

Wyznaczenie przestrzeni zagrożonych wybuchem w budynkach dydaktycznych „H” i „K” Politechniki Rzeszowskiej

Adres obiektu:

⇒ ul. Powstańców Warszawy 6 w Rzeszowie

Inwestor:

⇒ Politechnika Rzeszowska im. Ignacego Łukasiewicza
al. Powstańców Warszawy 12
35-959 Rzeszów

Opracował:
mgr inż. Lucjan Gładysz
Uprawniony rzeczoznawca
ds. zabezpieczeń ppoż. Nr uprawnień: 322/95

RZECZOWNICZA DO SPRAW ZABEZPIECZEN
PRZECIWPOŻAROWYCH
Lucjan Gładysz
mgr inż. Lucjan Gładysz
Nr upr. 322/95

Data opracowania: kwiecień 2021 r.

Spis treści.

1	Wstęp – cel i zakres opracowania.	3
2	Podstawy formalno-prawne opracowania.	4
3	Klasyfikacja miejsc niebezpiecznych	5
3.1	Definicje.....	5
3.2	Klasyfikacja stref ze względu na występowanie palnych pyłów.....	10
3.3	Klasyfikacja stref ze względu na występowanie palnych par i gazów.	12
3.4	Właściwości palne	12
3.5	Czynniki mogące w atmosferze zagrożonej wybuchem zainicjować zapłon.	13
4	Reprezentatywny opis stanowiska badawczego.....	17
4.1.1	Instrukcja uruchomienia chromatografu gazowego HP 4890	18
4.1.2	Wyłączenie aparatu HP 4890 GC	19
4.2	Źródła zapłonu.	19
5	Analiza właściwości stosowanych materiałów pod kątem możliwości utworzenia atmosfery wybuchowej.....	22
5.1	Gazy palne	22
5.2	Warunki wentylacji.....	24
6	Ocena zagrożenia wybuchem w obrębie instalacji przesyłowej wodoru do chromatografu gazowego w pomieszczeniu laboratorium	26
6.1	Wyznaczanie stref zagrożenia wybuchem w obrębie instalacji przesyłowej wodoru.	26
6.2	Kwalifikacja laboratorium do pomieszczeń zagrożonych wybuchem – nieszczelność butli	31
6.3	Kwalifikacja laboratorium do pomieszczeń zagrożonych wybuchem – nieszczelność na instalacji przesyłowej wodoru	32
6.4	Wnioski z dokonanych obliczeń.	33
6.5	Obliczenia zasięgu stref zagrożonych wybuchem dla połączeń rozłącznych instalacji gazu sieciowego zlokalizowanych w pomieszczeniu z wentylacją kategorii A.....	33
7	Klasyfikacja stref zagrożenia wybuchem.....	34
8	Załącznik Nr 1 – parametry fizykochemiczne palnych gazów.	35
9	Załącznik Nr 2 – wykaz źródeł emisji – zasięg występowania stref zagrożonych wybuchem.	35
10	Załącznik Nr 3 – graficzne przedstawienie zasięgu występowania stref zagrożonych wybuchem.....	37
11	Zalecenia do realizacji zadań, których realizacja doprowadzi budynek do stanu wymaganego przepisami.	40

1 Wstęp – cel i zakres opracowania.

Niniejszy dokument obejmuje wyznaczenie przestrzeni zagrożonych wybuchem dla obiektu dydaktyczno-naukowego Politechniki Rzeszowskiej składającego się z budynków „K” i „H” wraz z elementami szaf zewnętrznych służących do przechowywania gazów palnych służących do zasilania stanowisk badawczych i został opracowany w celu doprowadzenia budynków „H” i „K” do stanu zgodnego z wymaganiami ochrony przeciwpożarowej. Na podstawie dokonanej oceny sformułowane zostaną konkretne zalecenia – w tym wyszczególnione rozwiązania techniczne i organizacyjne prowadzące do zapewnienia prawidłowej, bezpiecznej i zgodnej z obowiązującymi przepisami eksploatacji budynków zgodnie z ich funkcją. Dokument zawiera wyznaczenie potencjalnych przestrzeni w których dojść może do powstania mieszaniny powietrza z gazami palnymi – stref zagrożonych wybuchem oraz wynikające z tej oceny techniczne i organizacyjne środki ochrony przeciwybuchowej odnoszące się do instalacji i jej otoczenia oraz stanowisk pracy.

Ochrona przed wybuchem jest bardzo istotnym elementem ogólnie pojętego bezpieczeństwa. Wybuchy zagrażają życiu i zdrowiu pracowników/studentów, najczęściej powstają w wyniku niekontrolowanych reakcji spalania i tworzenia się nadciśnienia. W mniejszym stopniu szkodliwymi efektami wybuchu są produkty spalania oraz niedobór tlenu w pomieszczeniach, w których mogą przebywać ludzie. Skutkiem wybuchu mogą być również znaczne straty materialne powstałe w wyniku uszkodzenia konstrukcji budynku. Obowiązek wyznaczenia potencjalnych przestrzeni zagrożenia wybuchem wynika z obowiązujących przepisów – w szczególności z zapisów § 37 rozporządzenia MSWiA z dnia 7 czerwca 2010 r. w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków (Dz. U. z 2010 r. Nr 109 poz. 719 z późniejszymi zmianami):

„§ 37. 1. W obiektach i na terenach przyległych, gdzie są prowadzone procesy technologiczne z użyciem materiałów mogących wytworzyć mieszaniny wybuchowe lub w których materiały takie są magazynowane, dokonuje się oceny zagrożenia wybuchem.

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

Analizie możliwości wystąpienia zagrożenia wybuchem poddano pomieszczenia znajdujące się w budynku „H” i „K” Politechniki Rzeszowskiej znajdujące się przy ul. Powstańców Warszawy 6 w Rzeszowie – wykaz pomieszczeń w których znajdują się butle z gazami niebezpiecznymi pożarowo oraz do których doprowadzone są gazy palne wyszczególnione zostały przez Zamawiającego – dokument:

- Protokół 21/11/2020 z kontroli sprawdzającej stan techniczny sprawności instalacji – gazy techniczne w budynku użyteczności publicznej przeprowadzonej w listopadzie 2020 r. ul. Powstańców Warszawy 6 w Rzeszowie – budynek „H” i „K”.

W dniu 28 kwietnia dokonano wspólnie z przedstawicielami Zamawiającego wizji lokalnej wszystkich pomieszczeń w których stosuje się gazy pożarowo niebezpieczne – wykaz pomieszczeń:

1) – budynek „H”:

- ✓ Pomieszczenie 218 – wykaz gazów palnych: wodór
- ✓ Pomieszczenie 232 – wykaz gazów palnych: acetylen, gaz sieciowy (metan)
- ✓ Pomieszczenie 230 – wykaz gazów palnych: wodór
- ✓ Pomieszczenie 114 – wykaz gazów palnych: acetylen
- ✓ Pomieszczenie 65 – wykaz gazów palnych: gaz sieciowy – metan
- ✓ Pomieszczenie 82 – wykaz gazów palnych: wodór, metan czysty
- ✓ Pomieszczenie nr 09 – wykaz gazów palnych: gaz sieciowy (metan)

- ✓ Pomieszczenie bez numeru zlokalizowane przy wyjściu z klatki schodowej w parterze (wyjście z klatki schodowej obok pomieszczenia Nr 78 – wykaz gazów palnych: wodór i acetylen SD

2) – budynek „K”

- ✓ Pomieszczenie 22 – wykaz gazów palnych: wodór SD

Analiza obejmuje również szafy na gazy techniczne palne zlokalizowane przy ścianach ww. obiektu.

Celem opracowania jest wyznaczenie przestrzeni zagrożonych wybuchem występujących w ww. pomieszczeniach. Klasyfikacja przestrzeni jest metodą analizy i klasyfikowania otoczenia, gdzie może pojawić się gazowa atmosfera wybuchowa, taką, by ułatwiać odpowiedni wybór, instalację i działanie wyposażenia, które ma być bezpiecznie używane w tym otoczeniu.

Zakres opracowania obejmuje:

- opracowanie charakterystyki analizowanych obszarów na podstawie udostępnionych informacji/materiałów technicznych,
- identyfikację i ocenę zagrożeń stwarzanych przez stosowane substancje, urządzenia oraz proces technologiczny w tym substancje,
- określenie stref zagrożenia wybuchem oraz oszacowanie ich zasięgu,
- opracowanie zaleceń technicznych, konstruktywnych i organizacyjnych w celu poprawy bezpieczeństwa w analizowanych obszarach,
- określenie przyrostu ciśnienia w pomieszczeniach jaki mógłby zostać spowodowany przez wybuch - kryterium przekroczenia przyrostu ciśnienia 5 kPa (lub nie),
- opracowanie oceny zagrożenia wybuchem pomieszczeń w których występują media wybuchowe, zgodnie z Rozporządzeniem MSWiA w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków (Dz. U. z 2010 r. Nr 109 poz. 719).

Na potrzeby opracowania autor wykorzystał następujące materiały udostępnione przez

Zlecaniodawcę:

- Dokumentacja instalacji wentylacji mechanicznej.
- Protokół 21/11/2020 z kontroli sprawdzającej stan techniczny sprawności instalacji – gazy techniczne w budynku użyteczności publicznej przeprowadzonej w listopadzie 2020 r. ul. Powstańców Warszawy 6 w Rzeszowie – budynek „H” i „K” – sporządził Józef Wisz
- Instrukcja uruchomienia chromatografu gazowego HP 4890 – materiał otrzymany od Zamawiającego
- Informacje uzyskane w czasie dokonanej wizji lokalnej od pracowników naukowych Politechniki Rzeszowskiej.

2 Podstawy formalno-prawne opracowania.

- 1) Zlecenie Inwestora – umowa zawarta między Politechniką Rzeszowską a Wykonawcą niniejszego opracowania [1].
- 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. Nr 138, poz. 931) [2].
- 3) Rozporządzenie 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 późniejszymi zmianami) [3].
- 4) Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie. (Obwieszczenie Ministra Inwestycji i Rozwoju z dnia 8 kwietnia 2019 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie tj. Dz. U. z 7 czerwca 2019 r. poz. 1065) [4].

- 5) PN-EN 60079-10-1 Atmosfery wybuchowe – cz. 10.1 Urządzenia elektryczne w przestrzeniach zagrożonych wybuchem cz.10 Klasyfikacja przestrzeni zagrożonych wybuchem [5].
- 6) PN-EN 1127-1¹ Zapobieganie wybuchowi i ochrona przed wybuchem – Pojęcia podstawowe i metodologia [6].

3 Klasyfikacja miejsc niebezpiecznych

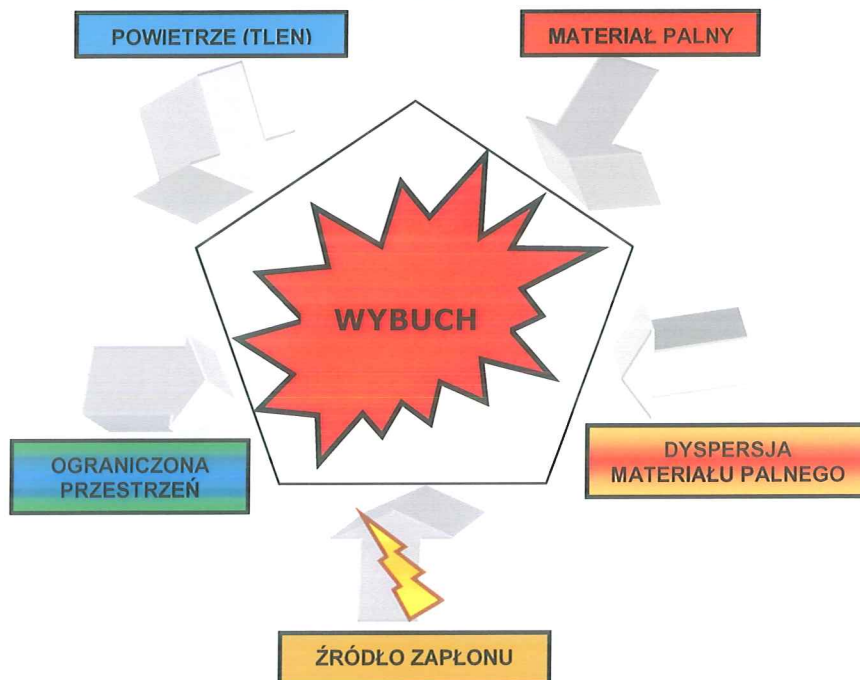
3.1 Definicje

POŻAR – spalanie o niekontrolowanym przebiegu w czasie i przestrzeni

Aby mogło zajść zjawisko spalania muszą być spełnione jednocześnie trzy podstawowe warunki:

- obecność paliwa (palnego materiału) w odpowiedniej ilości w zakresie wybuchowości, pomiędzy jego dolną (DGW) a górną (GGW) granicami wybuchowości,
- obecność utleniacza w odpowiedniej ilości, powyżej wartości granicznego stężenia tlenu (GST) dla tego paliwa,
- obecność aktywnego inicjału (źródła zapłonu) o odpowiedniej energii, co najmniej równej lub powyżej minimalnej energii zapłonu ($E_{z.min}$) danego paliwa.

Pożar jest zjawiskiem spalania przebiegającym stosunkowo wolno, zaś wybuch jest spalaniem przebiegającym z o wiele większą prędkością. Ażeby do niego doszło muszą być spełnione dwa dodatkowe warunki przestrzenne: paliwo (gaz, para palnej cieczy, pył) musi być odpowiednio rozproszone w ograniczonej przestrzeni (np. zamkniętej obudową urządzenia, ścianami pomieszczenia, rurociągu itp.), w której pojawi się źródło zapłonu o energii wystarczającej do zapalenia wytworzonego obłoku paliwowo-powietrznego. Elementy te decydują o szybkim wzroście ciśnienia w przestrzeni zamkniętej, a co jest z tym związane o skutkach tego zdarzenia. Im bardziej równomierne rozproszenie materiału palnego w zagrożonej przestrzeni oraz im większa jest tam turbulencja (ruch prądów powietrznych), tym gwałtowniejszy przebieg ma wybuch. Przedstawia to klasyczny trójkąt spalania, który w przypadku spalania obłoków mieszanin paliwowo-powietrznych przekształca się w pięciokąt, co przedstawia rys.1.



Rys. 1. Pięciokąt wybuchowości

¹ Wraz z wprowadzonymi zmianami

WYBUCH – jest to reakcja chemiczna polegająca na gwałtownym spalaniu gazów palnych, par cieczy palnych albo pyłów lub włókien w powietrzu. Podczas wybuchu wydzielona jest duża ilość ciepła i występuje fala uderzeniowa, wywołująca efekt akustyczny. Wybuch może wystąpić, gdy wytworzy się mieszanina wybuchowa, np. gazu palnego z powietrzem (z tlenem) w odpowiedniej proporcji obu składników mieszaniny wybuchowej. Do mieszanin wybuchowych zalicza się również mieszaniny powietrza i pyłów. Pyły niektórych materiałów niepalnych są palne (np. pył aluminiowy, pył cynowy) i mogą tworzyć mieszaniny wybuchowe. Wybuchem grożą, wzniecane podmuchem powietrza, chmury pyłowe, zawierające bardzo drobne ziarenka lub włókna.

SUBSTANCJE PALNE – (w postaci gazu, pary, cieczy, ciała stałego lub ich mieszaniny, zdolne wchodzić w egzotermiczną reakcję z powietrzem po zapaleniu) rozważamy jako materiały, które mogą utworzyć atmosferę wybuchową, zagrożenie staje się realne w przypadku zapłonu przez efektywne źródło zapłonu.

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 niespaloną mieszaninę.

ZAGROŻENIE WYBUCHEM - rozumie się przez to 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 (iskra, łuk elektryczny lub przekroczenie temperatury samozapłonu) wybuchają, czyli ulegają gwałtownemu spalaniu połączonemu ze wzrostem ciśnienia;

MINIMALNA ENERGIA ZAPŁONU E_{min} jest to najmniejsza energia kondensatora w obwodzie elektrycznym, którego wyładowanie powoduje zapłon mieszaniny i rozprzestrzenianie się płomienia w określonych warunkach badania. Dla gazów i par minimalną energię zapłonu oznacza się dla składów stechiometrycznych, zaś dla pyłów – dla mieszanin bogatych w paliwo (powyżej składu stechiometrycznego), są to warunki optymalne pod względem składu mieszaniny. Wartość minimalnej energii zapłonu jest parametrem, który pozwala na ocenę zagrożenia wybuchem pochodzącego od istniejących w rozpatrywanym obszarze źródeł energii takich, jak iskry elektryczne, elektrostatyczne, iskry pochodzące z pojemnościowych lub indukcyjnych obwodów elektrycznych, a także iskry mechaniczne.

Energię potrzebną do zapłonu atmosfery wybuchowej można porównać do możliwości energii jaką wytwarzają niektóre typowe źródła:

Osoba naładowana elektrostatycznie	10 – 100 mJ
Włączony telefon komórkowy	10 – 20 mJ
Szlifowania, iskra mechaniczna –stal	0,4 J
Zardzewiała stal	kilka J
Stycznik elektryczny w wykonaniu zwykłym	wiele J

TEMPERATURA SAMOZAPŁONU jest to najniższa temperatura, przy której następuje zapalenie się substancji palnej w wyniku zetknięcia z gorącą powierzchnią lub wskutek

oddziaływania promieniowania cieplnego tej powierzchni (bez udziału zewnętrznego płomienia lub iskry).

T1 Klasyfikacja mieszanin wybuchowych gazów i par z powietrzem

Temperatura samozapłonu, °C	Klasa temperaturowa	Przykład substancji
> 450	T1	Aceton, wodór, tlenek węgla, ksylen,
>300 – 450	T2	Alkohol butylowy, propan-butan
>200 – 300	T3	benzyna ekstrakcyjna, N-oktan,
>135 – 200	T4	Aldehyd octowy, eter dwuetylowy
>100 – 135	T5	Dwusiarczek węgla
>85 – 100	T6	Fosforowodór

TEMPERATURA ZAPŁONU cieczy palnej jest to najniższa temperatura, przy której ciecz tworzy nad swoją powierzchnią mieszaninę par z powietrzem o odpowiednim stężeniu, zdolną zapalić się od bodźca energetycznego w określonych warunkach badania. Dla celów ochrony przeciwpożarowej wyróżnia się trzy klasy cieczy:

- klasa I: ciecze o temperaturze zapłonu do 21 °C (np. benzyna samochodowa, aceton, alkohol etylowy),
- klasa II: ciecze o temperaturze zapłonu od 21 °C do 55 °C (np. trójchloroetylen, terpentyna, glikol etylowy),
- klasa III: ciecze o temperaturze zapłonu powyżej 55 °C do 100 °C (np. cykloheksanol, anilina, nitrobenzen).

Pożarowo niebezpiecznymi są ciecze klasy I i II, zaś ciecze klasy III kwalifikuje się jako ciecze palne.

POMIESZCZENIE ZAGROŻONE WYBUCHEM – pomieszczenie, w którym może się wytworzyć mieszanina wybuchowa powstała z wydzielającej się takiej ilości palnych gazów, par, mgieł lub pyłów, że jej wybuch mógłby spowodować przyrost ciśnienia w tym pomieszczeniu przekraczający 5 kPa.

Zgodnie z rozporządzeniem Ministra Gospodarki z dnia 8 lipca 2010 roku w sprawie minimalnych wymagań dotyczących bezpieczeństwa i higieny pracy związanych z możliwością wystąpienia w miejscu pracy atmosfery wybuchowej (Dz.U. nr 138, poz. 931) przestrzenie, w których istnieje możliwość wystąpienia atmosfery wybuchowej w ilościach zagrażających bezpieczeństwu i zdrowiu, pracodawca oznacza, w miejscach wstępu do tych przestrzeni następującym znakiem ostrzegawczym



Przykład oznakowania stref zagrożenia wybuchem.



W strefie zagrożenia wybuchem **zabronione jest używanie otwartego ognia, palenia tytoniu i stosowanie innych czynników mogących zainicjować zapłon występujących materiałów** - zgodnie z rozporządzeniem Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 7 czerwca 2010 roku w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków, innych obiektów budowlanych i terenów (Dz. U. Nr 109, poz. 719).

Przykłady oznakowań

	
"Zakaz używania otwartego ognia-palenie tytoniu zabronione"	"Palenie tytoniu zabronione"

- **„miejsce pracy”** — rozumie się przez to miejsce wyznaczone przez pracodawcę, do którego pracownik ma dostęp w związku z wykonywaniem pracy,
- **„stanowisko pracy”** — rozumie się przez to przestrzeń pracy, wraz z wyposażeniem w środki i przedmioty pracy, w której pracownik lub zespół pracowników wykonuje pracę,
- **„pomieszczenie pracy”** — rozumie się przez to pomieszczenie przeznaczone na pobyt pracowników, w którym wykonywana jest praca.
- **Nie uważa się za przeznaczone na pobyt pracowników pomieszczeń, w których:**
 - a) łączny czas przebywania tych samych pracowników w ciągu jednej zmiany roboczej jest krótszy niż 2 godziny, a wykonywane czynności mają charakter dorywczy bądź praca polega na krótkotrwałym przebywaniu związanym z dozorem albo konserwacją urządzeń lub utrzymaniem czystości i porządku,
 - b) mają miejsce procesy technologiczne nie pozwalające na zapewnienie odpowiednich warunków przebywania pracowników w celu ich obsługi, bez zastosowania środków ochrony indywidualnej i zachowania specjalnego reżimu organizacji pracy,
- **Substancja palna:** substancja w postaci gazu, pary, cieczy, ciała stałego lub ich mieszanin, zdolna wchodzić w reakcję egzotermiczną po zapaleniu.
- **Wentylacja mechaniczna:** cyrkulacja powietrza uzyskana za pomocą jednego wentylatora lub kilku wentylatorów.

- **Źródło emisji:** Punkt lub miejsce, z którego mogą uwalniać się do atmosfery gaz palny, para palna lub ciecz palna tak, że może się utworzyć gazowa atmosfera wybuchowa.
- **Stopnie emisji:** Wyróżnia się trzy stopnie emisji, uszeregowane według malejącego występowania gazowej atmosfery wybuchowej:
 - a) emisja ciągła,
 - b) pierwszy stopień emisji,
 - c) drugi stopień emisji.
 Źródło emisji może być zakwalifikowane do jednego ze stopni emisji lub do kombinacji więcej niż jednego z nich.
- **Emisja ciągła:** Emisja, która występuje stale lub której występowania można się spodziewać w długich okresach.
- **Pierwszy stopień emisji:** Emisja, której występowania podczas normalnej pracy można spodziewać się okresowo lub okazjonalnie.
- **Drugi stopień emisji:** Emisja, której występowania w warunkach normalnej pracy nie można się spodziewać, a jeżeli pojawi się ona rzeczywiście, to tylko rzadko i tylko na krótkie okresy.
- **Wydajność emisji:** Ilość palnego gazu lub pary uwalnianych w jednostce czasu ze źródła emisji.
- **Wentylacja:** Przemieszczanie powietrza oraz jego wymiana na świeże powietrze w wyniku działania wiatru, występowania różnic temperatury lub wymuszane mechanicznie (np. wentylatorami lub odciągami). Rozróżnia się trzy stopnie wentylacji:
 - wysoki (VH – *high ventilation*),
 - średni (VM – *medium ventilation*),
 - niski (VL – *low ventilation*)
- **Wysoki stopień wentylacji:** Jest w stanie zredukować stężenie przy źródle emisji niemal natychmiast, dając w wyniku stężenie poniżej dolnej granicy wybuchowości. W rezultacie otrzymuje się strefę o małym (nawet pomijalnym) zasięgu.
- **Średni stopień wentylacji:** Jest w stanie wpływać na stężenie, czego rezultatem jest sytuacja stabilna, w której stężenie poza granicami strefy, w czasie trwania emisji jest poniżej dolnej granicy wybuchowości i atmosfera wybuchowa nie zalega w nadmiarze po zakończeniu emisji. Zasięg i rodzaj strefy są ograniczone parametrami konstrukcyjnymi.
- **Niski stopień wentylacji:** Nie jest w stanie wpływać na stężenie, w czasie trwania emisji i/lub nie może zabezpieczyć przed zbytnim zaleganiem atmosfery palnej po zakończeniu emisji.

Dyspozycyjność wentylacji

- Dobra: **Wentylacja działa zawsze**
- Dostateczna: **w czasie normalnej pracy występują nieciągłości, przerwy są dozwolone pod warunkiem, że zdarzają się rzadko i w krótkich okresach**
- Słaba: **Wentylacja, która nie spełnia wymagania dotyczącego wentylacji dostatecznej lub dobrej, lecz nie dopuszcza się występowania przerw o długich okresach**

GRANICE WYBUCHOWOŚCI (palności, zapłonu) są charakterystycznymi cechami mieszanin palnych. Poza tymi granicznymi stężeniami składników palnych w mieszaninie z utleniaczem zapłon mieszaniny nie nastąpi nawet, jeśli źródło zapłonu będzie miało bardzo dużą energię:

- **Dolna granica wybuchowości (LEL):** stężenie gazu palnego lub pary palnej w powietrzu, poniżej którego atmosfera gazowa nie jest wybuchowa. LEL jest skrótem angielskiego terminu *lower explosive limit*. W literaturze krajowej używa

się skrótu DGW – jest to najniższe stężenie paliwa w mieszaninie palnej, poniżej którego nie jest możliwy zapłon mieszaniny pod wpływem czynnika inicjującego i dalsze samoczynne rozprzestrzenianie płomienia w określonych warunkach badania,

- **Górna granica wybuchowości (UEL):** stężenie gazu palnego lub pary palnej w powietrzu, powyżej którego atmosfera gazowa nie jest wybuchowa. UEL jest skrótem angielskiego terminu *upper explosive limit*. W literaturze krajowej używa się skrótu GGW. jest to najwyższe stężenie paliwa w mieszaninie palnej, powyżej którego nie jest możliwy zapłon mieszaniny pod wpływem czynnika inicjującego i dalsze samoczynne rozprzestrzenianie płomienia w określonych warunkach badania. Zagrożenie pożarem i/lub wybuchem wzrasta ze spadkiem dolnej granicy wybuchowości i rozszerzaniem zakresu wybuchowości, czyli różnicy między poziomem górnej i dolnej granicy wybuchowości.
- **Względna gęstość gazu lub pary:** Gęstość gazu lub pary odniesiona do gęstości powietrza przy tym samym ciśnieniu i w tej samej temperaturze. (w przypadku powietrza jest równa 1,0).
- **Mgła palna:** Kropelki cieczy palnej, rozpylone w powietrzu w taki sposób, że tworzy się atmosfera wybuchowa.
- **Temperatura tlenia pyłu;** jest najważniejszym parametrem określającym niebezpieczeństwo pożarowe pyłów, ponieważ tlenie jest często pierwotną przyczyną inicjującą pożar i wybuchy pyłów nagromadzonych w warstwie.
- **Temperatura tlenia pyłu:** jest to najniższa temperatura gorącej poziomej powierzchni, na której pył osiadły swobodnie w warstwie grubości 5 mm ulega zapłonowi w określonym czasie. Temperatura tlenia oznaczona metodami konwencjonalnymi, nie zawsze odpowiada wartościom, które mogą wystąpić w warunkach ruchowych. Grubsze warstwy, przeszkody w odprowadzaniu ciepła przez przewodnictwo lub promieniowanie, efekty cieplne i fizykochemiczne początkowego rozkładu termicznego materiałów organicznych i inne zjawiska, są przyczynami, które w praktyce obniżają temperatury tlenia. Dlatego dla urządzeń elektrycznych dopuszczalna temperatura nagrzania zewnętrznych powierzchni poziomych lub nachylonych pod kątem do 60° w stosunku do poziomu, badana przy długotrwałej pracy z pełnym obciążeniem bez nawarstwienia się pyłów lub włókien, powinna być, co najmniej 70°C niższa od temperatury tlenia danej substancji.
- **Temperatura zapalenia pyłu osiadłego** jest najniższą temperaturą zapalenia ciała stałego, z którego został otrzymany. Przemiana pyłu osiadłego w aerozol, następuje pod wpływem prądów powietrznych o określonej prędkości.
- Prędkość ta posiada różną wartość, w zależności od wielkości ziarna pyłu, jego ciężaru właściwego i nachylenia powierzchni, na której pył osiada.

3.2 Klasyfikacja stref ze względu na występowanie palnych pyłów.

obszar – trójwymiarowa przestrzeń

pył – małe cząstki stałe, włączając włókna i inne latające cząstki w atmosferze, które osiadają się pod wpływem swojego własnego ciężaru, ale również mogą zawisać na jakiś okres w powietrzu (ISO-4225)

warunki atmosferyczne – warunki, które dopuszczają zmiany ciśnienia i temperatury powyżej i poniżej poziomów referencyjnych wynoszących 101,3 kPa (1013 mbar) i 20°C (293 K), kiedy zmiany te wywierają tylko mało znaczący wpływ na właściwości wybuchowe pyłów palnych.

wybuchowa mieszanina pyłowo-powietrzna – mieszanina z powietrzem (w warunkach atmosferycznych) substancji łatwopalnych w formie pyłów lub włókien, gdzie po zapłonie, proces spalania powstaje w nieużytej mieszaninie.

mieszanina hybrydowa – mieszanina substancji palnych (w różnych stanach fizycznych) z powietrzem (pyłów i gazów palnych z powietrzem, np. pyłu węglowego i metanu)

pył palny – pył, który może się spalać lub tlić w powietrzu oraz może tworzyć wybuchowe mieszaniny pyłowo-powietrzne przy ciśnieniu atmosferycznym i w normalnych temperaturach.

obszar zagrożenia – obszar, w którym występują lub mogą wystąpić pyły palne w postaci chmur w ilościach wymagających specjalnych środków zabezpieczeń przed zapłonem, dla konstrukcji, instalacji oraz urządzeń. Obszary zagrożenia są podzielone na strefy na podstawie częstotliwości pojawiania się oraz czasu trwania mieszanin pyłowo-powietrznych

przeciwpyłowa obudowa bezpieczeństwa – taka część wyposażenia lub urządzeń procesowych, która zaprojektowana jest w sposób uniemożliwiający wydostanie się z nich pyłu do otaczającej atmosfery

normalny tryb pracy – proces, podczas którego urządzenie procesowe pracuje według zaprojektowanych parametrów technicznych. Małe uwolnienie pyłu, które może tworzyć chmurę lub warstwę pyłu (np. uwolnienie z filtrów) może również stanowić część tego procesu

źródła uwolnienia pyłów – miejsca, z których palne pyły mogą być uwalniane do atmosfery, zarówno z warstw pyłów, jak i części wyposażenia technologicznego zawierającego pył

Źródła uwolnienia pyłów dzielą się na trzy stopnie:

- ✓ **stałe tworzenie się chmury pyłu** – miejsca, w których tworzenie się chmury pyłu jest stałe lub może tworzyć się przez długi okres, jak również chmury pyłu mogą się często pojawiać przez krótki okres,
- ✓ **pierwszy stopień uwolnienia** – źródła, które powodują sporadyczne uwalnianie pyłów palnych podczas normalnego trybu pracy urządzeń,
- ✓ **drugi stopień uwolnienia** – źródła, które zazwyczaj nie powodują uwalniania pyłów palnych podczas normalnego trybu pracy. Jeżeli jednak ono nastąpi, to nie zdarza się często i trwa bardzo krótki okres.

zasięg strefy – odległość w każdym kierunku od krawędzi źródła uwolnienia do miejsca, w którym zagrożenie związane z uwolnieniem uważa się za niewystępujące

Warstwy, osady i zwały palnego pyłu powinny być traktowane jak każde inne źródło, które może tworzyć atmosferę wybuchową.

Strefa 20

Miejsce, w którym atmosfera wybuchowa w postaci obłoku palnego pyłu w powietrzu występuje stale lub przez długie okresy lub często.

UWAGA: Zasadniczo te warunki, w przypadku ich wystąpienia, pojawiają się wewnątrz pojemników, rurociągów i zbiorników itd.

Strefa 21

Miejsce, w którym atmosfera wybuchowa w postaci obłoku palnego pyłu w powietrzu może czasami wystąpić w trakcie normalnego działania.

UWAGA: Strefa ta może obejmować, między innymi, miejsca w bezpośrednim otoczeniu punktów nasypywania i wysypywania pyłu i gdzie występują warstwy pyłu zdolne, w trakcie normalnego działania, tworzyć palną mieszaninę pyłu z powietrzem w zakresie stężeń wybuchowych.

Strefa 22

Miejsce, w którym atmosfera wybuchowa w postaci obłoku palnego pyłu w powietrzu nie występuje w trakcie normalnego działania, a w przypadku wystąpienia trwa krótko.
UWAGA: Strefa ta może obejmować, między innymi, miejsca w bezpośrednim otoczeniu urządzeń, systemów ochronnych, części i podzespołów zawierających pył, z których może dojść do uwolnienia i gromadzenia się pyłu (na przykład otoczenie lejów zsypowych).

W pomieszczeniach poddanych analizie brak jest – nie są stosowane w procesach badawczych palne pyły mogące tworzyć mieszaniny wybuchowe.

3.3 Klasyfikacja stref ze względu na występowanie palnych par i gazów.

STREFA ZAGROŻENIA WYBUCHEM – przestrzeń, w której może występować mieszanina substancji palnych z powietrzem lub innymi gazami utleniającymi, o stężeniu zawartym między dolną a górną granicą wybuchowości.

Strefa 0 – miejsce, w którym atmosfera wybuchowa zawierająca mieszaninę substancji palnych w postaci gazu, pary albo mgły z powietrzem występuje stale, przez długie okresy lub często.

Strefa 1 – miejsce, w którym atmosfera wybuchowa zawierająca mieszaninę substancji palnych w postaci gazu, pary albo mgły z powietrzem może wystąpić w trakcie normalnego działania.

Strefa 2 – miejsce, w którym atmosfera wybuchowa zawierająca mieszaninę substancji palnych w postaci gazu, pary albo mgły z powietrzem nie występuje w trakcie normalnego działania, a w przypadku wystąpienia trwa krótko.

3.4 Właściwości palne

Ponieważ w tym kontekście potencjalne zagrożenie stwarza nie sam materiał, ale jego kontakt lub zmieszanie z powietrzem, powinny zostać oznaczone właściwości mieszaniny substancji palnej z powietrzem. Te właściwości informują o zachowaniu się substancji w trakcie spalania i o możliwości zapoczątkowania pożaru lub wybuchu. Odnosne dane, np.

- ✓ temperatura zapłonu;
- ✓ granice wybuchowości (DGW, GGW – w przypadku pyłów tylko DGW);

Wymagania dotyczące zapłonu

Właściwości atmosfery wybuchowej związane z zapłonem to:

- ✓ minimalna energia zapłonu
- ✓ minimalna temperatura samozapłonu atmosfery wybuchowej;
- ✓ minimalna temperatura samozapłonu warstwy pyłu.

Minimalna dawka zagrożeniowa (MDZ) jest to najmniejsza masa pyłu lub włókien, przypadająca na jednostkę objętości pomieszczenia, strefy lub instalacji, której wybuch, nawet lokalny, może spowodować niebezpieczny przyrost ciśnienia.

Siła wybuchu określana jest przez ciśnienie wybuchu definiowane jako wartość największego przyrostu ciśnienia podczas wybuchu mieszaniny pyłowo-powietrznej w komorze badawczej.

Maksymalne ciśnienie wybuchu (P_{max}) jest to największa wartość ciśnienia wybuchu uzyskana z oznaczeń wykonanych w całym zakresie stężeń wybuchowych mieszaniny (pomiędzy dolną i górną granicą wybuchowości). Miarą gwałtowności wybuchu jest szybkość narastania ciśnienia wybuchu rozumiana, podobnie jak w przypadku mieszanin gazowych jako maksymalna wartość szybkości zmian ciśnienia podczas wybuchu mieszaniny pyłu z powietrzem w zamkniętym naczyniu.

Za maksymalną szybkość narastania ciśnienia wybuchu $(dp/dt)_{\max}$ uważa się największą wartość szybkości narastania ciśnienia wybuchu uzyskaną z oznaczeń wykonanych w całym zakresie stężeń wybuchowych mieszaniny.

Minimalna energia zapłonu (E_{\min}) mieszaniny pyłowo-powietrznej jest to najmniejsza energia powodująca zapłon mieszaniny pyłu z powietrzem w całym zakresie stężeń wybuchowych (palnych) tej mieszaniny.

Mieszanina wybuchowa: jest to mieszanina **gazów, par lub mgieł palnych cieczy, a także pyłów** lub włókien z powietrzem lub innymi gazami utleniającymi, o stężeniu substancji palnej zawartym między dolną a górną granicą wybuchowości, w której po zaistnieniu zapłonu reakcja przebiega samorzutnie.

3.5 Czynniki mogące w atmosferze zagrożonej wybuchem zainicjować zapłon.

Ileokroć w opracowaniu pojawiają się czynniki mogące zainicjować zapłon w atmosferze zagrożonej wybuchem chodzi o czynniki, które dzięki swoim właściwościom, w pewnych warunkach i dla określonej atmosfery wybuchowej mogą zainicjować jej zapłon, zgodnie z poniższymi wyjaśnieniami będą to:

- **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, a 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.
- **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 sprzęgieł 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.

- **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.
- **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.
- **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:

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

- **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 ogromowej obiektów.
- **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 ziemi 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.
- **Fale elektromagnetyczne o częstotliwości radiowej (RF) od 10^4Hz do $3 \times 10^{12}\text{Hz}$** – fale elektromagnetyczne są emitowane przez wszystkie systemy generujące i stosujące 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 RF.

- **Fale elektromagnetyczne od $3 \times 10^{11}\text{Hz}$ do $3 \times 10^{15}\text{Hz}$** – 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.
- **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).
- **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.
- **Sprężanie adiabatyczne i fale uderzeniowe**– w przypadku sprężania adiabatycznego lub prawie adiabatycznego i 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 ochronnej 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.

- **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 platyny). 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 one 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.

4 Reprezentatywny opis stanowiska badawczego.

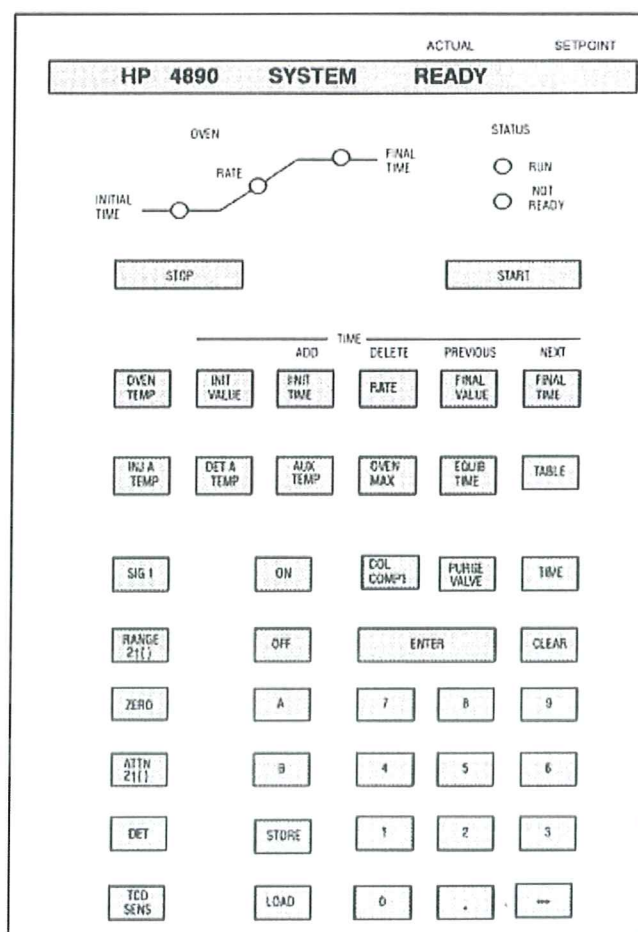
Z uwagi na szerokie spektrum realizowanych prac badawczych do wyznaczenia potencjalnych przestrzeni zagrożonych wybuchem bierze się instalację dozowania gazów palnych do stanowisk badawczych. Procedury – instrukcje włączania aparatów wykorzystujących wodór i acetylen w Katedrze Chemii Fizycznej (Absorpcyjna Spektroskopia Atomowa - acetylen, Chromatografia Gazowa - wodór) są zbliżone – wobec tego dla szacowania potencjalnych emisji zasadnicze znaczenie mają punkty rozłączne w których może potencjalnie dojść do niekontrolowanej emisji tych gazów.

Część stanowisk badawczych zasilana jest z butli zlokalizowanych na zewnątrz budynku – dotyczy to np. pomieszczenia nr 22 w budynku K czy nr 232 w budynku H. W pomieszczeniach Nr 218 i Nr 82 w budynku H umieszczone są butle z wodorem. Butle z wodorem i acetylenem umieszczono również w pomieszczeniu przy wyjściu z klatki schodowej budynku H w parterze. W korytarzu wyjściowym z tej klatki umieszczono szafy rozprężne gazów technicznych: acetylenu, azotu, helu i wodoru – z szafy tej istnieje rozprowadzenie rurowe z poszczególnych butli z gazami do pomieszczeń do stanowisk badawczych.

4.1.1 Instrukcja uruchomienia chromatografu gazowego HP 4890

Włączenie aparatu HP 4890 GC

1. Włączyć przełączniki zasilania aparatu HP 4890 GC (prawa strona – dół) i integratora HP 3395 (lewa strona - tył) do pozycji ON.
2. Odkręcić zawór główny na butli z helem (He), ustawić ciśnienie wyjściowe pokrętką reduktora na wartość 0.65 MPa i obserwować wskazania manometru na płycie czołowej aparatu. Prawidłowe wskazanie wynosi około 6 jednostek psi (niebieska skala).
3. Odkręcić zawory główne na butlach (kolejno) z wodorem (H₂) i powietrzem (POW), ustalając wartości ciśnienia na wyjściach reduktorów odpowiednio: 0.28 i 0.2 MPa.
4. Włączyć kontrolę temperatury pieca chromatografu przyciskami **Oven Temp** i **On** (korzystając z przycisków panelu sterowanie – rysunek). Zaprogramować górną granicę temperatury pieca: po naciśnięciu przycisku **Oven Temp** wprowadzić wartość 220 (°C) za pomocą przycisków alfanumerycznych **0** ... **9** i zaakceptować klawiszem **Enter**.



Rysunek: Panel sterowania i monitor stanu chromatografu HP 4890.

5. Włączyć ogrzewanie dozownika i detektora korzystając z przycisków **Inj A Temp** oraz **Det A Temp** naciskając każdorazowo przycisk **On**.
6. Włączyć kontrolę sygnału detektora przyciskami **Sig 1**.

7. Zapalić palnik detektora (**FID**) naciskając na krótko przycisk „**Fid Ignitron**” (po lewej stronie płyty czołowej aparatu).
8. Sprawdzić czy palnik FID pali się umieszczając nad wylotem np. chłodne lustro.
9. Pozostawić aparat na czas ok. 20 minut w celu ustabilizowania się warunków pracy co jest sygnalizowane zgaśnięciem czerwonej diody „**Not Ready**”.

Uwaga: W sytuacji omyłkowego wprowadzenia wartości parametrów pracy aparatu podczas nastawiania, można je skasować przyciskiem przed ostatecznym zaakceptowaniem .

4.1.2 Wyłączenie aparatu HP 4890 GC

1. Po skończeniu analizy, wygrzać kolumnę w najwyższej temperaturze pracy (220 °C): nacisnąć → wprowadzić wartość 220 → zaakceptować , odczekać ~15 minut.
2. Wyłączyć grzanie dozownika i układu wylotowego kolumny (detektora) za pomocą przycisków oraz , naciskając każdorazowo przycisk .
3. Zaprogramować temperaturę pracy pieca na wartość 30 °C (po naciśnięciu przycisku wprowadzić z klawiatury panelu sterowania – klawisze ... podaną wartość i zaakceptować przyciskiem .
4. **Zakręcić zawór główny na butli z wodorem (manualnie).**
5. Kontrolować temperatury dozownika i detektora naciskając przyciski oraz , obserwując wskazania wyświetlacza.
6. Przy temperaturze dozownika i detektora powyżej 100 °C, wyłączyć kontrolę sygnału detektora przyciskiem jeśli ciśnienie wskazywane na manometrze głównym reduktora na butli z wodorem nie spadło jeszcze do zera.
7. Przy temperaturze dozownika i detektora około 80 °C, zakręcić powoli i do końca zawory główne na butlach: najpierw z powietrzem a następnie z heliem.
8. Wyłączyć grzanie pieca chromatografu, naciskając kolejno przyciski i .
9. Wyłączyć zasilanie aparatu i integratora (przełączniki do pozycji **OFF**).

4.2 Źródła zapłonu.

W poniżej tabeli poddano analizie wszystkie typy źródeł zapłonu, opisane w normie PN-EN 1127-1:2011. Dla każdego źródła zapłonu oszacowano prawdopodobieństwo jego uaktywnienia się.

Rodzaj źródła zapłonu	Potencjalne źródło zapłonu	Ocena możliwości uaktywnienia się potencjalnego źródła zapłonu	Określenie prawdopodobieństwa uaktywnienia się źródła zapłonu				
			Duże	Możliwe	Małe	B. Małe	Niemożliwe
Gorące powierzchnie	Przewody elektryczne i innego rodzaju osprzęt elektryczny w	Osprzęt elektryczny w wykonaniu zwykłym w zasięgu strefy zagrożenia wybuchem.		✓			

Rodzaj źródła zapłonu	Potencjalne źródło zapłonu	Ocena możliwości uaktywnienia się potencjalnego źródła zapłonu	Określenie prawdopodobieństwa uaktywnienia się źródła zapłonu				
			Duże	Możliwe	Małe	B. Małe	Niemożliwe
	tacy awaryjnej.						
	Aparatura badawcza	W pomieszczeniach laboratoriów. Mogą znajdować się w zasięgu wyznaczonej strefy zagrożenia wybuchem – aparatura w wykonaniu ATEX				✓	
Płomień i rozgrzane cząstki	Błąd ludzki, np. płomień zapalki (600÷700°C)	Na terenie obiektu obowiązują podstawowe wymagania ochrony przeciwpożarowej, w tym zakaz palenia i używania otwartego ognia.				✓	
	Błąd ludzki, np. żarzący się niedopałek papierosa (450÷660°C)					✓	
	Błąd ludzki np. płomień palnika gazowego spawalniczego (temp około 3000 °C) – prace pożarowo-niebezpieczne	Zgodnie z instrukcją bezpieczeństwa pożarowego, obowiązują pisemne zezwolenia na prowadzenie prac pożarowo-niebezpiecznych.				✓	
Iskry wytwarzane mechanicznie	Prace remontowo-konserwacyjne z użyciem narzędzi elektrycznych (szlifierki) i ręcznych (młotki, klucze, śrubokręty).	Zgodnie z instrukcją bezpieczeństwa pożarowego, obowiązują pisemne zezwolenia na prowadzenie prac remontowych w strefach zagrożonych wybuchem.				✓	
	Prace pożarowo-niebezpieczne.	Na terenie zakładu obowiązuje pozwolenie na wykonywanie prac pożarowo-niebezpiecznych – zgodnie z instrukcją bezpieczeństwa pożarowego.				✓	
	Ruchome elementy mechaniczne – łopatki wentylatora wyciągowego.	Wentylator wykonany w standardzie zgodnym z ATEX.				✓	
Urządzenia elektryczne	Przebieżenie, przegrzanie, przeskok iskry elektrycznej.	Osprzęt elektryczny (gniazda, lampy oświetleniowe) w wykonaniu zwykłym. Może znajdować się w zasięgu strefy zagrożenia wybuchem.	✓				
Wyładowania elektrostatyczne	Posadzka	W wykonaniu zwykłym		✓			
	Przewody elektryczne i innego rodzaju osprzęt elektryczny np. gniazda oświetlenie	Osprzęt elektryczny – lampy i gniazda zasilające mogą znajdować się w zasięgu stref zagrożenia wybuchem.		✓			

Rodzaj źródła zapłonu	Potencjalne źródło zapłonu	Ocena możliwości uaktywnienia się potencjalnego źródła zapłonu	Określenie prawdopodobieństwa uaktywnienia się źródła zapłonu				
			Duże	Możliwe	Małe	B. Małe	Nieemożliwe
	Kanały instalacji wyciągowej	Kanały wraz z wentylatorem są skutecznie uziemione - wg projektu. Instalacja w okresie gwarancji Wykonawcy				✓	
	Odzieży i obuwia antystatycznego	Studenci nie są wyposażeni w odzież i obuwie antystatyczne		✓			
Wyładowania elektrostatyczne	Wyładowanie na powierzchni węża doprowadzającego gaz do palnika	Przewody stosowane w zasilaniu urządzeń gazowych				✓	
Prądy błędzące	Awaria instalacji elektrycznej	instalacja technologiczna została poprawnie uziemiona i wyposażona w połączenia wyrównawcze wg informacji uzyskanej do Zamawiającego.				✓	
Uderzenie pioruna	Wyładowania elektrostatyczne	Skuteczność instalacji odgromowej została potwierdzona odpowiednim protokołem.				✓	
	Wyładowania elektrostatyczne	Zgodnie z informacją uzyskaną od Zamawiającego, obiekt – budynki „H” i „K” wyposażone są w instalację odgromową. Wykonywane są wymagane badania skuteczności oraz poprawności działania instalacji odgromowej.				✓	
Fale elektromagnetyczne o częstotliwości radiowej (RF)	Nie zidentyfikowano	---					✓
Fale elektromagnetyczne o częstotliwości od $3 \times 10^{11}\text{Hz}$ do $3 \times 10^{15}\text{Hz}$	Nie zidentyfikowano	---					✓
Promieniowanie jonizujące	nie zidentyfikowano	---					✓
Ultradźwięki	nie zidentyfikowano	---					✓
Sprężanie adiabatyczne	nie zidentyfikowano	---					✓
Reakcje egzotermiczne	nie zidentyfikowano	---					✓

5 Analiza właściwości stosowanych materiałów pod kątem możliwości utworzenia atmosfery wybuchowej

Zgodnie z Rozporządzeniem [3] przez atmosferę wybuchową należy rozumieć mieszaninę z powietrzem w warunkach atmosferycznych, substancji palnych w postaci gazów, par, mgieł lub pyłów, w której po wystąpieniu zapłonu, spalanie rozprzestrzenia się na całą niespaloną mieszaninę.

Na terenie uczelni – w budynkach „H” i „K” substancjami palnymi stwarzającymi zagrożenie wybuchem są wodór, acetylen, czysty metan oraz gaz sieciowy miejski (metan).

5.1 Gazy palne

Gazy palne mogą stworzyć atmosferę wybuchową w każdej temperaturze pod warunkiem, że w mieszaninie z powietrzem lub innymi gazami jest wystarczająca ilość tlenu lub innego utleniacza oraz stężenie palnego gazu mieści się pomiędzy dolną, a górną granicą wybuchowości. Gazami palnym stwarzającymi pożarowo-wybuchowe w analizowanym obiekcie są:

- **Gaz ziemny** - jest to złożona gazowa mieszanina węglowodorów składająca się głównie z metanu. W naturalnych warunkach gaz ziemny jest bezwonny, jednakże w celu jego szybkiej detekcji dla odbiorców jest on specjalnie nawaniany, przez co posiada charakterystyczny zapach. Jest gazem lżejszym od powietrza, przez co ma skłonność do unoszenia się i zalegania w górnych partiach pomieszczenia. Został sklasyfikowany jako gaz skrajnie łatwopalny, szkodliwy oraz niebezpieczny dla środowiska. W sprzyjających warunkach tworzy atmosfery wybuchowe z powietrzem.
- **Acetylen** - wysoce łatwopalny gaz wykorzystywany w procesach spawalniczych. Posiada charakterystyczny zapach przypominający czosnek, jest nieznacznie lżejszy od powietrza przez co może gromadzić się w górnych partiach zamkniętych przestrzeni. Ze względu na szeroki zakres wybuchowości z łatwością tworzy atmosfery wybuchowe w mieszaninie z powietrzem, ponadto może tworzyć atmosfery wybuchowe z innymi utleniaczami.
- **Wodór** - jest to skrajnie łatwopalny gaz, nie posiadający zapachu. Lżejszy od powietrza przez co może gromadzić się w górnych częściach zamkniętych przestrzeni. Z łatwością tworzy mieszaniny wybuchowe z powietrzem a także z innymi utleniaczami, takimi jak: chlorowce, utleniacze czy związki tlenowe. Może być stosowany jako atmosfera ochronna lub wspomagająca zachodzące procesy w przemyśle szklarskim, elektronicznym, chemicznym i energetyce. W przedmiotowym zakładzie wodór występuje w butli, w postaci sprężonej pod ciśnieniem 20MPa.

Właściwości niebezpieczne wodoru wg Załącznika H (informacyjnego) do IEC 60079-10-1 Atmosfery wybuchowe - Część 10-1: Klasyfikacja przestrzeni - Gazowe atmosfery wybuchowe

H.1 Zakres zapalności dla wodoru mieści się pomiędzy 4 % a 77 % objętościowych. Wodór jest również często spotykany w mieszaninach gazów palnych, takich jak strumienie procesów rafinacji. Dla mieszanin gazów, grupa gazowa powinna być rozważana jako IIC lub IIB+H₂, gdy mieszanina gazów zawiera 30 % objętościowych lub więcej wodoru, chyba że dostępne są inne konkretne dane. Klasa temperaturowa powinna zostać przyjęta jako najniższa temperatura samozapłonu dla gazów, których ilość w mieszaninie przekracza 3%.

H.2 Temperatura samozapłonu wodoru wynosi 560 °C. Chociaż do samozapłonu mieszaniny wodoru z powietrzem konieczne są bardzo wysokie temperatury, należy dołożyć starań, by zapewnić, że wycieki wodoru nie są narażone na żadne gorące powierzchnie.

H.3 Szybkość dyfuzji gazu wskutek wyporności jest proporcjonalna do jego gęstości względem powietrza. Wodór jest lżejszy niż powietrze, więc ulega gwałtownej dyfuzji z

tendencją do wznoszenia się. Jednak w miarę postępowania dyfuzji, średnia gęstość danej objętości będzie dążyć do gęstości powietrza. W miarę zmniejszania stężenia wodoru, tak że gęstość średnia jest bliska gęstości powietrza, małe stężenie wodoru będzie poruszać się wraz z powietrzem.

H.4 Uwalniania wodoru o dużej objętości będą prawdopodobnie gromadzić się w górnych partiach przestrzeni. Uwalnianie wodoru może tworzyć kieszenie gazu we wnękach, szczytach dachu i lukarnach, które są często słabo wentylowane. Odwrotnie, stosunkowo małe otwory w takich przestrzeniach będą pozwalały na ucieczkę wodoru i mogą być wystarczające do zapobiegania gromadzeniu się wodoru przy uwalnianiach małej objętości.

H.5 Uwalniania wodoru zazwyczaj skutkują utworzeniem kolumny strumieniowej w kierunku zgodnym z punktem uwalniania. Gdy pęd strumienia ulega rozproszeniu, kolumna przyjmie bardziej pionową formę i zazwyczaj ulegnie bezpiecznie rozproszeniu w dobrze wentylowanej przestrzeni.

H.6 Wyciek ciekłego wodoru, który zazwyczaj występuje przy ciśnieniu nasycenia 4 bar w pojemniku, może nagle wystawić kriogeniczną zawartość pojemnika na ciśnienie otoczenia. W takich warunkach znaczna część cieczy natychmiast ulegnie wrzeniu lub odparowaniu do kriogenicznych par, potencjalnie powodując rozlanie pozostałej zawartości. Ciekły wodór wrze w temperaturze 20 K przy ciśnieniu 1 atmosfery, a zawartość wystawiona na warunki otoczenia będzie posiadała wystarczającą ilość ciepła do gwałtownego parowania ciekłego wodoru. Narażona powierzchnia przekroju wycieku ciekłego wodoru wpływa na szybkość, z jaką zawartość odparowuje do par i ociepla się. Przy temperaturze wrzenia wodoru, zimne pary wodoru są cięższe niż powietrze, dopóki się nie ogrzeją. W miarę mieszania się zimnych par z powietrzem, powietrze może się ochłodzić poniżej punktu rosy, powodując kondensację i utworzenie widzialnej chmury. Po zatrzymaniu się nad gruntem i dostatecznym ogrzaniu, widzialna chmura par może przybrać formę kolumny podczas wznoszenia.

H.7 Fronty spalania obserwowane przy mieszaninach wodoru z powietrzem poruszają się trudniej, gdy wymuszony jest kierunek poziomy, a jeszcze trudniej w kierunku pionowym w dół.

Uwalnianie dużej ilości wodoru może utworzyć kolumnę, która cechuje się większym stężeniem wodoru w miarę zbliżania się do środka kolumny. Obszary mniejszego stężenia wodoru w mieszaninie z powietrzem potrzebują większej energii do zapłonu niż obszary o wyższym stężeniu bliżej środka kolumny. Poruszanie się i obecność pary wodnej w kolumnie również skutkują większą energią zapłonu w porównaniu do takiego samego składu mieszaniny, która jest sucha i nie porusza się.

Dlatego przy wznoszeniu się kolumny wodoru, zewnętrzne obszary kolumny (które prawdopodobnie mogą napotkać źródło zapłonu) są mniej narażone na zapłon w porównaniu do mieszanin niemal stechiometrycznych. Jeśli do zapłonu dojdzie w zewnętrznym obszarze kolumny, wyłącznie gaz w bezpośrednim sąsiedztwie źródła zapłonu będzie się spalał, a potencjał rozprzestrzeniania się płomieni lub deflagracji w chmurze będzie zmniejszony. Dlatego, normalne czynniki, które zazwyczaj wpływają na mieszanie (dyfuzja, wyporność, wiatr i turbulencje) w uwalnianiu nie będą powodować całkowitego spalania kolumny, chyba że jakiś proces gwałtownie miesza kolumnę wodoru do utworzenia mieszaniny niemal stechiometrycznej z powietrzem w chmurze.

H.8 Strategie łagodzenia uwalniań wodoru powinny rozważać zapewnienie szybkiego wznoszenia gazu do strefy wolnego powietrza z daleka od konstrukcji w celu wsparcia zapobiegania potencjalnym zapłonem podczas uwalniania. W sytuacjach wewnętrznych, można zapewnić dodatkową wentylację i/lub odpowiednią przestrzeń do rozrzedzenia i rozpraszania uwalniania. Gdy wykorzystuje się detekcję gazu jako środek kontrolny, czujki powinny być umieszczone nad punktami uwalniania i/lub w pobliżu sufitu, wentylatora wylotowego lub kanału wylotowego. Czujki powinny być regularnie kalibrowane, a jako gaz kalibracyjny powinien być używany wyłącznie wodór.

H.9 Gazowy wodór posiada szereg właściwości, stwarzających zagrożenie bezpieczeństwa oraz życia i zdrowia, które powinny zostać rozważone podczas instalacji obiektu.

Gazowy wodór posiada potencjał do powodowania niedoboru tlenu. Warunki zwiększonej zawartości wodoru w mieszaninie z powietrzem mogą być bezpieczne do oddychania przez krótkie okresy, ale atmosfera będzie znajdowała się powyżej dolnej granicy zapalności (DGZ), powodując utworzenie atmosfery potencjalnie wybuchowej.

Płomienie wodoru są bardzo trudne do zauważenia w świetle dziennym, chyba że występują w nim zanieczyszczenia. Ta właściwość, połączona z małą emisyjnością wydzielania promieniowania podczerwonego, czyni spalanie wodoru trudnym do zauważenia przed kontaktem fizycznym z płomieniem. Spalanie wodoru w powietrzu wytwarza również promieniowanie ultrafioletowe (UV), zdolne do wywierania efektu podobnego do nadmiernej ekspozycji na słońce. Bezpośrednie narażenie na płomienie wodoru powoduje natychmiastowe oparzenia.

Wodór jest bardzo łatwo zapalny po uwolnieniu i zazwyczaj należy spodziewać się, że dojdzie do zapłonu lub pożaru. Małe wycieki mogą zaistnieć i ulec zapłonowi, ale jednocześnie pozostać niezauważone do wejścia do przestrzeni personelu konserwującego. Kolumna wodoru, która ulegnie zapłonowi, gwałtownie przeniesie płomienie do źródła uwalniania. Z punktu widzenia kontroli zagrożeń, pożar wodoru ograniczony do źródła lub wycieku jest często lepszy niż rosnąca kolumna wodoru.

Gdy wiadomo, że wycieki wodoru mogą być problematyczne, np. przy bardzo wysokim ciśnieniu lub systemach o wysokiej temperaturze, należy rozważyć dodatkowe środki ochronne dla źródeł wycieku. Środki te mogą obejmować:

- Tarcze rozbijające do ograniczenia pędu strumienia i ułatwienia rozpraszania,
- Strumienie pary wokół źródła uwalniania w celu ochłodzenia uwalniań o wysokiej temperaturze, zwiększenia ilości pary wodnej w gazie i zmiany sposobu rozpraszania strumienia.

Spalanie chmury wodoru przebiegnie w całości w ciągu kilku sekund. Zgromadzona energia cieplna będzie niewystarczająca do zapalenia typowych materiałów konstrukcyjnych używanych w budynkach. Personel znajdujący się w pobliżu może doznać poważnych oparzeń, a bezpośrednio narażone ciecze zapalne również mogą ulec zapłonowi.

Wodór składowany pod wysokim ciśnieniem będzie zazwyczaj tworzył podczas uwalniania strumień. Jeśli ulegnie on zapłonowi, utworzy się głośny strumień prawie niewidzialnego płomienia, który byłby niezwykle groźny dla wszystkiego na jego drodze. W systemach pod wysokim ciśnieniem z łącznikami, o których wiadomo, że mogą przeciekać, należy rozważyć dodatkowe środki kontrolne.

5.2 Warunki wentylacji.

Warunki wentylacji dla poszczególnych pomieszczeń określa projekt, wg którego wykonana jest wentylacja mechaniczna: „Projekt wykonawczy instalacji wentylacji w budynku dydaktycznym H Wydziału Chemii Politechniki Rzeszowskiej w Rzeszowie”

Lokalizacja:

35-959 RZESZÓW,
AL. POWSTAŃCÓW WARSZAWY 6

Inwestor:

POLITECHNIKA RZESZOWSKA
Al. Powstańców Warszawy 12
35-959 Rzeszów

Jednostka projektowa:

EMB s.c. Ewa Być, Maciej Być
05 462 Wiązowna
Ul. Osiedle Parkowe 13 B

Wg powyższego projektu w okresie nieużytkowania sal wykładowych oraz laboratoriów wentylacja pracowała będzie z wydajnością odpowiednią dla zapewnienia 1,5 wymian

powietrza na godzinę (dla niektórych pomieszczeń wartość została zwiększona dla zapewnienia minimalnej wydajności regulatora).

Regulacja ilości dostarczonego do pomieszczeń powietrza realizowana będzie:

- dla układów NW14 i NW16 które obsługują wyłącznie po jednym pomieszczeniu do regulacji posłuży panel sterowniczy centrali umieszczony w danych pomieszczeniach: pomieszczenie 76 dla układu NW14 oraz pomieszczenie M9 dla układu NW16,
- dla pozostałych układów i pomieszczeń realizowana będzie z wykorzystaniem regulatorów VAV na kanale nawiewnym i wyciągowym z poszczególnych pomieszczeń (przewidziano po 1ym regulatorze na nawiewie i 1 na wyciągu) regulowanych ręcznie z obsługiwanych pomieszczeń między trybami pracy minimalnej $n=1,5$ a nominalnej. Regulatory w pomieszczeniach laboratoryjnych współpracowały będą z odciągami z dygestoriów dostosowując ilość powietrza na nawiewie i wyciągu do wymaganych wartości dzięki sterownikom pomieszczeniowym, sterownikom odciągów oraz modułom pomiarowym (w zależności od pomieszczeń) współpracującym z czujnikami różnicy ciśnień pomieszczenie / korytarz oraz sterownikom wpiętym w odciągi dygestoriów.

System wentylacji mechanicznej - sale laboratoryjne

tryb 1: w okresach nieużytkowania sal ilość powietrza wentylacyjnego wymienianą w pomieszczeniach określono na poziomie 1,5 wymiany na godzinę (lub inną ustaloną minimalną)

tryb 2: podczas korzystania z pomieszczeń przyjęto ilość powietrza uzależnioną od ilości osób w pomieszczeniach. Zmiana ilości powietrza nawiewanego i wywiewanego załączana jest ręcznie. Sterowanie regulatorami przez sterownik pomieszczeniowy. Sygnał ze sterownika ustawia przepustowość regulatorów VAV na kanałach nawiewnym i wyciągowym na nastawiony przepływ nominalny. Otwarcie regulatorów prowadzi do zwiększenia wydajności centrali wentylacyjnej pracującej w trybie utrzymania stałego ciśnienia w kanałach.

tryb 3: podczas zajęć, gdy wykorzystywane są dygestoria i załączone odciągi powietrza z dygestoriów wentylacja zapewnić ma dostarczenie do pomieszczenia odpowiednio większego strumienia powietrza oraz skorygowanie ilości powietrza wyciąganego z pomieszczenia przez instalację wentylacji ogólnej na podstawie sygnałów o załączeniu odciagu / kolejnych odciągów dostarczonych do sterownika pomieszczeniowego.

W zależności od ilości dygestoriów w pomieszczeniach będą one sterowane następująco:

- w pomieszczeniach do 2-ch dygestoriów będą one podłączone bezpośrednio do sterownika pomieszczeniowego na sztywno zaprogramowaną wydajność $700\text{dm}^3/\text{h}$ na każde dygestorium
- w pomieszczeniach z większą ilością dygestoriów (od 3 do 6) 2 dygestoria będą podpięte bezpośrednio do sterownika pomieszczeniowego (na stałej wydajności) natomiast pozostałe będą wyposażone w moduł pomiarowy na odciagu podłączony do sterownika dygestoriów (max 4 sztuki do jednego sterownika), który będzie współpracował ze sterownikiem pomieszczeniowym. Celem podziału jest obniżenie kosztu inwestycyjnego i uniknięcie stosowania regulatorów VAV EX,KO na odciągach dygestoriów.

Regulacja korygująca ilości powietrza dostarczanego do pomieszczenia odbywała się będzie z wykorzystaniem czujnika różnicy ciśnień podłączonego do regulatora pomieszczeniowego. Sterownik otwiera regulator VAV nawiewny jednocześnie zamykając

regulator VAV wywiewny by dostosować ilości powietrza zapewniając w pomieszczeniu zadane podciśnienie 15Pa względem ciśnienia na korytarzu. Regulator ciśnień zapobiegnie wystąpienia niepożądanych nad/podciśnień w pomieszczeniach wywołanych zaburzeniami przepływu powietrza. Wyłączenie wyciągu z dygestoriów powoduje automatyczny powrót do nominalnej ilości powietrza dla danego pomieszczenia.

Uwaga opracowującego dokument!

W całym obiekcie brak jest systemu detekcji par gazów współpracujących z systemem wentylacji.

6 Ocena zagrożenia wybuchem.

Ocena zagrożenia wybuchem określona w niniejszym punkcie dotyczy wszystkich pomieszczeń laboratoriów do których doprowadzona jest instalacja z cienkich rurek transportująca gazy palne tj. pomieszczenia: 218, 230, 82 w budynku „H” i pomieszczenie 22 w budynku „K”, dotyczy także pomieszczeń w których przechowywane są butle z gazami palnymi – w szczególności wodorem i acetylenem: pomieszczenie przy wyjściu z klatki schodowej (obok pomieszczenia 78) oraz metalowe szafy na gazy techniczne obok budynków „H” i „K”.

Dostarczany do pomieszczenia wodór używany jest do potrzeb laboratoryjnych. Butle z wodorem ustawione są bezpośrednio w pomieszczeniu (lub w pomieszczeniu przy wyjściu z klatki schodowej w parterze (obok pomieszczenia 78) względnie w metalowej szafie zewnętrznej. Butle posiadają stabilne posadowienie i zabezpieczenie ich przed upadkiem. Wodór i acetylen przesyłane są w szczególności do chromatografu ustawionego w pomieszczeniu poprzez instalację wykonaną z cienkich rurek, na której występują połączenia skręcane.

6.1 Wyznaczanie stref zagrożenia wybuchem w obrębie instalacji przesyłowej wodoru.

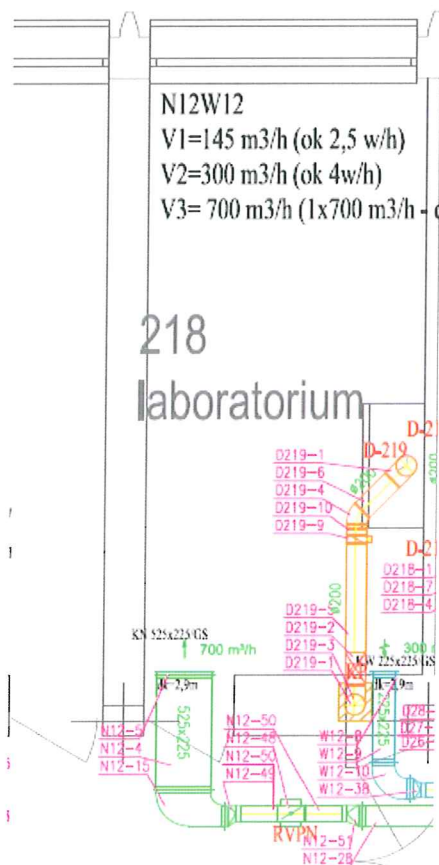
Podłączona do reduktora butla zawierająca wodór ustawiona jest w zamkniętym pomieszczeniu wspólnie z butlą acetyleny, alternatywnie umieszczona bezpośrednio w pomieszczeniu laboratorium. Butle z wodorem przechowuje się również w zewnętrznych metalowych szafach przy ścianach budynku. Wyznaczenia stref zagrożenia wybuchem od butli wodorowych dokonano w oparciu o normę: PN-EN 60079-10-1 Atmosfery wybuchowe – cz. 10.1 Urządzenia elektryczne w przestrzeniach zagrożonych wybuchem cz.10 Klasyfikacja przestrzeni zagrożonych wybuchem [5]. W normalnym trybie operacyjnym zagrożenie nie występuje. Zagrożenie może powstać w przypadku wystąpienia nieszczelności na zaworze butli wodorowej względnie na połączeniu rozłącznym wewnątrz pomieszczenia. Powyższe stanowi emisję drugiego stopnia.

Scenariusz awaryjny zakłada powstanie nieszczelności o powierzchni przekroju 0,25mm², wpływ medium do przestrzeni zamkniętej i utworzenie po wymieszaniu z powietrzem atmosfery wybuchowej.

Nieszczelność na zaworze butli oraz na połączeniach rozłącznych i reduktorach w pomieszczeniu laboratorium.

Pomieszczenia laboratoriów wyposażono w wentylację mechaniczną przyjmując dla każdego z pomieszczeń:

- Wartość ciśnienia w butli wynosi 20 MPa. Wartość ciśnienia wodoru i acetyleny po redukcji wynosi zwykle około 6 bar (0,6MPa). Do obliczeń uwzględniono pomieszczenie laboratorium, w którym przechowywane są butle – w tym butla z wodorem – pomieszczenie Nr 218.



Wyznaczenia stref zagrożenia wybuchem od połączeń rozłącznych, poprzez które wodór doprowadzany jest do chromatografu dokonano w oparciu o normę [5]. Zagrożenie może powstać w wyniku wystąpienia nieszczelności na połączeniu rozłącznym instalacji (np. reduktor gazowy, połączenia skręcane). Powyższe stanowi emisję drugiego stopnia [5]. Scenariusz awaryjny zakłada powstanie nieszczelności o powierzchni przekroju $0,25\text{mm}^2$, wypływ gazu pod ciśnieniem do przestrzeni pomieszczenia i utworzenie w mieszaninie z powietrzem atmosfery wybuchowej. W przypadku przestrzeni zamkniętych, analiza jest oparta na zakładanej minimalnej prędkości powietrza wentylującego wynoszącej $0,05\text{m/s}$, która występuje praktycznie w każdej lokalizacji.

$$W_g = C_d \cdot S \cdot p \cdot \sqrt{\frac{M}{Z \cdot R \cdot T}} \cdot \frac{2 \cdot \gamma}{\gamma - 1} \cdot \left[1 - \left(\frac{p_a}{p} \right)^{\frac{\gamma - 1}{\gamma}} \right] \cdot \left(\frac{p_a}{p} \right)^{\frac{1}{\gamma}} - \text{strumień emisji dla wypływu podkrytycznego}$$

$$W_g = C_d \cdot S \cdot p \cdot \sqrt{\gamma \cdot \frac{M}{Z \cdot R \cdot T}} \cdot \left(\frac{2}{\gamma+1}\right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma-1}} - \text{strumień emisji dla wypływu krytycznego}$$

O tym, czy mamy do czynienia z wpływem krytycznym czy podkrytycznym decyduje porównanie ciśnienia panującego wewnątrz aparatu/rurociągu (p) z ciśnieniem krytycznym (p_c), określanym według wzoru:

$$p_c = p_a \cdot \left(\frac{\gamma + 1}{2}\right)^{\frac{\gamma}{\gamma - 1}}$$

Dla $p > p_c$ – wpływ krytyczny

Dla $p \leq p_c$ – wpływ podkrytyczny

Wartości współczynnika wypływu i powierzchnia wypływu (nieszczelności) zostały przyjęte wg zaleceń normy.

Kolejnym krokiem, przy wyznaczaniu stref zagrożenia wybuchem, jest oszacowanie stopnia rozrzedzenia atmosfery wybuchowej. Parametr ten jest odczytywany z wykresu i zależy od charakterystyki wycieku substancji palnej oraz od prędkości przepływu świeżego powietrza nad źródłem emisji.

$\frac{W_g}{\rho_g \cdot k \cdot DWG}$ – charakterystyka wycieku [m^3/s] gdzie:

k – współczynnik bezpieczeństwa przypisany do DGW (równy 1)

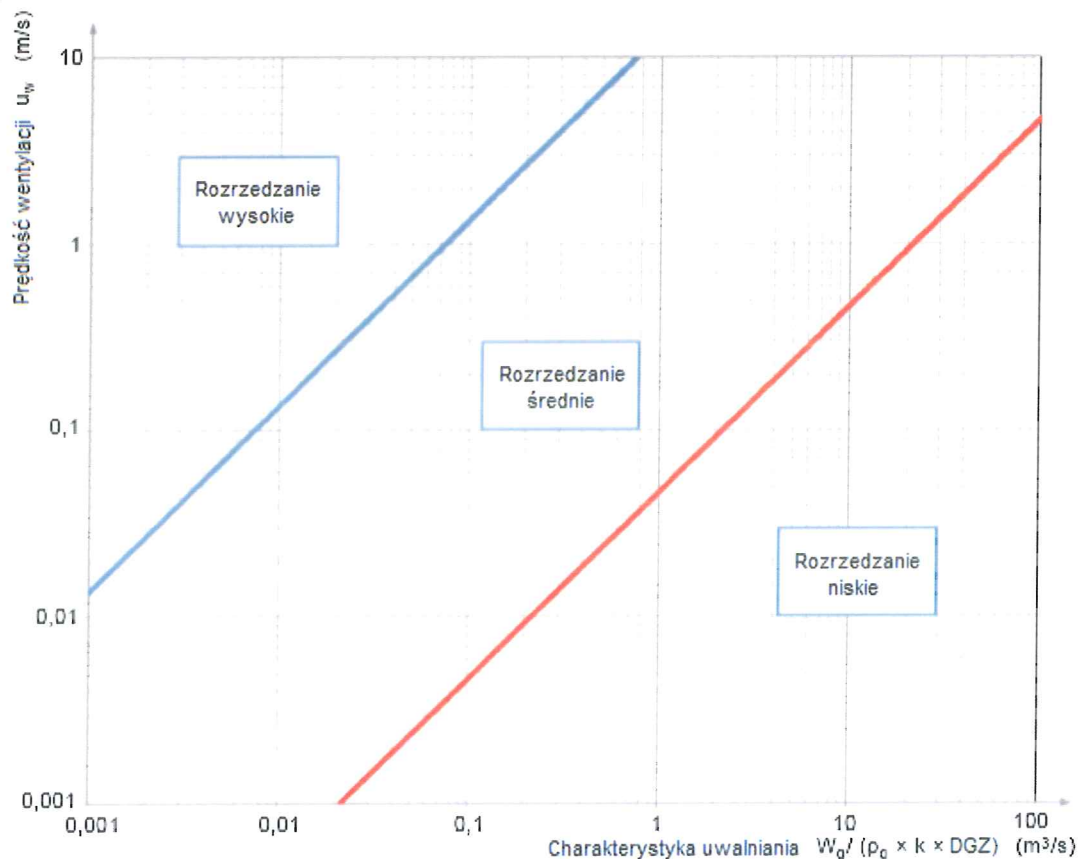
ρ_g – gęstość gazu w warunkach otoczenia [kg/m^3]

$$\frac{W_g}{\rho_g \cdot k \cdot DWG} = 0,083 \text{ [m}^3/\text{s]}$$

Szacunkowa prędkość przepływu powietrza niezbędna dla oszacowania stopnia rozcieńczenia emisji par lżejszych od powietrza w przestrzeniach przyjęto zgodnie z normą PN-EN 60079-10-1 0,05 m/s.

Wg wykresu zawartym w punkcie C.3.5 Ocena stopnia rozrzedzania normy [5]

Stopień rozrzedzania może być oceniony przy użyciu wykresu na Rysunku C.1:



Rysunek C.1 - Wykres do oceniania stopnia rozrzedzania

Gdzie

$$\frac{W_g}{\rho_g k DGZ}$$

$$\rho_g = \frac{p_a M}{R T_a}$$

k

jest charakterystyką uwalniania w (m³/s);

jest gęstością gazu/par (kg/m³);

jest współczynnikiem bezpieczeństwa przypisanym do DGZ, zazwyczaj pomiędzy 0,5 i 1,0

Rysunek C.1 jest oparty na początkowym stężeniu tła równym zero.

Obliczenia:

Substancja łatwopalna

Masa molowa

Dolna granica wybuchowości, LFL

Temperatura samozapłonu, AIT

Gęstość gazu,

Stopień emisji

wodór

2g/mol

4% obj. (0,04 obj./obj.)

580°C

0,083 kg/m³

Drugi (emisja wtórna - rozszczelnienie na połączeniu rozłącznym)

ciśnienie w butli

ciśnienie w przewodzie (po redukcji)

20 Mpa

0,6 Mpa

		butla z wodorem	rurociąg
M - masa molowa substancji	[kg/kmol]	2	2
cp - ciepło właściwe pod stałym ciśnieniem	[J/kg*K]	1419	1419
R - uniwersalna stała gazowa	[J/kmol*K]	8314	8314
γ - wykładnik politropy	[-]	1,410	1,410
p_a - ciśnienie atmosferyczne	[Pa]	101325	101326
p_c - ciśnienie krytyczne	[Pa]	20000000,00	600,00
p - ciśnienie wew. w zbiorniku, pojemniku, instalacji	[bar]	200	6
	[Pa]	20000000	600000
różnica ciśnień - uwolnienie subsoniczne lub soniczne	uwolnienie subsoniczne		
Cd - współczynnik wypływu	[-]	0,75	0,75
S - powierzchnia wypływu	[mm ²]	0,25	0,25
Z - współczynnik ściśliwości	[-]	1	1
T - temperatura bezwzględna płynu, cieczy	[K]	293,15	273,15
W_g - uwolnienie subsoniczne/podkrytycznym	[kg/s]	0,00019	0,00005
W_g - uwolnienie soniczne/krytyczne	[kg/s]	0,002332	0,000072
k - współczynnik bezpieczeństwa	[-]	0,7	0,7
p_a - ciśnienie atmosferyczne	[Pa]	101325	101325
M - masa molowa oparów cieczy	[kg/kmol]	2	2
T_a - temperatura bezwzględna otoczenia	[K]	293,15	293,15
R - uniwersalna stała gazowa	[J/kmol*K]	8314	8314
ρ_g - gęstość cieczy/gazu	[kg/m ³]	0,083	0,083
DGZ - dolna granica zapalności	[obj/obj]	0,01	1,01
charakterystyka uwolnienia	[m ³ /s]	0,080	0,000001

Wydajność emisji, W_g - butla

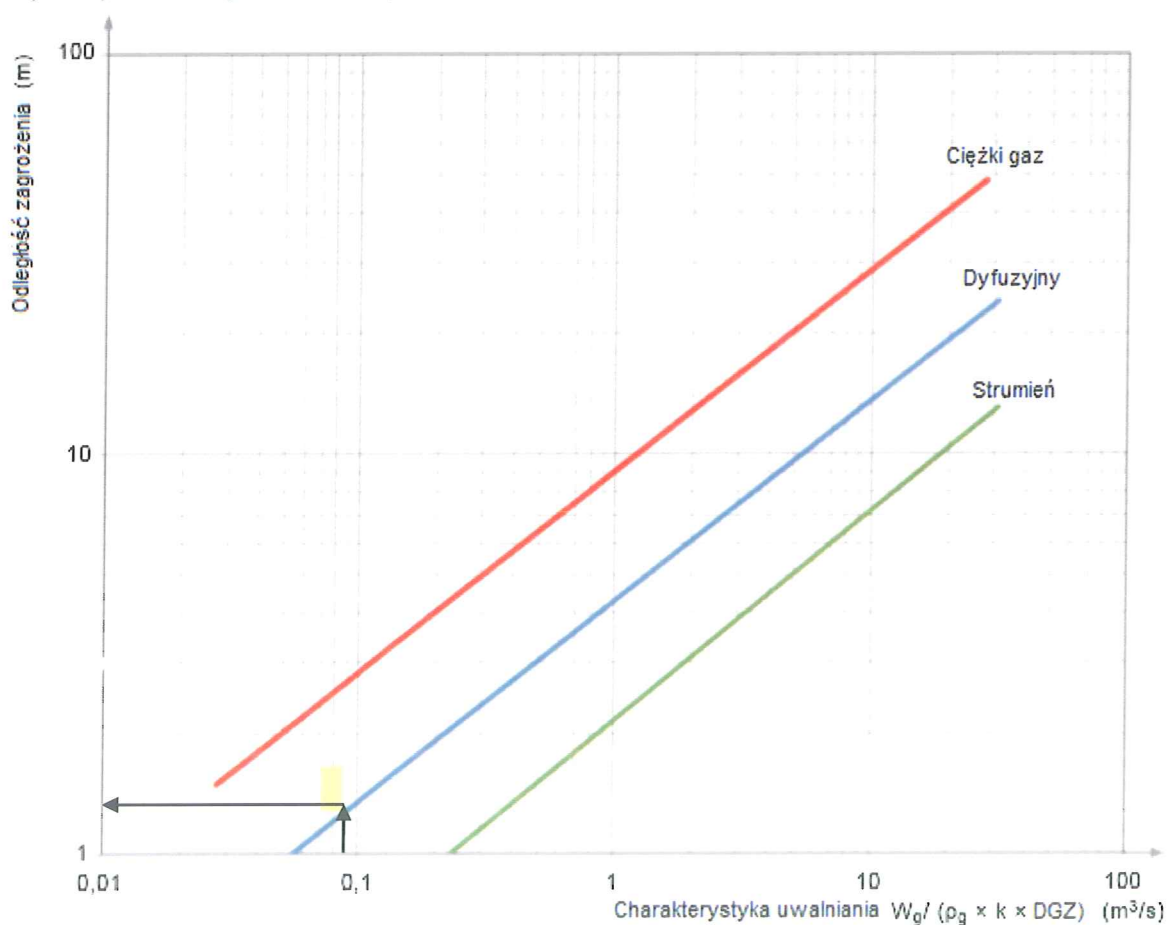
0,00019kg/s wartość ustalona z uwzględnieniem ciśnienia $p=20$ MPa, temperatury $T= 20^{\circ}\text{C}$, powierzchni otworu $s= 0,25\text{mm}^2$, współczynnika ściskania $Z=1$, wykładnika politropy dla adiabatycznego rozprężania $\gamma=1,41$, współczynnika wypływu $C_d=0,75$

Wydajność emisji, W_g - instalacja

0,00005kg/s wartość ustalona z uwzględnieniem ciśnienia $p=0,6$ MPa, temperatury $T= 20^{\circ}\text{C}$, powierzchni otworu $s= 0,25\text{mm}^2$, współczynnika ściskania $Z=1$, wykładnika politropy dla adiabatycznego rozprężania $\gamma=1,41$, współczynnika wypływu $C_d=0,75$

Współczynnik bezpieczeństwa, k

1



Rysunek D.1 - Wykres do szacowania odległości przestrzeni zagrożenia

Charakterystyka lokalizacji:

- Przestrzeń zamknięta
- Ciśnienie otoczenia, 101325 Pa
- Temperatura otoczenia, $T= 20^{\circ}\text{C}$
- Prędkość wentylacji, 0,05m/s
- Dyspozycyjność wentylacji dobra (pomieszczenie zamknięte z wentylacją mechaniczną)
- Charakterystyka uwolnienia – 0,080m³/s
- **Skutki emisji:**
- Stopień rozcieńczenia średni

- | | |
|--|-----------------|
| - Rodzaj strefy | strefa 2 |
| - Zasięg strefy | R=0,4 m |
| - Grupa urządzeń i klasa temperaturowa | IIC, T1 |

Na podstawie obliczeń i analizy warunków lokalnych, wyznaczona zostaje **strefa 2** zagrożenia wybuchem w promieniu **R=0,8 m (zwiększenie o margines bezpieczeństwa)** od reduktorów i połączeń rozłącznych na instalacji wodoru w pomieszczeniu laboratorium.

Dodatkowo, wyznaczona zostaje:

- **Strefa 2** zagrożenia wybuchem **wewnątrz kanałów wyprowadzających powietrze z pomieszczenia i w promieniu R=1m od wyrzutu powietrza** poza pomieszczeniem.

6.2 Kwalifikacja laboratorium do pomieszczeń zagrożonych wybuchem – nieszczelność butli

Przyrost ciśnienia w pomieszczeniu DP (w Pa), spowodowany przez wybuch z udziałem jednorodnych palnych gazów lub par o cząsteczkach zbudowanych z atomów węgla, wodoru, tlenu, azotu i chlorowców, określany jest za pomocą równania:

$$\Delta P = \frac{m_{\max} \cdot \Delta P_{\max} \cdot W}{V \cdot C_{st} \cdot p} \quad [1]$$

gdzie:

m_{\max} — maksymalna masa substancji palnych, tworzących mieszaninę wybuchową, jaka może wydzielć się w rozpatrywanym pomieszczeniu (kg);

ΔP_{\max} — maksymalny przyrost ciśnienia przy wybuchu stechiometrycznej mieszaniny gazowo- lub parowo-powietrznej w zamkniętej komorze (Pa);

W — współczynnik przebiegu reakcji wybuchu, uwzględniający niehermetyczność pomieszczenia, nieadiabatyczność reakcji wybuchu, a także fakt udziału w reakcji niecałej ilości palnych gazów i par, jaka wydzieliliby się w pomieszczeniu — równy 0,17 dla palnych gazów i 0,1 dla palnych par;

V — objętość przestrzeni powietrznej pomieszczenia, stanowiąca różnicę między objętością pomieszczenia i objętością znajdujących się w nim instalacji, sprzętu, zamkniętych opakowań itp. (m³);

C_{st} — objętościowe stężenie stechiometryczne palnych gazów lub par:

$$C_{st} = \frac{1}{1 + 4,84 \cdot \beta} \quad [2]$$

C_{st} — stechiometryczny współczynnik tlenu w reakcji wybuchu:

$$\beta = n_c + \frac{n_H - n_{Cl}}{4} - \frac{n_O}{2} \quad [3]$$

n_c , n_H , n_{Cl} , n_O — odpowiednio ilości atomów węgla, wodoru, chlorowców i tlenu w cząsteczce gazu lub pary;

p — gęstość palnych gazów lub par w temperaturze pomieszczenia w normalnych warunkach pracy (kg · m⁻³).

W przypadku występowania w pomieszczeniu uruchamianej samoczynnie wentylacji awaryjnej, przy określaniu m_{\max} dla palnych gazów lub par dopuszcza się uwzględnianie jej działania, jeżeli odciąg powietrza znajdują się w pobliżu miejsca przewidywanego wydzielania się gazów lub par. Przyjmowaną do obliczenia ΔP maksymalną masę substancji palnych można wtedy zmniejszyć „k” razy, przy czym:

$$K = 1 + n \times \tau$$

gdzie:

- n – ilość wymian powietrza w pomieszczeniu przy działaniu wentylacji awaryjnej (s^{-1});
- τ – przewidywany czas wydzielania gazów lub par (s).

Zakłada się, że pracujące wentylatory zapewniają 4 wymiany powietrza w ciągu jednej godziny.

$$K = 1 + 4 \times 1 = 5$$

Całkowita masa substancji lotnych wydzielonych potencjalnie przez założoną nieszczelność z butli do pomieszczenia pracowni w ciągu jednej godziny wynosi:

$$0,00019 \text{ kg/s} \times 3600 \text{ s} = m_{\max} \leq 0,684 \text{ kg}$$

$$\text{Po uwzględnieniu warunków wentylacji: } m_{\max} = 0,684 \text{ kg} / 5 = 0,137 \text{ kg}$$

- Całkowita masa substancji lotnych przy działającej wentylacji mechanicznej zapewniającej 4 wymiany powietrza w ciągu jednej godziny: $m_{\max} = 0,137 \text{ kg}$;
- Kubatura pomieszczenia: $V = 50 \text{ m}^3$

$$\Delta P = 1,28 \text{ kPa} < P_{\text{dop}} = 5 \text{ kPa}$$

Wobec powyższego pomieszczenie laboratorium, w którym umieszczono butlę z wodorem i sprawnie działającą wentylacją zapewniającą czterokrotną wymianę powietrza w ciągu godziny nie jest zagrożone wybuchem.

6.3 Kwalifikacja laboratorium do pomieszczeń zagrożonych wybuchem – nieszczelność na instalacji przesyłowej wodoru

Przyrost ciśnienia w pomieszczeniu DP (w Pa), spowodowany przez wybuch z udziałem jednorodnych palnych gazów lub par o cząsteczkach zbudowanych z atomów węgla, wodoru, tlenu, azotu i chlorowców, określany jest za pomocą równania:

$$\Delta P = \frac{m_{\max} \cdot \Delta P_{\max} \cdot W}{V \cdot C_{\text{st}} \cdot p} \quad [1]$$

gdzie:

m_{\max} — maksymalna masa substancji palnych, tworzących mieszaninę wybuchową, jaka może wydzielć się w rozpatrywanym pomieszczeniu (kg);

ΔP_{\max} — maksymalny przyrost ciśnienia przy wybuchu stechiometrycznej mieszaniny gazowo- lub parowo-powietrznej w zamkniętej komorze (Pa);

W — współczynnik przebiegu reakcji wybuchu, uwzględniający niehermetyczność pomieszczenia, nieadiabatyczność reakcji wybuchu, a także fakt udziału w reakcji niecałej ilości palnych gazów i par, jaka wydzieliliby się w pomieszczeniu — równy 0,17 dla palnych gazów i 0,1 dla palnych par;

V — objętość przestrzeni powietrznej pomieszczenia, stanowiąca różnicę między objętością pomieszczenia i objętością znajdujących się w nim instalacji, sprzętu, zamkniętych opakowań itp. (m^3);

C_{st} — objętościowe stężenie stechiometryczne palnych gazów lub par:

$$C_{\text{st}} = \frac{1}{1 + 4,84 \cdot \beta} \quad [2]$$

C_{st} — stechiometryczny współczynnik tlenu w reakcji wybuchu:

$$\beta = n_c + \frac{n_H - n_{Cl}}{4} - \frac{n_O}{2} \quad [3]$$

n_C, n_H, n_{Cl}, n_O — odpowiednio ilości atomów węgla, wodoru, chlorowców i tlenu w cząsteczce gazu lub pary;

ρ — gęstość palnych gazów lub par w temperaturze pomieszczenia w normalnych warunkach pracy ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$).

W przypadku występowania w pomieszczeniu uruchamianej samoczynnie wentylacji awaryjnej, przy określaniu m_{\max} dla palnych gazów lub par dopuszcza się uwzględnianie jej działania, jeżeli odciągi powietrza znajdują się w pobliżu miejsca przewidywanego wydzielania się gazów lub par. Przyjmowaną do obliczenia ΔP maksymalną masę substancji palnych można wtedy zmniejszyć „k” razy, przy czym:

$$K = 1 + n \times \tau$$

gdzie:

- n — ilość wymian powietrza w pomieszczeniu przy działaniu wentylacji awaryjnej (s^{-1});
 τ — przewidywany czas wydzielania gazów lub par (s).

Zakłada się, że pracujące wentylatory zapewniają 4 wymiany powietrza w ciągu jednej godziny.

$$K = 1 + 4 \times 1 = 5$$

Całkowita masa substancji lotnych wydzielonych potencjalnie przez założoną nieszczelność z butli do pomieszczenia pracowni w ciągu jednej godziny wynosi:

$$0,00005 \text{ kg/s} \times 3600 \text{ s} = m_{\max} \leq 0,18 \text{ kg}$$

$$\text{Po uwzględnieniu warunków wentylacji: } m_{\max} = 0,18 \text{ kg}/5 = 0,036 \text{ kg}$$

- Całkowita masa substancji lotnych przy działającej wentylacji mechanicznej zapewniającej 4 wymiany powietrza w ciągu jednej godziny: $m_{\max} = 0,036 \text{ kg}$;
- Kubatura pomieszczenia: $V = 50 \text{ m}^3$

$$\Delta P = 0,17 \text{ kPa} < P_{\text{dop}} = 5 \text{ kPa}$$

Wobec powyższego pomieszczenie laboratorium, w którym znajduje się instalacja rurowa z połączeniami rozłącznymi z wodorem nie jest zagrożone wybuchem.

6.4 Wnioski z dokonanych obliczeń.

- 1) Żadne z pomieszczeń w których przechowuje się butle z palnymi gazami oraz do których doprowadzona jest instalacja z tymi gazami (odcinki po zaworach redukcyjnych) nie jest zagrożone wybuchem.
- 2) Nie przeprowadza się obliczeń dla pomieszczenia, w którym przechowuje się butle z wodorem i acetylenem – w pomieszczeniu brak jest wentylacji (jakiegokolwiek – nawet naturalnej) – pomieszczenie zagrożone wybuchem.

6.5 Obliczenia zasięgu stref zagrożonych wybuchem dla połączeń rozłącznych instalacji gazu sieciowego zlokalizowanych w pomieszczeniu z wentylacją kategorii A

W zależności od ciśnienia roboczego promień strefy zagrożenia wybuchem R oblicza się ze wzoru:

$$\begin{aligned} \text{dla } p_r < 0,05 \text{ MPa } R &= 0,86 \times F^{0,55} \times p^{0,275} \\ \text{dla } p_r > 0,1 \text{ MPa } R &= 1,3 \times F^{0,55} \times (p_r + 0,1)^{0,55} \\ \text{dla } 0,05 < p_r < 0,1 \text{ MPa } R &\text{ należy interpolować liniowo} \end{aligned}$$

Ciśnienie robocze
 Promień strefy
**W pomieszczeniach z wentylacją kategorii A
 zasięg strefy zwiększa się dwukrotnie**

Pr= 0,025 [MPa]
R= 0,15 [m]

R= 0,3 [m]

7 Klasyfikacja stref zagrożenia wybuchem

Lp.	Opis/lokalizacja	Usytuowanie	Rodzaj zagrożenia	Rodzaj strefy	Zasięg strefy m			Odniesienie
					poziomy	pionowy		
						W górę	W dół	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.	Pomieszczenie z butlą z gazem palnym* – wodorem, acetylenem.	Butle zlokalizowane przy ścianie magazynu, laboratorium	Mieszanina gazu palnego (wodór) z powietrzem	2	R=0,8 m – emisja kontrolowana			od zaworu butli wodorowej
					przy emisji niekontrolowanej – całe pomieszczenie			
2.	Połączenia rozłączne na instalacji przesyłowej w pomieszczeniu laboratorium** Nieszczelność na połączeniu rozłącznym instalacji.	Instalacja przesyłowa wodoru w przestrzeniach zamkniętych	Mieszanina gazu palnego (stosowanego w badaniu) z powietrzem	2	R=0,15 m			od połączeń rozłącznych na instalacji
3.	Połączenia rozłączne i reduktory na instalacji wodoru. Nieszczelność na połączeniu rozłącznym instalacji.	Instalacja przesyłowa wodoru w pomieszczeniu laboratorium	Mieszanina gazu palnego (wodór) z powietrzem	2	R=0,8 m – emisja kontrolowana			od reduktorów i połączeń rozłącznych na instalacji
4.	Kanały wyprowadzające powietrze zanieczyszczone gazem palnym z przestrzeni laboratorium.	Laboratorium	Mieszanina gazu palnego (stosowanego w badaniu) z powietrzem	2	wewnątrz kanałów wyprowadzających powietrze			
		Laboratorium			w promieniu R=1m			od wyrzutu powietrza poza pomieszczeniem
5.	Połączenia rozłączne na instalacji gazu ziemnego.	W otwartej przestrzeni	Mieszanina gazu palnego (gaz sieciowy) z powietrzem	2	R=0,15m			od połączeń rozłącznych w otwartej przestrzeni
6.	Magazyn gazów technicznych w butlach – lokalizacja w szafach metalowych na zewnątrz.	Magazyn gazów technicznych – szafy gazowe wewnątrz i na zewnątrz	Mieszanina gazu palnego (przechowywany w szafie) z powietrzem	2	wewnątrz magazynu			
7.	Połączenia rozłączne na instalacji gazu ziemnego – sieciowego*** w przestrzeniach zamkniętych.	Przestrzeń pomieszczeń do których doprowadzono gaz	Mieszanina gazu palnego (gaz sieciowy) z powietrzem	2	R=0,3m			od połączeń rozłącznych w przestrzeni laboratorium

* - dotyczy pomieszczeń: pomieszczenie 218, pomieszczenie 82, pomieszczenie: magazyn wodoru i acetyleny przy wyjściu z klatki schodowej

** - dotyczy wszystkich pomieszczeń w których przebiega instalacja rurowa i jednocześnie występuje na instalacji połączenie rozłączne

*** - w każdym pomieszczeniu, do którego doprowadzono gaz i jednocześnie występuje połączenie rozłączne

8 Załącznik Nr 1 – parametry fizykochemiczne palnych gazów.

Tabela 1: Wykaz i charakterystyki materiałów łatwopalnych														
Nr	Materiał palny		Temp. zapłonu °C	Granice wybuchowości % obj.			Lotność			Wykładnik politropy dla rozprężania adiabat.	Gęstość wzgl. Gaz/pow.	Temp. samozapłonu. °C	Grupa wybuchowości	Klasa temp.
	Nazwa	Skład		DGW	GGW	Prężność pary kPa	Temp. topnienia °C	Temp. wrzenia °C						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
1	Gaz ziemny	Metan >97,2% Węglowodory wyższe <2% Azot <0,83% Dwutlenek węgla <0,065%	-188	4,9	15	-	-182,5	-161,5	-	0,66	650	IIA	T1	
2	Acetylen	-	-	2,3	82	-	-81,1	-84	-	0,9	325	IIC	T2	
3	Wodór	-	-	4	77	-	-259,2	-253	-	0,07	560	IIC	T1	

9 Załącznik Nr 2 – wykaz źródeł emisji – zasięg występowania stref zagrożonych wybuchem.

Źródło emisji		Materiał palny				Wentylacja		Strefa zagrożenia							
Lp.	Opis	Usytuowanie	Stopień emisji 1)	Odniesienie2)	Temperatura i ciśnienie pracy		Stan3)	Rodzaj 4)	Stopień	Dyspozycyjność	Rodzaj strefy	Zasięg strefy m			Odniesie nie
					° C	MPa						poziomy	W górę	W dół	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Gazy palne															
1.	Butle wodorowe. Nieszczelność na zaworze butli.	Butle zlokalizowane przy ścianie laboratorium w otwartej przestrzeni	S	3	otoczenia	20	G	N	średni	dobra	2	R=0,8m – emisja kontrolowana			od zaworu butli wodorowej
												przy emisji niekontrolowanej – całe pomieszczenie			
2.	Połączenia rozłączne na instalacji przesyłowej do laboratorium. Nieszczelność na połączeniu rozłącznym instalacji.	Instalacja przesyłowa wodoru w przestrzeniach zamkniętych	S	3	otoczenia	20	G	N	średni	wystarczająca	2	R=0,15m			od połączeń rozłącznych na instalacji

Źródło emisji		Materiał palny				Wentylacja			Strefa zagrożenia							
Lp.	Opis	Usytuowanie	Stopień emisji 3)	Odniesienie2)	Temperatura i ciśnienie pracy		Stan3)	Rodzaj 4)	Stopień	Dyspozycyjność	Rodzaj strefy	Zasięg strefy m			Odniesie nie	
					° C	MPa						poziomy	W górę	W dół		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
Gazy palne																
3.	Połączenia rozłączne i reduktory na instalacji wodoru. Nieszczelność na połączeniu rozłącznym instalacji.	Instalacja przesyłowa wodoru w pomieszczeniu laboratorium	S	3			0,6	G	M	wysoki	dobra	2	R=0,8m		od reduktorów i połączeń rozłącznych na instalacji	
		Laboratorium														
4.	Kanały doprowadzające powietrze zanieczyszczone gazem palnym z przestrzeni laboratorium.	Laboratorium	S	3			otoczenia	G	M	wysoki	dobra	2	wewnątrz kanałów doprowadzających powietrze w promieniu R=1m		od wyrzutu powietrza poza pomieszczeniem	
		Laboratorium							N	średni	dobra				od połączeń rozłącznych w otwartej przestrzeni	
5.	Połączenia rozłączne na instalacji gazu ziemnego.	W otwartej przestrzeni	S	1			otoczenia	G	N	średni	dobra	2	R=0,15m		od połączeń rozłącznych w otwartej przestrzeni	
6.	Magazyn gazów technicznych w butlach. Nieszczelność na zaworze butli.	Magazyn gazów technicznych – szafy gazowe wewnątrz i na zewnątrz	S	2 3			1,9 20	G	N	średni	dobra	2	wewnątrz magazynu			
7.	Połączenia rozłączne na instalacji gazu ziemnego w przestrzeniach zamkniętych.	Przestrzeń w pomieszczeniu laboratorium	S	1			0,025	G	N	średni	dobra	2	R=0,3m		od połączeń rozłącznych w przestrzeni kotłowni	
8.	Szafki gazowe. Nieszczelność na połączeniach rozłącznych wewnątrz szafki.	Szafka gazowa przyłącza gazu	S	1			otoczenia	G	N	niski	słaba	2	wewnątrz szafek w odległości 0,5m		od zewnętrznych gabarytów	

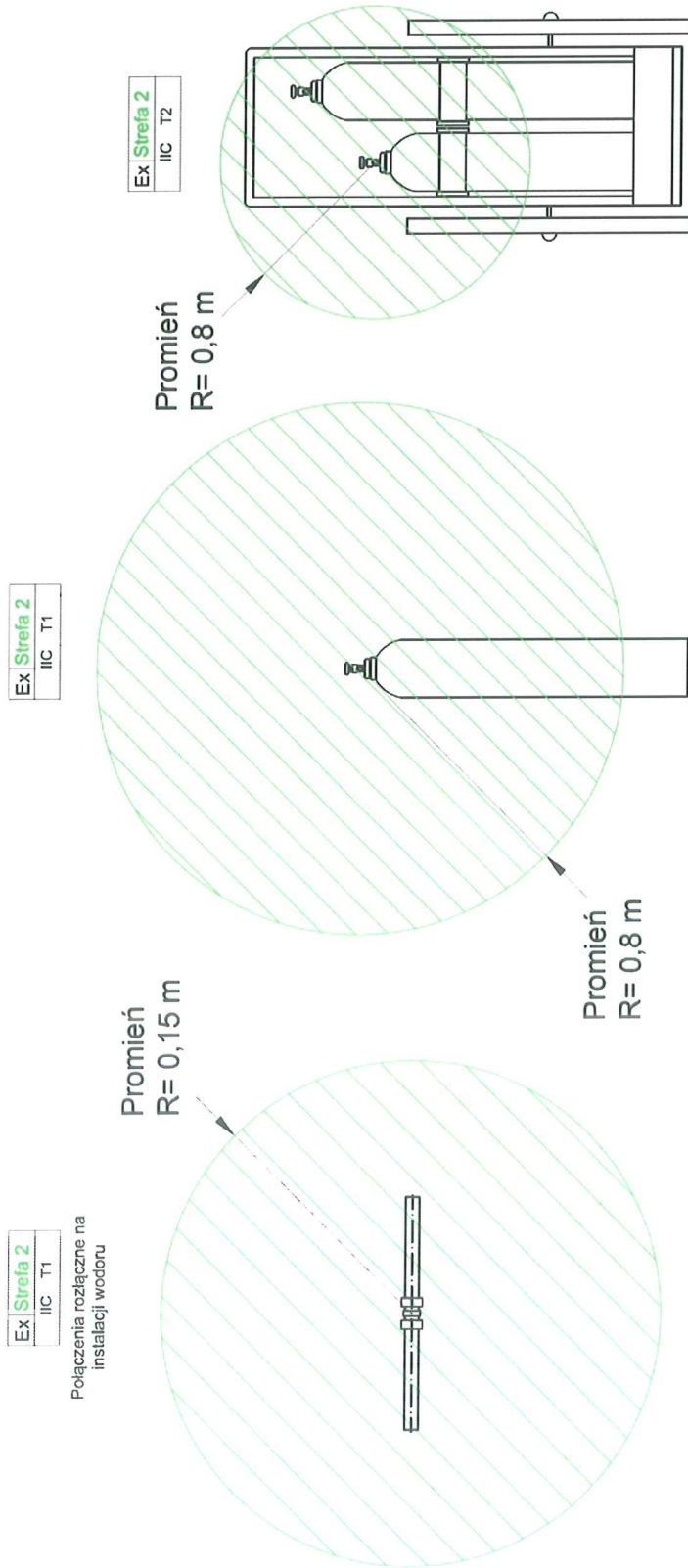
¹⁾C - ciągła; P - pierwszy; S - drugi;

²⁾ Powołanie na numery z Tabeli 1;

³⁾G - Gaz; L - ciecz, LG - ciekły gaz; S - ciało stałe;

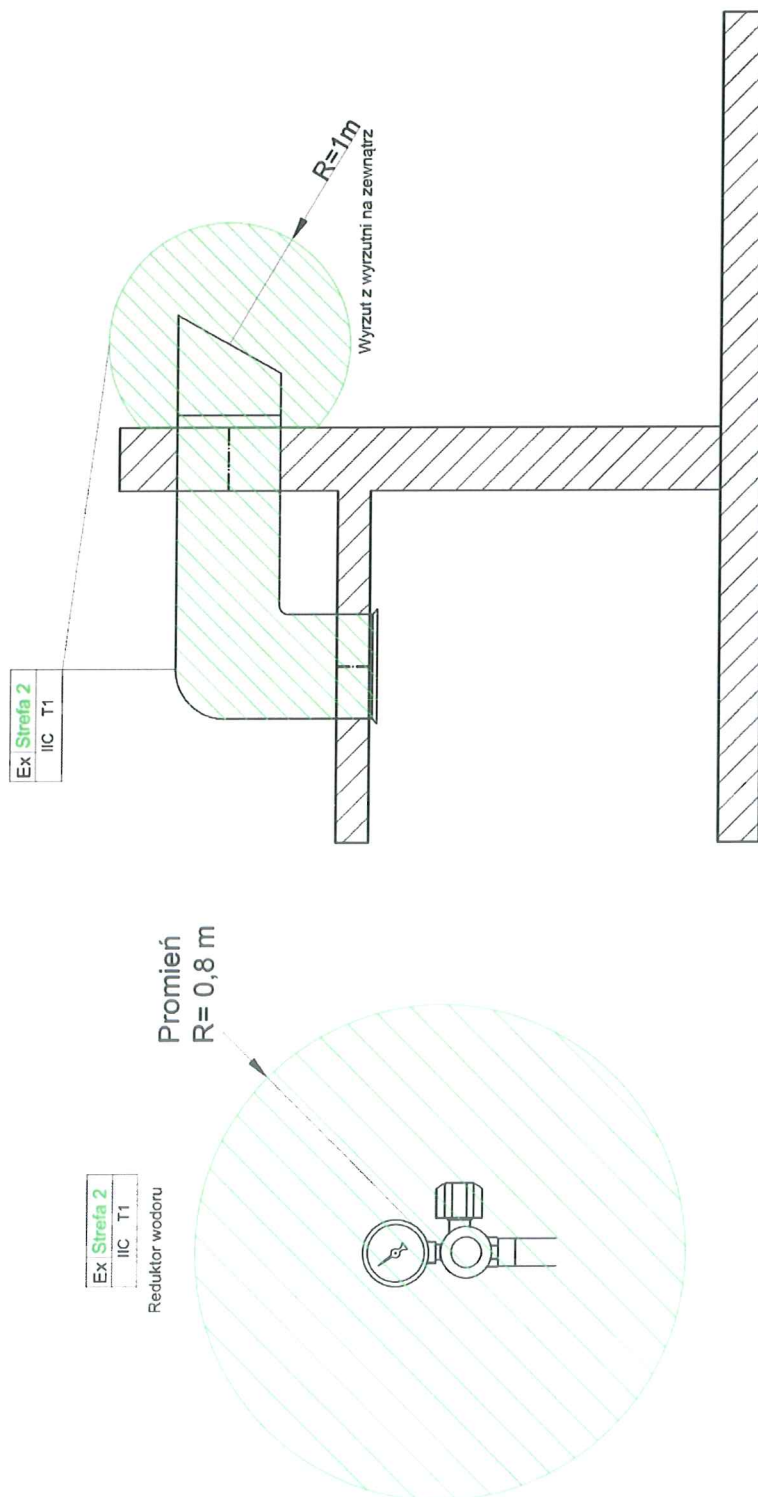
⁴⁾ N - Naturalna; M - mechaniczna;

10 Załącznik Nr 3 – graficzne przedstawienie zasięgu występowania stref zagrożonych wybuchem.



Strefy zagrożone wybuchem :
Strefa2

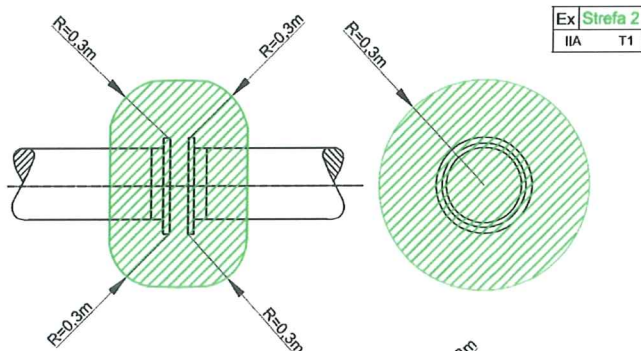




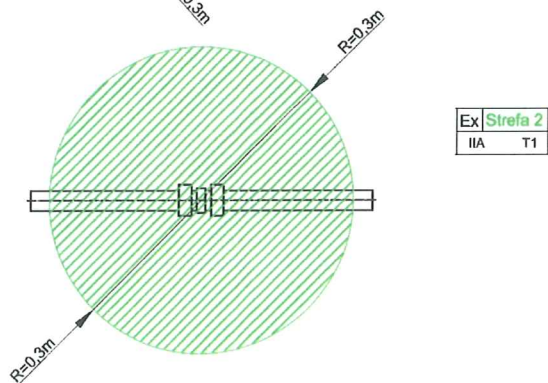
Strefy zagrożone wybuchem :
Strefa2



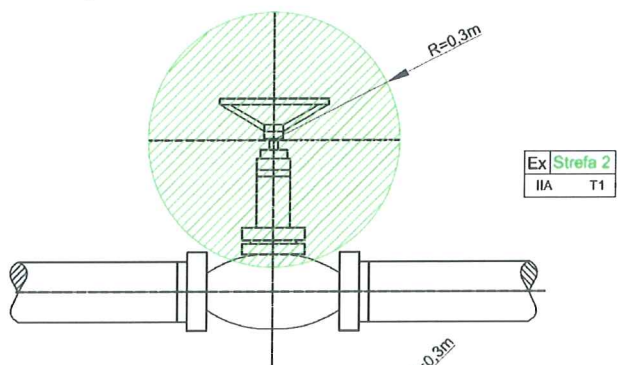
Połączenia kołnierzowe (uszczelki)



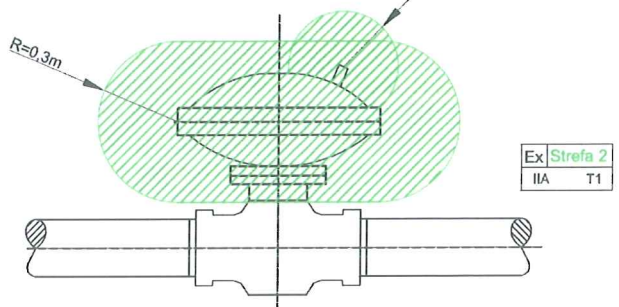
Złączki gwintowane i połączenia zaciskowe (styk metal do metalu)



Dławice zaworów (uszczelnienie trzpienia)



Obudowy i membrany reduktorów (otwór upustowy, nieuszczelniona membrana i kołnierze)



Strefy zagrożone wybuchem :

strefa 2



11 Zalecenia do realizacji zadań, których realizacja doprowadzi budynki do stanu wymaganego przepisami.

W oparciu o niniejszy dokument należy dokonać oceny ryzyka wybuchu oraz sporządzić dokument bezpieczeństwa wynikający z faktu wyznaczenia stref zagrożonych potencjalnym wybuchem w pomieszczeniach laboratoriów oraz magazynie wodoru i acetyleny w pomieszczeniu zlokalizowanym przy wyjściu z klatki schodowej w poziomie parteru (klatka schodowa obok pomieszczenia 78).

Zgodnie z Rozporządzeniem 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, § 4. 1.):

„Aby zapobiegać wybuchom i zapewnić ochronę przed ich skutkami, pracodawca powinien stosować, odpowiednie do rodzaju działalności, techniczne lub organizacyjne środki ochronne. Określając środki ochronne, należy zapewnić realizację następujących celów w podanej kolejności:

- 1) zapobieganie tworzeniu się atmosfery wybuchowej;
- 2) zapobieganie wystąpieniu zapłonu atmosfery wybuchowej;
- 3) ograniczenie szkodliwego efektu wybuchu, w celu zapewnienia ochrony zdrowia i bezpieczeństwa osób pracujących”.

Ad 1. Zapobieganie tworzeniu się atmosfery wybuchowej.

1. W każdym pomieszczeniu laboratorium należy zamontować systemy detekcji par gazów palnych – w szczególności wodoru i acetyleny. Rozmieszczenie czujników powinno brać pod uwagę wyznaczone strefy zagrożenia wybuchem oraz gęstość gazów. Czujniki powinny być sprzężone z sygnalizacją alarmową (akustyczno-optyczną w pomieszczeniu) i wentylacją miejscową stanowiskową. Sugerowane poziomy reakcji czujników:

I próg alarmowy: 10% DGW lub NDS – zadziałanie sygnalizacji optycznej i uruchomienie wentylacji wyciągowej stanowiskowej awaryjnej. Po osiągnięciu I-go progu wybuchowości należy niezwłocznie sprawdzić stan instalacji i zlokalizować źródło wycieku, zapobiegając dalszemu uwalnianiu się oparów wybuchowych.

II próg alarmowy: 40% DGW – zadziałanie sygnalizacji dźwiękowej i optycznej, odcięcie zaworem automatycznym zlokalizowanym przed wejściem instalacji do pomieszczenia/budynku dostarczanego gazu oraz rozpoczęcie ewakuacji ludzi na zewnątrz budynku lub do sąsiedniej strefy pożarowej.

Uwaga: Powyższe progi alarmowe powinny zostać zatwierdzone przez Zamawiającego oraz potencjalnie przez Ubezpieczyciela.

2. Dokonać relokacji poza budynek butli z wodorem i acetylenem (innymi gazami palnymi używanymi w procesach badawczych) – w obecnej sytuacji pomieszczenia w których przetrzymywane są butle nie spełniają warunków do magazynowania butli z gazami palnymi/wybuchowymi – w pomieszczeniu magazynowym acetyleny i wodoru brak jest jakiegokolwiek wentylacji – nawet grawitacyjnej.
3. Pomieszczenia laboratoriów w których stosuje się gazy palne/niebezpieczne powinny zostać wyposażone w układy wentylacji w wykonaniu zgodnym z ATEX załączaną automatycznie z chwilą rozpoczęcia procesu badawczego. Wentylacja musi być sprzężona z systemem detekcji zwiększającym jej wydajność po przekroczeniu zadanego progu stężenia substancji w pomieszczeniu.

Uwaga: Wentylacja mechaniczna odciągowa musi mieć zapewnione dwa źródła zasilania podstawowe oraz rezerwowe zgodnie z §15 pkt. 1 Rozporządzenia 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.

Zgodnie z zapisami zawartymi w § 269. 2. Rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie. (tj. Dz. U. z 7 czerwca 2019 r. poz. 1065) w pomieszczeniach zagrożonych wybuchem należy stosować oddzielną dla każdego pomieszczenia instalację wyciągową. Ponadto zgodnie z § 269.3 ww. rozporządzenia usytuowanie wentylacyjnych otworów wyciągowych powinno uwzględniać gęstość względną par cieczy i gazów występujących w pomieszczeniu w stosunku do powietrza oraz przewidywany kierunek ruchu zanieczyszczonego powietrza.

4. Zaleca się rozważyć wyposażenie pomieszczeń laboratoriów w których stosowane są gazy obojętne (azot, hel) w system detekcji mierzący poziom stężenia tlenu – rolą systemu powinno być uruchamianie wentylacji awaryjnej (podobnie jak w przypadku wykrycia stężeń niebezpiecznych gazów palnych) oraz uruchamiać sygnalizację optyczno-akustyczną. Niekontrolowany wyciek gazu obojętnego prowadzić może do obniżenia stężenia tlenu prowadząc do osłabienia bądź zaślabnięcia pracownika/pracowników, co z kolei może przyczyniać się do utraty kontroli prowadzonego badania i w konsekwencji może prowadzić do sytuacji stwarzających zagrożenie.
5. Należy rozważyć możliwości techniczne zastosowania innych rozwiązań dostarczania wodoru do stanowisk badawczych – w tym zastępowania butli z wodorem generatorami wodoru. Rozwiązanie ograniczy/wyeliminuje potencjalną niekontrolowaną emisję wodoru z butli czy instalacji rurociągów, co znacząco poprawi bezpieczeństwo pracy.

Ad 2. Zapobieganie wystąpieniu zapłonu atmosfery wybuchowej.

6. W wyznaczonych obecnie strefach zagrożenia wybuchem znajduje się osprzęt elektryczny w wykonaniu zwykłym. W związku z tym występuje obowiązek prawny, aby instalacja została doprowadzona do spełnienia wymagań do pracy w atmosferze potencjalnie wybuchowej EX oraz przystosowana do pracy stosownie do strefy zagrożenia wybuchem.

Należy dobrać instalacje oraz potencjalnie inne urządzenia w wykonaniu Atex o odpowiedniej kategorii:

- w strefie 0 – można stosować jedynie urządzenia kategorii 1G,
- w strefie 1 – urządzenia kategorii 1G lub 2G,
- w strefie 2 – urządzenia kategorii 1G, 2G, lub 3G.

Należy pamiętać, że do urządzeń elektrycznych zaliczają się także elementy instalacji elektrycznych, np. skrzynki rozdzielcze, gniazdka wtyczkowe, instalacja oświetleniowa itd., które również powinny posiadać odpowiednie oznaczenia Ex, w przypadku, gdy znajdują się w strefie zagrożenia wybuchem.

Należy zweryfikować, czy urządzenia takie jak gniazdka elektryczne, oświetlenie, czujniki dymu (jeżeli występują) nie znajdują się w strefach zagrożenia wybuchem. Jeśli tak, należy zmienić miejsce montażu urządzeń, tak, aby urządzenia znalazły się poza strefą lub wymienić na osprzęt w wykonaniu Ex.

7. **Do czasu wdrożenia niezbędnych prac relokacyjnych butli zaleca się wyposażenie pracowników w przenośne detektory wodoru i acetylenu – stosownie do występujących w danym pomieszczeniu gazów. Ponadto należy opracować stosowne instrukcje bezpiecznego wykonywania prac dotyczących postępowania po wykryciu stężeń niebezpiecznych w pomieszczeniu.**

8. Jeżeli w pomieszczeniu operuje się materiałami o minimalnej energii zapłonu $W_{zmin} \leq 100 \text{ mJ}$ (dla wodoru jest to wartość 0,011–0,02 mJ), należy zapobiegać

gromadzeniu się ładunków elektrostatycznych na ciele pracowników.

Zgodnie z normą PN-E-05204:1994: „w obiektach, w których wyznaczono strefy zagrożenia wybuchem 2, jeżeli operuje się w nich substancjami o $0,1 \text{ mJ} < W_z \text{ min} \leq 100 \text{ mJ}$, dopuszcza się noszenie odzieży wykonanej z tkanin zawierających co najmniej 30% włókna naturalnego (bawełna, len) lub włókna wiskozowego pod warunkiem, że opór elektryczny powierzchniowy RS odpowiedniej tkaniny, przy wilgotności względnej powietrza $\kappa = (50 \pm 5) \%$ nie przekracza wartości $1 \cdot 10^9 \Omega$.”

9. Zgodnie z normą PN-E-05204:1994:

- a) „w pomieszczeniach, w których wyznaczono strefy zagrożenia wybuchem 1 i 2, dopuszcza się wykonanie podłogi przewodzącej tylko w strefach bezpośredniej obsługi urządzeń technologicznych oraz w strefach, w których natężenie pola elektrostatycznego (E) przekracza 10^5 V/m ”,
- b) Ponadto w pomieszczeniach, w których wyznaczono strefy zagrożenia wybuchem 1 i 2, niedopuszczalne jest:
 - „stosowanie podłóg wykonanych z materiałów o oporze upływu $R_u > 10^6 \Omega$ ”,
 - „poręczy z tworzywa nieprzewodzącego”
- b) „w pomieszczeniach ze strefami zagrożenia wybuchem 2 w obecności mediów o $W_z \text{ min} > 0,1 \text{ mJ}$, dopuszcza się opór upływu człowieka $R_{ucz} \leq 10^9 \Omega$ ”, „w pomieszczeniach ze strefami zagrożenia wybuchem 1 w obecności mediów o $W_z \text{ min} > 0,1 \text{ mJ}$, dopuszcza się opór upływu człowieka $R_{ucz} \leq 10^6 \Omega$
- c) „urządzenia technologiczne z reguły należy wykonywać z materiałów przewodzących o oporze elektrycznym właściwym skrośnym $p_v \leq 104 \Omega \text{ m}$ i/lub o oporze elektrycznym właściwym powierzchniowym $p_s \leq 107 \Omega \text{ m}$ ”.

10. Do wykonywania prac remontowych i naprawczych, w obszarze wyznaczonych stref zagrożenia wybuchem, należy stosować narzędzia nieiskrzące. Zgodnie z zapisami normy PN-EN 1127-1:2011, załącznik A: Można rozróżnić dwa różne rodzaje narzędzi:

- a) narzędzie, które mogą wytwarzać w czasie stosowania jedynie pojedyncze iskry (np. śrubokręty, klucze, śrubokręty udarowe);
- b) narzędzia, które w czasie użytkowania wytwarzają snop iskier podczas piłowania lub szlifowania.

W strefie 0 zabrania się używać takich narzędzi.

- c) W strefie 1 i w strefie 2 dopuszczalne są jedynie stalowe narzędzia, które mogą wytwarzać w czasie stosowania jedynie pojedyncze iskry (zgodne z pkt. a), narzędzia, które w czasie użytkowania wytwarzają snop iskier (zgodne z pkt. b) mogą być dopuszczalne tylko wtedy, gdy w miejscu pracy narzędziami nie występuje strefa zagrożenia wybuchem.

Po dokonaniu wymienionych wyżej zaleceń należy ponownie dokonać oceny zagrożenia wybuchem – w tym ponownie wyznaczyć zasięg stref zagrożonych wybuchem, dokonać oceny ryzyka wystąpienia wybuchu oraz opracować dokument bezpieczeństwa wymagany obowiązującym Rozporządzeniem 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. Nr 138, poz. 931).