

# Tłumienie wybuchu metanu z wykorzystaniem wysokociśnieniowej gaśnicy

## Suppression of methane explosion with the use of the high-pressure extinguisher



*Dr inż. Zbigniew Szkudlarek<sup>\*)</sup> Prof. dr hab. inż. Rudolf Klemens<sup>\*\*)</sup> Prof. nzw. dr hab. inż. Marian Gieras<sup>\*\*)</sup>*

**Treść:** W artykule przedstawiono wstępne badania laboratoryjne nad skutecznością tłumienia wybuchów metanu z wykorzystaniem wysokociśnieniowej gaśnicy. Jako materiału tłumiącego użyto proszku gaśniczego składającego się głównie z kwaśnego węgla sodu ( $\text{NaHCO}_3$ ). Badania prowadzone były w komorach wybuchowych o pojemnościach 1,3 m<sup>3</sup> i 10 m<sup>3</sup>, w których badano wpływ parametrów decydujących o procesie rozpylania i określano skuteczność tłumienia wybuchu metanu oraz na poligonie doświadczalnym, gdzie badano kształt i zasięg obłoku proszku gaśniczego wysokociśnieniowej gaśnicy. Przeprowadzone badania laboratoryjne pozwoliły na wyeliminowanie niedoskonałości w konstrukcji gaśnicy o objętości 10 dm<sup>3</sup> oraz wykazały, że możliwe jest skuteczne tłumienie w początkowej fazie wybuchu metanu.

**Abstract:** This paper presents the initial laboratory tests on efficiency of suppression of methane explosion with the use of the high-pressure fire extinguisher. Extinguishing powder consisting mainly of sodium bicarbonate ( $\text{NaHCO}_3$ ) was used. The tests were carried out in explosion chambers of capacity 1.3 m<sup>3</sup> and 10 m<sup>3</sup>, in which the parameters decisive in powder spraying were tested as well as efficiency of suppression of methane explosion was determined. In addition, the shape and range of powder cloud ejected from high-pressure extinguisher were tested in the experimental field. The tests enable to eliminate any imperfections in the design of fire extinguisher of capacity 10 dm<sup>3</sup> and have proved that it is possible to extinguish successfully methane explosion at its early stage.

### Słowa kluczowe:

wysokociśnieniowa gaśnica, tłumienie wybuchu metanu

### Key words:

high-pressure extinguisher, suppression of methane explosion

## 1. Wprowadzenie

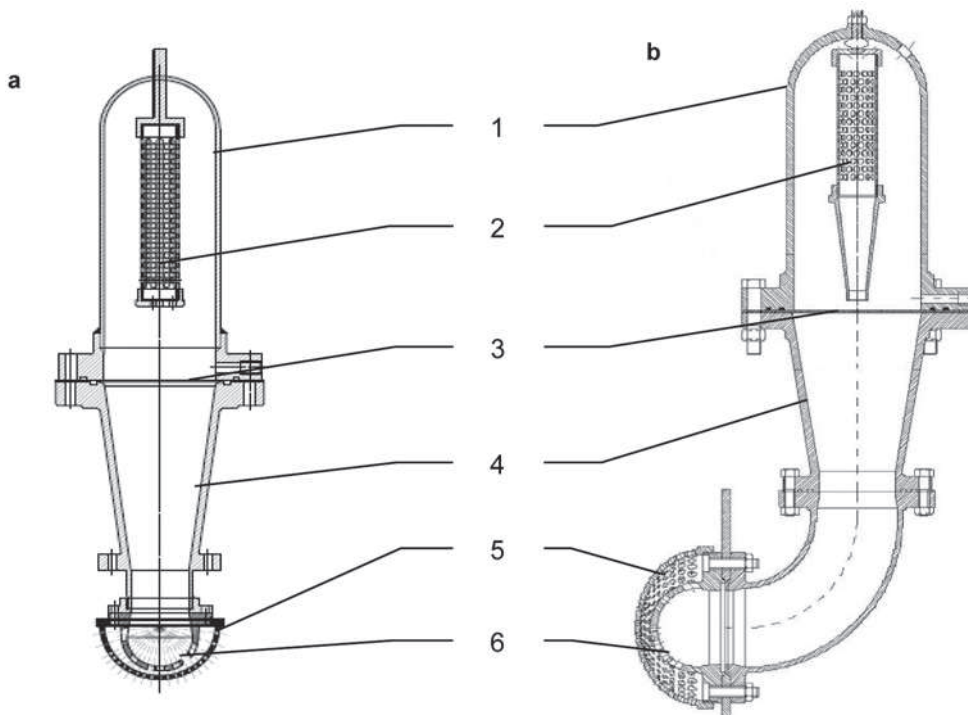
W górnictwie podziemnym węgla kamiennego wydobywaniu węgla w sposób ciągły towarzyszy wytwarzanie pyłu węglowego oraz metanu, które stwarzają zagrożenie dla każdej kopalni.

Zapalenie się metanu i jego wybuch powoduje powstanie fali ciśnieniowej, która podrywa pył węglowy zalegający na spągu, ociosach oraz maszynach i urządzeniach znajdujących się w wyrobisku. Zapalona chmura pyłu węglowego może rozprzestrzenić się w podziemnych wyrobiskach, powodując znaczne straty osobowe i materialne.

Czas trwania typowego wybuchu metanu wewnątrz zbiornika o objętości rzędu kilku metrów sześciennych wynosi kilkadziesiąt milisekund. Wybuch powinien być stłumiony w czasie kilkunastu milisekund od momentu jego zainicjowania, gdyż w przeciwnym przypadku może dojść do nadmiernego wzrostu ciśnienia wewnątrz zbiornika. Aby spełnić to wymaganie, środek gaśniczy musi zostać rozpylony z prędkością rzędu 100 m/s.

Prowadzone przez Instytut Techniki Ciepłej Politechniki Warszawskiej badania laboratoryjne nad superszybkimi systemami tłumienia wybuchów przemysłowych doprowadziły do współpracy z ITG KOMAG w zakresie wykorzystania gaśnic o objętości 2 dm<sup>3</sup> i 10 dm<sup>3</sup>. W opracowywaniu konstrukcji gaśnicy o objętości 10 dm<sup>3</sup> zostały wykorzystane również wyniki z badań przeprowadzonych dla gaśnicy o objętości 5 dm<sup>3</sup> w komorze wybuchowej o objętości 1,3 m<sup>3</sup>.

<sup>\*)</sup> ITG KOMAG <sup>\*\*)</sup> Politechnika Warszawska



**Rys. 1. Schemat gaśnicy testowej o objętości 5 dm<sup>3</sup> (a) oraz 10 dm<sup>3</sup> (b) [5]**  
 (1 - pojemnik; 2 - komora spalania; 3 - membrana; 4 - łącznik stożkowy; 5 - rozpylacz zewnętrzny; 6 - rozpylacz wewnętrzny)

**Fig. 1. Diagram of the extinguisher of capacity 5 dm<sup>3</sup> (a) and 10 dm<sup>3</sup> (b)**  
 (1 - container; 2 – burning chamber; 3 - membrane; 4 – conical connector; 5 – external sprayer; 6 - internal sprayer)

Gaśnice, przedstawione na rys. 1, są wyposażone w pojemnik (1) zawierający materiał gaśniczy i posiadają 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, którego zadaniem jest rozerwanie membrany (3) oddzielającej zbiornik od obszaru chronionego.

**Tablica 1. Parametry techniczne gaśnicy testowej o objętości 10 dm<sup>3</sup>**

**Table 1. Technical parameters of the 10 dm<sup>3</sup> extinguisher**

| Parametr  | Wartość   |
|---|---|
| Rodzaj materiału wybuchowego                          | ładunek prochowy P-200;<br>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 <sub>3</sub> ; 3.3 kg                                   |
| Masa gaśnicy badawczej                                | ok. 100 kg  |



**Rys. 2. Widok 3D gaśnicy testowej o objętości 10 dm<sup>3</sup> [5]**  
**Fig. 2. 3D view of the tested fire extinguisher of 10 dm<sup>3</sup> in capacity**

## 2. Badania stanowiskowe

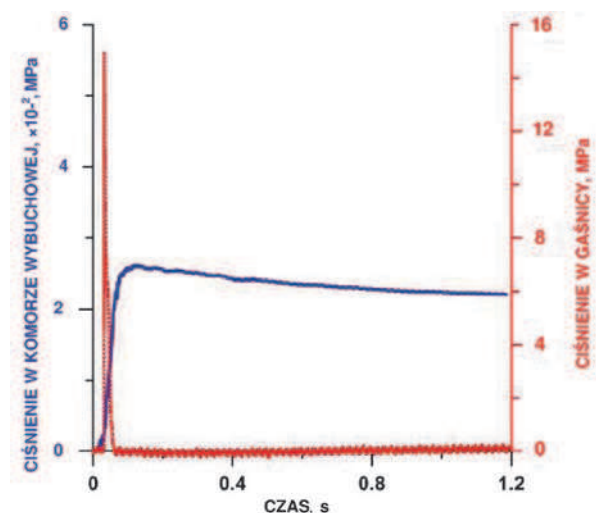
Badania nad konstrukcją gaśnicy o objętości 10 dm<sup>3</sup> przeprowadzono w trzech etapach. W pierwszej fazie badań wykorzystano gaśnicę o objętości 5 dm<sup>3</sup>. Testy wykonane w komorze 1,3 m<sup>3</sup> pozwoliły na określenie skali zjawiska, w tym wyznaczenie wstępnych parametrów fizycznych opisujących zjawisko związane z wybuchem metanu i jego tłumieniem. Odniesieniem były wcześniejsze wyniki badań, jakie uzyskano przy testach gaśnicy o objętości 2 dm<sup>3</sup>. Schemat stanowiska badawczego pokazano na rys. 3. Na górze komory wybuchowej zamontowano stożkowy łącznik gaśnicy, do którego zamocowano pojemnik wysokociśnieniowy gaśnicy ze środkiem gaszącym.

Po wypełnieniu komory mieszaniną gazową metano-powietrzną, o zadanym stężeniu, inicjowano wybuch za pomocą chemicznej splotki zapłonowej, umieszczonej w środkowej części komory wybuchowej. Przebieg ciśnienia wybuchu w komorze mierzono za pomocą czujnika ciśnienia. Sygnał z czujnika wykorzystywano do uruchomienia systemu tłumiącego w momencie, gdy ciśnienie w komorze wybuchowej przekroczy zadaną wartość. System tłumiący mógł być także uruchamiany sygnałem z fotodiody reagującej na rozwijający się wybuch. Za pomocą czujnika ciśnienia mierzono również ciśnienie wewnątrz gaśnicy, w celu obserwacji zjawisk zachodzących w samej gaśnicy oraz oszacowania czasu opróżniania gaśnicy z proszku gaśniczego. Jako środka gaśniczego użyto typowego proszku gaśniczego składającego się głównie z kwasnego węgla sodu (NaHCO<sub>3</sub>).

Do wyzwalania układu wykorzystywano sygnał z fotodiody zamontowanej w specjalnie przystosowanym wzierniku na przedniej ścianie komory. Poziomy sygnał wyzwalający gaśnicę generowanego przez fotodiody odpowiadał wzrostowi intensywności świecenia źródła światła padającego na fotodiody (wiązało się to ze wzrostem intensywności wybuchu). Podwyższenie poziomu sygnału napięciowego

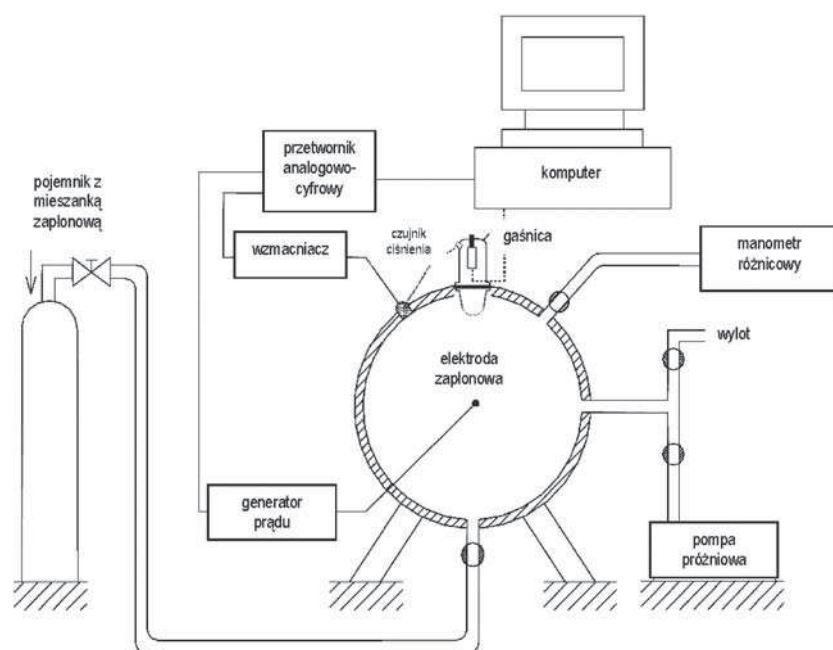
wyzwalającego z fotodiody powodowało opóźnienie zadziałania aktywnego systemu tłumienia wybuchu (do uzyskania odpowiednio wysokiej wartości napięcia generowanego z fotodiody powinien nastąpić odpowiedni rozwój wybuchu).

Przykładowe przebiegi ciśnienia z badań pokazano na rys. 4 i 5, natomiast wyniki badań gaśnicy o objętości 5 dm<sup>3</sup> przedstawiono w tabelicy 2.



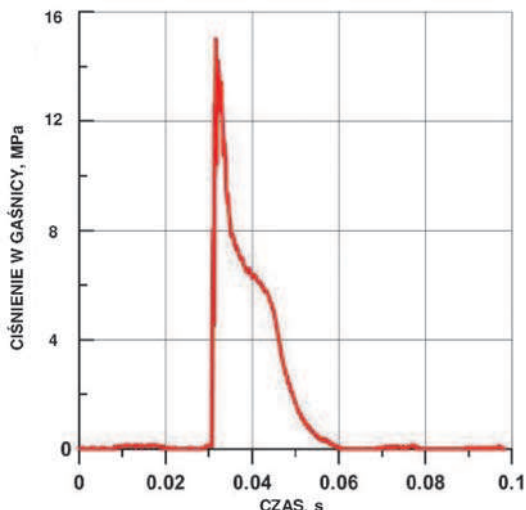
Rys. 4. Przebiegi ciśnienia w komorze wybuchowej i w gaśnicy podczas próby tłumienia wybuchu [5], [2]

Fig. 4. Curve of pressure in the explosion chamber and in the extinguisher during the test of suppressing the explosion [5], [2]



Rys. 3. Schemat i widok stanowiska badawczego z komorą wybuchową o objętości 1,3 m<sup>3</sup> i zamontowaną gaśnicą o objętości 5 dm<sup>3</sup> [5], [2]

Fig. 3. Scheme and view of test stand with 1.3 m<sup>3</sup> explosion chamber and installed extinguisher of capacity 5 dm<sup>3</sup> [5], [2]



Rys. 5. Przebieg ciśnienia w gaśnicy podczas próby tłumienia wybuchu [5], [2]

Fig. 5. Curve of pressure inside the extinguisher during the test of suppressing the explosion [5], [2]

Na przykładzie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że możliwe jest skuteczne tłumienie średnio intensywnego wybuchu, zainicjowanego w mieszaninie metanowo-powietrznej, rozwijającego się w badawczej komorze o objętości 1,3 m<sup>3</sup>, nawet dla stosunkowo wysokiego progu wyzwalającego sygnału napięciowego z fotodiody.

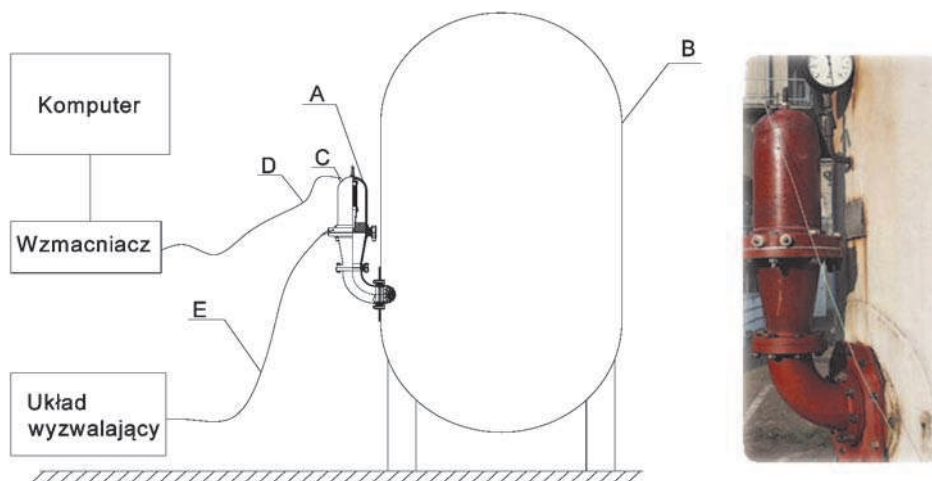
W oparciu o badania porównawcze gaśnic o objętości 2 i 5 dm<sup>3</sup> opracowano konstrukcję gaśnicy o objętości 10 dm<sup>3</sup>.

W kolejnym etapie przeprowadzono badania z użyciem gaśnicy o objętości 10 dm<sup>3</sup>. W komorze o objętości 10 m<sup>3</sup> (rys. 6) badano wpływ parametrów decydujących o procesie rozpylania, tj.: masa i geometria ładunku wybuchowego, liczba i rozmieszczenie zapalników w ładunku, geometria perforowanej komory spalania, grubość i sposób nacięcia membrany, geometria układu rozpylającego oraz wartości progowe układu wyzwalającego system tłumiący.

Gaśnicę przymocowano pionowo do ściany zbiornika przy wykorzystaniu łącznika łukowego.

Wewnątrz gaśnicy zamontowano czujnik ciśnienia, połączony przewodem z rejestratorem. Przebieg ciśnienia wewnątrz gaśnicy rejestrowano z częstotliwością 0,1 ms.

Do zapłonu ładunku prochowego wykorzystano trzy splotki chemiczne. Rozmieszczono je w osi ładunku tak, aby



Rys. 6. Schemat i widok stanowiska badawczego z komorą wybuchową 10 m<sup>3</sup> i zamontowaną gaśnicą o objętości 10 dm<sup>3</sup> [5]

(A – gaśnica, B – zbiornik, C – czujnik ciśnienia, D – przewód od czujnika ciśnienia, E – przewód zasilający)

Fig. 6. Diagram of testing stand and view of fire extinguisher 10 dm<sup>3</sup> installed on the testing chamber 10 m<sup>3</sup>

(A – fire extinguisher, B – tank, C – pressure sensor, D – cable of pressure sensor, E – supply cable)

Tablica 2. Wyniki badań gaśnicy o objętości 5 dm<sup>3</sup> w komorze wybuchowej o objętości 1,3 m<sup>3</sup>

Table 2. Results of testing the 5 dm<sup>3</sup> fire extinguisher in the explosion chamber of capacity 1,3 m<sup>3</sup>

|   |                            | Próba 1 | Próba 2 | Próba 3 | Próba 4 |
|---|----------------------------|---------|---------|---------|---------|
| Stężenie metanu w mieszaninie powietrzno-gazowej, % |                            | 7,5     |         |         | 8,5     |
| Nadciśnienie wybuchu, MPa                           | Dla wybuchu nie-tłumionego | 0.59    |         |         | 0.70    |
| Szybkość narastania ciśnienia, MPa/s                |                            | 7.6     |         |         | 9.0     |
| Wskaźnik wybuchowości, MPa×m/s                      |                            | 8.5     |         |         | 10.0    |
| Poziom sygnału wyzwalającego, V                     | Dla wybuchu tłumionego     | 0,3     | 0,6     | 1,0     | 0,3     |
| Nadciśnienie wybuchu w komorze, MPa                 |                            | 0,026   | 0,027   | 0,040   | 0,057   |
| Nadciśnienie tłumionego wybuchu, MPa                |                            | 0,006   | 0,0075  | 0,021   | 0,037   |
| Maksymalne ciśnienie w gaśnicy, MPa                 |                            | 15.0    | 13.2    | 22.5    | 14.0    |
| Całkowity czas opróżnienia gaśnicy, ms              |                            | 28      | 24      | 26      | 30      |
| Próg ciśnieniowy otwarcia gaśnicy, MPa              |                            | 0,0020  | 0,0028  | 0,0030  | 0,0020  |



proces spalania części ładunku, zainicjowany przez każdą ze spleonek, zakończył się w tym samym czasie.

Jedną z najważniejszych kwestii na tym etapie badań było ustalenie głębokości nacięcia membrany oraz określenie odległości pomiędzy końcówką stożka perforowanej komory spalania a powierzchnią membrany. Kryterium porównawczym było uzyskanie odpowiedniego ciśnienia wewnątrz gaśnicy, mieszczącego się w zakresie od 12 do 18 MPa (optymalny na podstawie wielu prób przeprowadzonych dla gaśnic o objętości 2 dm<sup>3</sup> i 5 dm<sup>3</sup>) oraz odpowiednio krótkiego czasu opróżniania gaśnicy, jak również poprawnego otwarcia membrany. Po przeprowadzeniu wielu prób do wykonania membrany wybrano blachę aluminiową.

Badania prowadzono dla dwóch stopni zagęszczenia proszku wewnątrz gaśnicy:

- luźno usypanego,
- wstępnie ubitego.

Przykładowe wyniki badań przedstawiono na rys. 7 i 8.

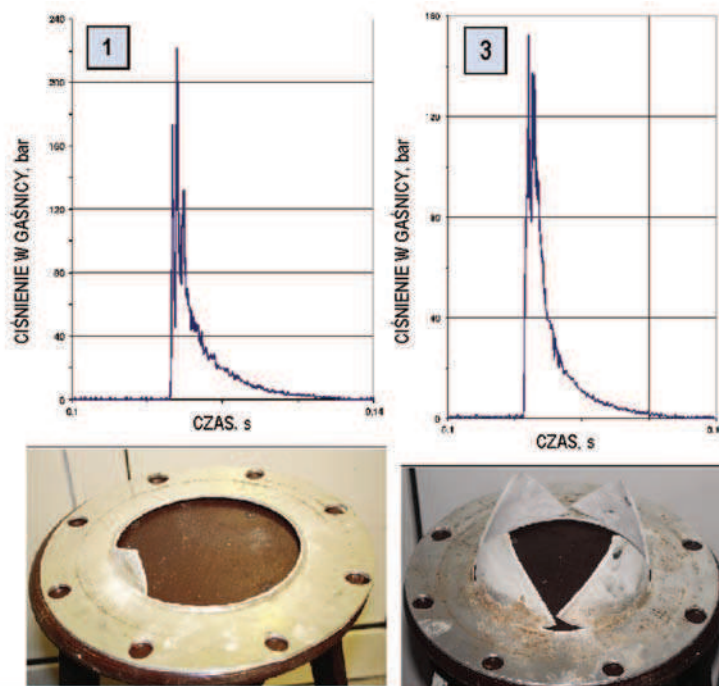
Ostatnim etapem badań było określenie kształtu i zasięgu obłoku proszku gaśniczego w czasie opróżniania gaśnicy. Badania przeprowadzono na poligonie doświadczalnym.

### 3. Podsumowanie

Trzyetapowe badania laboratoryjne możliwości tłumienia wybuchu metanu poprzez zastosowanie konstrukcji gaśnicy o

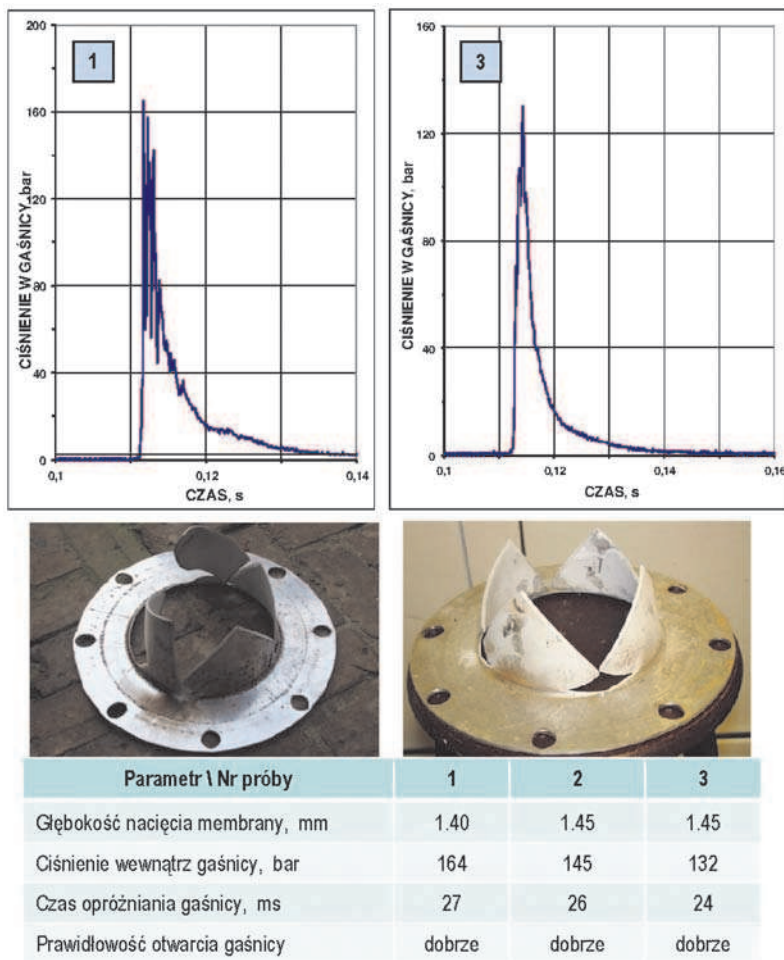
objętości 10 dm<sup>3</sup> pozwoliły na optymalizację jej konstrukcji i wyeliminowanie niedoskonałości. Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić:

- parametry pracy gaśnicy o objętości 10 dm<sup>3</sup> zbliżone są do parametrów pracy gaśnic o mniejszych objętościach,
- przy proszku ubitym czas opróżniania gaśnicy wydłużył się nieznacznie,
- wartość ciśnienia w komorze gaśnicy, przy próbach z proszkiem ubitym była nieznacznie wyższa niż dla proszku luźno usypanego, jednak zasadniczy zakres ciśnień (w celu zapewnienia poprawnego otwarcia membrany) nie uległ zmianie i wynosi od 12 do 18 MPa,
- ładunek pirotechniczny spalał się zbyt wolno, w wyniku czego gorące (nie do końca spalone) gazy mogły wydostawać się na zewnątrz gaśnicy (zrezygnowano z ładunku pirotechnicznego). Jako podstawowy ładunek wybrano ładunek prochowy, dla którego nie stwierdzono takich zjawisk,
- zbyt wysokie ciśnienie w komorze gaśnicy może prowadzić do uszkodzenia konstrukcji perforowanej komory wybuchowej oraz do niewłaściwego otwarcia membrany,
- głębokość nacięcia membrany wpływa na ciśnienie wewnątrz gaśnicy,
- chemiczny ładunek wybuchowy powinien być umiejscowiony pośrodku perforowanej komory wybuchowej,
- dodatkowe otwory w części stożkowej komory wybuchowej, wpływają negatywnie na jakość otwarcia gaśnicy i powodują zwiększenie ciśnienia w gaśnicy,



| Parametr i Nr próby             | 1    | 2      | 3      | 4      |
|---------------------------------|------|--------|--------|--------|
| Głębokość nacięcia membrany, mm | 1.10 | 1.20   | 1.40   | 1.40   |
| Ciśnienie wewnątrz gaśnicy, bar | 222  | 210    | 153    | 135    |
| Czas opróżniania gaśnicy, ms    | 17   | 22     | 18     | 19     |
| Prawidłowość otwarcia gaśnicy   | źle  | dobrze | dobrze | dobrze |

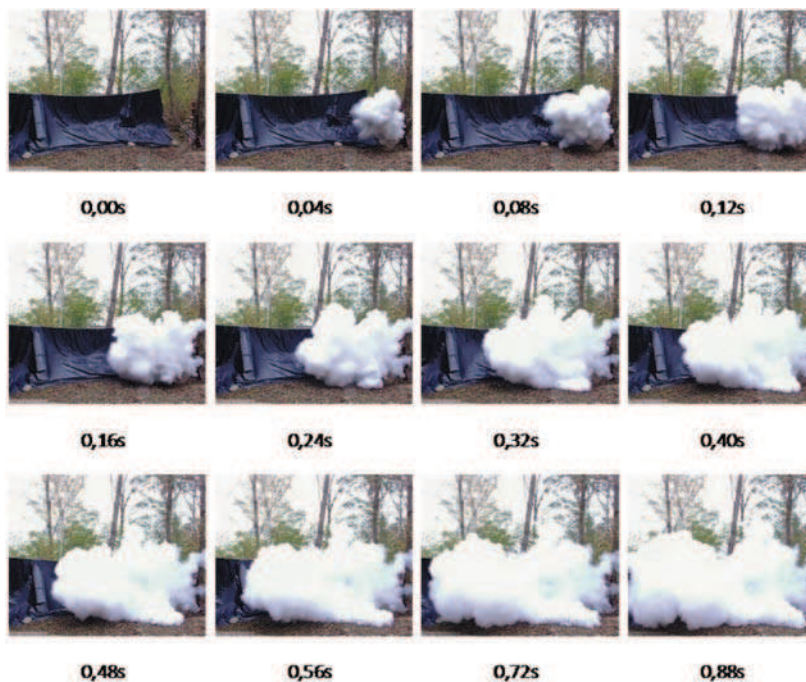
Rys. 7. Przebieg badań dla proszku gaśniczego luźno usypanego w gaśnicy [3], [5]  
Fig. 7. Tests for extinguishing powder loosely poured into the extinguisher [3], [5]



Rys. 8. Przebieg badań dla proszku gaśniczego wstępnie ubitego w gaśnicy [3], [5]  
 Fig. 8. Tests for rammed and spent laying extinguishing powder [3], [5]



Rys. 9. Zamontowana gaśnica o pojemności 10 dm<sup>3</sup> przygotowana do próby [5]  
 Fig. 9. Installed extinguisher of capacity 10 dm<sup>3</sup> prepared for test [5]



Rys. 10. Wizualizacja procesu rozpylania proszku gaśniczego z gaśnicy 10 dm<sup>3</sup> za pomocą ładunku prochowego. Widok obejmuje odległość ok. 8 m [5]  
 Fig. 10. Visualization of the process of spraying extinguishing powder from the extinguisher 10 dm<sup>3</sup> by use of explosive charge View of 8m distance [5]

- zastosowanie karbu w membranie znacznie polepsza jakość jej otwarcia oraz nieznacznie obniża ciśnienie w gaśnicy,
- włożenie membrany nacięciem do komory powoduje nadmierny wzrost ciśnienia i zwiększa prawdopodobieństwo uszkodzenia konstrukcji,
- kształt obłoku proszku gaśniczego jest zbliżony do kuli dla zasięgu ok. 3.5 m (czas rozprzestrzeniania wynosi wtedy ok. 120 ms).

Przeprowadzone badania laboratoryjne pozwoliły na wyeliminowanie niedoskonałości w konstrukcji gaśnicy oraz wykazały, że możliwe jest skuteczne tłumienie w początkowej fazie wybuchu metanu. Gaśnica wysokociśnieniowa o przedstawionej konstrukcji może być głównym elementem systemów ochronnych stosowanych w podziemnych wyrobiskach zakładów górniczych dopiero po pozytywnych badaniach stanowiskowych w skali 1:1.

### Literatura

1. *Gieras M., Kaluźny M., Klemens R.*: Suppression of dust explosions by means of an active superfast explosion-suppression system of five liter volume. *International Journal of Energetic Materials and Chemical Propulsion*, 9(1): s.1-26, 2010.
2. *Klemens R., Gieras M.*: Effectiveness of an active dust and gas explosion suppression system. *Journal of Power Technologies* 92 (1) (2012), s.1–11.
3. *Klemens R., Gieras M., Kaluźny M.*: Dynamics of dust explosions suppression by means of extinguishing powder in various industrial conditions. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 20 (2007), s. 664-674.
4. *Lebecki K.*: Zagrożenia pyłowe w górnictwie. Wyd. GIG, 2004.
5. *Szkuclarek Z.*: Minimising Risk for and Reducing Impact of Fire and Explosion Hazards Coal Mining - MINFIREX. Mid-term report Research Programme of the Research Fund for Coal and Steel - RFCR-CT-2010-00005, 2011, s.105÷124. (*Materiały niepublikowane*)
6. *Szkuclarek Z.*: Nowy system ograniczający skutki wybuchu pyłu węglowego w wyrobiskach korytarzowych. Praca badawcza CMG KOMAG nr E.03.03. Gliwice, maj 2007. (*Materiały niepublikowane*)
7. *Szkuclarek Z.*: Układy tłumienia wybuchów w ciągach technologicznych. Praca badawcza ITG KOMAG nr E.18.06. Gliwice, wrzesień 2011. (*Materiały niepublikowane*)
8. Sprawozdanie końcowe z wykonania projektu rozwojowego nr R03 030 01 pt. Urządzenie odpylające z aktywnym układem tłumienia wybuchu. CMG KOMAG, Gliwice, listopad 2008, s. 1÷32. (*Materiały niepublikowane*)