

OCENA ZAGROŻENIA WYBUCHEM**Zamawiający:****Teatr Wielki – Opera Narodowa
Plac Teatralny 1
00-950 Warszawa****Obiekt:****Pracownia Ślusarska
w budynku Teatru Wielkiego – Opery Narodowej****Temat:****Ocena Zagrożenia Wybuchem zgodnie z § 37, ust. 1 Rozporządzenia
Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 7 czerwca 2010 r.
w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków, innych obiektów
budowlanych i terenów (Dz. U. Nr 109, poz. 719 z późn. zm.).****Jednostka
opracowująca:****ConsultRisk**
ul. Włociańska 15/18
01-710 Warszawa
www.consultrisk.pl**Autor
opracowania:****mgr inż. poż. Łukasz Piotr Kuziora**
Rzecznik ds. zabezpieczeń
przeciwpożarowych nr upr. 662/2017
Menedżer odpowiedzialny za bezpieczeństwo
techniczne w przestrzeniach zagrożonych
wybuchem (MEEx), certyfikat kompetencji GIG
nr Ex/0111/2020**mgr inż. poż. Łukasz Zubek**
Inżynier Bezpieczeństwa Pożarowego
Menedżer odpowiedzialny za bezpieczeństwo
techniczne w przestrzeniach zagrożonych wybuchem
(MEEx), certyfikat kompetencji GIG
nr Ex/0112/2020**Warszawa, maj 2021 r.**



SPIS TREŚCI

| | |
|--|-----------|
| 1. Cel, przedmiot i zakres opracowania | 3 |
| 2. Podstawy prawne oraz materiały wykorzystane | 4 |
| 3. Ocena zagrożenia wybuchem | 5 |
| 3.1 Inwentaryzacja procesów technologicznych prowadzonych w pracowni ślusarskiej | 5 |
| 3.2 Dane fizykochemiczne substancji palnych i wybuchowych | 5 |
| 3.3 Klasyfikacja stref zagrożenia wybuchem | 6 |
| 3.4 Wskazanie czynników mogących w strefach zagrożenia wybuchem zainicjować zapłon | 7 |
| 3.5 Wskazanie pomieszczeń zagrożonych wybuchem..... | 9 |
| 3.6 Podsumowanie oraz wnioski | 10 |
| Załącznik nr 1 – Pojęcia podstawowe i metodologia używana w opracowaniu..... | 11 |
| Załącznik nr 2 – Podstawy teoretyczne..... | 14 |
| Załącznik nr 3 – Potencjalne źródła zapłonu atmosfer wybuchowych | 18 |
| Załącznik nr 4 – Protokół analizy granulometrycznej | 23 |



1. CEL, PRZEDMIOT I ZAKRES OPRACOWANIA

Celem niniejszej dokumentacji jest spełnienie wymagań formalno-prawnych dotyczących wykonania Oceny Zagrożenia Wybuchem zgodnie z § 37, ust. 1 Rozporządzenia Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 7 czerwca 2010 r. w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków, innych obiektów budowlanych i terenów (Dz. U. Nr 109, poz. 719 z późn. zm.).

Zakres opracowania obejmuje wykonanie oceny zagrożenia wybuchem dla pracowni ślusarskiej znajdującej się w budynku Teatru Wielkiego – Opery Narodowej w Warszawie przy pl. Teatralnym 1.

Ocena zagrożenia wybuchem obejmuje wskazanie pomieszczeń zagrożonych wybuchem, wyznaczenie w pomieszczeniu i przestrzeniach zewnętrznych odpowiednich stref zagrożenia wybuchem wraz z opracowaniem graficznej dokumentacji klasyfikacyjnej oraz wskazanie czynników mogących w nich zainicjować zapłon.



2. PODSTAWY PRAWNE ORAZ MATERIAŁY WYKORZYSTANE

- 1) Ustawa z dnia 24 sierpnia 1991 r. o ochronie przeciwpożarowej (tj. Dz. U. 2020 poz. 961 z późn. zm.).
- 2) Rozporządzenia Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 7 czerwca 2010 r. w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków, innych obiektów budowlanych i terenów (Dz. U. Nr 109 poz. 719 z późn. zm.).
- 3) Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. 2019 poz. 1065 z późn. zm.).
- 4) PN-EN 1127-1:2019-10 Atmosfery wybuchowe – Zapobieganie wybuchowi i ochrona przed wybuchem - Pojęcia podstawowe i metodologia.
- 5) PN-EN IEC 60079-0:2018-09 Atmosfery wybuchowe – Część 0: Urządzenia - Podstawowe wymagania.
- 6) PN-EN 60079-10-2:2015-06 Atmosfery wybuchowe – Część 10-2: Klasyfikacja przestrzeni - Pyłowe atmosfery wybuchowe.
- 7) PN-EN 60079-17:2014-05 Atmosfery wybuchowe – Część 17: Kontrola i konserwacja instalacji elektrycznych.
- 8) PN-EN ISO 80079-36:2016-07 Atmosfery wybuchowe – Część 36: Urządzenia nielektryczne do atmosfer wybuchowych – Metodyka i wymagania.
- 9) PN-EN 13237:2013-04 Przestrzenie zagrożone wybuchem – Terminy i definicje dotyczące urządzeń i systemów ochronnych przeznaczonych do użytku w przestrzeniach zagrożonych wybuchem.
- 10) Raport z badania rozkładu ziarnowego dostarczonych próbek pyłów.

Jeżeli w dalszej części opracowania przywołano przepisy lub dokumenty, pełny tytuł zastąpiono odnośnikiem w nawiasie kwadratowym [] zgodnym z powyższym spisem.

Niniejsza dokumentacja została wykonana na podstawie informacji i dokumentów przekazanych przez Zamawiającego:

- 1) opis prowadzonego procesu,
- 2) dane techniczne dotyczące urządzeń.

3. OCENA ZAGROŻENIA WYBUCHEM

3.1 Inwentaryzacja procesów technologicznych prowadzonych w pracowni ślusarskiej

Procesy technologiczne prowadzone w pracowni ślusarskiej zlokalizowanej w budynku Teatru Wielkiego w Warszawie przy pl. Teatralnym 1 wymieniono oraz scharakteryzowano w poniższej tabeli.

| Lp. | Proces | Opis | Czy występuje zagrożenie wybuchem? |
|-----|---|---|--|
| 1. | Cięcie materiałów | Cięcie elementów wyrobów scenicznych głównie ze stali i aluminium w postaci: profili, rur, blachy itp. | Nie, podczas cięcia nie tworzą się pyłowe atmosfery wybuchowe. |
| 2. | Wiercenie | Wiercenie wiertarkami kolumnowymi otworów w wyrobach scenicznych i ich elementach. | Nie, wióry z wiercenia nie stwarzają zagrożenia wybuchem |
| 3. | Spawanie | Spawanie elementów wyrobów scenicznych metodami MIG, MAG oraz TIG głównie w osłonie Argonu oraz dwutlenku węgla. Spawanie może odbywać się jednocześnie na dwóch stanowiska spawalniczych. | Nie, pracownia nie wykorzystuje spawania z użyciem gazów palnych. |
| 4. | Szlifowanie | Szlifowanie elementów wyrobów scenicznych zarówno po spawaniu jak i celem oczyszczenia struktury materiału, np. przed malowaniem. Szlifowanie to obróbka wykończeniowa powierzchni za pomocą narzędzi ściernych, w wyniku której uzyskuje się duże dokładności wymiarowe i kształtowe oraz małą chropowatość. Maszyny jakie są używane w pracowni do tego typu obróbki to szlifierki, a narzędzia skrawające to ściernice. Materiałem, z którego wykonane są ściernice, najczęściej jest korund, diament, węgiel krzemu lub węgiel boru. | Tak, szlifowaniu towarzyszy powstawanie pyłu, głównie aluminium i stali. |
| 5. | Toczenie | Obróbka powierzchni zewnętrznych elementów wyrobów scenicznych. | Nie, procesowi toczenia nie towarzyszy wytwarzanie frakcji pyłowych. |
| 6. | Montaż | Montaż elementów wyrobów scenicznych obejmujący głównie skręcanie kluczami ręcznymi oraz uderowymi. | Nie, w procesie montażu nie powstają atmosfery wybuchowe. |
| 7. | Lutowanie, zgrzewanie i cięcie plazmowe | Procesy lutowania, zgrzewania i cięcia plazmowego to procesy, które są wykorzystywane bardzo rzadko, tj. do kilku razy w roku. | Nie, w procesach lutowania, zgrzewania i cięcia plazmowego nie powstają atmosfery wybuchowe. |

Proces szlifowania elementów scenicznych jest procesem, w którym dochodzi o emisji pyłów szlifowanych materiałów do wnętrza pomieszczenia.

3.2 Dane fizykochemiczne substancji palnych i wybuchowych

Celem określenia zagrożenia stwarzanego przez wytwarzane w procesie szlifowania pyły przeprowadzono badania rozkładu ziarnowego zebranych w obrębie pracowni pozostałości po szlifowaniu. Dla dostarczonych przez Zamawiającego próbek wykonano badania:

- analizy sitowej,

- analizy optycznej przy zastosowaniu analizatora Mastersizer S mod. MSX metodą dyfrakcji laserowej.

Wyniki przeprowadzonych badań wskazują, że około 96,7% cząstek badanego pyłu ma średnicę zmierzoną mniejszą niż 630 μm , a ok. 80,4% cząstek średnicę mniejszą niż 315 μm . Szczegółowy raport z przeprowadzonych badań stanowi **załącznik nr 4** do niniejszego opracowania.

Zgodnie z [6] pyłem palnym określa się małe cząstki ciała stałego, o nominalnym rozmiarze poniżej 500 μm , które przez pewien czas mogą utrzymać się w powietrzu i osiadają powoli pod wpływem własnego ciężaru. Pyły te mogą się palić, żarzyć bądź tworzyć z powietrzem w warunkach atmosferycznych mieszaninę wybuchową.

Parametry wybuchowości pyłów metali były przedmiotem wielu badań naukowych, których wyniki niepodważalnie wskazują, że pyły aluminium, stali i mosiądzu są pyłami wybuchowymi. Właściwości wybuchowe pyłów są uzależnione głównie od ich stopnia rozdrobnienia. Przykładowe parametry wybuchowości pyłów aluminium, stali oraz mosiądzu przedstawiono w poniższej tabeli.

Tabela 1. Charakterystyka substancji niebezpiecznych

| Materiał palny | Mediana [μm] | DGW [g/m^3] | Maks. ciśnienie wybuchu [bar] | Współczynnik wybuchowości K_{St} [$\text{bar} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$] | Minimalna energia zapłonu obłoku pyłu [mJ] | Ciepło spalania [MJ/kg] | Klasa wybuchowości |
|----------------|---------------------------|-------------------------------|-------------------------------|---|--|---|--------------------|
| Pył aluminium | 37,3 | 15 | 9,7 | 328 | 3/10 | 31 | St 3 |
| Pył stali | <55 | 200 | bd. | <200 | - | - | St 1 |
| Pył mosiądzu | 68 | 60 | 4,5 | 40 | - | - | St 1 |

źródło: <https://staubex.ifa.dguv.de>

W związku z powyższym, wskazuje się, że pyły powstające podczas szlifowania elementu w obrębie pracowni ślusarskiej mogą stwarzać zagrożenie wybuchem. Konsekwencją tego jest wyznaczenie w obrębie pracowni stref zagrożenia wybuchem oraz konieczność stosowania w tych przestrzeniach urządzeń w wykonaniu przeciwybuchowym.

3.3 Klasyfikacja stref zagrożenia wybuchem

W wyniku szlifowania dochodzi do powstawania zarówno cząstek dużych jak i frakcji pyłowych szlifowanych materiałów. Jeśli proces będzie prowadzony w obecności włączonego odciągu pneumatycznego przewiduje się, że duża część frakcji pyłowych (tj. cząstki aluminium, stali lub mosiądzu o rozmiarze mniejszym niż 500 μm) będzie na bieżąco usuwana z pomieszczenia, a następnie transportowana do filtra, a duże cząstki tych materiałów będą opadać na posadzkę. Przewiduje się ponadto, że mieszanina pozostałości nieusuniętych przez instalację wentylacji, tj. duże cząstki oraz te frakcje pyłowe, które nie zostały w pierwszej kolejności odciągnięte trafią wspólnie do filtra podczas sprzątania pomieszczenia.

W obrębie pomieszczenia będzie prowadzony również proces spawania elementów scenicznych. Dla tego procesu przewidziano odrębny system wentylacji z filtrami zlokalizowanymi w obrębie pomieszczenia. Zgodnie z informacją udzieloną przez Zleceniodawcę, w pomieszczeniu nie będą

przewodzone procesy spalania gazowego tj. z wykorzystaniem gazów palnych i utleniających. Z uwagi na charakter przedmiotowego procesu w obrębie tejże instalacji nie przewiduje się występowania pyłowych atmosfer wybuchowych.

Klasyfikację i zasięgi stref zagrożenia wybuchem w obrębie przedmiotowej instalacji przedstawiono w poniższej tabeli.

Tabela 2. Klasyfikacja i zasięgi stref zagrożenia wybuchem

| Proces | Urządzenie | Element | Rodzaj zagrożenia | Rodzaj strefy | Zasięg strefy |
|-----------------------------------|------------|----------------------------------|---|---------------|---|
| Szlifowanie elementów scenicznych | Szlifierki | instalacja odpylająca oraz filtr | pył aluminium pył mosiądzu pył stali oraz pyły innych metali | 22 | w przestrzeni wewnętrznej przewodów wentylacji odpylającej oraz w części brudnej filtra |
| | | | | 21* | o pomijalnie małym zasięgu od miejsca szlifowania |

* strefa zagrożenia wybuchem występuje podczas pracy szlifierki oraz przez pewien czas po jej wyłączeniu

Z uwagi na wyposażenie pracowni w instalację wentylacji odpylającej nie przewiduje się występowania stref zagrożenia wybuchem w instalacji wentylacji ogólnej. Nie jest jednak wykluczone, że do wnętrza kanałów wentylacyjnych mogą przedostawać się pojedyncze cząstki pyłów i tam osiadać. W związku z powyższym, bieżąca eksploatacja tejże wentylacji powinna również obejmować kontrolę oraz usuwanie każdej zalegającej ilości pyłu.

3.4 Wskazanie czynników mogących w strefach zagrożenia wybuchem zainicjować zapłon

W poniższej tabeli przedstawiono czynniki mogące zainicjować zapłon w obrębie wyznaczonych stref zagrożenia wybuchem (stan docelowy).

Tabela 3. Czynniki mogące w strefie zagrożenia wybuchem zainicjować zapłon

| L.p. | Rodzaj zagrożenia | Występowanie w trakcie normalnego użytkowania | Skuteczność zapłonu | Opis | Czy zagrożenie występuje? |
|------|---------------------|---|---------------------|---|---------------------------|
| 1 | Otwarty ogień | Nie | Tak | Podczas normalnej pracy nie przewiduje się, aby w obrębie urządzenia występował otwarty ogień. Występowanie możliwe w wyniku zamierzonego działania pracownika lub niezamierzonego, np. podczas prac pożarowo niebezpiecznych. | Nie |
| 2 | Gorące powierzchnie | Nie | Tak | Minimalne temperatury zapłonu warstw pyłów aluminium wynoszą ok. 450°C, a minimalne temperatury zapłonu obłoku zawierają się w przedziale 500-710°C ¹⁾ . Do elementów mogących nagrzewać się podczas pracy szlifierki należy zaliczyć ściernice. Nie przewiduje się, aby | Nie |



| | | | | | |
|----|-------------------------------|-------------|-------------|--|-------------|
| | | | | podczas normalnej pracy elementy składowe urządzenia nagrzewały się do temperatur przewyższających minimalne temperatury zapłonu warstwy i obłoku pyłu. | |
| 3 | Iskry mechaniczne | Nie | Tak | Występowanie możliwe w sytuacji prowadzenia procesu spawania elementów w bliskim sąsiedztwie elementów, które są szlifowane. Należy wprowadzić zakaz równoczesnego odciągania frakcji szlifowanych oraz odpadów spawalniczych, celem niedopuszczenia do przedostania się iskier spawalniczych do wnętrza instalacji i filtra. Energia iskier spawalniczych jest wyższa niż energia zapłonu wytwarzanych pyłów. | Tak |
| 4 | Urządzenia elektryczne | Nie | Tak | W obrębie strefy nie przewiduje się prowadzenia instalacji elektrycznej budynku. W obrębie wyznaczonych stref zagrożenia wybuchem powinny być stosowane urządzenia spełniające wymagania dyrektywy ATEX. | Nie |
| 5 | Elektryczność statyczna | Tak | Tak | W wyniku transportu pneumatycznego materiałów nieprzewodzących może dochodzić do gromadzenia się ładunków elektryczności statycznej na powierzchni przewodów transportowych. Występowanie wyładowań elektryczności statycznej możliwe w sytuacji wykonania przewodów z materiałów nieprzewodzących oraz nieuziemiań rurociągów odpylających. | Nie |
| 6 | Wyładowania atmosferyczne | Nie dotyczy | Nie dotyczy | Dotyczy filtra z uwagi na umiejscowienie na zewnątrz budynku. | Nie dotyczy |
| 7 | Prądy błądzące | Nie dotyczy | Nie dotyczy | Nie dotyczy | Nie dotyczy |
| 8 | Fale elektromagnetyczne | Nie dotyczy | Nie dotyczy | Nie dotyczy | Nie dotyczy |
| 9 | Promieniowanie jonizujące | Nie dotyczy | Nie dotyczy | Nie dotyczy | Nie dotyczy |
| 10 | Ultradźwięki | Nie dotyczy | Nie dotyczy | Nie dotyczy | Nie dotyczy |
| 11 | Adiabatyczne sprężanie i fala | Nie dotyczy | Nie dotyczy | Nie dotyczy | Nie dotyczy |



| | | | | | |
|----|--------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | uderzeniowa | | | | |
| 12 | Reakcje egzotermiczne, wraz z pyłami | Nie dotyczy | Nie dotyczy | Nie dotyczy | Nie dotyczy |

źródła: ¹⁾ <https://portalprzemyslowy.pl/utrzymanie-ruchu-produkcja/bezpieczenstwo-bhp/wybuch-pylu-aluminium/>

3.5 Wskazanie pomieszczeń zagrożonych wybuchem

Zgodnie rozporządzeniem [2], aby pomieszczenie pracowni ślusarskiej uznać za zagrożone wybuchem, spodziewany przyrost ciśnienia spowodowany przez wybuch z udziałem palnych pyłów musiałby przekroczyć 5 kPa.

Przyrost ciśnienia w pomieszczeniu ΔP (w Pa) spowodowany przez wybuch na podstawie rozporządzenia [2] można obliczyć ze wzoru:

$$\Delta P = \frac{m_{\max} \cdot q_{sp} \cdot P_o \cdot W}{V \cdot C_p \cdot \rho_p \cdot T}$$

gdzie:

ΔP – przyrost ciśnienia wybuchu [Pa],

m_{\max} – maksymalna masa substancji palnych, tworzących mieszaninę wybuchową, jaka może się wydzielć w rozpatrywanym pomieszczeniu [kg],

q_{sp} – ciepło spalania [J/kg],

P_o – ciśnienie atmosferyczne normalne, równe 101325 [Pa],

W – współczynnik przebiegu reakcji wybuchu, dla palnych pyłów wynoszący 0,17,

V – objętość przestrzeni powietrznej w pomieszczeniu przy ekspedycji (netto) wg danych przekazanych przez Zamawiającego [m³],

C_p – ciepło właściwe powietrza równe $1,01 \cdot 10^3$ [J/kg*K],

ρ_p – gęstość powietrza w temperaturze T [kg/m³],

T – temperatura pomieszczenia w normalnych warunkach pracy [K].

W oparciu o powyższe równania przeprowadzono obliczenia maksymalnej masy pyłu aluminium będącej podstawą do uznania pomieszczenia pracowni ślusarskiej za zagrożone wybuchem.

Tabela 4. Obliczenia kryterium klasyfikacji

| Dane przyjęte do obliczeń | | Uwagi |
|---|----------|---|
| ΔP - Przyrost ciśnienia w pomieszczeniu [kPa] | 5 | Ciśnienie wybuchu kwalifikujące pomieszczenie jako zagrożone wybuchem |
| q_{sp} – ciepło spalania [J/kg] | 31000000 | Przyjęto ciepło spalania dla aluminium |
| W - Współczynnik przebiegu reakcji wybuchu, uwzględniający niehermetyczność pomieszczenia, nieadiabatywność reakcji wybuchu, a także fakt udziału w reakcji niecałej ilości palnych gazów i par, jaka wydzieliliby się w pomieszczeniu - równym 0,17 dla pyłów, palnych gazów i 0,1 dla palnych par | 0,17 | - |



| | | |
|---|----------------------|-------------------------------------|
| V - objętość przestrzeni powietrznej pomieszczenia, stanowiąca różnicę między objętością pomieszczenia i objętością znajdujących się w nim instalacji, sprzętu, zamkniętych opakowań itp. [m ³] | 400 | Przyjęto 80% kubatury pomieszczenia |
| P _o – ciśnienie atmosferyczne normalne [Pa] | 101325 | - |
| C _p – ciepło właściwe powietrza [J/kg*K] | 1,01*10 ³ | - |
| ρ _p – gęstość powietrza w temperaturze T [kg/m ³] | 1,2 | - |
| T – temperatura pomieszczenia w normalnych warunkach pracy [K] | 293 | - |
| m_{max} - maksymalna masa substancji palnych, tworzących mieszaninę wybuchową, jaka musiałaby wydzielć się w rozpatrywanym pomieszczeniu [kg] | | |
| | 1,33 | - |

Masa pyłu aluminium, która w przypadku wybuchu wytworzyłaby w założonej kubaturze (400 m³) nadciśnienie w wysokości 5 kPa to około 1,33 kg.

Biorąc pod uwagę ilości tworzącego się podczas szlifowania pyłu, wydajność projektowanej wentylacji mechanicznej wynoszącą 2500 m³/h oraz wdrożone środki organizacyjne dotyczące sprzątania zalegających pyłów w ocenie autorów niniejszej dokumentacji nie jest możliwe, aby podczas prowadzonych w pomieszczeniu procesów doszło do wydzielenia się oraz uniesienia pyłu o masie 1,33 kg.

Biorąc pod uwagę powyższe wraz z uwzględnieniem realizacji sformułowanych w punkcie 3.6. zaleceń, pomieszczenia pracowni nie klasyfikuje się jako pomieszczenia zagrożonego wybuchem.

3.6 Podsumowanie oraz wnioski

W obrębie pracowni ślusarskiej stanowiącej przedmiot niniejszego opracowania należy:

- 1) Wprowadzić obowiązek umieszczania w obrębie szlifowanych elementów odciągów instalacji odpylającej.
- 2) Zapewnić ciągłość uziemienia elementów instalacji odpylającej.
- 3) Prowadzić regularne czynności porządkowe w miejscach, w których mogą zalegać palne pyły w warstwach, co stanowi obowiązek właścicieli, zarządców i użytkowników budynków zgodnie z § 4 ust. 6 rozporządzenia [2].
- 4) Wdrożyć bezpieczny sposób sprzątania zalegających pyłów z posadzki (nieodciągniętych) np. poprzez zakup odpowiedniego odkurzacza. Wybrany odkurzacz powinien umożliwiać bezpieczne odessanie wybuchowych pyłów metalowych.

W ocenie autorów niniejszej dokumentacji, zainstalowanie w obrębie pracowni ślusarskiej systemu odpylania nie wpłynie na zmianę warunków ochrony przeciwpożarowej budynku, a zatem nie zachodzą przesłanki co do konieczności aktualizacji dokumentu pt. „Ekspertyza Techniczna Stanu Ochrony Przeciwpożarowej dla budynku Teatru Wielkiego – Opery Narodowej, przy Pl. Teatralnym 1 w Warszawie, określającej sposób dostosowania do wymagań bezpieczeństwa pożarowego z sierpnia 2017 opracowaną przez dr Inż. Przemysława Kubicę oraz dr inż. Mariusza Pecio.”

Załącznik nr 1 – Pojęcia podstawowe i metodologia używana w opracowaniu

- 1) **Urządzenia** – maszyny, sprzęt, przyrządy stałe lub ruchome, podzespoły sterujące wraz z oprzyrządowaniem oraz systemy wykrywania i zapobiegania zagrożeniom, które oddzielnie lub połączone ze sobą są przeznaczone do wytwarzania, przesyłania, magazynowania, pomiaru, regulacji i przetwarzania energii, albo przetwórstwa materiałów, które, przez ich własne potencjalne źródła zapalenia, są zdolne do spowodowania wybuchu.
- 2) **Systemy ochronne** – urządzenia, których zadaniem jest sygnalizowanie zagrożenia, natychmiastowe powstrzymanie powstającego wybuchu lub ograniczenie jego zasięgu, należą do nich między innymi: monitorowanie temperatury, monitorowanie drgań mechanicznych, systemy gaśnicze i wykrywania iskier, systemy tłumienia wybuchu, systemy izolowania procesu, systemy awaryjnego wyłączania.
- 3) **Części i podzespoły** – wyroby istotne ze względu na bezpieczeństwo funkcjonowania urządzeń i systemów ochronnych, bez funkcji samodzielnych.
- 4) **Materiały niebezpieczne pożarowo (substancje palne)** – gazy palne, ciecze palne o temperaturze zapłonu poniżej 328,15 (55°C), materiały wytwarzające w zetknięciu z wodą gazy palne, materiały zapalające się samorzutnie na powietrzu, materiały wybuchowe i pirotechniczne, materiały ulegające samorzutnemu rozkładowi lub polimeryzacji.
- 5) **Mieszanina wybuchowa (atmosfera wybuchowa)** – mieszanina substancji palnych w postaci: gazów, par, mgieł lub pyłów z powietrzem w warunkach atmosferycznych, w której po zapaleniu spalanie rozprzestrzenia się na całą nie spaloną mieszaninę. Spalaniu temu towarzyszy gwałtowny wzrost ciśnienia.
- 6) **Atmosfera potencjalnie wybuchowa** – oznacza atmosferę, która w zależności od warunków lokalnych i ruchowych może stać się wybuchowa.
- 7) **Zagrożenie wybuchem** – możliwość tworzenia przez palne gazy, pary palnych cieczy, pyły lub włókna palnych ciał stałych, w różnych warunkach, mieszanin z powietrzem, które pod wpływem czynnika inicjującego zapłon wybuchają, czyli ulegają gwałtownemu spalaniu połączonemu ze wzrostem ciśnienia.
- 8) **Pomieszczenie zagrożone wybuchem** – pomieszczenie, w którym może wytworzyć się mieszanina wybuchowa, powstała z wydzielającej się takiej ilości palnych gazów, par, mgieł lub pyłów, której wybuch mógłby spowodować przyrost ciśnienia w tym pomieszczeniu przekraczający 5 kPa.
- 9) **Przestrzeń zagrożona wybuchem** – przestrzeń, w której palne gazy, pary cieczy palnych, mgły, pyły lub włókna palnych ciał stałych w różnych warunkach mogą utworzyć z powietrzem mieszaniny wybuchowe (atmosfery wybuchowe), które pod wpływem czynnika energetycznego (iskry, łuku elektrycznego lub przekroczenia temperatury samozapalenia) ulegają gwałtownemu spalaniu połączonemu z gwałtownym wzrostem ciśnienia.
- 10) **Strefa zagrożenia wybuchem** – przestrzeń, w której występuje lub może wystąpić mieszanina wybuchowa substancji palnych z powietrzem (z tlenem z powietrza) lub innymi gazami utleniającymi o stężeniu substancji palnej między dolną i górną granicą wybuchowości, klasyfikowana gdy osiągnie objętość przynajmniej 10 dm³.
- 11) **Wybuch fizyczny** – wybuch spowodowany zjawiskami fizycznymi np. przemianą cieczy w parę lub przekroczeniem wytrzymałości ścianek naczyń.



- 12) **Wybuch chemiczny** – reakcja utleniania lub rozkładu wywołująca gwałtowny wzrost temperatury i ciśnienia.
- 13) **Deflagracja** – reakcja utleniania – wybuch rozprzestrzeniający się z prędkością mniejszą od prędkości dźwięku.
- 14) **Detonacja** – wybuch rozprzestrzeniający się z prędkością naddźwiękową, któremu towarzyszy fala uderzeniowa.
- 15) **Strefa 0** – przestrzeń, w której gazowa atmosfera wybuchowa występuje ciągle lub w długich okresach.
- 16) **Strefa 1** – przestrzeń, w której pojawienie się gazowej atmosfery wybuchowej jest prawdopodobne w warunkach normalnej pracy.
- 17) **Strefa 2** – przestrzeń, w której w warunkach normalnej pracy nie jest prawdopodobne pojawienie się gazowej atmosfery wybuchowej, a jeżeli pojawi się ona rzeczywiście, to może tak się stać tylko rzadko i tylko na krótki okres.
- 18) **Strefa 20** – przestrzeń, w której atmosfera wybuchowa w postaci obłoku palnego pyłu w powietrzu występuje stale lub przez długie okresy lub często.
- 19) **Strefa 21** – przestrzeń, w której atmosfera wybuchowa w postaci obłoku palnego pyłu w powietrzu może czasami wystąpić w trakcie normalnego działania.
- 20) **Strefa 22** – przestrzeń, w której atmosfera wybuchowa w postaci palnego pyłu w powietrzu nie występuje w trakcie normalnego działania, a w przypadku wystąpienia trwa krótko.
- 21) **Maksymalne ciśnienie wybuchu** – maksymalne ciśnienie występujące w zamkniętym naczyniu podczas wybuchu mieszaniny wybuchowej, oznaczone w określonych warunkach badania.
- 22) **Maksymalna szybkość narastania ciśnienia wybuchu $K_{st} (dp/dt)_{max}$ [bar/s]** – maksymalna wartość przyrostu ciśnienia w jednostce czasu w trakcie wybuchów wszystkich atmosfer wybuchowych w zakresie wybuchowości substancji palnej w zamkniętym naczyniu, w określonych warunkach badania.
- 23) **Mieszanina hybrydowa** - mieszanina powietrza i substancji łatwopalnych w różnych stanach skupienia (np. mieszanina pyłu węglowego oraz metanu).
- 24) **Minimalna energia zapłonu** – najmniejsza energia elektryczna nagromadzona w kondensatorze, która, przy jego rozładowaniu, jest wystarczająca do zapalenia najbardziej zapalnej mieszaniny w określonych warunkach badania.
- 25) **Granice wybuchowości** – zakresy stężeń czynnika palnego w mieszaninie z powietrzem, między którymi może dojść do wybuchu.
- 26) **Dolna granica wybuchowości (DGW)** – minimalne stężenie czynnika palnego w mieszaninie z powietrzem, przy którym może dojść do wybuchu.
- 27) **Górna granica wybuchowości (GGW)** – maksymalne stężenie czynnika palnego w mieszaninie z powietrzem, powyżej którego mieszanina staje się niezapalna.
- 28) **Graniczne stężenie tlenu** – maksymalne stężenie tlenu w mieszaninie substancji palnej, powietrza i gazu obojętnego, w której nie dojdzie do wybuchu w określonych warunkach badania.
- 29) **Stężenie stechiometryczne w przedziale stężeń między dolną i górną granicą wybuchowości** – stężenie czynnika palnego, przy którym teoretycznie następuje całkowite spalenie ciała palnego.



- 30) **Temperatura samozapłonu** – najniższa temperatura, pod wpływem której mieszanina wybuchowa zapala się samoczynnie, oznaczona w określonych warunkach badania.
- 31) **Minimalna temperatura samozapłonu obłoku pyłu** – najniższa temperatura gorącej powierzchni, w której najbardziej zapalna mieszanina pyłu z powietrzem ulega zapłonowi w określonych warunkach badania.
- 32) **Minimalna temperatura samozapłonu warstwy pyłu** – najniższa temperatura gorącej powierzchni, przy której warstwa pyłu ulega zapłonowi w określonych warunkach badania.
- 33) **Mieszanina hybrydowa** – mieszanina substancji palnych z powietrzem w różnych stanach skupienia, np. gazu i pyłu z powietrzem.
- 34) **Prace niebezpieczne pod względem pożarowym** – prace remontowo-budowlane: związane z użyciem otwartego ognia, cięciem z wytwarzaniem iskier mechanicznych i spawaniem, prowadzone wewnątrz lub na dachach obiektów, na przyległych do nich terenach oraz placach składowych, wykonywane w strefach zagrożonych wybuchem.
- 35) **Źródło emisji** - punkt lub miejsce, z którego mogą się uwalniać do atmosfery gaz palny, para palna lub ciecz palna tak, że może się utworzyć gazowa atmosfera wybuchowa.
- 36) **Stopnie emisji** - wyróżnia się trzy stopnie emisji, uszeregowane według malejącego prawdopodobieństwa występowania gazowej atmosfery wybuchowej:
 - a) emisja ciągła;
 - b) pierwszy stopień emisji;
 - c) drugi stopień emisji.

Źródło emisji może być zaklasyfikowane do jednego ze stopni emisji, lub do kombinacji więcej niż jednego z nich.
- 37) **Emisja ciągła** – emisja, która występuje stale, lub której występowania można spodziewać się w długich okresach.
- 38) **Pierwszy stopień emisji** – emisja, której występowania podczas normalnej pracy można spodziewać się okresowo lub okazjonalnie.
- 39) **Drugi stopień emisji** – emisja, której występowania w warunkach normalnej pracy nie można spodziewać się, a jeżeli pojawi się ona rzeczywiście, to może tak się stać tylko rzadko i tylko na krótkie okresy.
- 40) **Wydajność emisji** – ilość palnego gazu lub pary uwalnianych w jednostce czasu ze źródła emisji.
- 41) **Praca normalna** – sytuacja, podczas której urządzenie pracuje w zakresie swoich parametrów znamionowych.
- 42) **Wentylacja** – przemieszczanie powietrza oraz jego wymiana na świeże powietrze w wyniku działania wiatru, występowania różnic temperatury lub wymuszane mechanicznie (np. wentylatorami lub odciągami).

Załącznik nr 2 – Podstawy teoretyczne

O ile pożary przebiegają bez wzrostu ciśnienia i proces spalania zachodzi stosunkowo wolno, o tyle wybuch jest procesem gwałtownego spalania ze wzrostem ciśnienia zachodzącym w bardzo krótkim czasie (milisekundy). O charakterze tego procesu decydują przede wszystkim właściwości fizykochemiczne pyłu oraz warunki dynamiczne, w jakich znajduje się palna mieszanina, a w szczególności turbulencja ośrodka.

Wybuchy na instalacjach przemysłowych stwarzają poważne zagrożenie dla życia i zdrowia ludzi, jak również destrukcyjnie wpływają na konstrukcje budowlane, aparaty przemysłowe i inne urządzenia, generując tym samym potężne straty materialne. Jeśli wybuch powstanie wewnątrz budynku lub aparatu procesowego, to należy się liczyć ze zjawiskiem tzw. „odłamkowania”. Odłamki uszkodzonej, podczas wybuchu, konstrukcji rozlatywać się mogą we wszystkich kierunkach z dużą prędkością.

Nieodłącznym zjawiskiem towarzyszącym wybuchowi jest także gwałtowny przyrost ciśnienia połączony z wysoką temperaturą. Z kolei głównymi parametrami charakteryzującymi oddziaływanie skutków wybuchu na konstrukcje budowlane bądź na człowieka będą: fala uderzeniowa, promieniowanie ciepłe, a także hałas i szkodliwe produkty spalania.

Wpływ szkodliwego działania wybuchu na zdrowie i życie człowieka oraz na zniszczenia konstrukcji budowlanych jest szeroko komentowany i analizowany przez wielu specjalistów z tej dziedziny, przykładowe dane literaturowe przedstawiono w tabeli 22 oraz 23.

Tabela 5. Wpływ nadciśnienia na życie i zdrowie człowieka

| NADCIŚNIENIE [kPa] | SKUTKI |
|--------------------|-------------------------------------|
| 1,37 | Urazy od pękniętych szyb |
| 16,5 | 1% uszkodzonych bębenków usznych |
| 19,2 | 10% uszkodzonych bębenków usznych |
| 41,3 | 50% uszkodzonych bębenków usznych |
| 34,4 | Uszkodzenie płuc |
| 99,9 | 1% zgonów wskutek uszkodzenia płuc |
| 120,5 | 10% zgonów wskutek uszkodzenia płuc |
| 137,8 | 50% zgonów wskutek uszkodzenia płuc |
| 172,6 | 90% zgonów wskutek uszkodzenia płuc |
| 199,8 | 99% zgonów wskutek uszkodzenia płuc |

Tabela 6. Wpływ nadciśnienia na elementy konstrukcji i instalacji

| NADCIŚNIENIE [kPa] | SKUTKI |
|--------------------|--|
| 0,14 | Dokuczliwy hałas, szum (137 dB) |
| 0,21 | Pękanie dużych szyb okiennych (szkło zwykłe) |
| 0,30 | Głośny huk (143 dB) |
| 0,70 | Rozrywanie ram okiennych |
| 2,7 | Wartość bezpieczna dla budynku |
| 2,8 | Ograniczone uszkodzenia konstrukcji |
| 4,8 | Uszkodzenia konstrukcji budynku |
| 6,9 | Częściowe zburzenie budynków bez możliwości ich odbudowania |
| 6,9 – 13,8 | Zniszczenie płyt gipsowo-kartonowych, elementów stalowych i aluminiowych, uszkodzenie mocowań i posadowień elementów konstrukcyjnych |
| 9,0 | Lekkie odkształcenia ramowej konstrukcji budynków wykonanych ze stali |
| 13,8 | Częściowe zawalenie się ścian i dachów budynków |
| 15,8 | Dolna granica nadciśnień poważnych uszkodzeń konstrukcji |
| 17,2 | Zburzenie 50% domów murowanych |



| | |
|-------------|--|
| 20,7 | Niewielkie uszkodzenia ciężkich maszyn i urządzeń (o masie do 1,5 t), zniekształcenie i wyrwanie z posadowienia (fundamentu) konstrukcji stalowych |
| 34,5 – 48,0 | Prawie całkowite zniszczenie budynków |
| 48,0 | Wywrócenie załadowanych wagonów towarowych |
| 48,0 – 55,1 | Zniszczenie ścian murowanych o grubości mniejszej lub równej 0,3 m wykonanych z cegły pełnej |
| 62,1 | Całkowite zniszczenie załadowanych, krytych wagonów towarowych |
| 68,9 | Całkowite zniszczenie budynków, przesunięcie i poważne uszkodzenie ciężkich maszyn i urządzeń (o masie do 3,5 t) |

Zestawienia tabelaryczne pokazują, że organizm ludzki jest relatywnie bardziej odporny na działanie fali podmuchowej niż struktury urządzeń, budynków, itp. Głównym zagrożeniem dla ludzi są odłamki „pociski”, zawalenie się całych konstrukcji.

Mechanizm powstawania wybuchu

Gdy mieszanina czynnika palnego z powietrzem - przy stężeniu gazu, pary lub pyłu pomiędzy dolną granicą wybuchowości (DGW) i górną granicą wybuchowości (GGW) – znajduje się w temperaturze pokojowej, reakcje chemiczne w tej mieszaninie zachodzą bardzo wolno. Dla celów praktycznych należy uważać, że reakcje chemiczne w tej mieszaninie w ogóle nie zachodzą.

Układ przedstawiony powyżej znajduje się w stanie równowagi termodynamicznej pozornej i może być naruszony przez wprowadzenie katalizatora lub bodźca energetycznego. W czasie zwykłej, niezbyt szybkiej reakcji egzotermicznej w mieszaninie palnej (np. w pyłe drzewnym zalegającym na elementach konstrukcyjnych urządzeń i budowli), otoczenie zdąży całą ilość wydzielonego ciepła odebrać w drodze przewodnictwa, promieniowania i konwekcji. Temperatura w miejscu reakcji jest równa temperaturze otoczenia lub niewiele od niej wyższa. Podczas ogrzewania mieszaniny reagującej szybkość reakcji wzrasta i jednocześnie wzrasta ilość wydzielonego ciepła. Towarzyszy temu wzrost szybkości odprowadzania ciepła do otoczenia. Jednak proces ten jest znacznie wolniejszy od wzrastania szybkości reakcji. Dlatego też poczynając od pewnej temperatury równowaga cieplna układu zostaje naruszona – mieszanina reagująca ogrzewa się. Szybkość procesu wciąż wzrasta, gdyż wzrost temperatury jeszcze bardziej przyśpiesza przebieg reakcji – rośnie wydzielanie ciepła. Następuje wreszcie samoczynne zapalenie „całej” mieszaniny – **proces przechodzi w wybuch**.

Temperaturę, po której osiągnięciu równowaga cieplna mieszaniny par cieczy lub gazów zostaje zakłócona i mieszanina ta zapala się samoczynnie, bez udziału płomienia lub iskry, określa się **temperaturą samozapłonu**.

Przykładowe wartości temperatury samozapłonu w °C:

- 1) aceton: 540,
- 2) ksylen: 465,
- 3) propan: 500,
- 4) eter etylowy: 160,
- 5) wodór: 580,
- 6) acetylen: 305,
- 7) formaldehyd 424,
- 8) toluen: 480,
- 9) amoniak: 630.

Palne pyły stwarzają zagrożenie wybuchowe poprzez:

- Możliwość tworzenia się mieszanin pyłowo-powietrznych.
Mające właściwości wybuchowe mieszaniny mogą powstawać zarówno w przestrzeniach wewnętrznych urządzeń jak i poza nimi.
- Możliwość gromadzenia się na elementach konstrukcyjnych oraz elementach urządzeń technologicznych warstw pyłu.

Warstwa pyłu może ulec zapłonowi w wyniku procesu akumulacji ciepła przekazywanego przez rozgrzane elementy urządzeń technologicznych po przekroczeniu pewnej, charakterystycznej dla każdego pyłu temperatury powierzchni. Pył w warstwie osiadłej stanowi zarówno zagrożenie pożarowe, poprzez zdolność do zapłonu i rozprzestrzeniania się spalania, jak i zagrożenie wybuchowe. Pył osiadły jest traktowany jako wtórne źródło emisji do tworzenia mieszanin pyłowo-powietrznych na skutek wstrząsów konstrukcji, na której zalega, na skutek przeciągów lub zawirowań powietrza nad nim. Powstałe w ten sposób zaburzenie ośrodka powoduje poderwanie sąsiadujących warstw pyłu osiadłego tworząc warunki do kolejnego (wtórnego) wybuchu. Zjawisko propagacji wybuchów stanowi główny powód dużych katastrof budowlanych.

Proces wybuchu mieszaniny pyłowo-powietrznej składa się z następujących etapów:

- a) transportu ciepła do powierzchni cząstki i jej nagrzewanie,
- b) rozkładu termicznego powierzchni cząstki z dalszym jej nagrzewaniem, oraz wydzielaniem części lotnych,
- c) mieszania się wydzielonych części lotnych z powietrzem, powstania mieszaniny palnej i jej zapalenia,
- d) transportu ciepła od płomienia do sąsiednich cząstek, oraz ich utleniania i zapłonu.

Zjawisko wystąpienia wybuchu, w rozumieniu poważnych zagrożeń w zakładach przemysłowych wymaga spełnienia określonych warunków. Warunki te zamykają się w obszarze tzw. trójkąta lub pięciokąta wybuchowości, odpowiednio dla par cieczy i gazów oraz pyłów.



Rysunek. Kryteria wybuchowości gazów oraz pyłów

Źródło: Spalanie i Paliwa, red. Włodzimierz Kordylewski, Wydanie IV, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2005.

Do istotnych cech poszczególnych determinantów zalicza się przede wszystkim:

- a) paliwo (gaz, pył)
 - rozmiar cząstek



- wilgotność
- palność
- właściwości fizyko-chemiczne
- zawartość niepalnych cząstek
- b) utleniacz
 - rodzaj utleniacza
 - ilość utleniacza niezbędna do wybuchu obłoku pyłu
- c) zapłon
 - rodzaj źródła (iskra, otwarty płomień itp.)
 - energia źródła
 - temperatura
- d) przestrzeń ograniczona
 - rodzaj ograniczenia przestrzennego
 - przeszkody
 - otwory wentylacyjne
- e) mieszanie
 - koncentracja w przestrzeni
 - rozproszenie w przestrzeni (turbulencja).

Palne pyły organiczne, które są zdolne do tworzenia mieszanin wybuchowych mają rozmiar cząstek poniżej 500 μm (0,5 mm). Zgodnie z teorią wybuchów pyły o średnicy cząstek powyżej 500 μm oraz wilgotności powyżej 30% **praktycznie uważa się za niezdolne do wytworzenia mieszaniny wybuchowej**, chociaż mogą ulegać one procesowi spalania.

Załącznik nr 3 – Potencjalne źródła zapłonu atmosfer wybuchowych

Potencjalne źródła zapłonu w sposób szczegółowy wymienia i omawia Polska Norma PN-EN 1127-1 [6]. Rozpatruje ona 13 rodzajów źródeł zapłonu, których prawdopodobieństwo wystąpienia, w normalnych i awaryjnych warunkach pracy (tzw. „normalne” i „wadliwe działanie”), a także np. w trakcie konserwacji i czyszczenia, należy przeanalizować opracowując dokument zabezpieczenia przed wybuchem na stanowisku pracy. Poniżej przedstawiono przytoczone źródła oraz dokonano ich charakterystyki:

- 1) **Otwarty ogień** – ogień jest przejawem egzotermicznej reakcji chemicznej, która w temperaturze ok. 1000°C i wyższej przebiega z dużą szybkością oraz często z towarzyszeniem zjawisk świetlnych. Produktami reakcji są gorące gazy, w niektórych przypadkach również żarzące się cząstki stałe. Zarówno sam ogień jak i gorące produkty spalania mogą stanowić źródło zapłonu mieszanin wybuchowych, przy czym otwarty ogień należy do źródeł zapłonu najbardziej aktywnych. Jeżeli wewnątrz aparatury, w sąsiadujących z nią elementach instalacji lub na zewnątrz znajduje się mieszanina wybuchowa, to w przypadku zapłonu w jednym z tych obszarów może dojść do przeniesienia się płomienia do innych obszarów przez otwory, na przykład przez przewody wentylacyjne. Zapobieżenie temu wymaga specjalnych środków zabezpieczających. W strefie 2 dopuszczone może być stosowanie otwartego ognia, jednak tylko w tych przypadkach, w których ogień jest w bezpieczny sposób odizolowany, a temperatura samozapalenia jest nie przekroczona.
- 2) **Gorące powierzchnie** – zapłon może wystąpić, jeżeli dojdzie do kontaktu atmosfery wybuchowej z ogrzaną powierzchnią. Źródłem zapłonu może być nie tylko sama gorąca powierzchnia - również palne ciało stałe zapalone w kontakcie z gorącą powierzchnią może stanowić źródło zapłonu dla atmosfery wybuchowej. Zdolność ogrzanej powierzchni do spowodowania zapłonu zależy od rodzaju i stężenia poszczególnych substancji w mieszaninie z powietrzem. Zdolność ta rośnie ze wzrostem temperatury i powierzchni. Ponadto, temperatura powodująca zapłon zależy od rozmiaru i kształtu ogrzanego elementu, gradientu stężenia w pobliżu powierzchni i, w pewnym stopniu, również od rodzaju materiału ogrzanej powierzchni. W przypadku ogrzanych ciał charakteryzujących się raczej wypukłościami niż wklęsłościami, do zapłonu konieczne są wyższe temperatury powierzchni; minimalna temperatura samozapłonu wzrasta, na przykład w przypadku kul albo rur ze zmniejszaniem się ich średnicy. Kiedy atmosfera wybuchowa przepływa nad ogrzаныmi powierzchniami, do zapłonu konieczna jest wyższa temperatura powierzchni z powodu krótkiego czasu kontaktu. Jeżeli atmosfera wybuchowa pozostaje w kontakcie z gorącą powierzchnią przez względnie długi czas, mogą zachodzić wstępne reakcje, np. zimne płomienie, wskutek czego tworzą się łatwiej zapalne produkty rozkładu ułatwiające zapłon pierwotnych atmosfer. Oprócz łatwo rozpoznawalnych gorących powierzchni, takich jak grzejniki, suszarki i inne, źródłem niebezpiecznych temperatur mogą być również procesy mechaniczne i z udziałem maszyn. Procesy te obejmują również urządzenia, systemy ochronne, części i podzespoły, które zamieniają, energię mechaniczną w ciepłą, tj. wszystkie rodzaje sprzęgła trących i hamulców działających mechanicznie (np. w wirówkach). Ponadto, wszystkie części ruchome w łożyskach, przepustach watów, uszczelnieniach itd. mogą stawać się źródłem zapłonu, jeżeli nie są w wystarczającym stopniu smarowane.

W przypadku ścisłego pasowania ruchomych części przedostanie się ciał obcych lub przesunięcie osi również mogą powodować tarcie, które z kolei może prowadzić do wysokiej temperatury powierzchni, w niektórych przypadkach dość szybko. W strefie 2 dopuszczalne jest stosowanie urządzeń, których powierzchnie w normalnych warunkach pracy mogą nagrzewać się do temperatury nie wyższej niż temperatura samozapalenia. Zakłócenia występujące w pracy nie są tu brane pod uwagę. Urządzenia o temperaturach powierzchni wyższych aniżeli temperatura samozapalenia mogą być dopuszczone w szczególnych przypadkach, zwłaszcza przy pracy na świeżym powietrzu.

- 3) **Iskry mechaniczne** – w procesach tarcia, z materiałów stałych mogą zostać oddzielone cząstki, które uzyskują wysoką temperaturę pod wpływem energii dostarczanej w tym procesie. Jeżeli cząstki te powstają z substancji utleniających, np. z żelaza lub stali, to mogą one w wyniku utleniania osiągnąć temperatury znacznie przekraczające 1000 °C; cząstki te stają się iskrami. Ich zdolność zapalająca jest jednak ograniczona do palnych gazów i par o minimalnej energii zapłonu nie przekraczającej 0,1 mJ. W strefie 2 należy stosować środki zabezpieczające, w stosunku do wentylatorów należy zwracać uwagę na dobór odpowiednich materiałów, odpowiednie ułożyskowanie wirnika oraz na wykonanie wystarczająco dużej szczeliny pomiędzy elementami wirującymi a stałymi (obudowa). Ponadto należy zapobiegać tworzeniu się w nich skupisk pyłów i kondensatów oraz dostawaniu się do wnętrza elementów metalowych, kamieni itp.
- 4) **Urządzenia elektryczne** – w strefach zagrożonych wybuchem instaluje się tylko te urządzenia elektryczne, które są absolutnie niezbędne. Urządzenia te powinny być tak wykonane, aby nie mogły przez zaiskrzenie lub silne nagrzanie zapalić mieszaniny wybuchowej, w których przewidziano środki konstrukcyjne wykluczające lub utrudniające możliwość zapłonu mieszanin wybuchowych na zewnątrz tych urządzeń nazywa się urządzeniami elektrycznymi w wykonaniu przeciwwybuchowym. Ich konstrukcja powinna być taka, aby temperatura ich zewnętrznych części (powierzchni) była niższa niż temperatura mieszaniny wybuchowej w otaczającej przestrzeni, zarówno podczas normalnej pracy, jak i w warunkach zakłóceń. Niezależnie od tego trzeba przeciwdziałać możliwości wytworzenia się mieszaniny wybuchowej lub ograniczać skutki wybuchu mieszaniny we wnętrzu urządzenia elektrycznego. Należy wyraźnie zwrócić uwagę na to, że niskie napięcie ochronne (np. 24 V) nie jest żadnym środkiem zabezpieczenia przeciwwybuchowego, gdyż również przy takim napięciu może zaistnieć zapłon mieszaniny wybuchowej. W urządzeniach elektrycznych trzeba często liczyć się również z innymi źródłami zapłonu, np. z iskrami mechanicznymi.
- 5) **Elektryczność statyczna** – pod pojęciem elektryczności statycznej rozumie się powstawanie ładunków elektryczności na skutek bezpośredniej przemiany energii mechanicznej w energię elektryczną, bez udziału zewnętrznego pola magnetycznego lub elektrycznego. Zjawisko to występuje niemal we wszystkich procesach deformacji mechanicznej, przy styku lub zderzeniu dwóch ciał stałych lub ciała stałego i cieczy oraz przy rozrywaniu lub oddzielaniu powierzchni ciał stałych i cieczy przez gazy lub inne czynniki, a w szczególności przez gazy zjonizowane. Pojawienie się ładunków elektryczności statycznej, jak wskazują aktualne wyniki badań, możliwe jest zarówno w obecności materiałów przewodzących, jak i nie przewodzących (dielektryków); Procesy, w których najczęściej mogą wystąpić zjawiska elektryczności statycznej, to:

- 1) nawijanie folii z różnych mas plastycznych, papieru, gumy itp. na walce z materiału przewodzącego lub nie przewodzącego,
- 2) przemieszczanie różnych płyt z mas plastycznych, papieru itp., przy wzajemnym tarcu materiałów trwałych, w których przynajmniej jeden ma zdolność elektrostatycznego ładowania się;
- 3) przesuw tkanin impregnowanych, gumowych, taśm papieru itp. przez bębny, stoły, walce itp. nie uziemione urządzenia;
- 4) procesy zsypywania, w których może wytworzyć się pył;
- 5) polerowanie wyrobów celuloidowych i tworzyw sztucznych;
- 6) powlekanie tkanin;
- 7) używanie metalowych przedmiotów z izolacją w laboratoriach, ambulatoriach itp.

Procesom tym towarzyszą z reguły wyładowania iskrowe, których energia może być wystarczająca do spowodowania zapłonu mieszanin wybuchowych gazów, par cieczy palnych i pyłów z powietrzem. Zabezpieczenie przed elektrycznością statyczną polega na zapobieganiu powstawaniu lub gromadzeniu się ładunków. Pierwszy ze sposobów ochronnych wymaga stosowania w urządzeniach technologicznych ciał o jednakowej stałej dielektrycznej, co jednak w praktyce jest dość trudne do zrealizowania. Metoda zapobiegania gromadzeniu się ładunków elektryczności statycznej polega na beziskrowym neutralizowaniu powstałych ładunków, bądź odprowadzaniu ich do ziemi w momencie ich pojawiania się, co osiąga się poprzez uziemienie, zwiększenie wilgotności powietrza, jonizację powietrza, stosowanie preparatów antystatycznych, a w cieczach - tzw. strefy uspokojenia. Najlepszym środkiem zabezpieczającym jest uziemienie wszystkich tych elementów przewodzących prąd, na których mogą zgromadzić się ładunki elektrostatyczne w niebezpiecznej ilości. W strefie 2 wymagane są środki zapobiegawcze jedynie wtedy, gdy niebezpieczne wyładowania elektrostatyczne występują w sposób ciągły.

- 6) **Wyładowania atmosferyczne** – jeżeli wyładowanie atmosferyczne wystąpi w mieszaninie wybuchowej, zapłon jest nieuchronny. Może do niego również dojść w wyniku silnego ogrzania się drogi przejścia wyładowania atmosferycznego. Od miejsca wyładowania atmosferycznego płyną silne prądy, które nawet w dużych odległościach mogą wyzwolić zapalne iskry. O ile zapłon w miejscu wyładowania atmosferycznego jest nie do uniknięcia, o tyle środki zabezpieczające powinny uniemożliwić zapłon w jego otoczeniu. Zastosowanie mają tu wymagania dotyczące ochrony odgromowej obiektów.
- 7) **Prądy błądzące, katodowa ochrona przed korozją** – prądy błądzące mogą płynąć w systemach przewodzących elektryczność lub częściach systemów, jako: prądy powrotne w systemach elektroenergetycznych - zwłaszcza w sąsiedztwie kolei elektrycznej i dużych systemów spawalniczych - gdy, na przykład elektroprzewodzące składniki systemu, takie jak szyny i kable leżące pod ziemią obniżają opór ścieżki prądu powrotnego; wynik zwarcia albo doziemienia z powodu uszkodzeń instalacji elektrycznych; jako wynik indukcji magnetycznej (np. ze względu na sąsiedztwo instalacji elektrycznych z silnymi prądami lub częstotliwościami radiowymi); jako wynik uderzenia pioruna. Jeżeli części systemu zdolnego do przewodzenia prądów błądzących są rozłączane, łączone lub mostkowane - nawet w przypadku niewielkich różnic potencjału - atmosfera wybuchowa może ulec zapłonowi w wyniku iskier i/lub łuków

elektrycznych. Ponadto, zapłon może również nastąpić z powodu nagrzania się ścieżek przewodzących.

- 8) **Fale elektromagnetyczne o częstotliwości radiowej (RF) od 10^4 Hz do 3×10^{11} Hz** – fale elektromagnetyczne są emitowane przez wszystkie systemy generujące stosując energię elektryczną o częstotliwości radiowej (systemy częstotliwości radiowej), np. nadajniki radiowo tub przemysłowe, lub medyczne generatory RF stosowane do ogrzewania, suszenia, utwardzania, spawania, cięcia itd. Wszystkie przewodzące części znajdujące się w polu promieniowania działają jak anteny odbiorcze. Jeżeli pole jest wystarczająco silne i jeżeli antena odbiorcza jest wystarczająco duża, części przewodzące mogą powodować zapłon w atmosferach wybuchowych. Odbierana energia o częstotliwości radiowej może, na przykład, rozżarzyć cienkie przewody lub generować iskry podczas łączenia lub rozłączania części przewodzących. Doprowadzana przez antenę odbiorczą energia, która może prowadzić do zapłonu, zależy głównie od odległości między nadajnikiem i anteną odbiorczą oraz od rozmiarów anteny odbiorczej przy wszystkich długościach i energii fal RE.
- 9) **Fale elektromagnetyczne od 3×10^{11} Hz do 3×10^{15} Hz** – promieniowanie w tym zakresie widma może - zwłaszcza w przypadku skupienia - stać się źródłem zapłonu poprzez pochłanianie przez atmosfery wybuchowe lub powierzchnie ciał stałych. Światło słoneczne, na przykład, może powodować zapłon w obecności przedmiotów zdolnych do skupienia jego promieni (np. butelki działające jak soczewki, reflektory skupiające). W określonych warunkach promieniowanie intensywnych źródeł światła (ciągłego albo błyskowego) jest tak intensywnie pochłaniane przez cząstki pyłu, że stają się one źródłem zapłonu atmosfer wybuchowych lub nagromadzonego pyłu. W przypadku promieniowania laserowego (np. stosowanego w łączności, pomiarach zdalnych, pomiarach geodezyjnych, urządzeniach do pomiaru odległości w zasięgu wzroku), nawet przy dużych odległościach energia lub natężenie nawet niezogniskowanego promienia mogą być wystarczające do spowodowania zapłonu. Również w tym przypadku proces ogrzewania zachodzi głównie wtedy, gdy wiązka laserowa trafia na powierzchnię ciała stałego lub gdy jest absorbowana przez cząstki pyłu w atmosferze lub przez zanieczyszczone części przezroczyste. Należy wziąć pod uwagę, że jakiegokolwiek urządzenie, system ochronny, część i podzespół generujący promieniowanie (np. lampy, łuki elektryczne, lasery, itd.) mogą stanowić źródło zapłonu.
- 10) **Promieniowanie jonizujące** – promieniowanie jonizujące generowane, na przykład, przez lampy rentgenowskie i substancje radioaktywne może zapalać atmosfery wybuchowe (zwłaszcza atmosfery wybuchowe z cząstkami pyłu) w wyniku absorpcji energii. Ponadto, źródło radioaktywne samo może się podgrzewać, z powodu wewnętrznej absorpcji energii promieniowania, do temperatury przekraczającej minimalną temperaturę samozapłonu otaczającej atmosfery wybuchowej. Promieniowanie jonizujące może powodować chemiczny rozkład lub inne reakcje, które mogą prowadzić do tworzenia bardzo reaktywnych rodników lub związków niestabilnych chemicznie. Może to powodować zapłon. Takie promieniowanie może również tworzyć atmosferę wybuchową w wyniku rozkładu (np. mieszanina tlenu i wodoru w wyniku radiolizy wody).
- 11) **Ultradźwięki** – podczas stosowania fal ultradźwiękowych, znaczna część energii wytwarzanej przez przetwornik elektroakustyczny jest absorbowana przez substancje stałe lub ciekłe.

W wyniku absorpcji, substancja wystawiana na działanie ultradźwięków ogrzewa się tak, że w skrajnych przypadkach może nastąpić zapłon.

- 12) **Sprężanie adiabatyczne i fale uderzeniowe** – w przypadku sprężania adiabatycznego lub prawie adiabatycznego w falach uderzeniowych mogą występować tak wysokie temperatury, że atmosfery wybuchowe (i osady pyłu) mogą zostać zapalone. Przyrost temperatury zależy głównie od stosunku wartości ciśnień, nie od ich różnicy. W przewodach ciśnieniowych kompresorów do sprężania powietrza i w zbiornikach podłączonych do tych przewodów, wybuchy mogą występować, jako wynik zapłonu sprężonych mgieł olejów smarnych. Fale uderzeniowe generowane, na przykład, podczas nagłego rozprężania gazów pod wysokim ciśnieniem do rurociągów. W tym procesie fale uderzeniowe rozprzestrzeniają się do miejsc o niskim ciśnieniu szybciej niż prędkość dźwięku. Kiedy są uginane lub odbijane przez powyginany rurociąg, przewężenia, połączenia kołnierzowe, zamknięte zawory itd., mogą występować bardzo wysokie temperatury. Urządzenia, systemy ochronne, czci i podzespoły zawierające wysoce utleniające gazy, np. czysty tlen lub atmosfery gazowe o wysokim stężeniu tlenu, mogą stawać się efektywnym źródłem zapłonu przy sprężaniu adiabatycznym, fali uderzeniowej lub nawet zwykłym przepływie, ponieważ zapaleniu ulec mogą smary, szczeliwa i nawet materiały konstrukcyjne. Jeżeli to prowadzi do zniszczenia urządzeń, systemów ochronnych, części i podzespołów, ich części będą zapalać otaczającą atmosferę wybuchową.
- 13) **Reakcje egzotermiczne, włącznie z samozapaleniem pyłów** – reakcje egzotermiczne mogą stanowić źródło zapłonu, gdy szybkość wytwarzania ciepła będzie większa od szybkości odprowadzania ciepła do otoczenia. Wiele reakcji chemicznych jest reakcjami egzotermicznymi. Możliwość osiągnięcia podczas reakcji wysokiej temperatury zależy, między innymi, od stosunku objętość/powierzchnia układu reagującego, temperatury otoczenia i czasu reakcji. Te wysokie temperatury mogą prowadzić do zapłonu wybuchowych atmosfer, jak również zapoczątkowania tlenia się i/lub palenia. Do reakcji tych wlicza się reakcje piroforycznych substancji z powietrzem, metali alkalicznych z wodą, samozapalenie palnych pyłów, samonagrzewanie się pasz, zapoczątkowane przez procesy biologiczne, rozkład organicznych nadtlenków lub reakcje polimeryzacji. Katalizatory również mogą wzbudzać reakcje egzotermiczne (np. atmosfery wodór/powietrze w obecności patyny). Niektóre reakcje chemiczne (np. rozkład termiczny i procesy biologiczne) mogą również prowadzić do tworzenia substancji palnych, które z kolei mogą tworzyć atmosfery wybuchowe z otaczającym powietrzem. Gwałtowne reakcje kończące się zapłonem mogą występować w pewnych połączeniach materiałów konstrukcyjnych z substancjami chemicznymi (np. miedź z acetylenem, metale ciężkie z nadtlenkiem wodoru). Pewne połączenia substancji zwłaszcza, gdy są dobrze rozdrobnione, (np. aluminium/rdza albo cukier/chlorany) reagują gwałtownie w razie uderzenia lub tarcia. Zagrożenia mogą też wynikać z reakcji chemicznych spowodowanych termiczną niestabilnością, dużym ciepłem reakcji i/lub szybkim wyzwaniem gazu.



Załącznik nr 4 – Protokół analizy granulometrycznej