

Wojciech Domański

**OCENA RYZYKA
W MIEJSCACH PRACY
ZAGROŻONYCH
ATMOSFERĄ
WYBUCHOWĄ
W WYNIKU EMISJI
NANOMATERIAŁÓW
- ZALECENIA**

Warszawa 2016

CIOP  **PIB**

Opracowano i wydano w ramach III etapu programu wieloletniego pn. „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy” (2014–2016) finansowanego w zakresie służb państwowych przez Ministerstwo Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej.

Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

Autor:

Wojciech Domański –
Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

Projekt okładki:

Anna Antoniszewska

Opracowanie redakcyjne:

Lucyna Wyciskiewicz-Pardej

Opracowanie graficzne:

Dorota Szymczak

© Copyright by Centralny Instytut Ochrony Pracy –
Państwowy Instytut Badawczy
Warszawa 2016

CIOP  **PIB**

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy
ul. Czerniakowska 16, 00-701 Warszawa
tel. (22) 623 36 98, fax (22) 623 36 93, 623 36 95, www.ciop.pl

Spis treści

Czym jest pyłowa atmosfera wybuchowa?	5
Czym jest pył?.....	5
Czym są pyły palne (substancje palne)?	6
Czym są nanocząstki?	6
Czym jest wybuch?	7
Kiedy może nastąpić wybuch pyłowej atmosfery wybuchowej?.....	7
Jakie ilości atmosfery wybuchowej są niebezpieczne?	8
Jak są klasyfikowane przestrzenie zagrożone wybuchem pyłu?	9
Jakie parametry charakteryzują właściwości palne i wybuchowe pyłu?	10
Od czego zależy prawdopodobieństwo wystąpienia niebezpiecznej pyłowej atmosfery wybuchowej?	11
Co to jest zapłon i jakie są możliwe źródła zapłonu?	12
Jakie są możliwe skutki wybuchu pyłowej atmosfery wybuchowej?.....	13
Jak można ograniczyć szkodliwe skutki efektu wybuchu?	14
Jakimi środkami technicznymi można zapobiegać wybuchowi lub ograniczyć skutki wybuchu?	14
Jak zapobiegać tworzeniu się pyłowej atmosfery wybuchowej?	14
Jak unikać zapłonu pyłowej atmosfery wybuchowej?.....	15
Jakie są stosowane środki techniczne ograniczające skutki wybuchu?	16
Jakimi środkami organizacyjnymi można zredukować zagrożenie?	16
Co to jest ocena ryzyka zawodowego?	17
Jak przeprowadzić ocenę ryzyka zawodowego?.....	18
Jak ocenić prawdopodobieństwo występowania pyłowej atmosfery wybuchowej?	20
Jak ocenić prawdopodobieństwo występowania efektywnego źródła zapłonu?.....	20
Bibliografia	21

Czym jest pyłowa atmosfera wybuchowa?

Materiałem palnym mogą być pyły o wymiarze nanometrycznym, mikrometrycznym oraz mikrometrycznym zawierające struktury nano.

Pyłowa atmosfera wybuchowa to mieszanina palnych substancji w postaci pyłów z powietrzem w warunkach atmosferycznych, w której po zapaleniu (wskutek zapłonu) spalanie rozprzestrzenia się na całą niespaloną mieszaninę.

Warunki atmosferyczne to temperatura -20 – 60 °C (253 – 333 K) i ciśnienie $0,8$ – $1,013$ bar (80 – $101,3$ kPa) pod warunkiem, że zmiana tych wartości ma znikomy wpływ na właściwości wybuchowe palnych pyłów. Zawartość tlenu w powietrzu jest równa 21%.

W pobliżu granic wybuchowości wybuch niekoniecznie musi się rozprzestrzeniać na całą niespaloną mieszaninę.

Czym jest pył?

Nanopyły utrzymują się w powietrzu przez długi czas.

Pyłem są cząstki stałe zawieszane w powietrzu i opadające pod wpływem grawitacji, jak również cząstki stałe w postaci kłaczków, włókien, *combustible flyings* (cząsteczki ciała stałego, także włókna o rozmiarze większym niż $500\ \mu\text{m}$, które mogą przez pewien czas pozostawać zawieszane w powietrzu) lub nanocząstek unoszące się w powietrzu przez długi czas.

Przez pojęcie „pył” należy rozumieć cząstki stałe o wymiarze nie większym niż $500\ \mu\text{m}$ (wyjątek *combustible flyings*).

Czym są pyły palne (substancje palne)?

Większość nanopyłów ulega łatwemu zapłonowi
- niskie wartości minimalnej energii zapłonu.

Pyły palne to pyły, które mogą tworzyć atmosferę wybuchową, chyba że badanie ich właściwości wykaże, iż w mieszaninie z powietrzem nie mogą samoczynnie przyczynić się do rozprzestrzenienia wybuchu.

Czym są nanocząstki?

Są to struktury, które charakteryzują się jednym, dwoma lub trzema zewnętrznymi wymiarami mniejszymi od 100 nm. Nanoobiekty o trzech zewnętrznych wymiarach w nanoskali to nanocząstki, nanoobiekty o dwóch wymiarach w skali nano to nanowłókna, natomiast nanoobiekty z jednym zewnętrznym wymiarem w skali nano i dwoma wymiarami znacznie przewyższającymi nanoskalę nazwano nanopłytkami. Nanomateriały to również obiekty mające strukturę wewnętrzną lub powierzchniową w nanoskali i wykazujące specyficzne właściwości, inne niż te same materiały w skali mikro.

Nanomateriały to **naturalny, antropogeniczny lub projektowany** materiał zawierający cząstki w stanie swobodnym, w formie agregatu lub aglomeratu, w którym co najmniej 50% lub więcej cząstek w rozkładzie wielkości cząstek ma jeden lub więcej wymiarów w zakresie 1–100 nm. W szczególnie uzasadnionych przypadkach dotyczących ochrony środowiska, zdrowia, bezpieczeństwa lub konkurencyjności próg 50% może być zastąpiony progiem od 1 do 50%. Nanomateriałem jest również materiał, którego powierzchnia właściwa jest większa niż $60 \text{ m}^2 \cdot \text{cm}^{-3}$. Jednak jeżeli w materiale znajduje się co najmniej 50% lub więcej cząstek w liczbowym rozkładzie wielkości cząstek i ma on co najmniej jeden z wymiarów w zakresie 1–100 nm, to taki materiał należy uznać za nanomateriał, nawet jeśli jego powierzchnia

właściwa jest mniejsza niż $60 \text{ m}^2 \cdot \text{cm}^{-3}$. Fulereny, płatki grafenu i nanorurki węglowe o zewnętrznych wymiarach poniżej 1 nm należy klasyfikować jako nanomateriały.

Wymienione powyżej określenia definiuje się następująco:

- ✓ cząstka – drobina materii o określonych granicach fizycznych,
- ✓ aglomerat – zbiór słabo powiązanych cząstek lub agregatów, w którym powierzchnia jest w przybliżeniu sumą pól powierzchni poszczególnych komponentów,
- ✓ agregat – zbiór silnie związanych lub stopionych cząstek.

Czym jest wybuch?

Jest to gwałtowna reakcja utleniania lub rozkładu wywołująca wzrost temperatury, ciśnienia lub obu zjawisk fizycznych jednocześnie.

Czynnikiem utleniającym w atmosferze wybuchowej w miejscu pracy jest tlen zawarty w powietrzu.

Kiedy może nastąpić wybuch pyłowej atmosfery wybuchowej?

Stężenie nonamateriału w atmosferze wybuchowej jest zazwyczaj niższe niż tego samego materiału o wymiarze ziaren w skali mikro. Również minimalna energia zapłonu atmosfery wybuchowej zawierającej nanopyły jest niższa niż atmosfery wybuchowej, w której paliwem jest ten sam materiał, ale o rozmiarze mikro.

Aby nastąpił wybuch pyłowej atmosfery wybuchowej, musi jednocześnie zaistnieć pięć czynników. Są to czynniki **wystarczające** do powstania pożaru, czyli:

- ✓ palny materiał (pył),

- ✓ powietrze (tlen),
- ✓ źródło zapłonu (energia).

Aby nastąpił wybuch konieczne są dwa dodatkowe czynniki:

- ✓ dyspersja pyłu,
- ✓ zamknięcie obłoku pyłu w ograniczonej przestrzeni.

Wyszczególnione czynniki muszą też osiągnąć wartości (DGW, MEZ) charakterystyczne dla materiału palnego tworzącego atmosferę wybuchową.



Jakie ilości atmosfery wybuchowej są niebezpieczne?

10 l atmosfery wybuchowej jest niebezpieczną objętością, zagrażającą zdrowiu i bezpieczeństwu pracowników. W pomieszczeniach o objętości poniżej 100 m³ mniejsze objętości atmosfery wybuchowej stanowią zagrożenie. Przyjmuje się, że 1/10 000 objętości zamkniętej przestrzeni wypełnionej mieszkanką wybuchową jest objętością niebezpieczną.

Jak są klasyfikowane przestrzenie zagrożone wybuchem pyłu?

Rodzaj palnego pyłu nie ma znaczenia dla klasyfikacji przestrzeni zagrożonej atmosferą wybuchową. Od wielkości cząsteczek pyłu zależy zasięg strefy zagrożonej atmosferą wybuchową.

Przy klasyfikacji przestrzeni zagrożonej wybuchem są brane pod uwagę czas i częstotliwość pojawienia się atmosfery wybuchowej. Przestrzenie niebezpieczne zagrożone obecnością pyłowej atmosfery wybuchowej są klasyfikowane do trzech stref:

- **Strefa 20**

Jest to przestrzeń, w której atmosfera wybuchowa w postaci obłoku palnego pyłu w powietrzu występuje stale, często lub przez długie okresy.

Strefa 20 występuje wewnątrz urządzeń. Jednak jeśli atmosfera wybuchowa jest stale utrzymywana i obecna na zewnątrz urządzenia, taką przestrzeń należy zakwalifikować do strefy 20.

- **Strefa 21**

Jest to przestrzeń, w której atmosfera wybuchowa w postaci obłoku palnego pyłu w powietrzu może czasami występować w czasie normalnego działania. Strefa 21 występuje wewnątrz urządzeń technicznych, natomiast atmosfera wybuchowa może się pojawić na zewnątrz urządzeń technicznych, które mogą być źródłem emisji palnego pyłu. Rozmiar strefy zależy od rodzaju pyłu, wielkości ziarna, ruchu powietrza, wilgotności, wielkości emisji. Praktycznie wystarcza odległość 1 m od źródła emisji.

- **Strefa 22**

Jest to przestrzeń, w której atmosfera wybuchowa w postaci obłoku palnego pyłu w powietrzu nie występuje w trakcie normalnego działania, a w przypadku wystąpienia utrzymuje się przez krótki czas.

Strefa 22 znajduje się wokół stref 20 i/lub 21 oraz na zewnątrz urządzeń technicznych, które mogą być źródłem emisji palnego pyłu. Rozmiar strefy 22 – podobnie jak strefy 21 – zależy od: rodzaju pyłu, wielkości ziarna, ruchu

powietrza, wilgotności, wielkości emisji. Praktycznie wystarczająca jest odległość 1 m od źródła emisji oraz stref 20 i 21.

Jakie parametry charakteryzują właściwości palne i wybuchowe pyłu?

Nanopyły w większości przypadków wykazują większą skłonność do zapłonu i wybuchu. Sutki wybuchu nanopyłu są bardziej niszczące. Niektóre nanopyły wykazują dużą skłonność do tworzenia aglomeratów i agregatów, dlatego parametry charakteryzujące wybuchowość nanopyłu są zbliżone do parametrów charakteryzujących wybuchowość mikropylek.

Potencjalne zagrożenie wybuchem stwarza nie pył palnego materiału, ale bezpośredni kontakt pyłu z powietrzem. Dlatego oznaczane są właściwości palne mieszaniny pyłu palnego z powietrzem (atmosfera wybuchowej). Parametry informujące o przebiegu spalania i zapoczątkowaniu pożaru lub wybuchu charakteryzują:

- ✓ Dolna granica wybuchowości – *DGW*: najniższa wartość stężenia zakresu (stężeń) wybuchowości, przy której może nastąpić wybuch, wyznaczona w określonych warunkach badania.
- ✓ Graniczne stężenie tlenu – *GST*: maksymalne stężenie tlenu w mieszaninie pyłu palnego, powietrza i gazu obojętnego, w której nie dojdzie do wybuchu w określonych warunkach badania.
- ✓ Minimalna energia zapłonu – *MEZ*: najmniejsza energia elektryczna nagromadzona w kondensatorze, która podczas jej wyładowania jest wystarczająca do spowodowania zapłonu najbardziej zapalnej atmosfery w określonych warunkach badania.
- ✓ Minimalna temperatura zapłonu obłoku pyłu – *MTZ_{ob}*: najniższa temperatura gorącej powierzchni, w której najłatwiej dochodzi do zapłonu zapalnej mieszaniny pyłu z powietrzem, w określonych warunkach badania.

- ✓ Minimalna temperatura zapłonu warstwy pyłu – MTZ_m : najniższa temperatura gorącej powierzchni, w której dochodzi do zapłonu warstwy pyłu w określonych warunkach badania.

Zachowanie atmosfery wybuchowej po zapłonie charakteryzują parametry:

- ✓ Maksymalne ciśnienie wybuchu – p_{max} : maksymalna wartość nadciśnienia powstającego w zamkniętym zbiorniku, podczas wybuchu atmosfery wybuchowej, oznaczona w określonych warunkach badania i normalnych warunkach atmosferycznych.
- ✓ Maksymalna szybkość narastania ciśnienia wybuchu – $(dp/dt)_{max}$: maksymalna wartość szybkości narastania nadciśnienia w zamkniętym zbiorniku, podczas wybuchu atmosfery wybuchowej, oznaczona w określonych warunkach badania i normalnych warunkach atmosferycznych.
- ✓ Stała pyłowa – K_{St} : niezależny od objętości parametr charakteryzujący siłę niszczącą wybuchu mieszaniny pył – powietrze, którą oblicza się, korzystając z równania prawa objętościowego:

$$K_{St} = V^{1/3} \cdot (dp/dt)_{max}$$

Przedstawione powyżej parametry nie są stałymi fizycznymi, ale zależą od warunków prowadzonych badań, rozmiaru i kształtu cząstek, wilgotności, zanieczyszczeń itp.

Od czego zależy prawdopodobieństwo wystąpienia niebezpiecznej pyłowej atmosfery wybuchowej?

Obecność nanopyłów zwiększa prawdopodobieństwo wybuchu. Nanopyły długo utrzymują się w stanie zawieszonym w powietrzu. Rozkład stężenia nanopyłu w atmosferze jest mniej zróżnicowany w stosunku do atmosfer zawierających mikropyły.

Prawdopodobieństwo wystąpienia niebezpiecznej atmosfery wybuchowej zależy od:

- ✓ obecności palnego pyłu,
- ✓ wielkości cząstek pyłu,
- ✓ stężenia pyłu powyżej dolnej granicy wybuchowości,
- ✓ ilości pyłowej atmosfery wystarczającej do spowodowania zagrożenia w zakresie bezpieczeństwa i higieny pracy pracowników i/lub zniszczeń materialnych.

Przy szacowaniu prawdopodobieństwa wystąpienia niebezpiecznej atmosfery wybuchowej należy uwzględnić możliwość występowania mieszanin hybrydowych (mieszanina substancji palnych o różnym stanie skupienia), reakcji chemicznych, pirolizy i procesów biologicznych.

Zagrożenie wybuchem stwarzają również palne substancje stałe o średnicy ziaren większych od 500 μm , ale zawierających frakcje pyłu drobnego.

Należy również pamiętać, że pyłowe atmosfery nie są jednorodne i stężenie pyłu może się zmieniać w różnych miejscach od stężeń poniżej dolnej granicy wybuchowości do stężeń będących wielokrotnością DGW .

W przypadku występowania warstw pyłu zawsze należy się liczyć z możliwością tworzenia się atmosfer wybuchowych.

Co to jest zapłon i jakie są możliwe źródła zapłonu?

Niskoenergetyczne źródła zapłonu mogą być efektywnym źródłem zapłonu nanopyłów. Warstwy nanopyłu mogą ulegać samozapłonowi. Niewielkie ilości energii dostarczone do warstwy nanopyłu może wzbudzić proces żarzenia warstwy.

Zapłon jest to rozprzestrzenianie się płomienia od źródła zapłonu. Fizycznie rozróżnia się trzynaście źródeł zapłonu:

- ✓ gorące powierzchnie,

- ✓ płomień i gorące gazy (łącznie z gorącymi cząstkami),
- ✓ iskry wytwarzane mechanicznie,
- ✓ urządzenia elektryczne,
- ✓ prądy błędzące, ochrona katodowa przed korozją,
- ✓ elektryczność statyczna,
- ✓ uderzenie pioruna,
- ✓ fale elektromagnetyczne o częstotliwości radiowej od 10^4 Hz do 3×10^{12} Hz,
- ✓ fale elektromagnetyczne od 3×10^{11} Hz do 3×10^{15} Hz,
- ✓ promieniowanie jonizujące,
- ✓ ultradźwięki,
- ✓ sprężanie adiabatyczne i fale uderzeniowe,
- ✓ reakcje egzotermiczne, włącznie z samozapalaniem pyłów.

Jakie są możliwe skutki wybuchu pyłowej atmosfery wybuchowej?

Wybuch pyłowej atmosfery wybuchowej zawierającej nanomateriały powoduje ich uwolnienie do środowiska pracy i zazwyczaj prowadzi do pożaru.

Skutkiem wybuchu jest gwałtowny wzrost ciśnienia i temperatury skutkujący ciśnieniową falą uderzeniową, promieniowaniem cieplnym oraz płomieniami. Ponadto w czasie wybuchu (gwałtownego spalania) następuje uwolnienie i rozprzestrzenienie szkodliwych dla zdrowia produktów spalania oraz niespalonych pyłów. Uwolnione w czasie wybuchu ciśnienie prowadzi do zniszczenia instalacji oraz rozrzutu odłamków. Uwolniona w postaci ciepła energia może spowodować oparzenia ludzi, pożary instalacji, budynków.

Jak można ograniczyć szkodliwe skutki efektu wybuchu?

Zagrożenie i skutki wybuchu pyłowej atmosfery wybuchowej można ograniczyć:

- ✓ środkami technicznymi,
- ✓ środkami organizacyjnymi.

Jakimi środkami technicznymi można zapobiegać wybuchowi lub ograniczyć skutki wybuchu?

Zapobiegać wybuchowi lub ograniczyć jego skutki można przez:

- ✓ zapobieganie tworzeniu się atmosfer wybuchowych,
- ✓ unikanie efektywnych źródeł zapłonu,
- ✓ stosowanie specjalistycznych rozwiązań zapobiegających wybuchowi lub ograniczających szkodliwe efekty.

Celem powyższych działań jest przede wszystkim zapewnienie bezpieczeństwa osób obecnych w miejscach pracy i zagrożonych obecnością pyłowych atmosfer wybuchowych. Podjęcie tych działań prowadzi również do ograniczenia strat materiałowych oraz szkodliwych efektów dla środowiska.

Jak zapobiegać tworzeniu się pyłowej atmosfery wybuchowej?

Nie wolno stosować do inertyzacji pary wodnej, jeśli czynnikiem palnym są nanometale. Inertyzacja redukuje również ryzyko samozapłonu nanopyłów.

Zapobiegać tworzeniu się pyłowej atmosfery wybuchowej można przez stosowanie surowców w postaci granulatu, lusek itp. oraz dozowanie pyłących

surowców małymi porcjami, w postaci past lub zawieszin, gdzie jest to możliwe.

Zapobieganie możliwości tworzenia się atmosfer wybuchowych to utrzymanie w czystości miejsc pracy, tzn. usuwanie osiadłego pyłu zalegającego na: podłogach, maszynach i urządzeniach, konstrukcjach, instalacjach, ścianach. Należy również przeprowadzać systematyczną kontrolę trudno dostępnych miejsc (martwych przestrzeni), np. przestrzeni nad podwieszonymi sufitami, wewnątrz maszyn. Powierzchnie, na których może gromadzić się pył, powinny być wykonane z materiałów gładkich, odpornych na działanie pyłu, w kolorach kontrastowych do barwy pyłu.

Gdy jest to możliwe, należy hermetyzować procesy, które są źródłem emisji pyłu.

Zmniejszenie czynnika palnego w miejscach pracy zagrożonych pyłową atmosferą wybuchową można również osiągnąć, stosując wentylację miejscową.

Innym sposobem jest inertyzacja. Jako czynnik inertyzujący są stosowane: azot, dwutlenek węgla, para wodna. Inertyzacja z użyciem gazów sprowadza się do zmniejszenia stężenia tlenu w mieszaninie pył – powietrze. Pary wodnej jako czynnika inertyzującego nie można wprowadzać do atmosfer wybuchowych, w których czynnikiem palnym są pyły metali, zwłaszcza metali lekkich.

Pyłowe atmosfery wybuchowe można również poddawać inertyzacji przez dodanie pyłów substancji obojętnych, takich jak krzemionka i węgiel wapnia.

Jak unikać zapłonu pyłowej atmosfery wybuchowej?

W razie zagrożenia zapłonem, trzeba dążyć do usunięcia źródła zapłonu z przestrzeni zagrożonej obecnością pyłowej atmosfery wybuchowej. Jeżeli jest to niemożliwe, należy zastosować środki zabezpieczające przed zapłonem atmosfery wybuchowej w zależności od rodzaju źródła zapłonu.

Jakie są stosowane środki techniczne ograniczające skutki wybuchu?

W przypadku obecności nanomateriałów stosowane rozwiązania techniczne muszą uniemożliwić emisję produktów spalania do pracy.

- ✓ **Instalacje odporne na wybuch** są to urządzenia, które mogą wytrzymać wybuch wewnątrz urządzenia bez jego rozerwania.
- ✓ **Urządzenia odciążające** są to urządzenia, które w razie wybuchu umożliwiają wyprowadzenie nadciśnienia wybuchu poza instalację. Są to membrany, kłapy wbudowane do odciążanej instalacji, które pękają lub otwierają się wskutek gwałtownego wzrostu ciśnienia powyżej zadanej wartości nadciśnienia.
- ✓ **Urządzenia tłumiące wybuch** to systemy zapobiegające niebezpiecznemu wzrostowi ciśnienia przez szybkie wprowadzenie do instalacji środka gaśniczego. Są to szybko działające gaśnice proszkowe uruchamiane po uzyskaniu sygnału np. z czujnika działającego na podczerwień.
- ✓ **Urządzenia odsprzęgające** to systemy odłączające część instalacji, w której doszło do wybuchu, od reszty instalacji. Są to: zawory gaśnicze, zawory i kłapy szybkiego działania, zawory obrotowe, urządzenia zmieniające kierunek wybuchu.

Jakimi środkami organizacyjnymi można zredukować zagrożenie?

Środkami organizacyjnymi, które mogą prowadzić do ograniczenia zagrożenia wynikającego z potencjalnej obecności atmosfery wybuchowej, są:

- ✓ instrukcje postępowania,
- ✓ szkolenie i podnoszenie kwalifikacji pracowników,
- ✓ nadzór pracowników,
- ✓ systemy zezwoleń na wykonywanie prac,
- ✓ konserwacja,
- ✓ kontrole.

Co to jest ocena ryzyka zawodowego?

Nanomateriały stanowią zagrożenie nie tylko jako czynnik palny w atmosferze wybuchowej, lecz także jako czynnik zagrażający zdrowiu ze względu na szkodliwe oddziaływanie na organizm.

Ocena ryzyka zawodowego to dokładne zbadanie, jakie czynniki zagrażają człowiekowi podczas wykonywania pracy, i odpowiedź na pytania: czy podjęto wystarczające środki ostrożności, czy należy podjąć działania zwiększające bezpieczeństwo.

Z ryzykiem dopuszczalnym mamy do czynienia wówczas, gdy zastosowano wystarczające środki chroniące pracownika przed zagrożeniem. Nie jest wymagane podejmowanie działań zmierzających do zmniejszenia ryzyka.

Ryzyko niedopuszczalne zachodzi wówczas, gdy zastosowane środki niewystarczająco chronią pracownika przed oddziaływaniem tych czynników. Konieczne jest podjęcie działań zmierzających do zmniejszenia ryzyka.

Jak przeprowadzić ocenę ryzyka zawodowego?

Ze względów technologicznych (hermetyzacja) nanomateriały tworzą atmosferę wybuchową wewnątrz instalacji. Możliwe źródła emisji to miejsca dozowania i odbioru produktu. Minimalna energia zapłonu materiału palnego w postaci nanopylek jest zazwyczaj niższa niż tego samego materiału w postaci mikropylek. Podczas wybuchu są uwalniane do środowiska pracy produkty spalania nanomateriałów oraz niespalone nanomateriały.

Krok 1.

- ✓ Sporządzenie wykazu stosowanych palnych materiałów, instalacji, procesów itp., które mogą tworzyć atmosfery pyłowe. Zidentyfikowanie miejsc pracy, na których mogą występować przestrzenie zagrożone wybuchem. Wykonanie badania parametrów charakteryzujących wybuchowość pyłów.
- ✓ Sporządzenie klasyfikacji przestrzeni zagrożonych wybuchem.
- ✓ Zidentyfikowanie potencjalnych źródeł zapłonu i wykonanie oceny ich efektywności.

Wymienione czynności należy wykonać dla instalacji (urządzenia) podczas normalnego działania, konserwacji, naprawy.

Krok 2.

Sporządzenie scenariusza skutków wybuchu pyłowej atmosfery wybuchowej. Odpowiedź na pytania:

- ✓ jakie mogą być potencjalne uszczerbki na zdrowiu pracowników i szkody w otoczeniu, w którym będą odczuwalne skutki wybuchu,
- ✓ czy możliwy jest wybuch wtórny,
- ✓ czy w następstwie wybuchu może zaistnieć pożar.

Krok 3.

Oszacowanie ryzyka wynikającego z zagrożenia wybuchu pyłowej atmosfery wybuchowej i ocena czy ryzyko jest dopuszczalne. Jeżeli ryzyko jest niedopuszczalne, wskazanie, jakie działania należy podjąć, aby je zmniejszyć. Oszacowanie, jakie jest prawdopodobieństwo wystąpienia pyłowej atmosfery wybuchowej i efektywnego źródła zapłonu. Na podstawie tych szacunków następuje ocena prawdopodobieństwa wystąpienia zapłonu i wybuchu. Na bazie wykonanych scenariuszy dokonuje się oceny ryzyka wybuchu pyłowej atmosfery wybuchowej (np. w skali trójstopniowej: małe, średnie, duże). Za ryzyko dopuszczalne uważa się ryzyko małe i średnie.

Skutkami wybuchu pyłowej atmosfery wybuchowej mogą być: ofiary śmiertelne, poważne obrażenia ciała, zniszczenie budynków, instalacji i urządzeń, długoterminowe wstrzymanie produkcji, utrata surowców i wyrobów finalnych. Dlatego tak ważne jest zapobieganie powstawaniu atmosfery wybuchowej, eliminowanie efektywnych źródeł zapłonu i w końcu stosowanie środków minimalizujących skutki wybuchu.

Krok 4.

- ✓ Sporządzenie i udostępnienie dokumentacji oceny ryzyka. Każdy pracownik wykonujący zadania w miejscach pracy zagrożonych pyłową atmosferą wybuchową powinien być indywidualnie poinformowany o ryzyku (informacja poświadczona podpisem).
- ✓ Sporządzenie wykazu miejsc pracy zagrożonych wybuchem pyłowej atmosfery wybuchowej ze wskazaniem stref (20, 21, 22) i efektywnych źródeł zapłonu. Wskazanie, jakie środki techniczne zastosowano w celu wyeliminowania atmosfery wybuchowej, efektywnych źródeł zapłonu oraz ograniczenia skutków wybuchu.
- ✓ Wskazanie zastosowanych środków organizacyjnych.
- ✓ Wskazanie działania do wykonania (jeśli jest to konieczne) w celu wyeliminowania lub zmniejszenia ryzyka.

Krok 5.

Systematycznie sporządzenie oceny ryzyka. Wskazanie terminów (okresów), w których będą wykonywane przeglądy oceny ryzyka wynikającego z potencjalnej obecności pyłowej atmosfery wybuchowej.

Ocenę ryzyka należy wykonać: niezależnie od zaplanowanych terminów, jeżeli nastąpiła zmiana technologii, urządzeń, sprzętu ochronnego, surowców, organizacji pracy.

Jak ocenić prawdopodobieństwo występowania pyłowej atmosfery wybuchowej?

Podstawą oceny prawdopodobieństwa i czasu występowania atmosfery wybuchowej jest klasyfikacja przestrzeni zagrożonej do jednej ze stref (20, 21, 22). Przy ocenie należy brać pod uwagę pył osiadły.

Jak ocenić prawdopodobieństwo występowania efektywnego źródła zapłonu?

Ocenę prawdopodobieństwa występowania efektywnych źródeł zapłonu należy sporządzić dla normalnego działania, w trakcie konserwacji i czyszczenia.

Przy ocenie w pierwszej kolejności należy wskazać efektywne źródła zapłonu, tzn. ustalić rodzaj źródeł zapłonu, które mogą wystąpić na analizowanym miejscu pracy oraz czy wchodzi one w kontakt z atmosferą wybuchową. Następnie trzeba ocenić zdolność zidentyfikowanych źródeł do zapłonu, porównując takie parametry charakteryzujące wybuchowość obłoków pyłu, jak: MEZ , MTZ_{ob} , MTZ_w .

Zidentyfikowane źródło zapłonu należy zakwalifikować ze względu na prawdopodobieństwo jako:

- ✓ źródło zapłonu, które może występować ciągle lub często,
- ✓ źródło zapłonu, które może występować rzadko,

- ✓ źródło zapłonu, które może występować bardzo rzadko.

Zastosowanie urządzeń i systemów ochronnych może skutkować tym, że źródło zapłonu może występować:

- ✓ podczas ich normalnego działania,
- ✓ jedynie w wyniku wadliwego ich działania,
- ✓ jedynie w wyniku rzadko występującego wadliwego działania.

Jeżeli efektywności źródła zapłonu nie może być oszacowana, należy przyjąć, że źródło zapłonu występuje zawsze.

Bibliografia

Commission Recommendation of 18 October 2011 on the definition of nanomaterial. L 275/38
Journal of the European Union 20.10.2011.

ISO/TR 11360:2010. *Nanotechnologies – Methodology for the classification and categorization of nanomaterials.*

ISO/TS 27687:2008. *Nanotechnologies – Terminology and definitions for nano-objects – Nanoparticle, nanofibre and nanoplate.*

Ocena ryzyka zawodowego w pięciu krokach. CIOP, Warszawa 2002.

PN-EN 1127-1:2011. *Atmosfery wybuchowe – Zapobieganie wybuchowi i ochrona przed wybuchem – Część 1: Pojęcia podstawowe i metodyka.*

PN-EN 13237:2012. *Atmosfery potencjalnie wybuchowe – Terminy i definicje dotyczące urządzeń i systemów ochronnych przeznaczonych do użytku w atmosferach potencjalnie wybuchowych.*

PN-EN 13821:2004. *Przestrzenie zagrożone wybuchem – Zapobieganie wybuchowi i ochrona przed wybuchem – Oznaczanie minimalnej energii zapłonu mieszanin pyłowo-powietrznych.*

PN-EN 14034-1+A1:2011. *Oznaczanie charakterystyk wybuchowości obłoków pyłu – Część 1: Oznaczanie maksymalnego ciśnienia wybuchu p_{max} obłoków pyłu.*

PN-EN 14034-2+A1:2011. *Oznaczanie charakterystyk wybuchowości obłoków pyłu – Część 2: Oznaczanie maksymalnej szybkości narastania ciśnienia wybuchu $(dp/dt)_{max}$ obłoków pyłu.*

PN-EN 14034-3+A1:2011. *Oznaczanie charakterystyk wybuchowości obłoków pyłu – Część 3: Oznaczanie dolnej granicy wybuchowości DGW obłoków pyłu.*

PN-EN 14034-4+A1:2011. *Oznaczanie charakterystyk wybuchowości obłoków pyłu – Część 4: Oznaczanie granicznego stężenia tlenu GST obłoków pyłu.*

PN-EN 60079-10-2:2015. *Atmosfery wybuchowe – Część 10-2: Klasyfikacja przestrzeni – Pyłowe atmosfery wybuchowe.*

PN-EN 61241-10:2009. *Urządzenia elektryczne do stosowania w obecności pyłów palnych – Część 10: Klasyfikacja obszarów, w których mogą być obecne pyły palne.*
Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 8 lipca 2010 r. w sprawie minimalnych wymagań, dotyczących bezpieczeństwa i higieny pracy, związanych z możliwością występowania w miejscu pracy atmosfery wybuchowej. Dz.U. nr 138, poz. 931.

Pracownia Bezpieczeństwa Chemicznego wykonuje badania parametrów charakteryzujących wybuchowość pyłów w zakresie oznaczania:

- dolnej granicy wybuchowości – *DGW*,
- maksymalnego ciśnienia wybuchu – p_{\max} ,
- maksymalnej szybkości narastania wybuchu – $(dp/dt)_{\max}$,
- stałą pyłową – K_{St} ,
- minimalnej energii zapłonu – *MEZ*.

Badania są wykonywane zgodnie z wymaganiami norm PN-EN 14034-1, PN-EN 14034-2, PN-EN 14034-3, PN-EN 14034.

Pracownia opracowuje Dokument Zabezpieczenia przed Wybuchem zgodnie z wymaganiami zawartymi w *rozporządzeniu Ministra Gospodarki z dnia 8 lipca 2010 r. w sprawie minimalnych wymagań, związanych z możliwością wystąpienia w miejscu pracy atmosfery wybuchowej* (Dz.U. nr 138, poz. 931), Polskiej Normy PN-EN 1127-1:2011. *Atmosfery wybuchowe – Zapobieganie wybuchowi i ochrona przed wybuchem – Część 1: Pojęcia podstawowe.*

