

dr inż. WOJCIECH DOMAŃSKI

Centralny Instytut Ochrony Pracy

– Państwowy Instytut Badawczy

Kontakt: wodom@ciop.pl

DOI: 10.5604/01377043.1210094

# Pyłowe atmosfery wybuchowe

## – parametry charakteryzujące wybuchowość pyłów

Wyeliminowanie lub ograniczenie zagrożenia wynikającego z występowania w miejscach pracy pyłowych atmosfer wybuchowych wymaga poznania własności palnych i wybuchowych pyłów materiałów palnych. W artykule przedstawiono i scharakteryzowano parametry charakteryzujące właściwości wybuchowe pyłów palnych materiałów. Parametry charakteryzujące wybuchowość pyłów są zdefiniowane, a metody ich badań oraz zasady budowy i wymagania techniczne dla aparatów do badań są znormalizowane.

W CIOP-PIB opracowano metody badań maksymalnego ciśnienia wybuchu, maksymalnej szybkości narastania ciśnienia wybuchu, współczynnika wybuchowości pyłu, dolnej granicy wybuchowości oraz minimalnej energii zapłonu. Opracowane metody spełniają wymagania techniczne i metodyczne nakreślone w normach PN-EN 14034 i PN-EN 13821.

*Słowa kluczowe: atmosfera wybuchowa, pyły, maksymalne ciśnienie wybuchu, maksymalna szybkość narastania ciśnienia wybuchu, współczynnik wybuchowości pyłu, dolna granica wybuchowości, minimalna energia zapłonu*

### Explosive dust atmospheres – parameters characterizing explosive dust

Eliminating or reducing risk arising from the presence of dust explosive atmospheres at the workplace requires knowing the flammable and explosive properties of dusts of combustible materials. This paper presents and characterizes parameters of the explosive properties of dusts of combustible materials. Parameters characterizing explosive dusts are defined, and methods of testing them and the principles of construction and technical requirements for testing apparatus are standardized. CIOP-PIB developed test methods for maximum explosion pressure, the maximum rate of pressure rise, the deflagration index, the lower explosive limit and the minimum ignition energy. The developed methods meet the technical requirements and the methodology specified in standards PN-EN 14034 and PN-EN 13821.

*Keywords: explosive atmosphere, dusts, maximum explosion pressure, maximum rate of pressure rise, deflagration index, lower explosive limit, minimum ignition energy*

Fot. Sergio34/Bigstockphoto

## Wstęp

Eksplzja atmosfery wybuchowej w miejscu pracy jest poważnym zagrożeniem dla zdrowia i życia pracowników, powoduje duże straty materialne, może prowadzić do zmian w środowisku naturalnym, a także stanowić zagrożenie dla życia, zdrowia i mienia osób postronnych. Takie zdarzenie miało miejsce np. w Blaye we Francji, gdzie wybuch pyłu zbożowego w elewatorze zniszczył sąsiednie budynki, a wśród ofiar śmiertelnych znalazł się wędkarz.

Atmosfera wybuchowa nie jest stałym elementem miejsca pracy, występuje w środowisku pracy z różną częstotliwością oraz utrzymuje się przez różne okresy czasu. Te dwa czynniki (częstotliwość i czas) oraz rodzaj substancji palnej decydują o zakwalifikowaniu pyłowej atmosfery wybuchowej do jednej ze stref zagrożenia wybuchem [1].

Atmosfera wybuchowa to mieszanina substancji palnych w postaci gazów, par, mgieł lub pyłów z powietrzem o charakterystyce odpowiadającej warunkom atmosferycznym, w której – po wy-

stąpieniu zapłonu – spalanie rozprzestrzenia się na całą niespaloną mieszaninę [2]. Mieszaniny powietrze-palny pył są jedną z bardziej niszczycielskich form atmosfer wybuchowych. Wiele materiałów, które w potocznym pojęciu są niepalne, tworzy z powietrzem groźne mieszaniny, które mogą ulec zapaleniu i wybuchowi. Za palny pył uważa się ziarna materiału palnego o wymiarze równym lub mniejszym 500  $\mu\text{m}$ , które w kontakcie z powietrzem wchodzi w reakcję utleniania. Po zapaleniu takiej chmury pyłu następuje gwałtowna reakcja utleniania (spalania) całej objętości, w której pył jest zawieszony w powietrzu. Oczywiście palne są również pyły o większych ziarnach, lecz ich podatność na gwałtowną i niekontrolowaną reakcję jest zazwyczaj mała. Dodatkowym zagrożeniem, które niesie stosowanie rozdrobnionych materiałów, są warstwy pyłu zalegające wokół maszyn i urządzeń, które na skutek podmuchu powietrza unoszą się i tworzą chmury pyłowe. Stężenie pyłu może w nich osiągać wartości przewyższające dolną granicę wybuchowości (DGW).

Istotną cechą pyłowych atmosfer wybuchowych jest ich niejednorodność, która wyraża się różnym stężeniem, różnymi średnicami ziaren, różną wilgotnością itp. Ta cecha w poważnym stopniu utrudnia przewidywanie zachowania się pyłów zawieszonych w powietrzu.

W artykule przedstawiono podstawowe parametry stosowane do charakteryzowania wybuchowości pyłowych atmosfer wybuchowych i warstw pyłowych oraz metody ich badania.

## Źródła pyłu

Podczas procesu produkcyjnego pył jest emitowany wszędzie tam, gdzie surowcem wyjściowym są granulaty, łuski, proszki, kęski, groszki, tabletki itp. W całym cyklu produkcyjnym pył może być składnikiem surowców wyjściowych, półproduktów, produktów finalnych i ubocznych.

Pyły jako produkt uboczny tworzą się w czasie mechanicznej obróbki powierzchni, np. elementów drewnianych, metalowych, z tworzyw sztucznych. Nawet tam, gdzie materiałem wyjściowym są z zało-

zenia surowce niepyłące mogą gromadzić się w długim okresie warstwy pyłu, które przy gwałtownym podmuchu mogą utworzyć pyłową chmurę.

Źródłem pyłu w środowisku pracy mogą być procesy mielenia, przesiewania, suszenia i sortowania, mieszania, dozowania, paczkowania, polerowania, szlifowania, cięcia itp. Pyłami emitowanymi do powietrza są różne materiały o bardzo różnych właściwościach fizykochemicznych, na skutek czego poziom ryzyka, które stwarzają jest różny i zależy od wielu czynników. Na rys. 1. przedstawiono udział palnych pyłów w eksplozjach, które miały miejsce w latach 1980-2005 w zakładach przemysłowych w USA [3].

### Zapłon i wybuch pyłu

Zapłon pyłu następuje, kiedy do mieszaniny paliwa w postaci palnego pyłu z powietrzem (tlenem) jest dostarczana energia np. w postaci ciepła. Paliwo-utleniacz-energia tworzą wtedy tzw. trójkąt spalania. Wylimitowanie jednego z jego składników wyklucza pożar. Do powstania wybuchu pyłu wraz z paliwem, utleniaczem i energią muszą zaistnieć jednocześnie dwa dodatkowe elementy: dyspersja pyłu w powietrzu oraz ograniczenie przestrzenne, które tworzą w sumie tzw. pięciokąt wybuchu (rys. 2.).

Pył zawieszony w zamkniętej przestrzeni gwałtownie spala się, a jednocześnie dochodzi do znaczącego wzrostu ciśnienia. Usunięcie jednego z tych dwóch elementów zapobiega wybuchowi pyłu. Jednak spalanie może postępować w dalszym ciągu. Całkowite przerwanie pożaru wymaga wylimitowania jednego z trzech czynników trójkąta spalania.

Ponadto, aby nastąpił wybuch mieszaniny pyłowo-powietrznej, wszystkie trzy elementy trójkąta spalania muszą osiągnąć graniczne wartości, których jednoczesne spełnienie powoduje zapalenie mieszaniny powietrze-pył, a spełnienie pozostałych elementów pięciokąta skutkuje wybuchem.

Powstawanie atmosfer wybuchowych jest mało prawdopodobne na otwartych przestrzeniach – np. w wyniku uwolnienia pyłu z urządzeń procesowych do atmosfery, ponieważ wytworzenie i utrzymanie wysokich stężeń pyłu w takich warunkach jest mało skuteczne. W rzeczywistości do eksplozji atmosfery wybuchowej dochodzi najczęściej wewnątrz urządzeń technicznych, takich jak młyny, mieszalniki, kanały wentylacyjne, przenośniki kuletkowe, cyklony, filtry oraz silosy. Konsekwencją eksplozji wewnątrz urządzenia jest kolejny wybuch – chmury pyłowej powstałej wokół niego na skutek podmuchu i uniesienia się w powietrze zalegających do tej pory warstw pyłu.

Eksplozja mieszaniny pyłowo-powietrznej zależy więc od:

- stężenia tlenu w chmurze pyłowej
- właściwości pyłu (rozdrobienie, wilgotność, części lotne)
- składu i stanu mieszaniny wybuchowej (stężenie)
- rodzaju przestrzeni wybuchu
- cech inicjatora (energia, czas działania, temperatura itp.).

Wybuch mieszaniny pyłowo-powietrznej składa się z następujących etapów [4]:

- transportu ciepła do powierzchni cząstki i absorbowania go przez cząstkę, co w konsekwencji prowadzi do jej rozgrzania

- rozkładu termicznych powierzchni cząstki z dalszym jej nagrzewaniem oraz wydzielaniem części lotnych

- mieszania się wydzielonych części lotnych z powietrzem i wytworzenia palnej mieszaniny oraz jej zapalenia

- transportu ciepła od płomienia do sąsiednich cząstek, uwolnienia kolejnych części lotnych, zapłonu i spalania.

### Parametry charakteryzujące wybuchowość pyłu

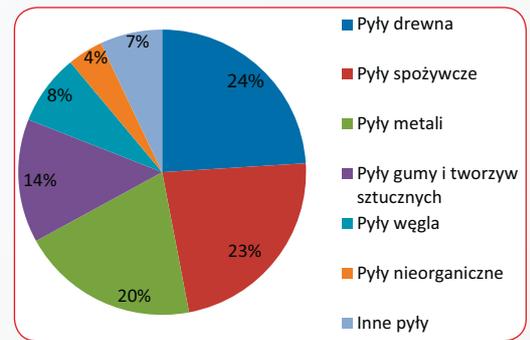
Aby wylimitować lub ograniczyć powstawanie pyłowych atmosfer wybuchowych, a także zaprojektować urządzenia techniczne zapobiegające wybuchowi lub minimalizujące jego skutki, należy znać parametry charakteryzujące właściwości palne i wybuchowe pyłów. W wyniku badań i ustaleń, za parametry charakteryzujące wybuchowość pyłów przyjęto:

- maksymalne ciśnienie wybuchu  $p_{max}$
- maksymalną szybkość narastania ciśnienia wybuchu  $(dp/dt)_{max}$
- współczynnik wybuchowości pyłu  $K_{St}$
- dolną granicę wybuchowości  $DGW$
- graniczne stężenie tlenu  $GST$
- minimalną energię zapłonu  $MEZ$
- minimalną temperaturę zapłonu warstwy pyłu  $MTZ_w$
- minimalną temperaturę zapłonu obłoku pyłu  $MTZ_o$

Warunki badania parametrów charakteryzujących wybuchowość pyłu zostały zdefiniowane i opisane w europejskich normach EN (tabela 1.), [5-10]. W normach tych opisano i podano również kryteria techniczne wykonywania aparatów do badania wymienionych parametrów.

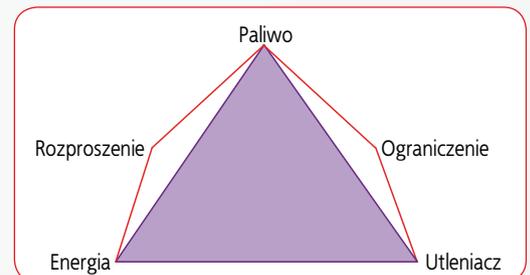
### Oznaczanie parametrów charakteryzujących wybuchowość pyłu zgodnie z PN-EN 14034

Badanie tzw. ciśnieniowych parametrów charakteryzujących wybuchowość pyłów, tj.: maksymalnego ciśnienia wybuchu, maksymalnej szybkości narastania ciśnienia wybuchu, współczynnika wybuchowości pyłu, dolnej granicy wybuchowości oraz granicznego stężenia tlenu jest wykonywane w urządzeniach zaprojektowanych i zbudowanych zgodnie z serią norm PN-EN 14034 [5-8]. Podstawowym urządzeniem do badań tych parametrów jest komora o objętości 1 m<sup>3</sup>. Norma dopuszcza również wykonanie badań w komorze w kształcie kuli o objętości 20 dm<sup>3</sup> (dalej użyto nazwy 20-L



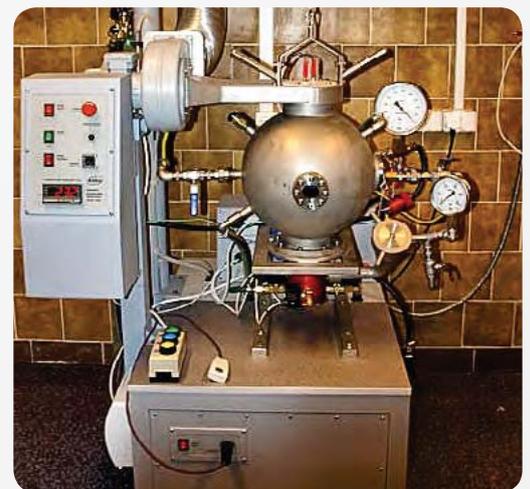
Rys. 1. Procentowy udział wybuchów atmosfer pyłowych w USA w latach 1980-2005 w zależności od rodzaju pyłu

Fig.1. Percentage of explosions of dust atmospheres in the USA in 1980-2005, by type of dust



Rys.2. Pyłowy pięciokąt wybuchu i trójkąt spalania

Fig.2. Explosion pentagon and fire triangle



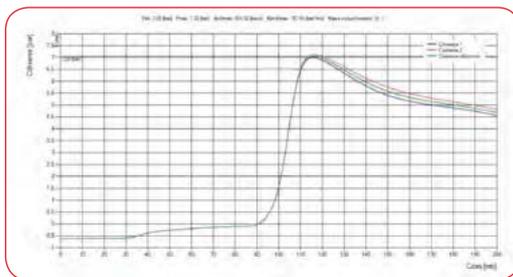
Fot.1. 20-L komora sferyczna do oznaczania parametrów charakteryzujących wybuchowość chmur pyłu (fot. CIOP-PIB)

Photo 1. 20-L sphere apparatus for determining explosion characteristics of dust clouds

Tabela 1. Parametry charakteryzujące wybuchowość pyłu i normy zalecające metody badań

Table 1. Parameters characterizing the explosiveness of dust and standards recommending test methods

Parametry charakteryzujące wybuchowość pyłu	Nr normy
Maksymalne ciśnienie wybuchu $p_{max}$	PN-EN 14034-1
Maksymalna szybkość narastania ciśnienia wybuchu $(dp/dt)_{max}$	PN-EN 14034-2
Współczynnik wybuchowości pyłu $K_{St}$	
Dolna granica wybuchowości $DGW$	PN-EN 14034-3
Graniczne stężenie tlenu $GST$	PN-EN 14034-4
Minimalna energia zapłonu $MEZ$	PN-EN 13821
Minimalna temperatura zapłonu warstwy pyłu $MTZ_w$	PN-EN 50281
Minimalna temperatura zapłonu obłoku pyłu $MTZ_o$	



Rys. 3. Zmiana ciśnienia w 20-L komorze sferycznej w czasie wybuchu mieszaniny powietrze – lycopodium  $c=500 \text{ g m}^{-3}$

Fig. 3. Change of pressure in 20-L sphere apparatus during an explosion of an air-lycopodium mixture  $c = 500 \text{ g m}^{-3}$

komora sferyczna, fot.1.). W czasie badań obserwuje się wzrost ciśnienia w komorze. Przyjmuje się, że po zapłonie nastąpił wybuch pyłu, kiedy ciśnienie mierzone ( $p_{ex}$ ) w stosunku do początkowego ( $p_i$ ) wynosi  $\geq 0,5 \text{ bar}$  [ $p_{ex} \geq (p_i + 0,5 \text{ bar})$ ].

Ciśnieniowe parametry charakteryzujące wybuchowość pyłu są parametrami bezpieczeństwa, wykorzystywanymi do identyfikacji zagrożeń, opracowywania środków bezpieczeństwa oraz projektowania systemów ochronnych przed skutkami wybuchów pyłu.

Badanie parametrów charakteryzujących wybuchowość pyłów można wykonać w warunkach laboratoryjnych w 20-L komorze sferycznej. Ich zaletą jest zużycie znacznie mniejszej ilości pyłu niezbędnego do wykonania tych badań.

Maksymalne ciśnienie wybuchu  $p_{max}$  jest maksymalną wartością nadciśnienia powstającego podczas eksplozji atmosfery wybuchowej w zamkniętym naczyniu, w określonych warunkach badania. Wynik pomiaru tego parametru w 20-L komorze sferycznej wymaga, zgodnie z normą, skorygowania.

Wartość maksymalnego ciśnienia wybuchu  $p_{max}$  jest korygowana w zależności od zmierzonego ciśnienia w kuli, zgodnie z wzorami:

a) w przypadku kiedy zmierzone ciśnienie w kuli  $p_{max20L} \geq 5,5 \text{ bar}$   $p_{max}$  należy obliczyć wg następującego wzoru:

$$p_{max} = 0,775 \cdot p_{max20L}^{1,15} \quad [\text{bar}]$$

b) w przypadku kiedy zmierzone ciśnienie w kuli  $p_{max20L} < 5,5 \text{ bar}$   $p_{max}$  należy obliczyć wg następującego wzoru:

$$p_{max} = \frac{5,5 \cdot (p_{max20L} - p_{ci})}{(5,5 - p_{ci})} \quad [\text{bar}]$$

$$p_{ci} = \frac{1,6 \cdot E_i}{10000} \quad [\text{bar}]$$

gdzie:

$p_{ci}$  – ciśnienie wywołane przez zapalniki chemiczne [bar]

$E_i$  – energia zapłonu, J.

Do zapłonu mieszanki pyłowo-powietrznej używane są dwa zapalniki chemiczne o energii 5 kJ każda.

W wyniku zapłonu i wybuchu mieszanki powietrze-pył w 20-L komorze sferycznej otrzymuje się wykres ciśnienia wybuchu – czas (rys. 3.).

Kolejnymi parametrami charakteryzującymi wybuchowość chmur pyłowych jest maksymalna szybkość narastania ciśnienia wybuchu ( $dp/dt$ )<sub>max</sub> oraz obliczony na podstawie zmierzonego ( $dp/dt$ )<sub>max</sub> współczynnik  $K_{St}$ . Maksymalna szybkość

Tabela 2. Klasyfikacja wybuchowości pyłów na podstawie współczynnika  $K_{St}$

Table 2. Classification of the explosiveness of dust based on deflagration index  $K_{St}$

Klasa wybuchowości	$K_{St}$ (bar m/s)	Nazwa klasy	Przykłady
St. 0	$K_{St} = 0$	niewybuchowa	krzemionka
St. 1	$1 < K_{St} \leq 200$	słabo wybuchowa	cukier, cynk, mleko w proszku, siarka, węgiel
St. 2	$201 < K_{St} \leq 300$	silnie wybuchowa	celuloza, mączka drzewna, poliakrylan metylu
St. 3	$K_{St} > 300$	bardzo silnie wybuchowa	antrachinon, glin, magnez

narastania ciśnienia wybuchu ( $dp/dt$ )<sub>max</sub> jest maksymalną wartością narastania ciśnienia w jednostce czasu podczas eksplozji atmosfery wybuchowej w zamkniętym naczyniu, w określonych warunkach badania. Współczynnik  $K_{St}$ , w przypadku pomiaru maksymalnej szybkości narastania ciśnienia wybuchu ( $dp/dt$ )<sub>max</sub> w 20-L komorze sferycznej, należy obliczyć zgodnie ze wzorem:

$$K_{St} = 0,271 \cdot (dp/dt)_{max} \quad [\text{bar} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$$

gdzie: 0,271 jest pierwiastkiem trzeciego stopnia z objętości 20-L komory sferycznej.

Współczynnik  $K_{St}$  jest podstawą do klasyfikacji wybuchowości pyłów palnych, którą przedstawiono w tabeli 2.

Maksymalna szybkość narastania ciśnienia wybuchu ( $dp/dt$ )<sub>max</sub> wzrasta wraz ze zmniejszeniem rozmiaru cząstek pyłu oraz wraz ze zwiększeniem zawartości części lotnych w pyłe. Na wartość tego parametru ma też wpływ stężenia tlenu. Obecność wilgoci w pyłe zmniejsza szybkość narastania ciśnienia wybuchu.

Komorze sferyczna jest wykorzystywana do oznaczania dolnej granicy wybuchowości palnych pyłów (DGW), czyli najniższego stężenia palnego pyłu w mieszaninie z powietrzem, w której następuje wybuch w określonych warunkach badania. Mieszanina pyłowo-powietrzna jest wybuchowa jedynie po osiągnięciu odpowiedniego stężenia. Na podstawie serii przeprowadzanych doświadczeń można określić stężenie pyłu w powietrzu, które w warunkach badania nie ulega zapłonowi i nie wybuchu. Wartość ta jest dolną granicą wybuchowości DGWi w większości przypadków mieści się w zakresie 20-60 g/m<sup>3</sup>. W odniesieniu do pyłów nie wyznacza się górnej granicy wybuchowości (GGW), która jest bardzo wysoka i osiąga wartości 2-6 kg/m<sup>3</sup>.

Dolna granica wybuchowości zmniejsza się wraz ze zmniejszeniem się rozmiarów cząstek pyłu oraz wraz ze wzrostem zawartości części lotnych i stężenia tlenu. Natomiast wilgotność pyłu powoduje wzrost DGW.

Piętym parametrem charakteryzującym wybuchowość pyłu, który można oznaczyć przeprowadzając badania w komorze wybuchowej, jest graniczne stężenie tlenu (GST). Jest ono najwyższym stężeniem tlenu w mieszaninie pył-powietrze-gaz obojętny, w której wybuch pyłu nie może się zdarzyć w określonych warunkach badania. W celu wykonania badania tego parametru komory badawcze są wyposażane dodatkowo w urządzenie umożliwiające zmianę stosunku gazu obojętnego do powietrza. Badanie polega na stopniowym zwiększaniu stosunku gazu obojętnego do powietrza i zmianie stężenia pyłu. Stężenie tlenu jest obniżane do poziomu, przy którym nie występuje wybuch dla danego stężenia pyłu. Stężenia pyłu, dla których są wykonywane badania, określa

PN-EN 14034-4 [8]. GST jest więc takim stężeniem tlenu, przy którym dla żadnego badanego stężenia pyłu nie następuje wybuch.

### Oznaczanie minimalnej energii zapłonu

Minimalna energia zapłonu (MEZ) to najmniejsza energia elektryczna nagromadzona w kondensatorze, która w trakcie jego rozładowania wystarcza do spowodowania zapłonu najbardziej zapalnej atmosfery w określonych warunkach badania. Jej pomiar jest wykonany zgodnie z PN-EN 13821 [9].

MEZ jest parametrem bezpieczeństwa, wykorzystywanym do identyfikacji źródeł zapłonu i ich efektywności oraz opracowywania środków bezpieczeństwa i projektowania urządzeń w zakresie eliminacji źródeł zapłonu w strefach zagrożonych pyłową atmosferą wybuchową.

Do badania minimalnej energii zapłonu mieszanin pyłowo-powietrznych jest stosowana, zgodnie z normą, zmodyfikowana szklana rura Hartmana, w której zapłon w postaci iskry elektrycznej jest generowany w obwodzie elektrycznym zapewniającym stałą i powtarzalną wartość energii. Pojemność komory spalania (rury Hartmana) wynosi 1,2 l. Szklany tubus jest umieszczony na podstawie kształcie walca, którego wnętrze ma kształt spłaszczonej półkuli z centralnie umieszczoną czaszą. Badany pył, równomiernie rozproszony na podstawie, jest rozpraszany we wnętrzu tubusu przez podmuch 50 ml powietrza o ciśnieniu 7 bar. Wytworzona przez podmuch chmura pyłu jest zapalana iskry o znanej energii.

System generowania iskry stanowią dwa układy pneumatyczno-elektryczne:

a) system wyzwalania za pomocą przekaźnika wysokonapięciowego z użyciem systemu dwuelektrodowego;

b) system wyzwalania za pomocą ruchu elektrody z użyciem systemu dwuelektrodowego.

Wymagania PN-EN 13821 spełnia urządzenie MINOR 2 (fot. 2.). Pomiar i oznaczenie MEZ chmury pyłu w urządzeniu MINOR 2 wykonywane są w stosunku do zdefiniowanych wartości: energii zapłonu oraz stężeń pyłu. Wynikiem badań jest przedział wartości energii

$$E_0 \leq MEZ \leq E_{0+1}$$

gdzie:

$E_0$  – najwyższa energia, przy której nie dochodzi do zapłonu w 10 kolejnych próbach,

$E_{0+1}$  – najniższa energia, przy której dochodzi do zapłonu w jednej z 10 kolejnych prób.

Energia zapalająca chmurę pyłową oraz ilość pyłu użyta do wytworzenia zawiesiny pyłu w powietrzu są zmieniane skokowo.

Minimalna energii zapłonu maleje wraz ze zmniejszeniem się wielkości cząstek pyłu oraz zmniejszeniem jego wilgotności.



Fot. 2. MINOR 2 – aparat do oznaczania minimalnej energii zapłonu chmur pyłu (fot. CIOP-PIB)

Photo 2. MINOR 2 – apparatus for determining minimum ignition energy of a dust cloud



Fot. 3. Aparat do oznaczania minimalnej temperatury zapłonu warstwy pyłu [11]

Photo 3. Apparatus for determining the minimum ignition temperature of a dust layer [11]



Fot. 4. Aparat Godbert-Greenwalda do oznaczania minimalnej temperatury zapłonu chmur pyłu [11]

Photo 4. Godbert-Greenwald apparatus for determining the minimum ignition temperature of a dust cloud [11]

## Oznaczanie temperatur zapłonu chmury i warstwy pyłu

Minimalna temperatura zapłonu warstwy pyłu  $MTZ_w$ , to najniższa temperatura gorącej powierzchni, na której dochodzi do zapłonu warstwy pyłu o określonej grubości i w określonych warunkach badania.

Minimalna temperatura zapłonu obłoku pyłu  $MTZ_o$ , to najniższa temperatura wewnętrznej ściany pieca, w którym dochodzi do zapłonu obłoku pyłu, w określonych warunkach badania.

$MTZ_w$  oraz  $MTZ_o$  są parametrami bezpieczeństwa, wykorzystywanymi do identyfikacji gorących powierzchni jako źródeł zapłonu i ich efektywności oraz opracowywania środków bezpieczeństwa, projektowania i badania obudów urządzeń pracujących w strefach zagrożonych pyłową atmosferą wybuchową

Oba temperaturowe parametry, charakteryzujące palność i wybuchowość pyłu, należy oznaczać zgodnie z PN-EN 50281 [10]. Norma opisuje warunki wykonania badania  $MTZ_w$  i  $MTZ_o$  oraz wymagania konstrukcyjne dla wykonania urządzeń do ich badania (fot. 3. i 4.).

Oznaczanie  $MTZ_w$  wykonywane jest na okrągłej stalowej płycie, równomiernie ogrzewanej na całej powierzchni, na której temperatura jest utrzymywana z dokładnością  $\pm 3$  °C. Podstawowe badania są wykonywane w odniesieniu do warstwy pyłu o grubości 5 mm. Norma dopuszcza również badanie warstwy pyłu o grubości 12,5 oraz 15 mm. Wykonując oznaczenie, należy jednocześnie mierzyć czas od usypania warstwy pyłu do jego zapłonu. Wynikiem oznaczenia jest wartość najniższej temperatury, w której nastąpił zapłon, zaokrąglonej w dół do pełnych dziesiątek (do drugiego miejsca przed przecinkiem). Jednocześnie należy oznaczyć najwyższą temperaturę, w której zapłon nie nastąpił. W PN-EN 50281 przyjęto, że doszło do zapłonu warstwy pyłu, jeżeli w badanej warstwie zostało zapoczątkowane żarzenie, pojawił się płomień lub została osiągnięta temperatura 450 °C.

Oznaczanie  $MTZ_o$  wykonywane jest w piecu o kształcie walca. Materiałem do badań jest pył o granulacji niższej od 71  $\mu\text{m}$ . Badania są wykonywane w odniesieniu do chmur pyłu utworzonych ze zdefiniowanych w normie: ilości pyłu oraz ciśnienia powietrza wdmuchującego pył do pieca. Pierwsze badanie jest wykonywane w stosunku do temperatury 500 °C, która jest następnie zmniejszana o 20 °C lub zwiększana o 50 °C. Za wynik pomiaru przyjmuje się najniższą temperaturę pieca, w której uzyskano zapłon, pomniejszoną o 20 °C w odniesieniu do temperatury pieca większej od 300 °C lub pomniejszoną o 10 °C w przypadku temperatury pieca mniejszej od 300 °C. Zapalenie pyłu jest określane wizualnie – następuje wyrzut płomienia z pieca.

Minimalna temperatura zapłonu warstwy lub chmury palnych pyłów zmniejsza się wraz ze zmniejszeniem się rozmiaru cząstek pyłu oraz zwiększaniem zawartości jego frakcji lotnych. Obecność wilgoci w pyłe powoduje wzrost wartości  $MTZ_w$  oraz  $MTZ_o$ .

## Podsumowanie

Wylimitowanie lub ograniczenie zagrożenia wynikającego z występowania w miejscach pracy pyłowych atmosfer wybuchowych wymaga poznania właściwości palnych i wybuchowych pyłów materiałów palnych. Podstawą zaprojektowania instalacji, urządzeń i aparatury pracujących w obecności palnych materiałów o wysokim stopniu rozdrobnienia jest poznanie parametrów charakteryzujących właściwości wybuchowe tego rodzaju materiałów. Parametry charakteryzujące tego rodzaju właściwości są zdefiniowane, a metody ich oznaczania znormalizowane. W cytowanych

w artykule normach opisano podstawowe założenia i wymagania techniczne aparatów niezbędnych do wykonania niezbędnych badań. Badanie omawianych w artykule parametrów charakteryzujących wybuchowość chmur pyłowych i warstw pyłu jest niezwykle pracochłonne i wymaga zaangażowania personelu o wysokich kwalifikacjach.

Pracownia Bezpieczeństwa Chemicznego CIOP-PIB ma na wyposażeniu 20-L komorę sferyczną oraz aparat MINOR 2, które umożliwiają wykonanie badań maksymalnego ciśnienia wybuchu –  $p_{max}$ , maksymalnej szybkości narastania ciśnienia –  $(dp/dt)_{max}$  współczynnika wybuchowości pyłu –  $K_{St}$ , dolnej granicy wybuchowości –  $DGW$  oraz wybuchu minimalnej energii zapłonu  $MEZ$ . Opracowane i stosowane w CIOP-PIB metody oznaczeń spełniają wymagania techniczne i metodyczne nakreślone w serii PN-EN 14034 i w PN-EN 13821. W pracowni, w celach poznawczych, jak również na potrzeby klientów, są prowadzone badania, w których interwały stężeń pyłu w mieszaninie powietrze-pył, zalecane przez normy, są odpowiednio mniejsze, tak, aby parametry charakteryzujące wybuchowość pyłów zawierały się w węższym i dokładniejszym zakresie stężeń.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] PN-EN 60079-10-2:2015-06 Atmosfery wybuchowe -- Część 10-2: Klasyfikacja przestrzeni -- Pyłowe atmosfery wybuchowe
- [2] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 8 lipca 2010 r. w sprawie minimalnych wymagań, dotyczących bezpieczeństwa i higieny pracy, związanych z możliwością wystąpienia w miejscu pracy atmosfery wybuchowej. Dz.U. 2010 nr 138 poz. 931
- [3] Investigation Report Combustible Dust Hazard Study. U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board, November 2006
- [4] Teodorczyk A.: Podstawy modelowania matematycznego wybuchu mieszaniny pyłowo-gazowej, III Międzynarodowa Szkoła Wybuchowości Pyłów Przemysłowych, 1987
- [5] PN-EN 14034-1:2004+A1:2011 Oznaczanie charakterystyk wybuchowości obłoków pyłu -- Część 1: Oznaczanie maksymalnego ciśnienia wybuchu  $p_{max}$  obłoków pyłu
- [6] PN-EN 14034-2:2004+A1:2011 Oznaczanie charakterystyk wybuchowości obłoków pyłu -- Część 2: Oznaczanie maksymalnej szybkości narastania ciśnienia wybuchu  $(dp/dt)_{max}$  obłoków pyłu
- [7] PN-EN 14034-3:2006+A1:2011 Oznaczanie charakterystyk wybuchowości obłoków pyłu -- Część 3: Oznaczanie dolnej granicy wybuchowości  $DGW$  obłoków pyłu
- [8] PN-EN 14034-4:2004+A1:2011 Oznaczanie charakterystyk wybuchowości obłoków pyłu -- Część 4: Oznaczanie granicznego stężenia tlenu  $GTS$  obłoków pyłu
- [9] PN-EN 13821:2004P Przestrzenie zagrożone wybuchem -- zapobieganie wybuchowi i ochrona przed wybuchem -- Oznaczanie minimalnej energii zapłonu mieszanin pyłowo-powietrznych
- [10] [PN-EN 50281-2-1:2002P Urządzenia elektryczne do stosowania w obecności pyłów palnych -- Część 2-1: Metody badania -- Metody oznaczania minimalnej temperatury zapłonu pyłu
- [11] <http://www.anko-lab.pl/urządzenia-laboratoryjne-i-badawcze.html>

Publikacja opracowana na podstawie wyników III etapu programu wieloletniego pn. „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy” finansowanego w latach 2014-2016 w zakresie badań naukowych i prac rozwojowych ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego/Narodowego Centrum Badań i Rozwoju. Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.