

Magdalena TUTAK
Politechnika Śląska
Wydział Górnictwa i Geologii
magdalena.tutak@polsl.pl

Jarosław BRODNY
Politechnika Śląska
Wydział Organizacji i Zarządzania
jaroslaw.brodny@polsl.pl

OCENA RYZYKA WYBUCHU PYŁU WĘGLOWEGO W REJONIE ŚCIANY EKSPLOATACYJNEJ

Streszczenie. Jednym z bardziej niebezpiecznych zagrożeń występujących w krajowym i światowym podziemnym górnictwie węgla kamiennego jest zagrożenie wybuchem pyłu węglowego. Wystąpienie takiego wybuchu pociąga za sobą ogromne straty materialne oraz jest bardzo niebezpieczne dla załogi. Bardzo istotne znaczenie dla ograniczenia możliwości wystąpienia takich zdarzeń mają działania profilaktyczne, których prowadzenie powinno być poprzedzone rzetelną oceną ryzyka wystąpienia wybuchu pyłu węglowego. W artykule omówiono mechanizm powstawania i rozwoju wybuchu pyłu węglowego. Scharakteryzowano czynniki, jakie muszą być spełnione, aby doszło do wybuchu oraz przedstawiono założenia metody oceny ryzyka wystąpienia wybuchu pyłu węglowego. Przedstawiono także praktyczny przykład wyznaczenia wskaźnika ryzyka wystąpienia wybuchu pyłu węglowego w rejonie ściany eksploatacyjnej. Przedstawiona metodyka zdaniem autorów powinna znaleźć szerokie zastosowanie w praktyce górniczej.

Słowa kluczowe: ryzyko, zagrożenie, pył węglowy, wybuch, wyrobisko górnicze

RISK ASSESSMENT OF COAL DUST EXPLOSION IN THE REGION OF MINING LONGWALL

Abstract. One of the most dangerous natural hazards occurring in the world and domestic underground hard coal mining is coal dust explosion hazard, being a side product of coal mining process. Occurrence of such explosions brings huge material losses and is very dangerous for the crew. Very significant meaning for the limitation of possibility of occurrence of such events have prophylactic actions,

which should be preceded with reliable assessment of the explosion occurrence risk. In the paper, a mechanism of formation and development of coal dust explosion in the region of mining longwall was described. There were characterized conditions which has to be fulfilled to explosion could occur, and assumptions of method of risk assessment of such explosion was presented. Also a practical example of determination of risk index of coal dust explosion occurrence in the region of mining longwall was presented. Presented methodology, in the opinion of authors, should have found a broad application in the mining practice.

Keywords: risk, hazard, coal dust, explosion, mining excavation

1. Wprowadzenie

W podziemnym górnictwie węgla kamiennego występuje szereg zjawisk zagrażających bezpieczeństwu pracy pracowników oraz całemu procesowi eksploatacji. Najczęściej zjawiska te wynikają z zagrożeń naturalnych i stanowią istotne źródło ryzyka, powodując zarówno straty ludzkie, jak i materialne. Za najbardziej niebezpieczne zagrożenia uważa się te, które powodują największą liczbę ofiar śmiertelnych [7]. Czołowe miejsce w tej grupie od lat zajmuje zagrożenie wybuchem pyłu węglowego. Zagrożenie wybuchem pyłu węglowego to stwierdzona możliwość powstania i przenoszenia się wybuchu pyłu węglowego, który, zapoczątkowany aktywizacją czynnika termicznego, powoduje niebezpieczeństwo dla załogi i przerwanie ciągłości ruchu zakładu [2, 3, 4, 6].

Największe katastrofy, zarówno w światowym, jak i w polskim górnictwie, związane były m.in. z wybuchami pyłu węglowego oraz współwystępującymi wybuchami metanu i pyłu węglowego, w następstwie których występowały pożary podziemne. Pomimo dobrego rozpoznania mechanizmu powstawania wybuchu pyłu węglowego oraz warunków koniecznych do jego wystąpienia w dalszym ciągu zagrożenie to zalicza się do grupy najbardziej niebezpiecznych naturalnych zagrożeń występujących w kopalniach węgla kamiennego. Jednocześnie jest to zagrożenie, którego wyeliminowanie jest praktycznie niemożliwe.

Katastrofy związane z wybuchami pyłu węglowego powodują ogromne straty materialne oraz bardzo często również ofiary śmiertelne. Najtragiczniejsze katastrofy górnicze związane z wybuchem pyłu węglowego, jakie wystąpiły w XX wieku, to wybuchy pyłu węglowego w kopalniach [5]: Courrières we Francji w 1906 roku (1099 ofiar śmiertelnych), Hangkoi w Japonii w 1942 roku (1549 ofiar śmiertelnych) oraz Dhori w Indiach w 1965 roku (268 ofiar śmiertelnych).

W Polsce ostatnie dwa niebezpieczne zdarzenia związane z wybuchem pyłu węglowego miały miejsce w 2009 i 2006 roku. W 2009 roku w KWK Wujek Ruch „Śląsk” wystąpił wybuch metanu z udziałem pyłu węglowego, w którym życie straciło 20 pracowników, a 34 zostało rannych, natomiast w 2006 roku w KWK Halemba miał miejsce wybuch pyłu węglowego

i metanu, który pozbawił życia 23 górników. W obu przypadkach wystąpiły także bardzo duże zniszczenia w infrastrukturze kopalnianej.

Aby skutecznie zapobiegać wybuchom pyłu węglowego w podziemnych wyrobiskach górniczych, w tym w ścianach eksploatacyjnych, należy dokonywać identyfikacji oraz oceny ryzyka wystąpienia tego zagrożenia. Ocena ta ma pomóc w podejmowaniu odpowiednich działań zmierzających do zminimalizowania tego zagrożenia w podziemnych zakładach górniczych oraz potencjalnych skutków powstałych w wyniku jego aktywizacji.

Ze względu na bardzo negatywne skutki wybuchów pyłu węglowego oraz wybuchów metanu z udziałem pyłu węglowego istotne znaczenie mają działania prognostyczne, których celem jest ocena potencjalnego ryzyka jego wybuchu. Ocena ryzyka związanego z możliwością wybuchem pyłu węglowego stwarza możliwość przewidywania, a tym samym zapobiegania niebezpiecznym zdarzeniom związanym z tym zagrożeniem. Wyniki przeprowadzonej oceny ryzyka muszą być wykorzystane przez odpowiednie służby kopalniane do podejmowania działań obejmujących dobór odpowiednich środków bezpieczeństwa w celu zmniejszających poziom zagrożenia wybuchem pyłu węglowego.

Aktualna wiedza na temat podziemnych wybuchów pyłu węglowego oraz prawidłowo prowadzona polityka bezpieczeństwa pracy w tym sektorze stwarzają podstawy do zapewnienia takich warunków pracy w kopalniach węgla kamiennego, w których ryzyko związane z zagrożeniem wybuchu pyłu węglowego będzie co najmniej na poziomie akceptowalnym.

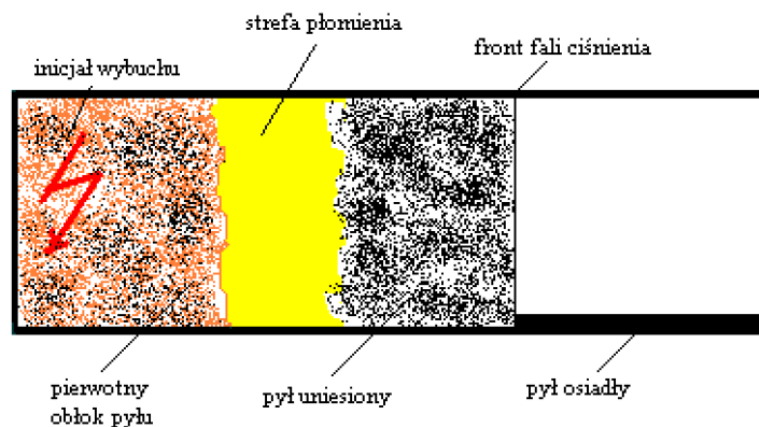
W artykule zaprezentowano jakościową metodę oceny ryzyka wybuchu pyłu węglowego w ścianach eksploatacyjnych kopalń węgla kamiennego oraz przedstawiono wyniki analizy tego stanu na przykładzie rzeczywistej ściany eksploatacyjnej. W analizowanym przykładzie do oceny wykorzystano wyniki badań ilościowych zapylenia atmosfery badanego rejonu ściany eksploatacyjnej.

2. Charakterystyka zagrożenia wybuchem pyłu węglowego w podziemnych wyrobiskach górniczych kopalń węgla kamiennego

Pył, a w szczególności węglowy, jest niepożądanym produktem ubocznym mechanicznego urabiania skał, w tym węgla kamiennego. Unosi się on w atmosferze kopalnianej i przemieszczany jest z miejsca jego powstania wraz z przemieszczającym się strumieniem wentylacyjnym. W wyniku tego procesu osadza się on na spągu, ociosach i stropie wyrobisk oraz na elementach ich wyposażenia, czyli na obudowie górniczej oraz wszelkiego typu maszynach i urządzeniach górniczych. Przy obecnie stosowanych technologiach eksploatacyjnych niemożliwe jest całkowite wyeliminowanie powstawania pyłu. Możliwe jest natomiast zmniejszenie jego ilości. Należy także zaznaczyć, iż z punktu widzenia wybuchu w warunkach

podziemnej eksploatacji węgla kamiennego niebezpieczeństwo stwarza tylko pył węglowy posiadający zdolność do wybuchu.

Pył węglowy tworzą ziarna węgla, które przechodzą przez sito o wymiarach oczek 1×1 mm [11]. Ziarna te mogą brać udział w wybuchu pyłu węglowego, pod warunkiem iż zawierają odpowiednią ilość części lotnych, co powoduje, iż może dojść do wybuchu lub inaczej eksplozji chemicznej, rozumianej jako gwałtowna reakcja chemiczna połączona z intensywnym wydzielaniem się ciepła, zdolna do samopodtrzymującej się propagacji w materiale [9]. Wybuch pyłu węglowego jest zjawiskiem dynamicznym, zachodzącym w bardzo krótkim czasie i objawiającym się ogromną siłą niszczącą w postaci fali uderzeniowej. Powstanie tej fali jest wynikiem zachodzącej reakcji egzotermicznej oraz wydzielających się dużych ilości gazów. Fala ciśnienia wyprzedza falę płomieni i produktów wybuchu (rys. 1).



Rys. 1. Schemat powstania i rozwoju wybuchu pyłu węglowego
 Źródło: Lebecki K.: Zagrożenia pyłowe w górnictwie. GIG, Katowice 2004.

Aby więc doszło do wybuchu pyłu węglowego, muszą być spełnione następujące warunki:

- obecność w wyrobisku pyłu pochodzącego z pokładu zagrożonego wybuchem pyłu węglowego, tzw. pyłu niezabezpieczonego,
- wystąpienie dynamicznego czynnika mechanicznego wznoszącego w powietrze zalegający w wyrobisku pył węglowy,
- wystąpienie czynnika termicznego, który spełni rolę inicjału, czyli źródła zapłonu obłoku pierwotnego pyłu.

Pokład węgla zagrożony wybuchem pyłu węglowego to pokład węgla, w którym stwierdzono zawartość części lotnych w węglu większą niż 10% w bezwodnej i bezpopiołowej substancji węglowej [11].

W definicji pokładu zagrożonego wybuchem pyłu węglowego zaakcentowano znaczenie części lotnych występujących w węglu. Części lotne to inaczej lotne produkty rozkładu paliwa stałego, powstałe podczas ogrzewania go bez dostępu powietrza w określonych warunkach [10]. Składają się one z: metanu (4,4%), etanu (0,3%), propanu (0,1%), izobutanu (0,3%), propylenu (0,3%), tlenku węgla (73,4%), dwutlenku węgla (2,8%) oraz wodoru (18,4%) [1].

Skład części lotnych ma istotne znaczenie w mechanizmie wybuchu pyłu węglowego. Wymienione gazy są gazami palnymi, co powoduje, że podczas wybuchu pyłu węglowego w istocie dochodzi do wybuchu tych gazów.

Można więc przyjąć, że mechanizm wybuchu pyłu węglowego obejmuje jego dynamiczne spalanie, które składa się z fazy podgrzewania ziaren, wydzielenia części lotnych i ich zapłonu [6]. Bardzo istotne znaczenie w tym procesie ma także czynnik mechaniczny (aerodynamiczny), konieczny do zaistnienia wybuchu pyłu węglowego, a powodujący wznoszenie pierwotnego obłoku pyłu węglowego w powietrze. Przyczyną wystąpienia tego czynnika może być wybuch/zapłon metanu, roboty strzałowe oraz pożary podziemne, powodujące powstanie fali ciśnienia o odpowiednio dużej energii i prędkości potrzebnej do wzbicia obłoku pyłu węglowego. Stężenie wybuchowe tego pyłu mieści się w zakresie od 45 do 1000 g/m³, przy czym największa siła wybuchu ma miejsce przy stężeniu w granicach 300-500 g/m³.

W czasie działania czynnika mechanicznego, wznoszącego pierwotny obłok pyłu węglowego w powietrze, musi zadziałać także czynnik termiczny, mający zdolność wytworzenia tak wysokiej temperatury, która w odpowiednim czasie ogrzeje ziarna pyłu węglowego unoszące się w obłoku i spowoduje wydzielenie się z niego części lotnych, a następnie ich zapłon. Na podstawie badań doświadczalnych stwierdzono, iż temperatura zapłonu takiej mieszaniny wynosi około 500-600°C.

Wartości pożarowo-wybuchowe pyłu węglowego zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1

Wartości pożarowo-wybuchowe pyłu węglowego

Nazwa parametru	Wartość
Temperatura samozapłonu w chmurze (obłoku)	500-600°C
Temperatura samozapłonu w osadzie	265 °C
Dolna granica wybuchowości	45 g/m ³
Górna granica wybuchowości	1000 g/m ³
Maksymalne ciśnienie wybuchu	0,8 MPa
Maksymalna szybkość wzrostu ciśnienia	29,9 MPa/s

Źródło: Smoleński D.: Teoria materiałów wybuchowych. MON, Warszawa 1954.

Można więc przyjąć, iż zasadniczą rolę w oddziaływaniu inicjału odgrywają czynnik mechaniczny, wznoszący obłok pyłu węglowego, oraz czynnik termiczny, powodujący ogrzanie i zapalenie obłoku pyłu węglowego.

Inicjałem decydującym o zapoczątkowaniu wybuchu pyłu węglowego może być:

- jedna przyczyna wznosząca i zapalająca obłok pyłu,
- różne przyczyny wznoszące i zapalające obłok pyłu węglowego.

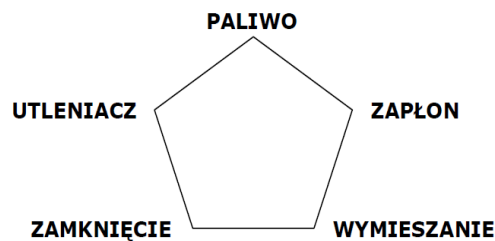
Natomiast na zasięg i siłę wybuchu wpływ mają następujące czynniki:

- warunki jakościowe pyłu węglowego (udział części lotnych i niepalnych, wilgotność, wielkość ziaren),
- warunki ilościowe pyłu węglowego (stężenie pyłu węglowego),

- inicjał wybuchu pyłu węglowego,
- charakter pierwotnego obłoku pyłu węglowego,
- stężenie metanu w powietrzu kopalnianym,
- ilość pyłu węglowego zalegającego w wyrobiskach i zasięg zapylenia,
- warunki panujące w wyrobiskach.

Prędkość rozprzestrzeniania się wybuchu pyłu węglowego przy słabym wybuchu wynosi od 200 m/s, natomiast przy wybuchu silnym dochodzi do 2000 m/s.

Model czynników, które muszą być spełnione, aby doszło do wybuchu pyłu węglowego, przedstawiono na rys. 2 [2, 3, 4].



Rys. 2. Model wybuchu pyłu węglowego – pięciokąt wybuchowości
Źródło: Lebecki K.: Zagrożenia pyłowe w górnictwie. GIG, Katowice 2004.

Przedstawiony na rys. 2 model wskazuje, iż warunkiem koniecznym do zaistnienia wybuchu jest jednoczesna obecność, w tym samym czasie i miejscu, wszystkich elementów pięciokąta, tj. zamkniętej przestrzeni (wyrobisko górnicze), utleniacza (powietrze kopalniane), paliwa (pył węglowy), zapłonu (inicjał), wymieszania substancji lotnych. Jest to również wskazówka, jak prowadzić działania profilaktyczne, aby do takiej sytuacji nie doszło.

3. Metoda oceny ryzyka wybuchu pyłu węglowego

Na stan zagrożenia wybuchem pyłu węglowego w ścianach eksploatacyjnych wpływa wiele czynników, których jednoczesne wystąpienie konieczne jest, aby do wybuchu doszło.

Duży problem stwarza wzajemne oddziaływanie na siebie zagrożeń naturalnych, zwanych zagrożeniami skojarzonymi [8, 9]. Zagrożenie wybuchem pyłu węglowego skojarzone jest z zagrożeniem metanowym (jako czynnikiem dynamicznym i inicjałem wybuchu pyłu węglowego), z zagrożeniem tąpnięciami (czynnik dynamiczny wzbijający pył węglowy) oraz z zagrożeniem pożarowym (jako czynnikiem dynamicznym i inicjałem wybuchu pyłu węglowego). Czynniki inicjującymi wybuch pyłu węglowego mogą być także roboty strzałowe, zły stan urządzeń elektrycznych oraz iskrzenie.

Uwzględniając te czynniki, opracowano metodę oceny ryzyka związanego z możliwością wybuchu pyłu węglowego w podziemnych wyrobiskach górniczych.

Na podstawie analizy stanu wiedzy na temat zagrożenia wybuchem pyłu węglowego, analizy przyczyn i okoliczności dotychczas zaistniałych zdarzeń z jego udziałem, a także przy wykorzystaniu wiedzy i doświadczeń ruchowych ekspertów dokonano wyboru czynników, które kształtują i wpływają w sposób istotny na to zagrożenie.

Na szczególną uwagę spośród czynników mających wpływ na zagrożenie wybuchem pyłu węglowego zasługuje zagrożenie metanowe, które jest bardzo ważnym czynnikiem dynamiczny powodując wzbicie pyłu węglowego i inicjację wybuchu pyłu węglowego.

Czynniki kształtujące zagrożenie wybuchem pyłu węglowego i ryzyko z nim związane podzielono na dwie grupy. Do pierwszej grupy zakwalifikowano tylko te związane z właściwościami wybuchowymi pyłu węglowego, natomiast do grupy drugiej – związane z czynnikami dynamicznymi i inicjującymi wybuch pyłu węglowego. Każdemu czynnikowi nadano odpowiednią rangę punktową, wpływającą na poziom zagrożenia i ryzyka z nim związanego. Ranga ta ustalona została na podstawie badań przeprowadzonych wśród ekspertów, będących pracownikami działów wentylacyjnych kopalń. Oceniając zdolność pyłu węglowego do wybuchu, należy brać pod uwagę parametry pyłu pobranego z tego chodnika przyścianowego, w którym parametry pyłu w większym stopniu rzutują na jego zdolność do wybuchu.

Poniżej przedstawiono zestaw czynników kształtujących zagrożenie wybuchem pyłu węglowego w środowisku ścian eksploatacyjnych wraz z wartościami ich wag.

I. PARAMETRY DECYDUJĄCE O ZDOLNOŚCIACH WYBUCHOWYCH PYŁU WĘGLOWEGO

1. Nagromadzenie pyłu węglowego w wyrobisku (0-20 pkt)

- a. poniżej 20 g/m^3 – ilości nieistotne (bez względu na stopień rozdrobnienia pyłu oraz występujące stężenie metanu) – 0 pkt
- b. od 20 do 25 g/m^3 – ilości w granicach wybuchowości mieszanin hybrydowych (przy rozdrobnieniu pyłu wynoszącym 60-80% – 10 pkt
- c. poniżej 30 g/m^3 – ilości nieistotne (bez udziału metanu) – 2 pkt
- d. od 31 do 50 g/m^3 – ilości w zakresie tolerowalnym – 5 pkt
- e. od 51 do 300 g/m^3 – ilości w zakresie powyżej dolnej granicy wybuchowości – 15 pkt
- f. powyżej 300 g/m^3 – ilości w granicach optymalnej granicy wybuchowości – 20 pkt

2. Intensywność osiadania pyłu węglowego (0-10 pkt)

- a. poniżej $1 \text{ g/m}^3/\text{dobę}$ – wielkości nieistotne – 0 pkt
- b. od 1 do $10 \text{ g/m}^3/\text{dobę}$ – wielkości w zakresie akceptowalnym – 3 pkt
- c. od 11 do $30 \text{ g/m}^3/\text{dobę}$ – wielkości w zakresie tolerowanym – 5 pkt
- d. powyżej $30 \text{ g/m}^3/\text{doba}$ – wielkości nieakceptowane – 10 pkt

3. Zawartość procentowa części niepalnych stałych zawartych w pyłe kopalnianym (0-10 pkt)

- a. co najmniej 70% – ilość części niepalnych stałych, która zabezpiecza pył węglowy w polach niemetalowych – 1 pkt
- b. poniżej 70% – ilość części niepalnych stałych, która nie zabezpiecza pyłu węglowego w polach niemetalowych (niezgodna z przepisami) – 10 pkt
- c. co najmniej 80% – ilość części niepalnych stałych, która zabezpiecza pył węglowy w polach metalowych – 1 pkt
- d. poniżej 80% – ilość części niepalnych stałych, która nie zabezpiecza pyłu węglowego w polach metalowych (niezgodna z przepisami) – 10 pkt

4. Zawartość wody w pyłe kopalnianym (0-10 pkt)

- a. powyżej 50% – zawartość wody pozbawiająca pył lotności, zabezpieczająca przed wybuchem – 1 pkt
- b. 31 do 50% – zawartość wody pozbawiająca pył lotności i w zależności od zawartości części niepalnych stałych, zabezpieczająca pył węglowy przed wybuchem – 3 pkt
- c. 10 do 30% – zawartość wody pozbawiająca pył lotności, niezabezpieczająca przed wybuchem – 5 pkt
- d. poniżej 10% – pył węglowy suchy, lotny wybuchowy – 10 pkt

II. CZYNNIKI WPŁYWAJĄCE NA MOŻLIWOŚĆ WZBICIA PYŁU WĘGLOWEGO I INICJACJI JEGO WYBUCHU

1. Metanowość bezwzględna rejonu wentylacyjnego (0-45 pkt)

- a. do 3 m³CH₄/min – 5 pkt
- b. 3 m³CH₄/min – 5 m³CH₄/min – 10 pkt
- c. 6 m³CH₄/min – 15 m³CH₄/min – 15 pkt
- d. 16 m³CH₄/min – 25 m³CH₄/min – 25 pkt
- e. 26 m³CH₄/min – 35 m³CH₄/min – 30 pkt
- f. 36 m³CH₄/min – 45 m³CH₄/min – 35 pkt
- g. 46 m³CH₄/min – 55 m³CH₄/min – 40 pkt
- h. powyżej 55 m³CH₄/min – 45 pkt

2. Możliwość dodatkowego dopływu metanu bezpośrednio do wyrobiska ścianowego w wyniku odgazowania się blisko zalegających warstw węgla lub pokładów w stropie lub spągu eksploatowanego pokładu (4 pkt)

3. System przewietrzania ściany eksploatacyjnej (0-10 pkt)

- a. na „U” od granic – 10 pkt
- b. na „U” do granic – 3 pkt
- c. na „Y” z odprowadzaniem powietrza zużytego wzdłuż zrobów – 0 pkt
- d. na „Y” z odprowadzaniem powietrza zużytego w dwóch kierunkach – 6 pkt
- e. na „Y” z doświeżaniem chodnikiem nadścianowym od strony zrobów – 3 pkt

4. System eksploatacji (0-7 pkt)

- a. podłużny na zawał – 3 pkt
- b. podłużny z podsadzką suchą – 4 pkt

- c. podłużny z podsadzką płynną – 1 pkt
 - d. poprzeczny z zawalem na upad – 0 pkt
 - e. poprzeczny z zawalem po wzniosie – 5 pkt
 - f. poprzeczny po wzniosie z podsadzką suchą – 7 pkt
 - g. poprzeczny po wzniosie z podsadzką hydrauliczną – 2 pkt
- 5. Prowadzenie robót strzałowych (0-7 pkt)**
- a. nie prowadzi się robót strzałowych – 0 pkt
 - b. prowadzi się roboty strzałowe w ścianie – 5 pkt
 - c. prowadzi się roboty strzałowe w zawale ściany – 7 pkt
 - d. prowadzi się roboty strzałowe w chodniku podścianowym – 1 pkt
 - e. prowadzi się roboty strzałowe w chodniku nadścianowym – 3 pkt
- 6. Występowanie w ścianie zagrożenia pożarami endogenicznymi i zagrożenia wybuchem gazów pożarowych (1-5 pkt)**
- a. I grupa – 1 pkt
 - b. II grupa – 2 pkt
 - c. III grupa – 3 pkt
 - d. IV grupa – 4 pkt
 - e. V grupa – 5 pkt
- 7. Wystąpienie zakłóceń przewietrzania wyrobisk w wyniku zatrzymania wentylatora głównego, otwarcia tam – wentylacyjnych, regulacyjnych (5 pkt)**
- 8. Występowanie w stropie lub spągu eksploatowanego pokładu skał iskrzących (0-5 pkt)**
- a. skały iskrzące nie występują – 0 pkt
 - b. skały iskrzące występują – 4 pkt
- 9. Występowanie zagrożenia tapaniami w eksploatowanym pokładzie (0-4 pkt)**
- a. pokład niezagrożony – 0 pkt
 - b. pokład zaliczony do I stopnia zagrożenia tapaniami – 2 pkt
 - c. pokład zaliczony do II stopnia zagrożenia tapaniami – 3 pkt
 - d. pokład zaliczony do III stopnia zagrożenia tapaniami – 4 pkt
- 10. Występowanie strefy szczególnego zagrożenia tapaniami (0-3 pkt)**
- a. strefa szczególnego zagrożenia tapaniami nie występuje – 0 pkt
 - b. strefa szczególnego zagrożenia tapaniami występuje w rejonie eksploatowanej ściany – 3 pkt
- 11. Inne czynniki mogące stanowić inicjał (1-5 pkt)**
- a. od urządzeń elektrycznych – 3 pkt
 - b. tarcie elementów złączy obudowy ŁP – 1 pkt
 - c. zwarcia elektryczne – 5 pkt

$$W_{zwpw} = \sum_{p=1}^n C_i \quad (1)$$

gdzie:

W_{zwpw} – wskaźnik ryzyka wybuchu pyłu węglowego,

C_i – ranga przypisana danemu czynnikowi.

Gradację poziomów ryzyka wybuchu pyłu węglowego przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2

Gradacja poziomów ryzyka zagrożenia wybuchem pyłu węglowego

Suma punktów	Poziom ryzyka	Zalecane działania
0-30	pomijalny	Wymagany monitoring parametrów pyłu węglowego decydujących o jego wybuchowości.
31-60	mały	Wymagany monitoring parametrów pyłu węglowego decydujących o jego wybuchowości, dla utrzymania ich w stanie kontrolowalnym (stała kontrola zawartości części niepalnych stałych). Kontrolować należy instalacje zraszające, zainstalowane na kombajnie.
61-90	umiarkowany	Należy obniżyć poziom ryzyka poprzez wprowadzenie odpowiednich środków zabezpieczających wyrobiska przed wybuchem pyłu węglowego. Konieczna stała kontrola zawartości części niepalnych stałych. Konieczne działania eliminujące możliwość niebezpiecznego nagromadzenia metanu. Konieczny dobór skuteczniejszych środków profilaktyki przeciwpyłowej.
91-120	istotny (poważny)	Nie można kontynuować pracy przy eksploatacji ściany, dopóki ryzyko nie zostanie zredukowane do poziomu umiarkowanego. W przypadku prac już prowadzonych konieczne jest zaprzestanie eksploatacji i wycofanie załogi z zagrożonego rejonu.
121-150	niedopuszczalny	Praca przy eksploatacji ściany nie może zostać rozpoczęta ani kontynuowana. Poziom ryzyka należy zredukować do poziomu umiarkowanego. Jeżeli nie można obniżyć poziomu zagrożenia poprzez stosowanie skuteczniejszych środków profilaktycznych, należy rozważyć zaniechanie eksploatacji.

Źródło: Opracowanie własne.

4. Metoda oceny ryzyka wybuchu pyłu węglowego

Ocenę ryzyka wybuchu pyłu węglowego przeprowadzono dla ściany 8d, eksploatowanej w pokładzie 510L w jednej z kopalń prowadzących eksploatację w obszarze Górnośląskiego Zagłębia Węglowego.

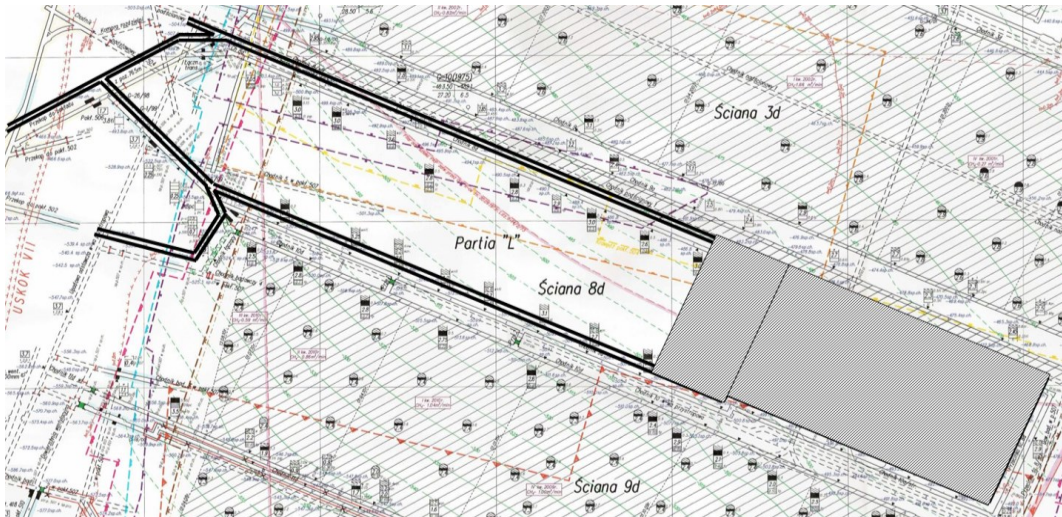
Celem oceny było określenie, czy ryzyko związane z prowadzoną eksploatacją w zakresie zagrożenia wybuchem pyłu węglowego jest na takim poziomie, który pozwala na prowadzenie eksploatacji przy stosowanych środkach profilaktycznych.

4.1. Charakterystyka warunków geologiczno-górnicznych

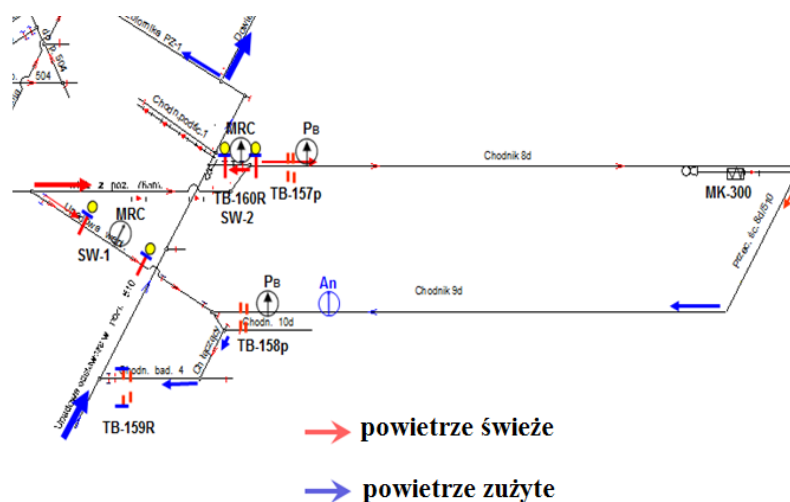
Ściana 8d w pokładzie 510L prowadzona była systemem podłużnym z zawałem stropu w kierunku od granic pola eksploatacji, a jej parametry geometryczne to:

- długość ściany: 170,0 m
- wybieg ściany: 940,0 m
- miąższość: 2,5 m
- nachylenie poprzeczne: ok. 5°
- nachylenie podłużne: ok. 7°.

Ściana ta przewietrzana była systemem na „U” od granic. Położenie ściany i schemat jej przewietrzania wraz z zaznaczonymi kierunkami przepływu powietrza przedstawiono na rys. 3 oraz 4.



Rys. 3. Ściana 8d w pokładzie 510L
Źródło: Opracowanie własne.



Rys. 4. Schemat przewietrzania ściany 8d w pokładzie 510L
Źródło: Opracowanie własne.

Ściana prowadzona była w następujących warunkach zagrożeniowych:

- I i III stopnia zagrożenia tapaniami,
- II kategorii zagrożenia metanowego,
- klasy B zagrożenia wybuchem pyłu węglowego,
- II grupy skłonności węgla do samozapalenia,
- I stopnia zagrożenia wodnego.

Średnie wydobycie w ścianie 8d eksploatowanej w pokładzie 510L wynosiło 3587,7 Mg na dobę.

4.2. Wyniki badań właściwości pyłu węglowego w rejonie ściany 8d w pokładzie 510L

W tabeli 3 zestawiono wyniki badań pyłu pobranego z rejonu ściany 8d w pokładzie 510 L, na podstawie których dokonano ocenę ryzyka wybuchu pyłu węglowego.

Tabela 3

Wyniki badań pyłu pobranego z rejonu ściany 8d w pokładzie 510L

	Chodnik 8d 30 m od ściany 8d	Chodnik 8d 50 m od ściany 8d	Chodnik 9d 30 m od ściany 8d	Chodnik 9d 50 m od ściany 8d
Masa próbki m_1 , g	5,39	5,11	12,69	12,75
Zawartość części niepalnych, %	26,7	26,4	25,3	27,6
Masa części niepalnych m_2 , g	1,44	1,35	3,21	3,52
Czas pomiaru, doba	3	3	3	3
Przekrój wyrobiska, m^2	12,5	12,5	13,0	13,0
Intensywność osiadania pyłu Q, g/m^2	5,268	5,015	12,639	12,308
Intensywność osiadania pyłu Q, g/m^3	3,009	2,864	6,525	6,354
Liczba dób, po których nagromadzenie pyłu węglowego bez stosowania profilaktyki przekroczy $30 g/m^3$	10	10	5	5

Źródło: Opracowanie własne.

4.3. Stosowana profilaktyka

W rejonie badanej ściany eksploatacyjnej prowadzone były działania profilaktyczne, polegające głównie na neutralizacji pyłu węglowego poprzez opylanie wyrobisk przyścianowych pyłem kamiennym oraz zabudowaniu w tych wyrobiskach zapór przeciwwybuchowych.

Zawartość części niepalnych stałych w osiadającym pyłu w odległości 30 m od wlotu do ściany 8d wynosiła 26,7%, natomiast w odległości 50 m – 26,4% przed opyleniem pyłem kamiennym. Po opyleniu stref zabezpieczających pyłem kamiennym średnia zawartość części niepalnych stałych w pobranych próbach pyłu wynosiła 85,31%.

W chodniku 8d zabudowane były cztery pomocnicze zapory przeciwwybuchowe pyłowe. Zapory te utrzymywane były w odległościach od 60 do 200 m od ściany 8d. Ze względu na

występowanie w chodniku 8d stref szczególnego zagrożenia tapaniami, w wyrobisku tym wykonane zostały strefy zabezpieczające. Zabezpieczenie przed przeniesieniem wybuchu pyłu węglowego z chodnika 8d na inne wyrobiska znajdujące się w rejonie ściany 8d stanowiła jedna zapora główna przeciwwybuchowa pyłowa, zlokalizowana w przekopie do pokładu 510 z poziomu 765 m.

Intensywność osiadania pyłu w chodniku 8d na 30 m od ściany 8d wynosiła $3,009 \text{ g/m}^3$, a na 50 m – $2,864 \text{ g/m}^3$ (przy 72-godzinnym pomiarze). Chodnikiem 8d powietrze świeże doprowadzano do ściany. Wyrobisko zaliczone zostało do stopnia „c” niebezpieczeństwa wybuchu metanu. W wyrobisku zainstalowane były kable i przewody elektroenergetyczne. Odstawa urobku ze ściany odbywa się chodnikiem 8d – chodnikiem podścianowym. Ze ściany do chodnika urobek transportowano za pomocą jednego przenośnika zgrzeblowego, natomiast z chodnika – dwoma przenośnikami taśmowymi.

W chodniku nadścianowym ściany 9d utrzymywano strefę zabezpieczającą (200-metrową), w której raz na dobę opylano pyłem kamiennym cały przekrój wyrobiska, łącznie z obudową, w celu zapewnienia zawartości co najmniej 80% stałych części niepalnych w pyłe kopalnianym. Zawartość części niepalnych stałych w odległości 30 m od wylotu ze ściany 8d wynosiła 25,3%, a w odległości 50 m – 27,6%. Po opyleniu stref zabezpieczających pyłem kamiennym średnia zawartość części niepalnych stałych w pobranych próbach pyłu wynosiła 84,7%. W chodniku 9d zabudowane były trzy pomocnicze zapory przeciwwybuchowe pyłowe i jedna zapora wodna. Pomocnicze zapory przeciwwybuchowe utrzymywane były w odległościach od 60 do 200 m od ściany 8d. Ze względu na występowanie w chodniku 9d stref szczególnego zagrożenia tapaniami w wyrobisku tym wykonane zostały strefy zabezpieczające. Zabezpieczenie przed przeniesieniem wybuchu pyłu węglowego z chodnika 9d na inne wyrobiska znajdujące się w rejonie ściany 8d stanowiła jedna zapora główna przeciwwybuchowa pyłowa, zlokalizowana w chodniku badawczym 4 w pokładzie 507.

Intensywność osiadania pyłu w chodniku 9d wynosiła w odległości 30 m od wylotu ze ściany 8d – $6,525 \text{ g/m}^3$, a w odległości 50 m – $6,354 \text{ g/m}^3$ (po 72 godzinach czasu trwania pomiaru). Chodnikiem 9d odprowadzano ze ściany powietrze zużyte. Wyrobisko zaliczone zostało do stopnia „c” niebezpieczeństwa wybuchu metanu. W wyrobisku nie były zainstalowane kable i przewody elektroenergetyczne.

4.4. Ocena ryzyka wybuchu pyłu węglowego w ścianie 8d w pokładzie 510L

I. Parametry decydujące o zdolnościach wybuchowych pyłu węglowego

1. Nagromadzenie pyłu węglowego w wyrobisku

Średnia wartość nagromadzonego pyłu w wyrobisku przyścianowym w wylotowym prądzie powietrza wynosiła około $32,20 \text{ g/m}^3$ – **5 pkt**

2. Intensywność osiadania pyłu węglowego

Intensywność osiadania pyłu wynosiła 2,175 g/m³/doba (30 m od ściany w wyrobisku przyścianowym z wylotowym prądem powietrza) – **3 pkt**

3. Zawartość procentowa części niepalnych stałych w pyle kopalnianym

Zawartość procentowa części niepalnych stałych w pyle kopalnianym (zawartość części niepalnych stałych po neutralizacji) wynosiła 84,7 % – **1 pkt**

4. Zawartość wody w pyle kopalnianym

Zawartość wody przemijającej wynosiła 11,8% – **5 pkt**

II. Czynniki wpływające na możliwość wzbicia pyłu węglowego i inicjacji jego wybuchu

1. Metanowość bezwzględna rejonu wentylacyjnego

Maksymalna prognozowana metanowość bezwzględna ściany 8d dla wydobycia około 3800 t/d wynosi 5,4 m³CH₄/min – **10 pkt**

2. Możliwość dodatkowego dopływu metanu bezpośrednio do wyrobiska ścianowego w wyniku odgazowania się blisko zalegających warstw węgla lub pokładów w stropie lub spągu eksploatowanego pokładu

Istnieje możliwość dopływu metanu z pokładów nadebranych i podebranych – **4 pkt**

3. System przewietrzania ściany eksploatacyjnej

System na „U” od granic – **10 pkt**

4. System eksploatacji

Podłużny na zawał – **3 pkt**

5. Prowadzenie robót strzałowych

W zawale ściany – **7 pkt**

6. Występowanie w ścianie zagrożenia pożarowego, pożarami endogenicznymi i zagrożenia wybuchem gazów pożarowych

Pokład zaliczony został do II grupy skłonności węgla do samozapalenia – **2 pkt**

7. Wystąpienie zakłóceń przewietrzania wyrobisk w wyniku zatrzymania wentylatora głównego, otwarcia tam (wentylacyjnych, regulacyjnych)

Przyjmuje się, iż mogą wystąpić zakłócenia przewietrzania wyrobiska – **5 pkt**

8. Występowanie w stropie lub spągu eksploatowanego pokładu skał iskrzących

Skały iskrzące występują w urabianym pokładzie – **5 pkt**

9. Występowanie zagrożenia tapaniami w eksploatowanym pokładzie

Pokład zaliczony do I i III stopnia zagrożenia tapaniami – **4 pkt**

10. Występowanie strefy szczególnego zagrożenia tapaniami

Strefa szczególnego zagrożenia tapaniami występuje w rejonie eksploatowanej ściany – **3 pkt**

11. Inne czynniki mogące stanowić inicjał

Możliwość wystąpienia iskier pochodzących z urządzeń elektrycznych oraz powstałych w wyniku tarcia elementów złączy obudowy ŁP w chodnikach przyścianowych – **5pkt**

Podstawiając uzyskane wartości do wzoru (1), wyznaczono wartość wskaźnika ryzyka wybuchu pyłu węglowego:

$$W_{zwpw} = 5 + 3 + 1 + 5 + 10 + 4 + 10 + 3 + 7 + 2 + 5 + 5 + 4 + 3 + 5 = 72 \quad (2)$$

Uwzględniając gradację poziomów ryzyka wybuchu pyłu węglowego, przedstawioną w tabeli 2, można stwierdzić, iż ryzyko związane z zagrożeniem wybuchem pyłu węglowego w ścianie 8d/510L jest umiarkowane. Zawartość procentowa części niepalnych stałych po opyleniu wyrobisk przyścianowych spełnia wymogi zawarte w przepisach.

W rejonie ściany występuje jednak duża liczba inicjałów, które mogą zapoczątkować wybuch pyłu węglowego. Konieczna jest zatem stała kontrola zawartości części niepalnych stałych oraz zgodna z przyjętym harmonogramem neutralizacja pyłu węglowego. Konieczne jest także podjęcie próby eliminacji części czynników mogących zainicjować wybuch (zwłaszcza stężenia metanu).

5. Podsumowanie

Aktywizacja zagrożenia pyłowego, tj. wybuch pyłu węglowego w rejonie ściany eksploatacyjnej w podziemnym środowisku pracy, stanowi istotne zagrożenie dla bezpieczeństwa całej załogi oraz może być przyczyną dużych strat materialnych dla przedsiębiorstwa górniczego. Z tych też względów bardzo ważna jest ocena ryzyka wybuchu pyłu węglowego. Znajomość tego ryzyka powinna stanowić podstawę dla prowadzenia wzmoczonych działań profilaktycznych, których celem jest zmniejszenie poziomu zagrożenia wybuchem pyłu węglowego.

Ocena ryzyka wybuchu pyłu węglowego oraz, jeżeli wystąpi taka konieczność, działania profilaktyczne w celu zmniejszenia tego ryzyka powinny mieć istotny wpływ zarówno na poziom bezpieczeństwa pracy załogi, jak również na poprawę efektów ekonomicznych przedsiębiorstwa górniczego.

Przedstawiona w artykule metoda oceny ryzyka wybuchu pyłu węglowego w rejonie ścian eksploatacyjnych pozwala na określenie poziomu tego ryzyka w skali pięciostopniowej. Metoda ta łączy czynniki związane z właściwościami wybuchowymi pyłu węglowego z czynnikami dynamicznymi i inicjującymi ten wybuch. Takie podejście do tematyki oceny tego ryzyka wydaje się najbardziej sensownym i logicznym.

Wiarygodność uzyskanej oceny ryzyka wybuchu pyłu węglowego w dużej mierze zależy jednak od przeprowadzonych badań właściwości wybuchowych pyłu węglowego. Dlatego też podczas jej przeprowadzania konieczne jest wspomaganie się wiarygodnymi wynikami badań rzeczywistych właściwości wybuchowych pyłu węglowego pobranego z rejonu badanej ściany eksploatacyjnej.

Bibliografia

1. Cichowski E.: Przyczynowość w ocenie zagrożenia pyłowego. Politechnika Śląska, Gliwice 2002.
2. Cybulski K., Lebecki K., Szulik A.: Zasady eksploatacji złoża eliminujące wybuch pyłu węglowego. Materiały Szkoły Eksploatacji Podziemnej, IGSMiE PAN, Kraków 2004.
3. Cybulski K.: Zagrożenie wybuchem pyłu węglowego oraz ocena skuteczności działań profilaktycznych w polskich kopalniach węgla kamiennego. GIG, Katowice 2005.
4. Cybulski W.: Wybuchy pyłu węglowego i ich zwalczanie. Śląsk, Katowice 1973.
5. Kabiesz J.: Geneza i istota zagrożeń skojarzonych. XXXIV Dni Techniki ROP 2008. Seminarium zagrożenia skojarzone – teoria i praktyka. Rybnik 2008.
6. Lebecki K.: Zagrożenia pyłowe w górnictwie. GIG, Katowice 2004.
7. Pindór T., Preisner L. (red): Zagrożenia naturalne i techniczne a zarządzanie ryzykiem w górnictwie węgla kamiennego. AGH, Kraków 2009.
8. Rosmus P.: Określenie ryzyka związanego z zagrożeniami naturalnymi, [w:] Konopko W. (red.): Bezpieczeństwo pracy w kopalniach węgla kamiennego, t. 2. Zagrożenia naturalne. GIG, Katowice 2013.
9. Smoleński D.: Teoria materiałów wybuchowych. MON, Warszawa 1954.
10. PN-G-04516:1998 Paliwa stałe. Oznaczanie zawartości części lotnych metodą wagową.
11. Rozporządzenie ministra spraw wewnętrznych i administracji z dnia 14 czerwca 2002 r. w sprawie zagrożeń naturalnych w zakładach górniczych, Dz.U. 2002, nr 94, poz. 841.