

Henryk BRÓL, Ryszard FRĄCZEK
SWWGiG, Gliwice

UWAGI DOTYCZĄCE BUDOWY, KONSERWACJI I KONTROLI STANU ZAPÓR PRZECIWWYBUCHOWYCH I STREF ZABEZPIEZAJĄCYCH

Streszczenie. Omówiono zalety i wady oraz zasady budowy i kontroli zapór przeciwwybuchowych pyłowych i wodnych oraz omówiono zasady kontroli ilości pyłu kamiennego na półce zapory. Podano zależności na określenie minimalnego czasu, po upływie którego należy uzupełnić wodę w pojemnikach na zaporze przeciwwybuchowej. Podano także metodę ruchową określenia części niepalnych w pyłe kopalnianym w strefach zabezpieczających wykorzystując w tym celu różnicę gęstości nasypowej pyłu.

REMARKS ON DESIGN, MAINTENANCE AND CONTROLLING THE CONDOTION OF EXPLOSION BARRIES AND SAFETY ZONES

Summary. The research presents the advantages, disadvantages and principles for building dust and water explosion barriers and controlling the quantity of dust on a shelf. It also describes the dependences for calculation the minimal time, after which it is required to refill water in the containers of explosion barrier. The research shows the movement method that specifies incombustible parts in safety zones which protect against a coal dust explosion. The method uses the difference in density of loose dust.

1. Wstęp

Pył węglowy jest nieodłącznym produktem urabiania i transportu węgla. Jeżeli jest niezabezpieczony w sposób naturalny przed wybuchem, tzn. zawiera ponad 10% części lotnych, poniżej 50% wody przemijającej pochodzenia naturalnego oraz zawiera ponad 10% części palnych, stanowi zagrożenie o charakterze wybuchowym.

Wybuchy pyłu węglowego były przyczyną największych katastrof górniczych, które swym zasięgiem objęły część lub całą kopalnię. Pierwszą większą katastrofą górniczą odnotowano w kopalni Courries we Francji w 1906 r., w której zginęło 1099 górników. Ostatnie większe katastrofy górnicze za granicą spowodowane wybuchem pyłu węglowego wydarzyły się w kopalni Krieka w Bośni - Hercegowinie w 1990 r. (zginęło 199 górników zatrudnionych na dwóch poziomach) oraz w kopalni Westray Mine w Kanadzie w 1992 r. - zginęła cała załoga dołowa.

W Polsce pierwsza katastrofa górnicza miała miejsce na kopalni Milowice w 1922 r. W 2002 r. odnotowano dwa wybuchy pyłu węglowego: w KWK Jas-Mos (06.02.2002 r.) i w KWK Rydułtowy (23.03.2002 r.), w których zginęło 12 górników. Dalszych ofiar uniknięto w wyniku zatrzymania wybuchu przez prawidłowo wykonane zapory przeciwwybuchowe.

Z ustaleń Komisji powołanej przez Prezesa Wyższego Urzędu Górniczego wynika, że przyczyną wybuchu pyłu węglowego był brak wystarczających części niepalnych w strefach zabezpieczających miejsce zapoczątkowania wybuchu, to jest wyrobisk ścianowych. W przypadku KWK Jas-Mos zawartość części niepalnych w strefach zabezpieczających przodek wynosiła 14,8-69,4 %, zaś w przypadku KWK Rydułtowy stwierdzono miejscami w strefie zabezpieczającej zawartość części niepalnych poniżej 40%.

Ponadto z ustaleń Komisji wynika, że należy zaostriżyć egzekwowanie przestrzegania obowiązujących przepisów dotyczących zwalczania zagrożenia wybuchem pyłu węglowego, a w szczególności w zakresie:

- zapobiegania powstawaniu niebezpiecznego pyłu węglowego,
- bieżącego usuwania i zmywania nagromadzeń pyłu węglowego,
- utrzymywania stref zabezpieczających i zapór przeciwwybuchowych,
- prowadzenia na bieżąco kontroli zawartości części niepalnych w strefach zabezpieczających.

W polskim górnictwie węglowym przed przenoszeniem wybuchu pyłu węglowego znajdują zastosowanie strefy zabezpieczające i zapory przeciwwybuchowe - pyłowe i wodne [2,5,6]. Z dotychczasowych obserwacji autorów wynika, że budowa i utrzymanie zapór przeciwwybuchowych w pełnej sprawności, zgodnie z obowiązującymi przepisami [6], są dosyć kłopotliwe i kosztowne.

Generalne uwagi w przypadku stosowania zapór przeciwwybuchowych wodnych z pojemnikami otwartymi odnoszą się do:

- trudności w budowie wypoziomowanych półek zapór, tak by lustro wody w pojemnikach było w jednakowej odległości od krawędzi zbiornika,
- uzyskania długości zestawu pojemników z wodą wynoszącej co najmniej 65 % maksymalnej szerokości wyrobiska,
- parowania wody (z odkrytej powierzchni pojemnika) powodującego obniżenie lustra wody w zbiorniku w ciągu doby poniżej 2 cm.

W przypadku zapór przeciwwybuchowych pyłowych uwagi dotyczą:

- uzyskania wymaganej masy pyłu na półce (45 kg/m półki o szerokości 0,5 m), oraz tego, że na powierzchni pyłu kamiennego gromadzi się warstwa pyłu węglowego, i że pył ulega zawilgoceniu.

Do tej pory w polskim górnictwie nie opracowano i nie stosuje się metody pozwalającej kontrolować ilość pyłu na zaporze pyłowej. Przyjęto bowiem, że gęstość nasypowa pyłu transportowanego w workach do miejsca przeznaczenia jest równa gęstości pyłu na półce zapory. W praktyce, w zależności od technologii stosowanej przy nasypywaniu pyłu na półkę, gęstość pyłu na półce może się zawierać w przedziale $0,9-1,384\text{Mg/m}^3$.

Są czynione próby zastąpienia zapór o konstrukcji podanej w przepisach BHP [6] złożonej:

- z elementów drewnianych (kantówki, pomostu i deseczek) na zapory wykonane z worków foliowych wypełnionych pyłem i zawieszonych na konstrukcji z rurek stalowych,
- z pomostów drewnianych i ustawionych na nich pojemników z wodą na worki foliowe wypełnione wodą i podwieszonych na rurkach stalowych.

Nowe rozwiązania pozwalają ograniczyć ubytki wody i pyłu kamiennego, lecz z uwagi na to, że zajmują większy przekrój wyrobiska oraz z uwagi na łatwiejsze uszkodzenie, mimo że ich zabudowa jest znacznie tańsza od zapór tradycyjnych, nie znajdują szerokiego zastosowania. Szersze omówienie doświadczeń w ich stosowaniu w KWK "Borynia" podano w pracy [8].

Ponadto w przypadku stosowania worków z pyłem kamiennym z upływem czasu skutek działania siły ciężkości w worku dochodzi do zbrylania pyłu kamiennego i utraty zdolności lotnych. Ich działanie byłoby podobne do zapór pyłowych wykonanych przez ułożenie pełnych worków z pyłem kamiennym na półce.

Z uwagi na stosowanie w rejonach wentylacyjnych coraz to większych prędkości powietrza wymaganych wzrostem koncentracji wydobywania, walki z zagrożeniem

klimatycznym i metanowym oraz przechodzeniem na transport węgla przenośnikami taśmowymi pod prąd powietrza, wzrasta zagrożenie pyłowe. Coraz większa ilość pyłu węglowego jest unoszona na znacznie większe odległości. Stąd potrzeba zastosowania skutecznych środków ograniczających przenoszenie wybuchu pyłu węglowego.

2. Zapory przeciwwybuchowe pyłowe

Zapora przeciwwybuchowa pyłowa zbudowana jest z [6]:

- podpórek (konsoli) umieszczonych na obudowie wyrobiska, a służących do podtrzymania półki z pyłem kamiennym,
- dwóch kantówek ułożonych na podpórkach, na których wspiera się pomost (drabinka),
- deseczek położonych luźno na pomoście, na które na sypie się pył kamienny. Długość deseczek wynosi 0,35 m lub częściej stosowana długość 0,5 m.

Na półce pył usypany jest w formie stożka o wysokości minimum 0,13 m. Na 1 m półki w przypadku stosowania deseczek długości 0,5 m powinno się znajdować 45 kg pyłu kamiennego.

Ilość pyłu na półce zależy w głównej mierze od technologii nakładania pyłu na półkę. W wyniku trudności w formowaniu stożków na półkach znajduje się zazwyczaj od 20-40% masowo mniej pyłu niż wymagają tego przepisy [6].

Jeżeli założymy dwie skrajne technologie formowania stożków na półce:

- a) Worek z pyłem jest przecinany w połowie, a następnie powierzchnię odkrytą nakładamy na półkę i powoli wyciągamy opakowanie połówki worka, tak by nie nastąpiło rozluźnienie pyłu. Ponieważ wymiary worka wynoszą 62 x 32 x 12 cm, to wystarczy lekko wygładzić wysypany pył, by uzyskać wymagane wymiary stożka na długości 62 cm półki. Jedyne trudności występują na końcach półki, lub tam, gdzie odległość półki od obudowy jest mniejsza niż 30 cm i nie można swobodnie położyć worka na półkę.
- b) Na półkę jest nasypywany pył przy użyciu łopatek lub luźno wysypywany z worka. W tym przypadku stożek jest nieforemny, a ilość pyłu wskutek rozluźnienia przypadająca na 1 m półki o szerokości 0,5 m może wynosić nawet poniżej 30 kg.

Ponieważ na skutek przepływającego powietrza pył lotny jest unoszony z półki, ponadto na pyłe kamiennym osadza się pył węglowy, zapory są odświeżane poprzez usunięcie

nagromadzonej warstwy pyłu węglowego. Wymiary stożka ulegają zmniejszeniu. Po kilkakrotnym odświeżeniu na zaporze znajduje się mniej pyłu, niż wymagają przepisy [6]. Wtedy następuje dosypanie pyłu na półkę. Jest to pył rozluźniony i mimo zachowania wymiarów stożka na zaporze (minimum 13 cm wysokości dla półki o szerokości 0,5 m), znajduje się mniej pyłu, niż wymagają przepisy.

Zachodzi pytanie, jak skontrolować zaporę przeciwybuchową na okoliczność ilości pyłu znajdującego się na jej półkach? Obowiązek kontroli stanu zapór spoczywa bowiem na służbach wentylacyjnych i dozoru ruchu górniczego oddziałów wydobywczych i robót przygotowawczych, a także nadzoru górniczego.

Dotychczasowa kontrola obejmowała bowiem pomiar wysokości stożka, długości półek, liczby półek oraz ilości pyłu na zaporze z uwagi na przekrój wyrobiska. Zakłada się jako pewnik, że na półce wykonanej z desek o długości 0,5 m znajduje się 45 kg/mb półki pyłu. Jeżeli zapora była wykonana techniką podaną w pkt. "a", wtedy błąd będzie niewielki. Jeżeli pył nasypywany był techniką omówioną w pkt. "b", wtedy ilość pyłu na półce może być mniejsza nawet o 50 % ilości wymaganej.

Celem uniknięcia błędu należy na kilku półkach dokonać pomiaru gęstości pyłu (minimum trzy) i wykonać obliczenia rzeczywistej ilości pyłu na półce wg zależności

$$m_{rz} = m_w \cdot \frac{\rho_1 + \rho_2 + \rho_3}{3 \cdot 1,384}, \quad (1)$$

gdzie:

m_{rz} - masa rzeczywista pyłu na 1 m półki, kg/m,

m_w - masa wymagana (45 kg na półce o szerokości 0,5 m), kg,

ρ_1, ρ_2, ρ_3 - zmierzone gęstości pyłu na poszczególnych półkach, kg/m³.

Ponieważ przepisy dopuszczają wykonywanie zapory z ilością pyłu 45 kg/mb półki, to jeżeli stwierdzi się, że gęstość pyłu jest mniejsza od wymaganej przepisami, należy zaporę wykonać od nowa. Problem ten jest szczególnie ważny w polach niemetanowych, gdzie wymagania co do ilości pyłu są dwukrotnie mniejsze w stosunku do wyrobisk położonych w polach metanowych.

3. Zapory przeciwwybuchowe wodne

W przypadku zapór przeciwwybuchowych wodnych zamiast pyłu kamiennego stosuje się pojemniki o pojemności 40 l z wodą, ułożone na konstrukcji drewnianej lub metalowej. Z uwagi na parowanie wody, dopuszcza się lustro wody 2 cm poniżej krawędzi pojemnika.

Przeprowadzane kontrole poziomu lustra wody w pojemnikach wykazały, że rzadko jest przestrzegany rygor 2 cm. Pojemniki napełnione wodą w dniu poprzednim na skutek parowania wody już po 24 h mogą mieć lustro wody więcej niż 2 cm poniżej krawędzi pojemnika.

Wykonane pomiary wentylacyjne w wyrobiskach, w których stosuje się zapory przeciwwybuchowe wodne, wykazały, że:

- prędkość powietrza zawiera się w przedziale 0,3-5 m/s,
- temperatura powietrza mierzona termometrem suchym i wilgotnym wykazuje różnicę 3–5 K,
- różnica wilgotności właściwej w temperaturze suchej powietrza i temperaturze wody wynosi 5-10 g/kg.

Strumień pary wodnej odparowujący w ciągu godziny z odkrytej powierzchni oblicza się z zależności [1, 4, 7]

$$m_{pw} = (25 + 19 \cdot w) \cdot A_p \cdot \Delta x, \text{ kg/h} \quad (2)$$

gdzie:

w - prędkość powietrza, m/s,

A_p - powierzchnia pojemnika (kontaktu z powietrzem), m,

Δx - różnica wilgotności właściwej w temperaturze suchej powietrza i temperaturze wody w pojemniku, kg/kg.

Czas (τ), po którym nastąpi odparowanie 2 cm wody dopuszczone przepisami [6], oblicza się z zależności

$$\tau = \frac{1000 \cdot 0,02 \cdot A_p}{m_{pw}}, \text{ h} \quad (3)$$

W ekstremalnych warunkach klimatycznych tj. gdy $\Delta x = 10$ g/kg, $w = 5$ m/s oraz $A_p = 0,198$ m², w ciągu godziny odparowuje z pojemnika 0,2138 kg/h wody, zaś czas, w którym lustro wody obniży się o 2 cm, wyniesie $\tau = 18,5$ h. Z wykonanych obliczeń wynika, że pełna sprawność zapory przeciwwybuchowej będzie zachowana, jeżeli co 18 godzin będzie uzupełniana woda w pojemnikach.

Ponieważ z uwagi na środki transportu i wielkość elementów transportowanych, a także prędkość powietrza, najczęściej wyrobiska przygotowawcze mają przekrój poprzeczny $A_w = 14$ m², co w przypadku pokładów metanowych wymaga zastosowania w nich zapor przeciwwybuchowych zawierających ponad 6140 litrów wody, tj. 154 pojemniki z wodą, uzupełnienie wody na zaporze wymaga czasu i zaangażowania sporej załogi.

W przypadku zastosowania zapor przeciwwybuchowych z worków foliowych (zamkniętych) powierzchnia lustra wody jest dwukrotnie mniejsza, a ponadto zamiast parowania wody na drodze konwekcji występuje odparowanie dyfuzyjne - z uwagi na brak przepływu powietrza nad odkrytą powierzchnią wody. W związku z tym zależność (2) upraszcza się do postaci

$$m_{pw} = 25 \cdot A_p \cdot \Delta x, \text{ kg/h} \quad (4)$$

Stosując zależność (4) dla warunków, które przyjęto w obliczeniach dla tradycyjnej zapory przeciwwybuchowej, uzyska się $m_{pw} = 0,02$ kg/h i $\tau = 80$ h. I w tym przypadku należy uzupełniać wodę, ale 4,8 raza rzadziej.

Autorzy proponują przykryć pojemniki z wodą pokrywą, której wymiary zewnętrzne byłyby o 2 mm mniejsze od wymiarów wewnętrznych pojemnika, tak by pokrywa swobodnie pływała na wodzie. W ten sposób powierzchnia kontaktu powietrza z wodą zostałaby ograniczona do $1,7 \times 0,001$ m = 0,0017 m², a ponadto odparowanie miałoby charakter dyfuzyjny.

Dla warunków ekstremalnych zastosowanie tej zapory spowoduje odparowanie wody $m_{pw} = 0,425$ g/h, co wymaga uzupełnienia pojemnika co 8000 h (333 dni). Wykonanie pokrywy zbiornika o innym kolorze pozwoli także na bieżąco kontrolować stan wody w pojemniku, gdyż pokrywkę będzie utrzymywało lustro wody.

Jeszcze lepszy efekt ograniczenia parowania wody można uzyskać poprzez nakrycie pojemników wody cienką folią przyklejoną do krawędzi pojemnika wody.

Pojemniki wodne typu otwartego i zamkniętego powinny zezwolić na wizualną ocenę poziomu wody w zbiorniku. Aktualne zbiorniki nie zezwalają na taką ocenę. Kontrolę poziomu wody wykonuje się poprzez zanurzenie ręki lub innego elementu kontrolnego, co w przypadku zabudowy zapory na dużej wysokości może sprawić duży kłopot.

4. Kontrola stanu części niepalnych w strefach zabezpieczających

Wymagane jest, by w strefie zabezpieczającej zawartość części niepalnych wynosiła przynajmniej 70% w polach niemietanowych i 80% w polach metanowych.

Aktualnie nie ma ruchowej możliwości wykonania oznaczenia zawartości części niepalnych w pyłe kopalnianym w strefach zabezpieczających w wyrobisku górniczym. Pobrane próby pasowe zgodnie z normą PN-G-04037 "Zabezpieczenie przed wybuchem pyłu węglowego" w zamkniętych pojemnikach są wywożone na powierzchnię do laboratorium. Wyniki są znane najwcześniej po 8 godzinach od dostarczenia do laboratorium. Ponadto miejsca pobrania próby pasowej nie oznacza się. Dotychczasowa praktyka wykazuje, że wyniki zawartości części niepalnych w badanych strefach podawane przez laboratoria kopalniane są przestrzegane.

Jednakże badania kontrolne wykonane na tych samych próbach przez inne laboratoria wykazują różnice w wynikach, a nierzadko wykazują, że w strefach zabezpieczających znajduje się mniej części niepalnych, niż wymagają tego przepisy.

W związku z tym zachodzi potrzeba wykonywania badań zawartości części niepalnych w pyłe kopalnianych na miejscu i pod okiem osób odpowiedzialnych za ich stan. W tym celu można wykorzystać różnicę gęstości nasypowej pyłu węglowego nie zawierającego części niepalnych oraz pyłu kamiennego bez zawartości części palnych.

W tym celu w wyrobisku górniczym pobieramy próbę pasową na ogólnych zasadach, następnie część próby przesiewamy przez sito o oczkach 0,2 mm. Przesiew wysypujemy do naczynia, określamy objętość próbki - V_n (cm³), ważymy - m_n (g) i obliczamy gęstość nasypową stosując zależność

$$\rho_n = \frac{m_n}{V_n}, \text{ g/cm}^3 \quad (5)$$

Zawartość części niepalnych (p_n) obliczamy stosując zależność

$$p_n = \frac{\rho_m - \rho_{fn}}{\rho_p - \rho_{fn}}, \quad (6)$$

gdzie:

ρ_{fn} - gęstość nasypowa pyłu węglowego bez części niepalnych, g/cm^3 ,

ρ_p - gęstość nasypowa pyłu wapiennego (kamiennego), g/cm^3 ,

W przypadku gdy próby pyłu kopalnianego są wilgotne i nie można ich przesiać przez sito o oczkach 0,2 mm, próbę zasypujemy do naczynia pomiarowego, następnie ważymy (m_{w1}). Próbę wkładamy do suszarki termicznej i suszymy. Po wysuszeniu próbę ważymy (m_{w2}), określamy wilgoć przemijającą stosując zależność

$$W_p = \frac{m_{w1} - m_{w2}}{m_{w1}}, \quad (7)$$

Następnie wysuszoną próbę przesiewamy przez sito o oczkach 0,2 mm i określamy zawartość części niepalnych stosując zależność (6). Po określeniu zawartości części niepalnych sprawdzamy, czy zawartość wody wolnej przemijającej uniemożliwiającej przeniesienie wybuchu pyłu węglowego W , po uwzględnieniu części niepalnych w pyłe kopalnianym, jest większa, niż wynika to z zależności (6)

$$W = 50 + \frac{100 - p_n}{100} W_p - 0,625 \cdot p_n, \quad \% \quad (8)$$

gdzie:

p_n - zawartość części niepalnych stałych w pyłe kopalnianym, %,

W_p - zawartość wody przemijającej węgla, to jest części wilgoci całkowitej zawartej w węglu, którą traci on podczas suszenia aż do osiągnięcia przybliżonej równowagi z wilgotnością powietrza otaczającego, %.

W celu zastosowania przedstawionej metody należy mieć wagę pozwalającą zważyć masę próbki wynoszącej około 3 g i objętości próbki wynoszącej około 5 cm^3 , a także określoną przez laboratorium kopalniane gęstości nasypowe pyłu węglowego z danego pokładu bez części niepalnych i gęstość nasypową pyłu kamiennego (wapiennego).

5. Zakończenie

Dalszą poprawę stanu bezpieczeństwa w kopalniach węgla kamiennego z uwagi na możliwość wybuchu pyłu węglowego uzyska się na drodze poprawnej zabudowy zapór przeciwybuchowych oraz przez utrzymywanie stref zabezpieczających z wymaganą ilością części niepalnych lub wody wolnej.

Podane w pracy propozycje poprawy stanu bezpieczeństwa w kopalniach węgla kamiennego z uwagi na ograniczenie wybuchu pyłu węglowego dotyczą technologii uzyskania żądanej ilości pyłu na zaporze przeciwybuchowej oraz kontroli jego gęstości, a następnie ilości pyłu na zaporze. W przypadku zapór przeciwybuchowych wodnych zwrócono uwagę na możliwość ograniczenia procesu parowania wody z pojemników wodnych przez ich całkowite uszczelnienie. W tym przypadku nie tylko podniesie się sprawność zapory, ale także poprawi się warunki klimatyczne w wyrobisku. Ale by to zrealizować, pojemniki wodne powinny być wykonane z materiału, który pozwoli określić poziom wody w zbiorniku.

Podana metoda ruchowa kontroli części niepalnych w strefach zabezpieczających pozwoli na bieżąco oceniać i w miarę potrzeb uzupełniać zawartość części niepalnych w pyłe kopalnianym, wypełni więc brakujący element profilaktyki przeciwybuchowej pyłu węglowego.

LITERATURA

1. Budryk W.: Wentylacja kopalń. Wyd. Górnictwo-Hutnictwo, Katowice 1961.
2. Cybulski W.: Wybuchy pyłu węglowego i ich zwalczanie. Wyd. "Śląsk", Katowice 1973.
3. Dubiński J. i inni: Koncentracja wydobywania a zagrożenia górnicze. Wyd. GIG, Katowice 1999.
4. Frączek R.: Aerologia górnictwa. Zadania i przykłady. Wyd. Pol. Śląska, Gliwice 2002.
5. Kozłowski B., Sobala J.: Walka z pyłem węglowym w kopalniach węgla. Wyd. "Śląsk", Katowice 1966.
6. Rozporządzenie MG z dnia 28 czerwca 2002 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy, prowadzenia ruchu i specjalistycznego zabezpieczenia pożarowego w podziemnych zakładach górniczych (Dz. U. Nr 139. poz. 1169 z dnia 2 września 2002 r.).
7. Waclawik J., Cygankiewicz J., Knechtel J.: Warunki klimatyczne w kopalniach węgla. Wyd. PAN, Kraków 1998.

8. Śliwczyński B., Szymik J., Gmytrysz W.: Doświadczenia kopalni węgla kamiennego "Borynia" w budowie przeciwwybuchowych zapór wodnych typu "torby wodne". Przegląd Górnictwa, Nr 9, 2002.

Recenzent: Dr hab. inż. Józef Sułkowski, prof. Pol. Śl.

Abstract

The research presents the advantages, disadvantages and principles for building dust and water explosion barriers and controlling the quantity of dust on a shelf. It also describes the dependences for calculation the minimal time, after which it is required to refill water in the containers of explosion barrier. The research shows the movement method that specifies incombustible parts in safety zones which protect against a coal dust explosion. The method uses the difference in density of loose dust.