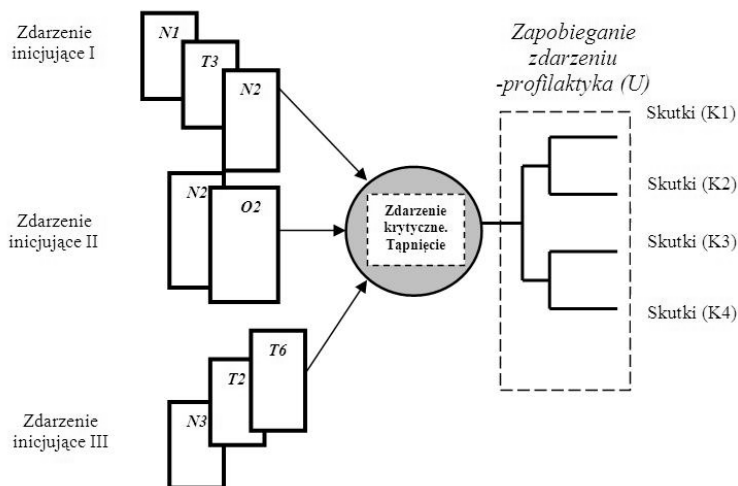
Poziom II — ryzyko dopuszczalne, akceptacja ryzyka po ocenie ryzyka — wartość ryzyka od 3 do 5,

Poziom III — ryzyko niedopuszczalne, wymagane zmniejszenie ryzyka — wartość ryzyka od 6 do 8.

4. Ryzyko zawodowe w rejonach zagrożonych tąpnięciami

Analizując zagrożenia naturalne, a w szczególności zagrożenie tąpnięciami oraz wynikające z niego ryzyko zawodowe, należy zdefiniować parametry, jakie charakteryzują to zagrożenie zarówno w odniesieniu do załogi, miejsca pracy, jak i górotworu, czyli w szerokim pojęciu środowiska pracy. Pod pojęciem zagrożenia tąpnięciami należy rozumieć *możliwość wystąpienia tąpnięcia w rezultacie niekorzystnych warunków górniczo-geologicznych w wyrobisku lub w jego otoczeniu, natomiast tąpnięcie to zjawisko dynamiczne spowodowane wstrząsem górotworu, w wyniku którego wyrobisko lub jego odcinek uległo gwałtownemu zniszczeniu lub uszkodzeniu, w następstwie czego nastąpiła całkowita albo częściowa utrata jego funkcjonalności lub bezpieczeństwa jego użytkowania* [12]. W cytowanych definicjach występują pojęcia „możliwość i całkowita albo częściowa”, czyli nieskwantyfikowane jednoznaczne prawdopodobieństwa wystąpienia tego zdarzenia oraz jego skutków. Zachodzi więc konieczność takiego odniesienia się do ryzyka zawodowego związanego z zagrożeniem tąpnięciami, które pozwoliłoby w sposób racjonalny oszacować jego wielkość na danym odcinku wyrobiska i w danej chwili. Przyjęcie „klasycznych” parametrów oceny ryzyka zawodowego, jak czas przebywania w strefie zagrożenia, prawdopodobieństwo wystąpienia niepożądanego zdarzenia, ciężkość urazu czy wielkość szkód itp. w świetle cytowanych pojęć nie pozwoli określić wielkości tego ryzyka w sposób zadawalający. Praktyka i szereg obecnie stosowanych metod prognozy i oceny tego zagrożenia wskazują na potrzebę przyjęcia dwustanowych jego ocen tj. brak bądź fakt istnienia zagrożenia tąpnięciami. Ponadto zagrożenie to jest ograniczonym

w czasie zagrożeniem w odniesieniu do wyrobisk górniczych, co wynika przede wszystkim z przemijającej, bądź narastającej w wyniku działalności górniczej, skłonności górotworu i skał do tąpnięć. Mając powyższe na uwadze, zaproponowano oszacowanie ryzyka zawodowego dla osób zatrudnionych w rejonach zagrożonych tąpnięciami adaptując metodę analizy bezpieczeństwa pracy — JSA poprzez opracowanie matrycy metody indukcyjnej z wykorzystaniem wybranych parametrów/prekursorów tego zagrożenia. Przyczyną prowadzącą do tąpnięcia, czyli zdarzeniem inicjującym, może być jednocześnie działający zespół czynników naturalnych N_n , technicznych T_n czy organizacyjnych O_n , bądź ich kombinacja. Kolejno, ocena tego zagrożenia przygotowana z odpowiednim wyprzedzeniem dla realizowanych robót górniczych i zastosowana profilaktyka U będą decydować o ewentualnych jego skutkach K (rys. 3).



Rys. 3. Przykładowy scenariusz zdarzeń prowadzących do aktywacji tąpnięcia [11]

Analizowanymi parametrami prowadzącymi do tąpnięcia są:

- energia sejsmiczna E , jaka może zostać wyemitowana z danego obszaru górotworu, dla różnych prędkości eksploatacji — J [4],
- prawdopodobieństwo zniszczenia wyrobiska górniczego w funkcji energii sejsmicznej i odległości ogniska wstrząsu, Z — % [2].

Natomiast parametrami zapobiegającymi temu zjawisku są:

- zastosowanie metod profilaktycznych na czterech poziomach ich skuteczności, od maksymalnej, tj. odprężeniu pokładu $U4$ poprzez profilaktykę aktywną $U3$, pasywną $U2$ do jej braku, $U1$.

Prawdopodobieństwo tąpnięcia dla odpowiednich przedziałów energii sejsmicznej określono z danych statystycznych raportów rocznych GiG (2004–2008) [9] oraz pracy [5]. Przyjęto siedem poziomów prawdopodobieństwa odpowiednio od 0 do 0,99, którym przypisano wartości punktowe od 0 do 6 oraz sześć poziomów prawdopodobieństwa zniszczenia wyrobiska Z od $Z < 0,1$ do $Z \geq 90$, którym przypisano wartości punktowe od 0 do 5 [6].

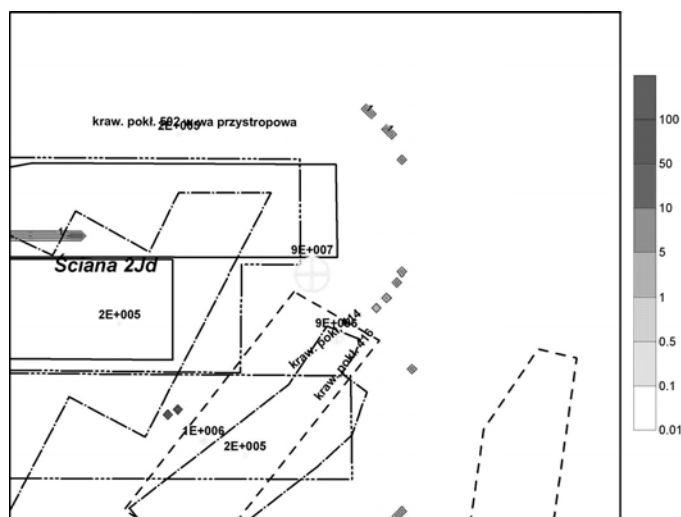
Prawdopodobieństwo zdarzenia **P** jest sumą punktów wartości parametrów **E** i **Z** elementów matrycy. Dla pięciu założonych poziomów ryzyka zawodowego **K** zawartych w tabeli 1, matrycę ryzyka zawodowego przedstawia tabela 2.

TABELA 1
Określenie poziomu ryzyka zawodowego

Klasa konsekwencji utraty zdrowia	Poziom ryzyka
K0	ryzyko pomijalne
K1	ryzyko akceptowalne
K2	ryzyko średnie
K3	ryzyko wysokie
K4	ryzyko nieakceptowalne

TABELA 2
Matryca ryzyka zawodowego

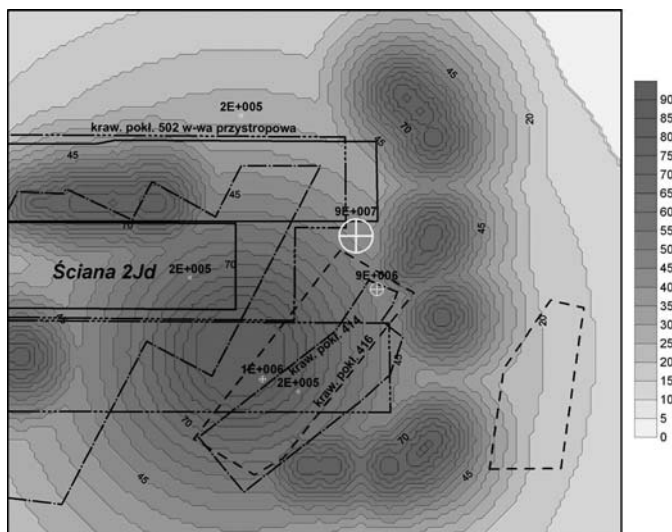
Profilaktyka	P – wartość punktowa prawdopodobieństwa zdarzenia (P = E + Z)				
	P = 0÷3	P = 4÷5	P = 6÷7	P = 8÷9	P = 10÷11
U4	K0	K1	K1	K2	K2
U3	K1	K1	K2	K2	K3
U2	K1	K2	K2	K3	K3
U1	K2	K2	K3	K3	K4



Rys. 4. Prognoza lokalizacji ognisk i energii sejsmicznej wstrząsów

Biorąc pod uwagę zamieszczony w pracy [1] przykład prognozy lokalizacji ognisk i energii sejsmicznej wstrząsów (rys. 4) oraz rozkładu prawdopodobieństwa zniszczenia wyrobiska (rys. 5), praca czy przebywanie w wyrobiskach znajdujących się w zasięgu poszczególnych izolinii prawdopodobieństwa ich zniszczenia, będzie związana z innym nasileniem ryzyka zawodowego.

Dla poszczególnych przedziałów energii sejsmicznej E (rys. 4) oraz prawdopodobieństwa zniszczenia wyrobiska Z (rys. 5), prawdopodobieństwa zdarzenia P (tąpnięcia) przy braku odprężenia i działań profilaktyki aktywnej przedstawiono w kolumnach 6 i 7 tabeli 3.



Rys. 5. Izolinie zasięgu prawdopodobieństwa zniszczenia wyrobiska wyrażonego w % dla postępu frontu ściany wynoszącego 4m/dobę

TABELA 3

Matryca ryzyka zawodowego dla załogi pracującej w wyrobiskach narażonych na zjawiska sejsmiczne indukowane eksploatacją ścianową

Wstrząs sejsmiczny		Prawdopodobieństwo zniszczenia wyrobiska		Wartość punktowa prawdopodobieństwa zdarzenia P	Roboty górnicze prowadzone	
Energia E	Wartość punktowa E	Z, %	Wartość punktowa Z		z profilaktyką aktywną U3	bez profilaktyki U1
$5 \cdot 10^3 J < E < 1 \cdot 10^4 J$	1	$Z < 0,1$	0	1	K1	K2
$1 \cdot 10^4 J < E < 1 \cdot 10^5 J$	2	$0,1 \leq Z < 20$	1	3	K1	K2
$1 \cdot 10^5 J < E < 1 \cdot 10^6 J$	3	$20 \leq Z < 40$	2	5	K1	K2
$1 \cdot 10^6 J < E < 1 \cdot 10^7 J$	4	$40 \leq Z < 70$	3	7	K2	K3
$1 \cdot 10^7 J < E < 1 \cdot 10^8 J$	5	$70 \leq Z < 90$	4	9	K2	K3
$E \geq 1 \cdot 10^8 J$	6	$Z \geq 90$	5	11	K3	K4

5. Podsumowanie

Eksploatacja węgla kamiennego nierozzerwalnie związana jest z pokonywaniem trudności wynikających z zagrożeń naturalnych, w tym z zagrożeniem tąpnięciami. Ryzyko zawodowe związane z tym zagrożeniem jest wypadkową szeregu czynników związanych z naturą górotworu, technologią i techniką eksploatacji, a szczególnie odpowiednio wcześniej opracowaną i realizowaną profilaktyką tąpniową. Prezentowany sposób oceny tego ryzyka wskazuje na możliwość jego redukcji poprzez zastosowanie adekwatnych do poziomu zagrożenia tąpnięciami środków i metod profilaktycznych oraz, co jest szczególnie istotne, poprzez zmianę intensywności eksploatacji decydującej o lokalnym poziomie energii sejsmicznej wstrząsów. Jego podstawę stanowiła metoda analizy bezpieczeństwa pracy — JSA (*Job Safety Analysis*).

Zaproponowana metoda pozwala określić, dla konkretnych wyrobisk i przyjętej technologii eksploatacji, w których wyrobiskach, w jakim czasie i na jakim poziomie będzie kształtowało się ryzyko zawodowe oraz zarządzać tym ryzykiem poprzez zmianę parametrów eksploatacji. Metoda może mieć zastosowanie w trakcie wykonywania kompleksowych projektów eksploatacji oraz doraźnie dla sytuacji wprowadzenia koniecznych zmian w projektach szczegółowych.

LITERATURA

- [1] *Drzewiecki J.*: Prawdopodobieństwo zniszczenia wyrobiska górniczego w następstwie wstrząsu sejsmicznego. Kwartalnik AGH „Górnictwo i Geoinżynieria”, rok 33 zeszyt 1, Wyd. AGH Uczelniane Wydawnictwa Naukowo Dydaktyczne, Kraków 2009, s. 125–132
- [2] *Drzewiecki J., Iwaszenko S.*: Program prognozy energii zjawisk dynamicznych indukowanych eksploatacją górnictwem wraz z prognozą niszczącego zasięgu wstrząsu sejsmicznego. Przegląd Górniczy nr. 4, 2008, s. 18–25
- [3] *Drzewiecki J.*: Określenie niszczącej strefy wpływów dla zjawisk sejsmicznych. Kwartalnik AGH „Górnictwo i Geoinżynieria”, rok 32 zeszyt 1, Wyd. AGH Uczelniane Wydawnictwa Naukowo Dydaktyczne, Kraków 2008, s. 45–55
- [4] *Drzewiecki J.*: Wpływ postępu frontu ściany na dynamikę niszczenia górotworu karbońskiego. Prace Naukowe Głównego Instytutu Górnictwa nr 860. Katowice 2004
- [5] *Konopno W.*: Doświadczalne podstawy kwalifikowania wyrobisk górniczych w kopalniach węgla kamiennego do stopni zagrożenia tąpnięciami. Prace Naukowe Głównego Instytutu Górnictwa nr 795. Katowice 1994
- [6] *Piernikarczyk A., Drzewiecki J.*: Ocena trafności prognozy energii sejsmicznej w oparciu o zbiór zjawisk z 15 kopalni GZW. Prace Naukowe GIG, wydanie specjalne, nr VII/2008, s. 227–232
- [7] PN-EN 61508:2006 Bezpieczeństwo funkcjonalne elektrycznych, elektronicznych, programowalnych elektronicznych systemów związanych z bezpieczeństwem. Część 1–7
- [8] PN-EN 62061:2008 Bezpieczeństwo maszyn. Bezpieczeństwo funkcjonalne elektrycznych, elektronicznych, programowalnych elektronicznych systemów związanych z bezpieczeństwem
- [9] PN-N-18001:2000 Systemy zarządzania bezpieczeństwem i higiena pracy. Wymagania
- [10] Raporty roczne (2004–2008) o stanie podstawowych zagrożeń naturalnych i technicznych w górnictwie węgla kamiennego. Główny Instytut Górnictwa, Katowice

- [11] *Romanowska-Słomka I, Słomka A.: Zarządzanie ryzykiem zawodowym. Tarnobrzeg 2007*
- [12] Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 14 czerwca 2002 roku w sprawie zagrożeń naturalnych w zakładach górniczych (Dz.U. z dnia 1 lipca 2002 r. poz. 841)