

Badania skuteczności tłumienia wybuchów metanu

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki prac badawczych nad ograniczeniem i niedopuszczeniem do rozprzestrzeniania się wybuchu metanu, z zastosowaniem układu tłumienia i wykorzystaniem wysokociśnieniowych gaśnic. Badania prowadzono w naziemnej sztolni doświadczalnej oraz w podziemnym chodniku badawczym. W układzie tłumienia wybuchu wykorzystano gaśnicę o objętości 10 dm^3 napełnioną proszkiem gaśniczym, której postać konstrukcyjną zweryfikowano podczas badań laboratoryjnych, prowadzonych w komorach o pojemnościach $1,3 \text{ m}^3$ i 10 m^3 . Badania układu tłumienia wybuchu miały na celu określenie możliwości zatrzymywania procesu spalania mieszaniny metanowo-powietrznej i wybuchu w jej początkowym stadium rozwoju, poprzez ograniczenie ciśnienia wybuchu do bezpiecznego poziomu.

Słowa kluczowe: projekt europejski, wybuch metanu, wysokociśnieniowa gaśnica, układ tłumienia wybuchu, badania doświadczalne.

Keywords: European project, methane explosion, high-pressure extinguisher, explosion suppressing system, experimental tests.

Summary

Research projects on suppressing methane explosion and prevention against its propagation using the suppressing system with high-pressure extinguishers. The tests were carried out in the experimental adit on the surface and in testing underground mine working. Fire extinguisher of capacity 10 dm^3 filled with extinguishing powder was used in the explosion suppressing system. Its design was verified during test in explosion chambers of capacities 1.3 m^3 and 10 m^3 . The tests of explosion suppressing system were carried out to determine the possibility of stopping the process of burning the methane-air mixture at its initial stage to avoid explosion by limiting explosion pressure to the safety level.

1. Wstęp

Wydobywaniu węgla kamiennego towarzyszy zawsze wytwarzanie pyłu węglowego, a bardzo często towarzyszy wydzielanie metanu. Jeśli dojdzie do zapłonu i wybuchu metanu może też dojść – w niesprzyjających okolicznościach – do wzniesienia osiadłego pyłu węglowego w obłok i do jego wybuchu, który może rozprzestrzeniać się w podziemnych wyrobiskach powodując tragiczne skutki.

W chwili obecnej, według posiadanej wiedzy, nie ma rozwiązań technicznych, które w bezpieczny sposób ograniczałyby lub eliminowały skutki zapłonu metanu w taki sposób, by nie doszło do jego wybuchu.

Stosowane w kopalniach pasywne zapory przeciwybuchowe są instalowane w odległości od 60 do 200 m od miejsca możliwego zapoczątkowania wybuchu, a ich zasięg oddziaływania i skuteczność działania zależą od powstałej w czasie wybuchu fali uderzeniowej [3]. Ich zadaniem jest przeciwdziałanie propagacji wybuchu pyłu węglowego. Ograniczenie możliwości inicjacji wybuchu, poprzez ograniczenie możliwości przejścia fazy zapłonu metanu w wybuch metanu oraz w wybuch pyłu węglowego, wymaga zastosowania niekonwencjonalnych rozwiązań.

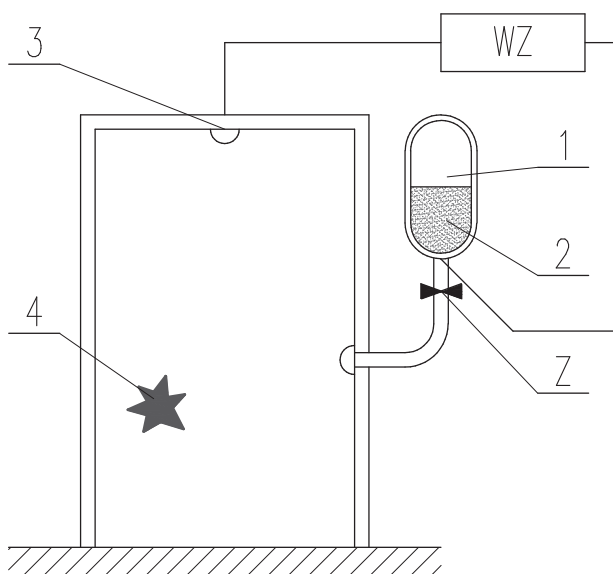
Najbardziej skutecznym sposobem zapobiegania zniszczeniom obiektów przemysłowych i zagrożeniom życia pracowników jest tłumienie wybuchów wewnątrz instalacji lub w zamkniętej przestrzeni, i tym samym ograniczenie zniszczeń tylko do niewielkiej części całej instalacji. Zadanie to spełniają automatyczne systemy tłumienia wybuchów. Działanie tych systemów polega na jak najszybszym wykryciu rozwijającego się wybuchu i natychmiastowym jego wytłumieniu. Może to nastąpić poprzez gwałtowne wytworzenie, w chronionym obszarze, jednorodnej gaszącej mieszaniny pyłowo-powietrznej.

Obecnie, poza górnictwem, stosuje się różne rozwiązania automatycznych układów tłumienia wybuchów, które wykorzystują:

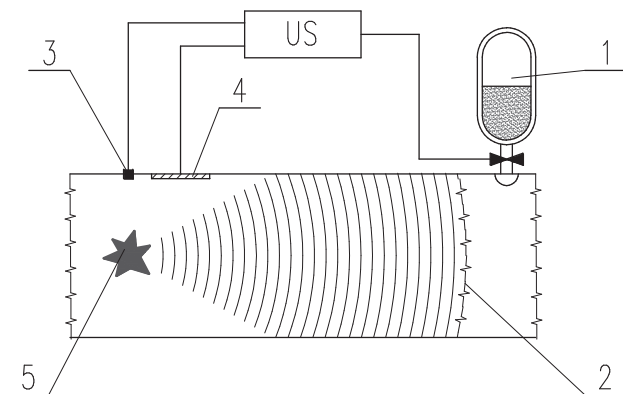
- zasobnik mocowany wewnątrz chronionego obiektu, wypełniony środkiem gaśniczym, z umieszczonym wewnątrz detonatorem. Wybuch detonatora powoduje rozerwanie powłoki zasobnika i rozproszenie środka gaśniczego w całej objętości chronionego zbiornika;
- butlę wypełnioną środkiem gaśniczym i sprężonym gazem, np. azotem, z zaworem otwieranym sygnałem z detektora;

- pojemnik z materiałem gaśniczym rozpylanym w przestrzeni chronionej za pomocą gazów, wytworzonych przed otwarciem membrany.

Schemat automatycznego systemu tłumienia wybuchów został przedstawiony na rysunku 1. System jest aktywowany przez sygnał z czujnika ciśnienia. Inicjacji wybuchu towarzyszy powstawanie fali ciśnieniowej, która przemieszcza się z prędkością dużo większą niż front płomienia (wyjątek stanowi detonacja), a więc fala ciśnieniowa dotrze do czujnika znacznie wcześniej niż front płomienia. Czujnik ciśnienia generuje sygnał, który uruchamia system tłumiący.



Rys.1. Schemat automatycznego systemu tłumienia wybuchu (1 - sprężony gaz; 2 - proszek gaśniczy; 3 - czujnik ciśnienia; 4 - zapłon; Z - zawór; WZ - wzmacniacz) [źródło: opracowanie własne]

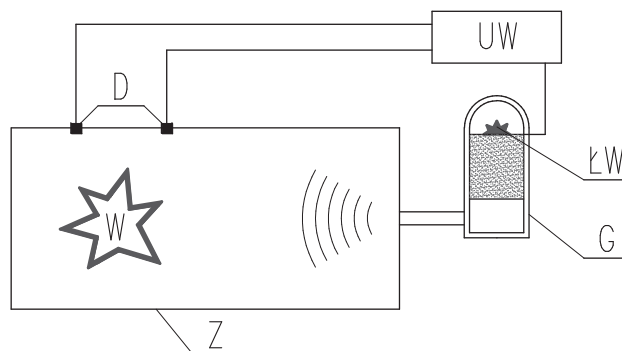


Rys.2. Schemat integralnego, dwu-sygnałowego systemu tłumienia wybuchu (1 - sprężony azot; 2 - front płomienia; 3 - czujnik ciśnienia; 4 - ogniwo fotowoltaiczne; 5 - zapłon; US - układ sterowania) [źródło: opracowanie własne]

Na rysunku 2 przedstawiono opracowany w Bureau of Mines (USA), dwu-sygnałowy, aktywny system tłumienia wybuchów. System jest aktywowany przez dwa sygnały: jeden z czujnika ciśnienia, a drugi z ogniwa słonecznego reagującego na płomień. Dzięki temu, że aktywacja systemu wymaga jednocześnie

dwóch sygnałów, jest on dobrze zabezpieczony przed przypadkowym uruchomieniem.

Na rysunku 3 przedstawiono schemat aktywnego układu tłumienia wybuchu, który został przyjęty do realizacji w prowadzonych w KOMAG-u pracach badawczych nad zabezpieczeniem urządzeń odpylających [5]. Wykorzystana w tym urządzeniu technika tłumienia wiąże się z aktywnym oddziaływaniem na wybuch pyłu i pozwala na jego zgaszenie zanim zdąży się on rozwinąć do tego stopnia, aby stworzyć zagrożenie.



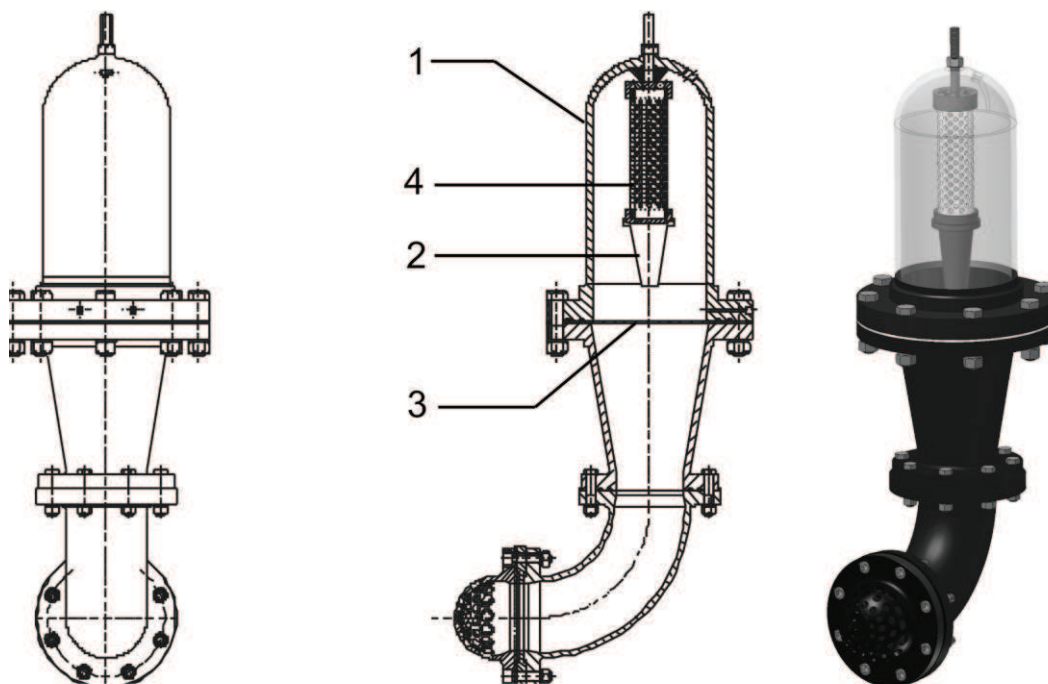
Rys.3. Schemat działania aktywnego układu tłumienia wybuchu (UW - układ wyzwalający; D - detektor; W - wybuch; Z - zbiornik; G - gaśnica; ŁW - ładunek wybuchowy) [źródło: opracowanie własne]

W chwili wykrycia wybuchu detektor wysyła sygnał do jednostki sterującej, która dokonuje zapłonu ładunku wybuchowego znajdującego się w gaśnicy. Wybuchowe spalanie ładunku prochowego powoduje gwałtowny wzrost ciśnienia w gaśnicy, w wyniku czego następuje rozerwanie membrany oraz wypchnięcie materiału tłumiącego ze zbiornika i rozpylenie go w chronionej objętości.

Przedstawione na rysunku 3 rozwiązanie zostało również wykorzystane w badaniach skuteczności tłumienia wybuchu metanu z zastosowaniem wysokociśnieniowej gaśnicy o pojemności 10 dm³. Wykonane testy laboratoryjne pojedynczej gaśnicy wykazały, że skuteczne tłumienie wybuchu metanu jest możliwe jedynie w początkowej jego fazie. Czas trwania typowego wybuchu metanu wewnątrz zbiornika o objętości około jednego metra sześciennego wynosi kilkadziesiąt milisekund. Wybuch powinien być zatem stłumiony w czasie kilkunastu milisekund, od momentu jego zainicjowania, gdyż w przeciwnym przypadku może dojść do nadmiernego wzrostu ciśnienia w jego wnętrzu. Aby spełnić to wymaganie, środek gaśniczy powinien zostać rozpylony z prędkością około 100 m/s [2].

2. Budowa wysokociśnieniowej gaśnicy

Wysokociśnieniowa gaśnica (rys. 4) jest zasadniczym elementem układu tłumienia wybuchu metanu. Zadaniem gaśnicy jest zatrzymanie procesu spalania metanu w początkowym stadium rozwoju wybuchu i ograniczenie wzrostu ciśnienia wybuchu do bezpiecznego poziomu.



Rys.4. Wysokociśnieniowa gaśnica - podstawowy zespół układu tłumienia wybuchu [2]

Parametry techniczne wysokociśnieniowej gaśnicy o objętości 10 dm³ [2]

Tabela 1

Parametr	Wartość
Rodzaj materiału wybuchowego	ładunek prochowy P-200; 3 spłonki chemiczne o energii 5 kJ
Zakres wymaganego ciśnienia w gaśnicy	12÷18 MPa
Wymagany całkowity czas opróżniania gaśnicy z proszku	do 25 ms
Rodzaj membrany	blacha aluminiowa
Rodzaj i masa proszku gaśniczego	NaHCO ₃ ; 3,3 kg
Masa gaśnicy	ok. 100 kg

Gaśnica została wyposażona w pojemnik (1) zawierający materiał gaśniczy i posiada wewnątrz specjalną instalację (2), której zadaniem jest wyrzucenie w możliwie najkrótszym czasie całej masy materiału gaśniczego i rozpylenie go wewnątrz chronionej przestrzeni. W tym celu zastosowano ładunek wybuchowy (4), którego zadaniem jest rozerwanie membrany (3) oddzielającej zbiornik od obszaru chronionego.

3. Budowa układu tłumienia wybuchu metanu

W oparciu o pozytywne testy laboratoryjne wysokociśnieniowej gaśnicy o pojemności 10 dm³ opracowano urządzenie doświadczalne układu tłumienia wybuchów, które poddano badaniom stanowiskowym.

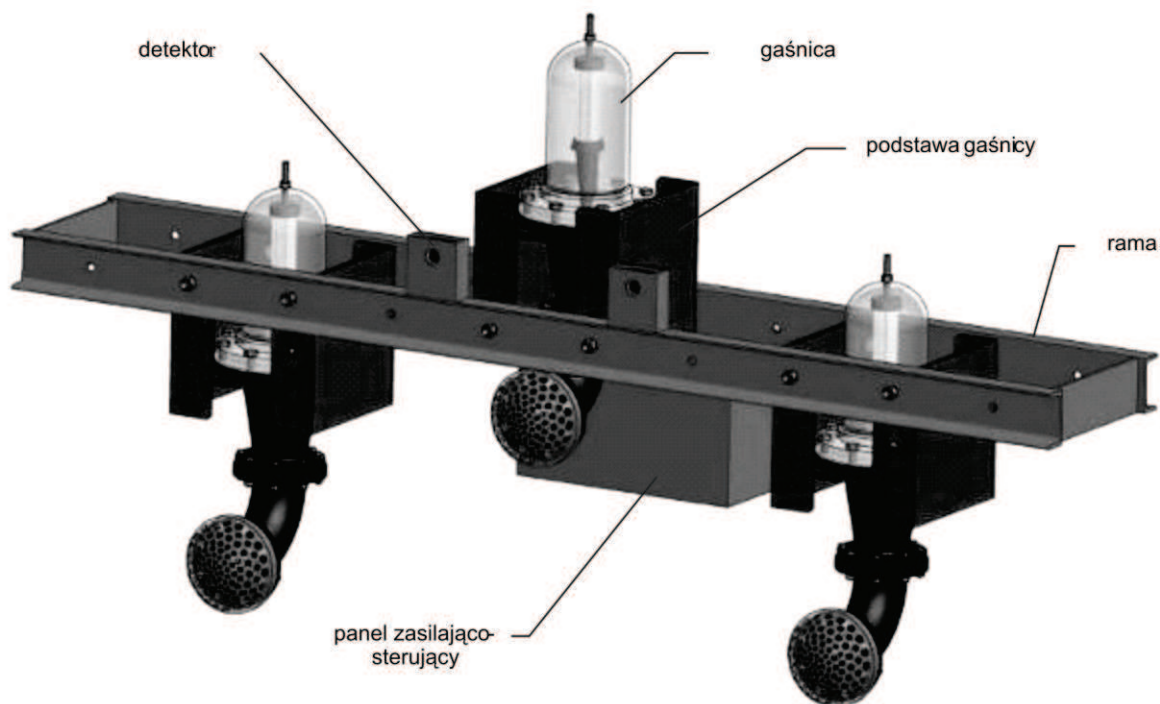
Na rysunku 5 przedstawiono urządzenie, które wyposażono w ramę, do której można mocować 1÷5 sztuk gaśnic. W przedniej części ramy zamocowano układ detekcji, a w tylnej zespół zasilająco-sterujący.

Gaśnice zostały zamocowane na stalowej ramie w specjalnych podstawach, które pozwalają na zmianę miejsca jej mocowania.

Zdwojony układ detekcji pozwalał na selektywne ustawienie czułości detektorów promieniowania w widmach podczerwieni i nadfioletu.

Zespół zasilająco-sterujący został skonstruowany tak, aby zasilić jednocześnie ładunki prochowe we wszystkich gaśnicach impulsem elektrycznym o wymaganej energii.

Badania stanowiskowe skuteczności działania układu tłumienia wybuchu prowadzono w podziemnym chodniku doświadczalnym o długości 400 m oraz na powierzchni w sztolni doświadczalnej o długości 40 m. W chodniku podziemnym prowadzono testy określające warunki, spełnienie których umożliwi proces tłumienia wybuchu. W sztolni prowadzono rejestracje zjawisk wybuchu i reakcji układu tłumienia.



Rys.5. Model 3D układu tłumienia wybuchu metanu [2]

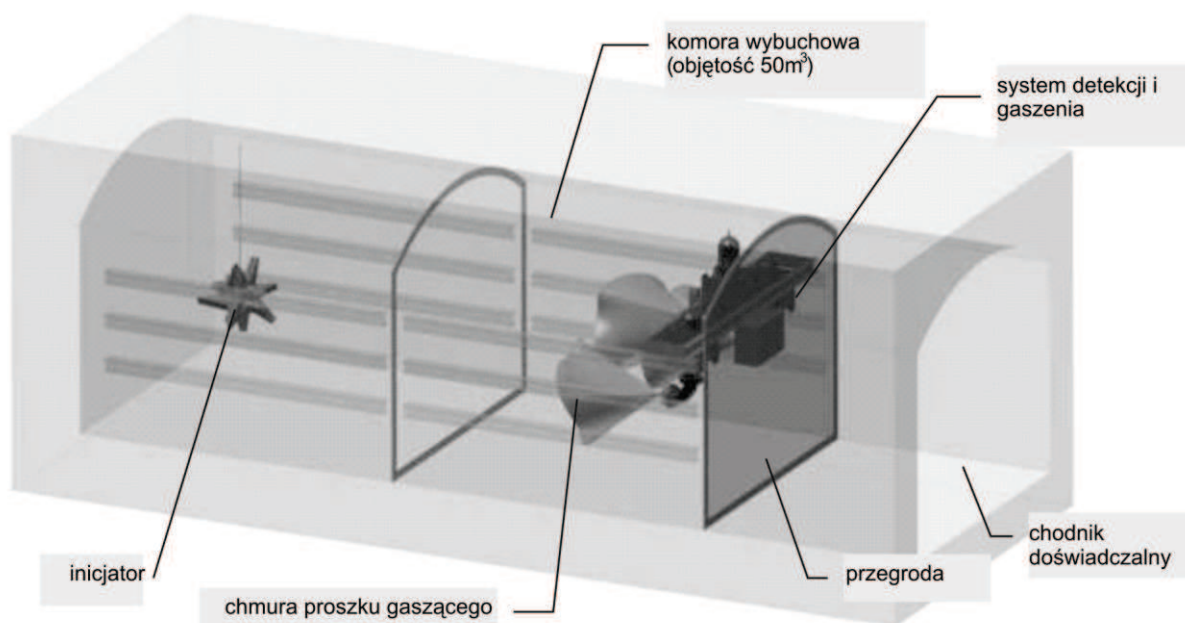
4. Badania w chodniku doświadczalnym

Na rysunku 6 przedstawiono układ tłumienia wybuchu zabudowany w metanowej komorze, która została wydzielona za pomocą przegrody w chodniku doświadczalnym.

W chodniku doświadczalnym przeprowadzono 4 testy w różnej konfiguracji. W każdym teście zastosowano układ tłumiący z trzema gaśnicami.

Na rysunku 7 pokazano zabudowę układu tłumienia w chodniku doświadczalnym.

W teście nr 1 w chodniku doświadczalnym zabudowano układ tłumiący składający się z 3-ch gaśnic. Ładunek wybuchowy o masie 200 g, inicjujący zapłon metanu, umieszczono centralnie w odległości 4,7 m od układu tłumiącego. Wysokość zawieszenia

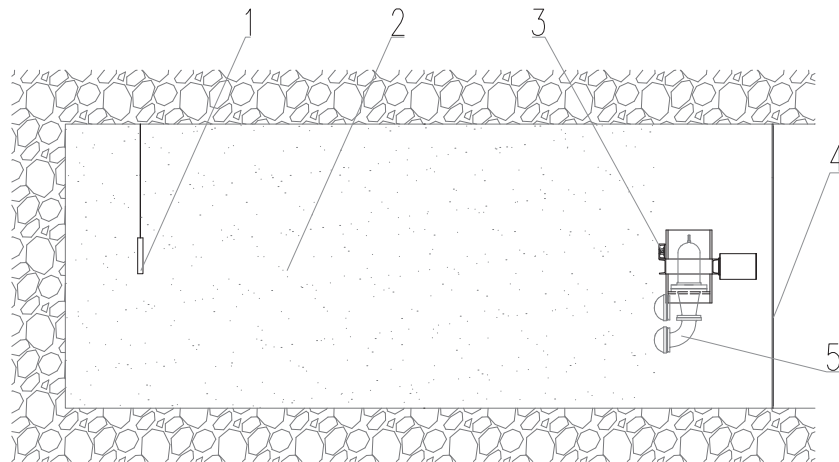


Rys.6. Układ tłumienia wybuchu w chodniku doświadczalnym [2]

ładunku nad spągami wynosiła około 1 m. W celu zwiększenia kąta rozproszenia proszku gaśniczego gaśnice skrajne miały zabudowane stożkowe przysłony dysz. Komorę wybuchową wypełniono mieszaniną powietrzno-metanową o stężeniu metanu około 8,5%.

Parametry techniczne przyjęte dla testów 1÷4 przedstawiono w tabeli 2.

Na rysunku 8 przedstawiono układ tłumienia wybuchów mieszaniny powietrzno-metanowej zabudowany w podziemnym chodniku doświadczalnym.

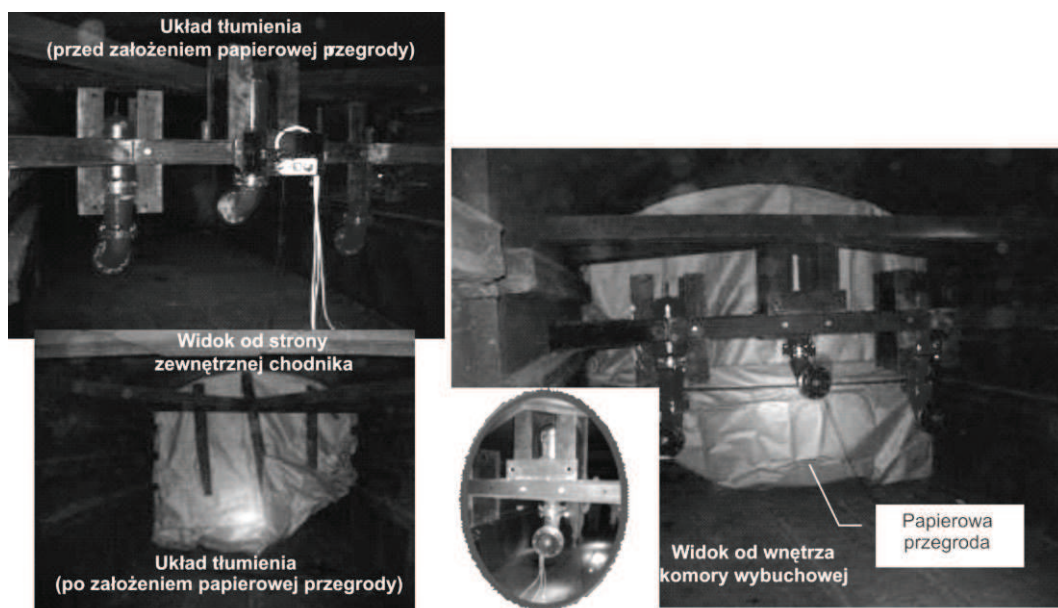


Rys.7. Szkic sytuacyjny zabudowy układu tłumienia w chodniku doświadczalnym – testy 1÷4 [2]
(1 – ładunek wybuchowy, 2 – objętość chroniona, 3 – detektor, 4 – przegroda, 5 – gaśnica)

Parametry techniczne testów 1÷4 [2]

Tabela 2

Parametr	Jedn.	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4
Komora wybuchowa (objętość)	m ³	~50	~50	~50	~50
Obszar chroniony (objętość)	m ³	~36	~27	~27	~27
Stężenie metanu	%	~8,5	~8,5	~9	~7
Rodzaj zapłonu	-	ładunek prochowy 200 g	spłonka 3×10 kJ	spłonka 3×2 kJ	ładunek prochowy 150 g
Odległość inicjatora od układu gaszącego	m	4,7	3,6	3,6	3,6
Odległość zapłonu nad podłożem	m	1,3	1,6 spłonki rozmieszczone liniowo 200 mm	1,6 spłonki rozmieszczone liniowo 200 mm	1,6

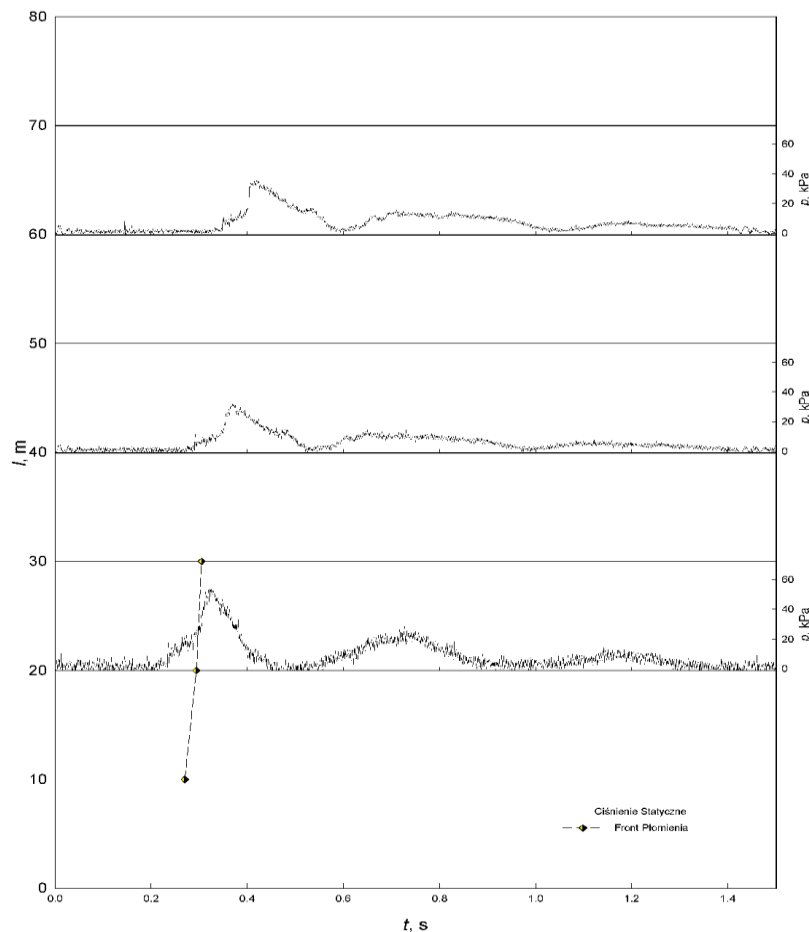


Rys.8. Widok zabudowy układu tłumiącego w chodniku doświadczalnym (test 1) [2]

Wyniki testów nr 1÷4 [2]

Tabela 3

Parametr	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4
Odległość rejestracji płomienia za papierową przeponą [m]	4	14	24	24
Przyrost ciśnienia [bar]	0,6	0,8	0,8	0,8
Stan przepony	zniszczona przy stropie	zniszczona i spalona	zniszczona przy stropie	zniszczona przy stropie
Stan gaśnic	2 gaśnice z uszkodzoną komorą wybuchową	2 gaśnice z uszkodzoną komorą wybuchową	2 gaśnice z uszkodzoną komorą wybuchową	gaśnice bez uszkodzeń



Rys.9. Przykładowa rejestracja przebiegu wybuchu (test 1) [2]

Po każdym przeprowadzonym teście prowadzono oględziny miejsca zabudowy układu tłumienia i rejestrowano sygnały z czujnika ciśnienia i czujników optycznych. Kontrolowano również poszczególne gaśnice, aby ocenić ich stan techniczny i określić ewentualne uszkodzenia.

Wyniki testów 1÷4 w chodniku doświadczalnym przedstawiono w tabeli 3, a przykład przebiegu ciśnienia statycznego i frontu płomienia w funkcji czasu pokazano na rysunku 9.

Na wykresie (rys. 9) przebiegu wybuchu linią przerywaną zaznaczono przebieg płomienia. Linie

ciągłe na poszczególnych odległościach chodnika przedstawiają przebiegi ciśnienia statycznego. Wybuch nie został zahamowany w strefie oddziaływania układu tłumiącego. Płomień przeniknął poza papierową przegrodę, a ciśnienie statyczne osiągnęło wartość około 0,6 bar.

Testy przeprowadzone w chodniku doświadczalnym nie spowodowały zatrzymania płomienia wybuchu metanu, lecz jedynie jego redukcję. Wyniki badań uzyskane w teście nr 1 wykazały małą dynamikę zjawiska (płomień został częściowo wygaszony). W pozostałych testach nie uzyskano redukcji płomienia.

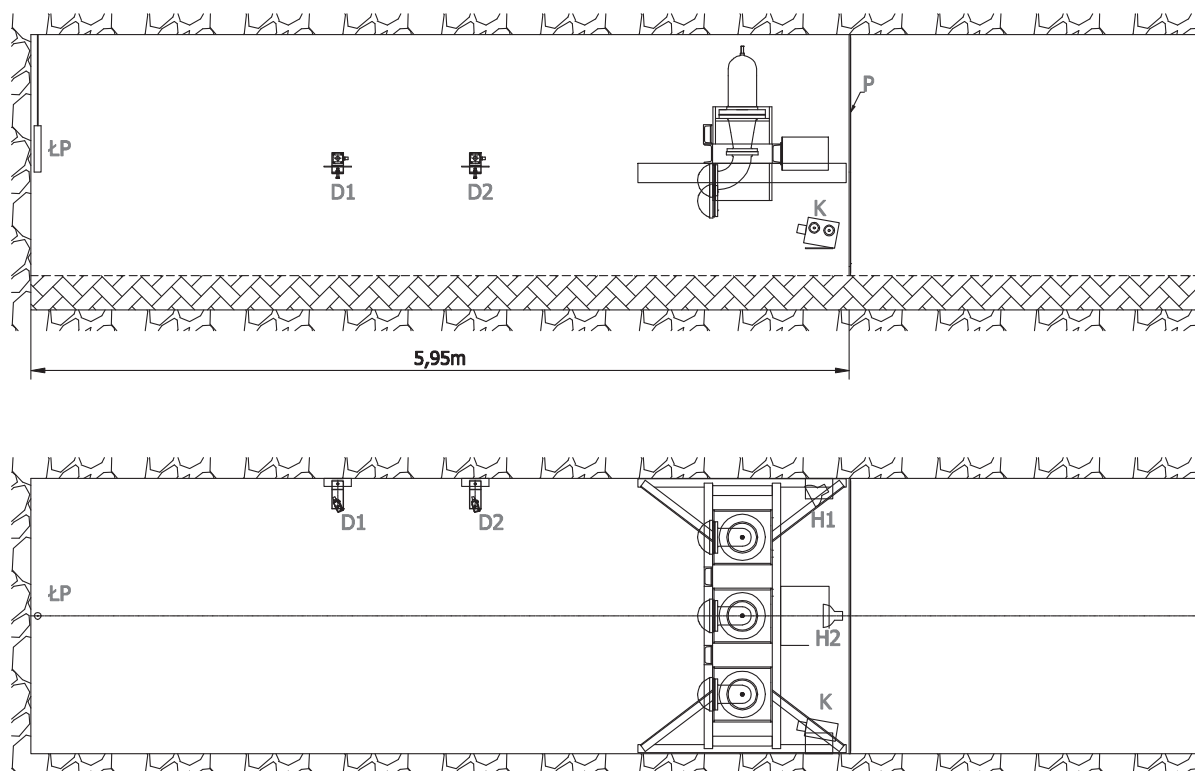
5. Badania w sztolni doświadczalnej

W sztolni doświadczalnej przeprowadzono 3 testy. Ich celem była obserwacja zjawiska wybuchu i procesu jego gaszenia. Proces ten obserwowano dzięki zainstalowanym kamerom. Sztolnia posiadała boczne przeszklone otwory, poprzez które można było obserwować rozprzestrzenianie się płomienia powstałego podczas wybuchu.

Na rysunku 10 pokazano zabudowę układu tłumienia w sztolni doświadczalnej.

Podczas testów nie zmieniano ilości gaśnic i ich układu. Zmieniano natomiast stężenie metanu oraz odległości zapłonu mieszanki od układu tłumiącego. W tabeli 4 przedstawiono najważniejsze parametry prowadzonych testów.

Podczas prowadzonych testów dokonywano rejestracji obrazu z wnętrza. Przykłady zarejestrowanych obrazów z wnętrza sztolni pokazano na rysunku 11.

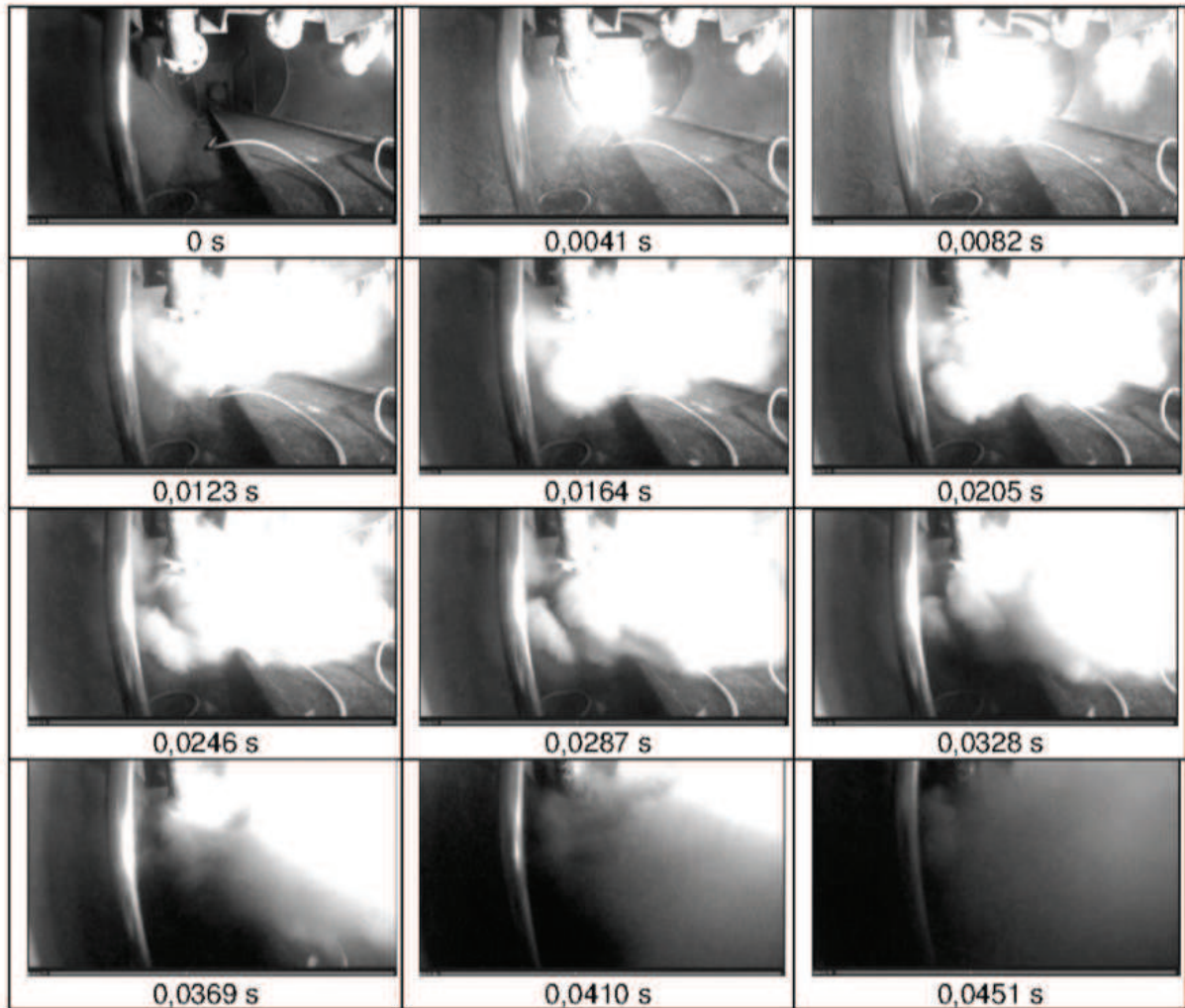


Rys.10. Szkiec sytuacyjny zabudowy układu tłumienia w sztolni dla testów 5-7 [2] (D1, D2 - detektor; K - kamera; H1, H2 - halogen; ŁP - ładunek prochowy; P - papierowa przegroda)

Parametry techniczne testów 5-7 [2]

Tabela 4

Parametr	Jedn.	Test 5	Test 6	Test 7
Komora wybuchowa (objętość)	m ³	~17	~17	~17
Przestrzeń chroniona (objętość)	m ³	~14	~14	~14
Stężenie metanu	%	~6,0	~7,5	~7,5
Rodzaj zapalnika	-	spłonki 2×5 kJ		
Odległość inicjatora od układu gaszącego	m	3,5	3,5	4,5
Odległość zapłonu nad podłożem	m	1,0	0,7	0,7



Rys.11. Zdjęcia z rejestracji procesu tłumienia wybuchu (test 5) [2]

Test nr 5 wykazał skuteczność działania układu tłumienia, co zarejestrowano na filmie.

Pozostałe testy wykazały znaczną redukcję płomienia, jednak nie uzyskano jego całkowitego wygaszenia.

6. Podsumowanie

Przeprowadzone testy stanowiskowe w chodniku doświadczalnym i sztolni doświadczalnej pozwalają stwierdzić, że możliwe jest wykorzystanie układu tłumiącego do gaszenia wybuchu metanu w określonych warunkach lokalizacyjnych.

Układ tłumienia pozwala na ograniczenie wybuchu mieszanki powietrzno-metanowej, dla koncentracji metanu nieprzekraczającej 6%, pod warunkiem, że koncentracja proszku gaśniczego będzie wynosić min. $0,7 \text{ kg/m}^3$ chronionej objętości. Dla wybuchów bardzo dynamicznych, w których stężenie metanu w mieszance wynosi min. 7% wymagana jest większa koncentracja proszku gaśniczego wynosząca min. $1,2 \text{ kg/m}^3$.

W czasie dokonanych oględzin układu tłumienia, bezpośrednio po próbie, nie stwierdzono uszkodzeń w konstrukcji i obwodach detekcji oraz zasilania. Układ detekcji współpracował z układem wyzwalania gaśnic prawidłowo - początek rozpylania proszku w przestrzeni chronionej rozpoczynał się w czasie krótszym niż 4 ms, a proces detekcji wybuchu nie przekraczał 1 ms.

Specyficzna budowa chodnika doświadczalnego i sztolni doświadczalnej w rejonie zabudowy układu tłumiącego (istniejące elementy w postaci płyt stalowych i stalowych wsporników wzmacniających o dużych przekrojach) powodowała, że obszar podlegający ochronie przez układ tłumiący nie był przestrzennie "jednorodny", co wpływało bezpośrednio na jednoczesne wypełnienie przestrzeni chronionej przez środek gaśniczy.

Uzyskane wyniki testów stanowiskowych stanowią podstawę do prowadzenia dalszych prac badawczo-rozwojowych dla opracowania układu tłumienia wybuchu metanu, który pozwoli na poszerzenie dostępnych środków ochronnych wpływających na

bezpieczeństwo eksploatacji w rejonach zagrożonych metanem.

Układ tłumienia może spełnić założenia i wymagania w zakresie systemów ochronnych ograniczających skutki wybuchu. Jego postać konstrukcyjna uzależniona będzie jednak od określenia warunków lokalizacyjnych, w jakich będzie pracował m.in. objętości strefy chronionej i stopnia jej umaszynowania.

Badania przeprowadzono w ramach projektu europejskiego MINFIREX [4].

Literatura

1. Lebecki K. Zagrożenia pyłowe w górnictwie. Główny Instytut Górnictwa, Katowice 2004.
2. Szkudlarek Z.: Minimising Risk for and Reducing Impact of Fire and Explosion Hazards Coal Mining - MINFIREX. Research Programme of the Research Fund for Coal and Steel - RFCR-CT-

2010-00005, 2010-2013. (materiały nie publikowane).

3. Szkudlarek Z.: Nowy system ograniczający skutki wybuchu pyłu węglowego w wyrobiskach korytarzowych. Projekt badawczy CMG KOMAG nr E.03.03. Gliwice 2007 (materiały nie publikowane).
4. Szkudlarek Z.: Układy tłumienia wybuchów w ciągach technologicznych. Projekt badawczy ITG KOMAG nr E.18.06. Gliwice 2011 (materiały nie publikowane).
5. Sprawozdanie końcowe z wykonania projektu rozwojowego nr R03 030 01 pt. Urządzenie odpylające z aktywnym układem tłumienia wybuchu. CMG KOMAG, Gliwice 2008 r. s. 1÷32. (materiały nie publikowane).

Artykuł wpłynął do redakcji w lutym 2014 r.