



OCENA ZAGROŻENIA WYBUCEM

Pomieszczeń laboratoryjnych budynku dydaktycznego A2
Akademia Górniczo-Hutnicza
dz. nr 19/47 obr. 12, jedn. ewid. Krowodrza

Opracował:

RZECZOZNAWCA DO SPRAW ZABEZPIECZEŃ
PRZECIWPÓŻAROWYCH

mgr inż. poż. Łucja Rozmadzińska Nr upr. 640/2015

Październik 2022

OT.210-1-5-10/2022 (1/3)

Spis treści

1. CEL OPRACOWANIA	3
2. PODSTAWY PRAWNE	4
3. PODSTAWOWE DEFINICJE I OKREŚLENIA.....	5
4. OCENA ZAGROŻENIA WYBUCEM.....	10
4.1. POMIESZCZENIE 212 I 212A - LABORATORIUM.....	10
4.1.1. Charakterystyka	10
4.1.2. Źródła emisji i ich klasyfikacja	10
4.1.3. Ocena stopnia wentylacji	12
4.1.4. Wyznaczenie stref.....	12
4.1.5. Ocena pomieszczenia pod kątem kwalifikacji jako pomieszczenia zagrożonego wybuchem	12
4.2. POMIESZCZENIE 216 - BIURO	14
4.2.1. Charakterystyka	14
4.2.2. Źródła emisji i ich klasyfikacja	14
4.2.3. Ocena stopnia wentylacji	14
4.2.4. Wyznaczenie stref.....	14
4.2.5. Ocena pomieszczenia pod kątem kwalifikacji jako pomieszczenia zagrożonego wybuchem	15
4.3. POMIESZCZENIE 224 - LABORATORIUM	16
4.3.1. Charakterystyka	16
4.3.2. Źródła emisji i ich klasyfikacja	17
4.3.3. Ocena stopnia wentylacji	18
4.3.4. Wyznaczenie stref.....	18
4.3.5. Ocena pomieszczenia pod kątem kwalifikacji jako pomieszczenia zagrożonego wybuchem	18
4.4. POMIESZCZENIE 303A I 303D - LABORATORIUM	20
4.4.1. Charakterystyka	20
4.4.2. Źródła emisji i ich klasyfikacja	20
4.4.3. Ocena stopnia wentylacji	21
4.4.4. Wyznaczenie stref.....	22
4.4.5. Ocena pomieszczenia pod kątem kwalifikacji jako pomieszczenia zagrożonego wybuchem	22
4.5. POMIESZCZENIE 311 - LABORATORIUM	23
4.5.1. Charakterystyka	23
4.5.2. Źródła emisji i ich klasyfikacja	24
4.5.3. Ocena stopnia wentylacji	25
4.5.4. Wyznaczenie stref.....	25
4.5.5. Ocena pomieszczenia pod kątem kwalifikacji jako pomieszczenia zagrożonego wybuchem	26
5. CZYNNIKI MOGĄCE ZAINICJOWAĆ ZAPŁON.....	28
6. KRYTERIA DOBORU URZĄDZEŃ ELEKTRYCZNYCH.....	32
7. WNIOSKI I ZALECENIA.....	33
8. LITERATURA	35
8.1. PRAWODAWSTWO I NORMY	35
8.2. BIBLIOGRAFIA	35
9. ZAŁĄCZNIKI	36

1. Cel opracowania

Celem opracowania jest ocena zagrożenia wybuchem pomieszczeń laboratoryjnych budynku dydaktycznego A2, Akademia Górniczo-Hutnicza, dz. nr 19/47 obr. 12, jedn. ewid.

Ocenę zagrożenia wybuchem wykonano w oparciu o informacje uzyskane od Zleceniodawcy. W obiekcie znajdować się będą pomieszczenia i laboratoria różnego typu, część z nich będzie używała substancji nie stwarzających zagrożenia wybuchem. Ocenie zagrożenia wybuchem poddano pomieszczenia, w których użytkownicy wskazali obecność substancji palnych.

Uwaga: Wyznaczenie stref zagrożenia wybuchem odnosi się do normalnych warunków pracy. Nie obejmuje ona sytuacji awaryjnych (gwałtownych rozszczelnień, pęknięć itp.) i napraw. W przypadku prac konserwacyjnych należy za każdym razem przed przystąpieniem do prac wykonać ocenę zagrożeń, w tym zagrożeń pożarowo-wybuchowych.

2. Podstawy prawne

Wykonanie oceny zagrożenia wybuchem wynika z Rozporządzenia Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 7 czerwca 2010r. w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków, innych obiektów budowlanych i terenów (Dz. U. Nr 109, poz. 719).

Oceny dokonano na podstawie:

- Normy PN-EN 60079-0:2013-3 Atmosfery wybuchowe -- Część 0: Urządzenia -- Podstawowe wymagania.
- Normy PN-EN 60079-10-1:2016-02 Atmosfery wybuchowe -- Część 10-1: Klasyfikacja przestrzeni -- Gazowe atmosfery wybuchowe.
- Normy PN-EN 1127-1:2011 Atmosfery wybuchowe – Zapobieganie wybuchowi i ochrona przed wybuchem – Część 1: Pojęcia podstawowe i metodologia.
- Materiałów udostępnionych przez Zleceniodawcę.

3. Podstawowe definicje i określenia

Wybuch:

Gwałtowna reakcja utleniania lub rozkładu wywołująca wzrost ciśnienia.

Dolna granica wybuchowości:

Najniższe stężenie łatwopalnej substancji w powietrzu, przy którym może już nastąpić wybuch.

Górna granica wybuchowości:

Najwyższe stężenie łatwopalnej substancji w powietrzu, przy którym może jeszcze nastąpić wybuch.

Mieszanina wybuchowa:

Mieszanina paliwa rozdrobnionego w fazie gazowej i gazowego utleniacza, w której wybuch może rozprzestrzenić się po nastąpieniu zapłonu. Jeżeli utleniacz jest powietrzem w warunkach atmosferycznych, stosuje się termin atmosfera wybuchowa.

Atmosfera wybuchowa:

Atmosfera wybuchowa oznacza mieszaninę substancji łatwopalnej w postaci gazu, par, mgły lub pyłów z powietrzem, w warunkach atmosferycznych, w której po zapaleniu spalanie rozprzestrzenia się na całą niespaloną mieszaninę¹.

Należy zauważyć, iż atmosfera wybuchowa, jak wskazano w dyrektywie, może nie spalać się wystarczająco szybko, aby doprowadzić do wybuchu, jak określono w normie PN-EN 1127-1.

Strefa zagrożenia wybuchem:

Jest to przestrzeń, w której może występować mieszanina wybuchowa, o stężeniu zawartym między dolną i górną granicą wybuchowości.

¹ Dyrektywa 1999/92/WE, str.57.

Strefa 0:

Przestrzeń, w której gazowa atmosfera wybuchowa występuje ciągle lub w długich okresach.

Strefa 1:

Przestrzeń, w której pojawienie się gazowej atmosfery wybuchowej jest prawdopodobne w warunkach normalnej pracy.

Strefa 2:

Przestrzeń, w której w warunkach normalnej pracy nie jest prawdopodobne pojawienie się gazowej atmosfery wybuchowej, a jeżeli pojawi się ona rzeczywiście, to może tak się stać tylko rzadko i tylko na krótki okres².

Pomieszczenie zagrożone wybuchem:

Pomieszczenie, w którym może wytworzyć się mieszanina wybuchowa, powstała z wydzielającej się takiej ilości palnych gazów, par, mgieł lub pyłów, której wybuch mógłby spowodować przyrost ciśnienia w tym pomieszczeniu przekraczający 5 kPa.

Emisja ciągła:

Emisja, która występuje stale lub której występowania można spodziewać się w długich okresach czasu.

Pierwszy stopień emisji:

Emisja, której występowania w warunkach normalnej pracy można spodziewać się okresowo lub okazjnie.

Drugi stopień emisji:

Emisja, której występowania w warunkach normalnej pracy nie można spodziewać się, a jeżeli pojawi się ona rzeczywiście, to tylko rzadko i tylko na krótkie okresy czasu.

² Norma PN-EN 60079-10.

Wentylacja stopnia wysokiego³:

Jest w stanie zredukować stężenie przy źródle emisji niemal natychmiast. Dając w wyniku stężenie poniżej dolnej granicy wybuchowości.

Wentylacja stopnia średniego⁴:

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.

Wentylacja stopnia niskiego⁵:

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 wentylacji⁶:

Wyróżnia się trzy poziomy dyspozycyjności wentylacji:

- dobra – wentylacja prawie zawsze;
- dostateczna – wentylacja w czasie normalnej pracy;
- słaba – wentylacja, która nie spełnia wymagań wentylacji dobrej i dostatecznej.

Technicznie szczelny:

Podzespół jest „technicznie szczelny” jeżeli nie zaobserwowano przecieku podczas badania, monitorowania lub kontroli szczelności odpowiednią metodą, np.: przy wykorzystaniu środków pieniących lub urządzeń detekcyjnych/ wskazujących przeciek, jednakże możliwość rzadkich, niewielkich przecieków substancji łatwopalnych nie może być wykluczona (zawory, połączenia).

Praca normalna:

Sytuacja kiedy urządzenia, systemy ochronne, części i podzespoły realizują przewidzianą funkcję w zakresie parametrów znamionowych.

³ PN-EN 60079

⁴ PN-EN 60079

⁵ PN-EN 60079

⁶ PN-EN 60079

Niewielkie emisje substancji palnej mogą być związane z normalną pracą. Na przykład, emisje substancji z uszczelnień zwilżalnych pompowaną cieczą traktowane są jako niewielkie emisje.

Kategoria urządzeń:

Klasyfikacja urządzeń zgodnie z wymaganym poziomem ochrony.

Urządzenia i systemy ochronne powinny być zaprojektowane dla konkretnej atmosfery wybuchowej. W tym przypadku muszą być one odpowiednio oznakowane⁷. Urządzenia mogą być również zaprojektowane do wykorzystania w różnych mieszaninach wybuchowych, np. zarówno w mieszaninach pył/powietrze oraz gaz/powietrze.

Grupa urządzeń:

Grupa urządzeń I stanowi urządzenia przeznaczone do stosowania w wyrobiskach podziemnych kopalń i w częściach instalacji powierzchniowych tych kopalń, narażonych na występowanie zagrożenia wybuchem metanu i/lub pyłu palnego. Grupę urządzeń II stanowią urządzenia przeznaczone do stosowania w innych gałęziach przemysłu, narażonych na występowanie atmosfer wybuchowych⁸.

Maksymalne ciśnienie wybuchu (p_{max}):

Maksymalne ciśnienie występujące w zamkniętym naczyniu podczas wybuchu atmosfery wybuchowej, oznaczone w określonych warunkach badania⁹.

Źródło zapłonu:

Źródło zapłonu przekazuje mieszaninie wybuchowej ilość energii zdolną do spowodowania rozprzestrzenienia się zapłonu w tej mieszaninie.

⁷ Dyrektywa 2014/34/UE.

⁸ Tamże.

⁹ Norma PN-EN 1127-1.

Minimalna energia zapłonu (MEZ):

Najmniejsza energia elektryczna nagromadzona w kondensatorze, która przy jego wyładowaniu jest wystarczająca do spowodowania zapłonu najbardziej zapalnej atmosfery, w określonych warunkach badania¹⁰.

Temperatura samozapłonu (palnego gazu lub palnej cieczy):

Najniższa temperatura ogrzanych ścianek naczynia, oznaczona w określonych warunkach badania, w której następuje zapalenie palnej substancji w postaci mieszaniny gazu lub par z powietrzem.

¹⁰ Norma PN-EN 1127-1.

4. Ocena zagrożenia wybuchem

Zgodnie z informacjami uzyskanymi od zleceniodawcy w części laboratoriów stosowane będą różnego typu substancje, wśród nich również substancje palne, m.in. gazy palne (ARCAL R1-5, mieszanina argonu z metanem 10%, LPG) oraz alkohol etylowy.

4.1. Pomieszczenie 212 i 212a - Laboratorium

4.1.1. Charakterystyka

W pomieszczeniu 212a Laboratorium o powierzchni 12,77m² i wysokości 4,3m znajdować się będzie stanowisko laboratoryjne do pracy z mieszkanką Argonu z metanem 10%, a butla znajdować się będzie w szafie wentylowanej w pomieszczeniu 212 o powierzchni 54,22m² i wysokości 3,3m.

Butla z mieszkanką o pojemności 50dm³ znajdować się będzie w szafie wentylowanej o wydajności 100m³/h i będzie na stałe podłączona instalacją do stanowiska pracy. W obrębie pomieszczenia 212 poza szafą wszystkie połączenia w instalacji będą połączeniami spawanymi. Ciśnienie w butli 200bar, ciśnienie robocze w instalacji 6bar, średnica rurociągu 8x1mm (DN6).

Zgodnie z kartą charakterystyki mieszanina gazowa zawiera w swoim składzie 90% argonu i 10% metanu.

Pomieszczenie 212a zostanie wyposażone w detekcję metanu, który w razie wycieku gazu zamknie elektrozawór przy butli wewnątrz szafy wentylowanej.

Ponadto pomieszczenie 212a zgodnie z zaleceniami inwestora wyposażone będzie w wentylację awaryjną o wydajności zapewniającej 10wym/h.

4.1.2. Źródła emisji i ich klasyfikacja

W normalnych warunkach połączenia rozłączalne na instalacji z mieszkanką gazową należy uznać jako źródło emisji **stopnia drugiego**.

Aby określić wydajność wypływu gazu z nieszczelności należy stwierdzić czy wypływ gazu będzie dławiony czy nie, na podstawie zależności na ciśnienie krytyczne (obliczenia wykonywane dla metanu):

$$p_c = p_0 \left(\frac{\gamma + 1}{2} \right)^{\gamma/\gamma-1} = 183723,8 \text{ Pa} = 0,19 \text{ MPa}$$

gdzie: p_0 – ciśnienie poza instalacją (Pa),

γ – współczynnik politropy, liczony z zależności:

$$\gamma = \frac{M \cdot c_p}{M \cdot c_p - R} = 1,308$$

gdzie: M – masa molowa, tutaj 16 kg/kmol,

c_p – ciepło właściwe, tutaj 2207 J/kgK.

W związku z tym, że ciśnienie absolutne w instalacji przed redukcją $p=20 \text{ MPa}$ jest większe od ciśnienia krytycznego p_c mamy do czynienia z wypływem dławionym.

Dla wypływu dławionego wydajność emisji oblicza się z zależności:

$$W_g = C_d S p \sqrt{\gamma \frac{M}{ZRT} \left(\frac{2}{\gamma + 1} \right)^{(\gamma+1)/(\gamma-1)}} = 6,47 \cdot 10^{-3} \text{ kg/s}$$

gdzie: p – ciśnienie wewnątrz instalacji, tutaj 20000000 Pa,

S – powierzchnia wypływu, tutaj $0,25 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$,

T – temperatura 293 K.

Objętościowa wydajność wypływu jest równa $0,01 \text{ m}^3/\text{s}$, a objętościowa charakterystyka wypływu równa $0,22 \text{ m}^3/\text{s}$.

W związku z tym, że ciśnienie absolutne w instalacji po redukcji $p=0,7 \text{ MPa}$ jest większe od ciśnienia krytycznego p_c mamy do czynienia z wypływem dławionym.

Dla wypływu dławionego wydajność emisji oblicza się z zależności:

$$W_g = C_d S p \sqrt{\gamma \frac{M}{ZRT} \left(\frac{2}{\gamma + 1} \right)^{(\gamma+1)/(\gamma-1)}} = 2,3 \cdot 10^{-4} \text{ kg/s}$$

gdzie: p – ciśnienie wewnątrz instalacji, tutaj 700000 Pa,

S – powierzchnia wypływu, tutaj $0,25 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$,

T – temperatura 293 K.

Objętościowa wydajność wypływu jest równa $0,0003 \text{ m}^3/\text{s}$, a objętościowa charakterystyka wypływu równa $0,008 \text{ m}^3/\text{s}$.

Zestawienie źródeł emisji znajduje się w załączniku nr 3.

4.1.3. Ocena stopnia wentylacji

Pomieszczenie 212a wyposażone będzie w wentylację mechaniczną awaryjną o wydajności co najmniej 10wym/h.

Zgodnie z wykresem C.1 normy PN-EN 60079-10-1:2016-02 wentylację w pomieszczeniu 212a ocenia się jako wentylację o **stopniu średnim** oraz **dyspozycyjności dostatecznej**.

Wentylację szafy z butlą w pomieszczeniu 212 zgodnie z wykresem C.1 normy PN-EN 60079-10-1:2016-02 ocenia się jako wentylację o **stopniu wysokim** oraz **dyspozycyjności dostatecznej**.

4.1.4. Wyznaczenie stref

Zgodnie z tabelą załącznika nr 1 oraz arkuszami danych z załączników nr 2 i 3 oraz wykresem D.1 normy PN-EN 60079-10-1:2016-02 wewnątrz szafy oraz wewnątrz kanałów wentylacji szafy w pomieszczeniu 212 i wentylacji awaryjnej w pomieszczeniu 212a oraz w promieniu 2m od ujścia tych wentylacji na dachu wyznacza się **STREFĘ 2 zagrożenia wybuchem**.

Ponadto od połączeń rozłączalnych na instalacji z gazem wyznacza się **STREFĘ 2 zagrożenia wybuchem** w promieniu 0,25m.

4.1.5. Ocena pomieszczenia pod kątem kwalifikacji jako pomieszczenia zagrożonego wybuchem

W celu oceny pomieszczenia 212a pod kątem kwalifikacji jako pomieszczenia zagrożonego wybuchem należy obliczyć przyrost ciśnienia, jaki mógłby zostać spowodowany również przez wybuch metanu. Możliwy przyrost ciśnienia oblicza się przy założeniu sytuacji, że dojdzie do emisji metanu z nieszczelności na instalacji.

$$\Delta P = \frac{m_{\max} \cdot \Delta P_{\max} \cdot W}{V \cdot C_{st} \cdot \rho}$$

gdzie: $m_{\max}$ – maksymalna masa substancji palnych, tworzących mieszaninę wybuchową, jaka może wydzielić się w rozpatrywanym pomieszczeniu (kg),

$\Delta P_{\max}$ – maksymalny przyrost ciśnienia przy wybuchu stechiometrycznej mieszaniny w zamkniętej komorze (tutaj 605kPa),

W – współczynnik przebiegu reakcji wybuchu, dla gazu = 0,17,

V – objętość przestrzeni powietrznej pomieszczenia netto, (-10%) tutaj 49,41m³,

C_{st} – objętościowe stężenie stechiometryczne,

$$C_{st} = \frac{1}{1 + 4,84 \cdot \beta} = 0,09$$

β – stechiometryczny współczynnik tlenu w reakcji wybuchu

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

ρ – gęstość gazu w temperaturze pomieszczenia 0,665kg/m³.

Ze względu na zabezpieczenie instalacji systemem detekcji metanu, który automatycznie zamyka dopływ gazu z szafy do pomieszczenia masę gazu, która wytworzyć może atmosferę wybuchową przyjmuje się nie więcej niż 0,05kg.

Stąd

$$\Delta P = 1,7kPa$$

Mieszanina wybuchowa, która może wytworzyć się w pomieszczeniu, spowoduje przyrost ciśnienia równy 1,7kPa, czyli mniejszy niż 5kPa, stąd pomieszczenie nie będzie zagrożone wybuchem.

Uwaga: W przypadku nie zastosowania detekcji zamykającej automatycznie dopływ gazu do pomieszczenia może być kwalifikowane jako zagrożone wybuchem.

W przypadku pomieszczenia 212, ze względu na to iż poza wentylowaną szafą z butlą nie będą znajdowały się połączenia rozłączalne to ze względu na brak możliwości emisji gazu do pomieszczenia uznaje się je jako nie zagrożone wybuchem.

4.2. Pomieszczenie 216 - Biuro

4.2.1. Charakterystyka

W pomieszczeniu 216 Biuro o powierzchni 26,60m² i wysokości 3,3m przechowywany jest etanol w polietylenowych kanistrach o pojemności 18l każdy (max 4 kanistry).

Z nich alkohol jest rozlewany do trysek i butelek o pojemności od 500 ml do 1l i używany w większości pomiarów laboratoryjnych (201, 209b, 210, 212, 213, 218, 304, 306b, 307, 308, 309b, 311, 312). Alkohol służy do przemywania próbek lub wykorzystywany jest do ekstrakcji lub przemywania próbek w myjkach ultradźwiękowych. Ze względu na niewielkie ilości etanolu używane w laboratoriach, przede wszystkim do przemywania, odstępuje się od wyznaczenia stref zagrożenia wybuchem w tych pomieszczeniach, natomiast w pomieszczeniu 216 należy uwzględnić możliwość pojawienia się atmosfery wybuchowej.

4.2.2. Źródła emisji i ich klasyfikacja

W normalnych warunkach podczas przelewania alkoholu do pojemników, należy uznać je jako źródło emisji **ciągłej**.

Zamknięte pojemniki z alkoholem należy uznać je jako źródło emisji **stopnia drugiego**.

Zestawienie źródeł emisji znajduje się w załączniku nr 3.

4.2.3. Ocena stopnia wentylacji

Brak informacji na temat wentylacji pomieszczenia.

Zgodnie z wykresem C.1 normy PN-EN 60079-10-1:2016-02 wentylację w pomieszczeniu ocenia się jako wentylację o **stopniu niskim** oraz **dyspozycyjności słabej**.

4.2.4. Wyznaczenie stref

Zgodnie z tabelą załącznika nr 1 oraz arkuszami danych z załączników nr 2 i 3 oraz wykresem D.1 normy PN-EN 60079-10-1:2016-02 podczas przelewania wyznacza się **STREFĘ 0 zagrożenia wybuchem** wewnątrz pojemnika z alkoholem,

STREFĘ 1 zagrożenia wybuchem w promieniu 1m od otwartych pojemników oraz **STREFĘ 2 zagrożenia wybuchem** w promieniu 0,5m od strefy 1.

W odległości 0,5m od zamkniętych pojemników z etanolem wyznacza się **STREFĘ 2 zagrożenia wybuchem**.

4.2.5. Ocena pomieszczenia pod kątem kwalifikacji jako pomieszczenia zagrożonego wybuchem

W celu oceny pomieszczenia pod kątem kwalifikacji jako pomieszczenia zagrożonego wybuchem należy obliczyć przyrost ciśnienia, jaki mógłby zostać spowodowany przez wybuch. Możliwy przyrost ciśnienia oblicza się przy założeniu sytuacji, że dojdzie do rozlania całości etanolu z pojemnika 18dm³

$$\Delta P = \frac{m_{\max} \cdot \Delta P_{\max} \cdot W}{V \cdot C_{st} \cdot \rho}$$

gdzie: $m_{\max}$ – maksymalna masa substancji palnych, tworzących mieszaninę wybuchową, jaka może wydzielić się w rozpatrywanym pomieszczeniu (kg),

$\Delta P_{\max}$ – maksymalny przyrost ciśnienia przy wybuchu stechiometrycznej mieszaniny w zamkniętej komorze (tutaj 634kPa),

W – współczynnik przebiegu reakcji wybuchu, dla par ciecży = 0,1,

V – objętość przestrzeni powietrznej pomieszczenia (przyjmuje się kubaturę pomieszczenia -10%) 79m³,

C_{st} – objętościowe stężenie stechiometryczne,

$$C_{st} = \frac{1}{1 + 4,84 \cdot \beta} = 0,064$$

β – stechiometryczny współczynnik tlenu w reakcji wybuchu

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

ρ – gęstość par w temperaturze pomieszczenia $\rho = \frac{p \cdot M}{R \cdot T} = 1,914 \text{ kg/m}^3$.

Masę palnych par, która wytworzyć może atmosferę wybuchową oblicza się z zależności:

$$m = 10^{-9} \cdot F \cdot \tau \cdot K \cdot P_s \cdot \sqrt{M} = 13,66 \text{ kg}$$

gdzie: F – powierzchnia parowania, tutaj 18m²,

τ – przewidywany maksymalny czas wydzielania się par (s), zakłada się 60 minut,

K – współczynnik parowania, dla 20°C i prędkości przepływu powietrza nad powierzchnią parowania 0,5 m/s równy 5,4,

P_s – prężność pary nasyconej w temperaturze pomieszczenia = 5755,7 Pa,

M – masa molowa cieczy, tutaj równa 46 kg/kmol.

Stąd

$$\Delta P = 88,87 \text{ kPa}$$

Mieszanina wybuchowa, która może wytworzyć się w pomieszczeniu, spowoduje przyrost ciśnienia równy 88,87 kPa, czyli większy niż 5 kPa, stąd pomieszczenie kwalifikowałoby się jako zagrożone wybuchem.

UWAGA: Aby uniknąć kwalifikacji pomieszczenia jako zagrożonego wybuchem alkohol powinien być magazynowany w specjalnych wentylowanych szafach lub należy pomieszczenie wyposażać w detekcję par etanolu i wentylację awaryjną uruchamianą automatycznie o wydajności zapewniającej co najmniej 20 wym/h.

4.3. Pomieszczenie 224 - Laboratorium

4.3.1. Charakterystyka

W pomieszczeniu 224 Laboratorium o powierzchni 14,06 m² i wysokości 4,3 m znajdować się będą stanowiska laboratoryjne, m.in. stanowisko do pracy z Arcalem.

Butla z Arcalem R1-5 o pojemności 50 dm³ znajdować się będzie w szafie wentylowanej o wydajności 100 m³/h i będzie na stałe podłączona instalacją do stanowiska pracy. Ciśnienie w butli 200 bar, ciśnienie robocze w instalacji 6 bar, średnica rurociągu 8 x 1 mm (DN6).

Zgodnie z kartą charakterystyki Arcal R1-5 zawiera w swoim składzie 95% argonu i 5% wodoru.

Pomieszczenie zostanie wyposażone w detekcję wodoru, który w razie wycieku gazu zamknie elektrozawór przy butli wewnątrz szafy wentylowanej.

Ponadto pomieszczenie zgodnie z zaleceniami inwestora wyposażone będzie w wentylację awaryjną o wydajności zapewniającej 10 wym/h.

4.3.2. Źródła emisji i ich klasyfikacja

W normalnych warunkach połączenia rozłączalne na instalacji Arcalem należy uznać jako źródło emisji **stopnia drugiego**.

Aby określić wydajność wypływu gazu z nieszczelności należy stwierdzić czy wypływ gazu będzie dławiony czy nie, na podstawie zależności na ciśnienie krytyczne (obliczenia wykonywane dla wodoru):

$$p_c = p_0 \left(\frac{\gamma + 1}{2} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma - 1}} = 1896452 \text{ Pa} = 0,19 \text{ MPa}$$

gdzie: p_0 – ciśnienie poza instalacją (Pa),

γ – współczynnik politropy, liczony z zależności:

$$\gamma = \frac{M \cdot c_p}{M \cdot c_p - R} = 1,406$$

gdzie: M – masa molowa, tutaj 2kg/kmol,

c_p – ciepło właściwe, tutaj 14400J/kgK.

W związku z tym, że ciśnienie absolutne w instalacji przed redukcją $p=20\text{MPa}$ jest większe od ciśnienia krytycznego p_c mamy do czynienia z wypływem dławionym.

Dla wypływu dławionego wydajność emisji oblicza się z zależności:

$$W_g = C_d S p \sqrt{\gamma \frac{M}{ZRT} \left(\frac{2}{\gamma + 1} \right)^{\frac{(\gamma + 1)}{(\gamma - 1)}}} = 2,35 \cdot 10^{-3} \text{ kg/s}$$

gdzie: p – ciśnienie wewnątrz instalacji, tutaj 20000000Pa,

S – powierzchnia wypływu, tutaj $0,25 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$,

T – temperatura 293K.

Objętościowa wydajność wypływu jest równa $0,028 \text{ m}^3/\text{s}$, a objętościowa charakterystyka wypływu równa $0,7 \text{ m}^3/\text{s}$.

W związku z tym, że ciśnienie absolutne w instalacji po redukcji $p=0,7\text{MPa}$ jest większe od ciśnienia krytycznego p_c mamy do czynienia z wypływem dławionym.

Dla wypływu dławionego wydajność emisji oblicza się z zależności:

$$W_g = C_d S p \sqrt{\gamma \frac{M}{ZRT} \left(\frac{2}{\gamma + 1} \right)^{\frac{(\gamma + 1)}{(\gamma - 1)}}} = 8,2 \cdot 10^{-5} \text{ kg/s}$$

gdzie: p – ciśnienie wewnątrz instalacji, tutaj 700000Pa,

S – powierzchnia wypływu, tutaj $0,25 \cdot 10^{-6} m^2$,

T – temperatura 293K.

Objętościowa wydajność wypływu jest równa $0,001 m^3/s$, a objętościowa charakterystyka wypływu równa $0,025 m^3/s$.

Zestawienie źródeł emisji znajduje się w załączniku nr 3.

4.3.3. Ocena stopnia wentylacji

Pomieszczenie wyposażone będzie w wentylację mechaniczną awaryjną o wydajności co najmniej 10wym/h.

Zgodnie z wykresem C.1 normy PN-EN 60079-10-1:2016-02 wentylację w pomieszczeniu ocenia się jako wentylację o **stopniu średnim** oraz **dyspozycyjności dostatecznej**.

Wentylację szafy z butlą zgodnie z wykresem C.1 normy PN-EN 60079-10-1:2016-02 ocenia się jako wentylację o **stopniu wysokim** oraz **dyspozycyjności dostatecznej**.

4.3.4. Wyznaczenie stref

Zgodnie z tabelą załącznika nr 1 oraz arkuszami danych z załączników nr 2 i 3 oraz wykresem D.1 normy PN-EN 60079-10-1:2016-02 wewnątrz szafy oraz wewnątrz kanałów wentylacji szafy i wentylacji awaryjnej oraz w promieniu 2m od ujęcia na dachu wyznacza się **STREFĘ 2 zagrożenia wybuchem**.

Ponadto od połączeń rozłączalnych na instalacji z gazem wyznacza się **STREFĘ 2 zagrożenia wybuchem** w promieniu 0,25m.

4.3.5. Ocena pomieszczenia pod kątem kwalifikacji jako pomieszczenia zagrożonego wybuchem

W celu oceny pomieszczenia pod kątem kwalifikacji jako pomieszczenia zagrożonego wybuchem należy obliczyć przyrost ciśnienia, jaki mógłby zostać

spowodowany również przez wybuch wodoru. Możliwy przyrost ciśnienia oblicza się przy założeniu sytuacji, że dojdzie do emisji wodoru z nieszczelności na instalacji.

$$\Delta P = \frac{m_{\max} \cdot \Delta P_{\max} \cdot W}{V \cdot C_{st} \cdot \rho}$$

gdzie: $m_{\max}$ – maksymalna masa substancji palnych, tworzących mieszaninę wybuchową, jaka może wydzielć się w rozpatrywanym pomieszczeniu (kg),

$\Delta P_{\max}$ – maksymalny przyrost ciśnienia przy wybuchu stechiometrycznej mieszaniny w zamkniętej komorze (tutaj 625kPa),

W – współczynnik przebiegu reakcji wybuchu, dla gazu = 0,17,

V – objętość przestrzeni powietrznej pomieszczenia netto, (-10%) tutaj 54,45m³,

C_{st} – objętościowe stężenie stechiometryczne,

$$C_{st} = \frac{1}{1 + 4,84 \cdot \beta} = 0,29$$

β – stechiometryczny współczynnik tlenu w reakcji wybuchu

$$\beta = n_c + \frac{n_H - n_{Cl}}{4} - \frac{n_O}{2} = 0,5$$

ρ – gęstość gazu w temperaturze pomieszczenia 0,083kg/m³.

Ze względu na zabezpieczenie instalacji systemem detekcji wodoru, który automatycznie zamyka dopływ gazu z szafy do pomieszczenia masę gazu, która wytworzyć może atmosferę wybuchową przyjmuje się nie więcej niż 0,01kg.

Stąd

$$\Delta P = 0,8kPa$$

Mieszanina wybuchowa, która może wytworzyć się w pomieszczeniu, spowoduje przyrost ciśnienia równy 0,8kPa, czyli mniejszy niż 5kPa, stąd pomieszczenie nie będzie zagrożone wybuchem.

Uwaga: W przypadku nie zastosowania detekcji zamykającej automatycznie dopływ gazu do pomieszczenia może być kwalifikowane jako zagrożone wybuchem.

4.4. Pomieszczenie 303a i 303d - Laboratorium

4.4.1. Charakterystyka

W pomieszczeniu 303d Laboratorium o powierzchni 12,81m² i wysokości 4,3m znajdować się będzie stanowisko laboratoryjne do pracy z gazem propan-butan, a butla znajdować się będzie w szafie wentylowanej w pomieszczeniu 303a o powierzchni 21,38m² i wysokości 4,3m.

Butla z gazem propan-butan (11kg) znajdować się będzie w szafie wentylowanej o wydajności 100m³/h i będzie na stałe podłączona instalacją do stanowiska pracy. W obrębie pomieszczenia 303a poza szafą wszystkie połączenia w instalacji będą połączeniami spawanymi. Ciśnienie w butli 4bar, ciśnienie robocze w instalacji 1,5bar, średnica rurociągu 8x1mm (DN6).

Pomieszczenie 303d zostanie wyposażone w detekcję propanu (butanu), który w razie wycieku gazu zamknie elektrozawór przy butli wewnątrz szafy wentylowanej.

Ponadto pomieszczenie 303d zgodnie z zaleceniami inwestora wyposażone będzie w wentylację awaryjną o wydajności zapewniającej 10wym/h.

4.4.2. Źródła emisji i ich klasyfikacja

W normalnych warunkach połączenia rozłączalne na instalacji z gazem propan-butan należy uznać jako źródło emisji **stopnia drugiego**.

Aby określić wydajność wypływu gazu z nieszczelności należy stwierdzić czy wypływ gazu będzie dławiony czy nie, na podstawie zależności na ciśnienie krytyczne (obliczenia wykonywane dla propanu):

$$p_c = p_0 \left(\frac{\gamma + 1}{2} \right)^{\gamma/\gamma-1} = 169531,2Pa = 0,17MPa$$

gdzie: p_0 – ciśnienie poza instalacją (Pa),

γ – współczynnik politropy, liczony z zależności:

$$\gamma = \frac{M \cdot c_p}{M \cdot c_p - R} = 1,08$$

gdzie: M – masa molowa, tutaj 44kg/kmol,

c_p – ciepło właściwe, tutaj 2690J/kgK.

W związku z tym, że ciśnienie absolutne w instalacji przed redukcją $p=0,5\text{MPa}$ jest większe od ciśnienia krytycznego p_c mamy do czynienia z wypływem dławionym.

Dla wypływu dławionego wydajność emisji oblicza się z zależności:

$$W_g = C_d S p \sqrt{\gamma \frac{M}{ZRT} \left(\frac{2}{\gamma + 1} \right)^{(\gamma+1)/(\gamma-1)}} = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{kg/s}$$

gdzie: p – ciśnienie wewnątrz instalacji, tutaj 500000Pa ,

S – powierzchnia wypływu, tutaj $0,25 \cdot 10^{-6} \text{m}^2$,

T – temperatura 293K .

Objętościowa wydajność wypływu jest równa $0,0014 \text{m}^3/\text{s}$, a objętościowa charakterystyka wypływu równa $0,1 \text{m}^3/\text{s}$.

W związku z tym, że ciśnienie absolutne w instalacji po redukcji $p=0,25\text{MPa}$ jest większe od ciśnienia krytycznego p_c mamy do czynienia z wypływem dławionym.

Dla wypływu dławionego wydajność emisji oblicza się z zależności:

$$W_g = C_d S p \sqrt{\gamma \frac{M}{ZRT} \left(\frac{2}{\gamma + 1} \right)^{(\gamma+1)/(\gamma-1)}} = 1,2 \cdot 10^{-3} \text{kg/s}$$

gdzie: p – ciśnienie wewnątrz instalacji, tutaj 250000Pa ,

S – powierzchnia wypływu, tutaj $0,25 \cdot 10^{-6} \text{m}^2$,

T – temperatura 293K .

Objętościowa wydajność wypływu jest równa $0,0007 \text{m}^3/\text{s}$, a objętościowa charakterystyka wypływu równa $0,049 \text{m}^3/\text{s}$.

Zestawienie źródeł emisji znajduje się w załączniku nr 3.

4.4.3. Ocena stopnia wentylacji

Pomieszczenie 303d wyposażone będzie w wentylację mechaniczną awaryjną o wydajności co najmniej 10wym/h .

Zgodnie z wykresem C.1 normy PN-EN 60079-10-1:2016-02 wentylację w pomieszczeniu 303d ocenia się jako wentylację o **stopniu średnim** oraz **dyspozycyjności dostatecznej**.

Wentylację szafy z butlą w pomieszczeniu 303a zgodnie z wykresem C.1 normy PN-EN 60079-10-1:2016-02 ocenia się jako wentylację o **stopniu wysokim** oraz dyspozycyjności dostatecznej.

4.4.4. Wyznaczenie stref

Zgodnie z tabelą załącznika nr 1 oraz arkuszami danych z załączników nr 2 i 3 oraz wykresem D.1 normy PN-EN 60079-10-1:2016-02 wewnątrz szafy oraz wewnątrz kanałów wentylacji szafy w pomieszczeniu 303a i wentylacji awaryjnej w pomieszczeniu 303d oraz w promieniu 2m od ujścia tych wentylacji na dachu wyznacza się **STREFĘ 2 zagrożenia wybuchem**.

Ponadto od połączeń rozłączalnych w pomieszczeniu 303d na instalacji z gazem wyznacza się **STREFĘ 2 zagrożenia wybuchem** w promieniu 0,25m.

4.4.5. Ocena pomieszczenia pod kątem kwalifikacji jako pomieszczenia zagrożonego wybuchem

W celu oceny pomieszczenia 303d pod kątem kwalifikacji jako pomieszczenia zagrożonego wybuchem należy obliczyć przyrost ciśnienia, jaki mógłby zostać spowodowany również przez wybuch propan-butanu. Możliwy przyrost ciśnienia oblicza się przy założeniu sytuacji, że dojdzie do emisji propanu z nieszczelności na instalacji.

$$\Delta P = \frac{m_{\max} \cdot \Delta P_{\max} \cdot W}{V \cdot C_{st} \cdot \rho}$$

gdzie: $m_{\max}$ – maksymalna masa substancji palnych, tworzących mieszaninę wybuchową, jaka może wydzielć się w rozpatrywanym pomieszczeniu (kg),

$\Delta P_{\max}$ – maksymalny przyrost ciśnienia przy wybuchu stechiometrycznej mieszaniny w zamkniętej komorze (tutaj 742kPa),

W – współczynnik przebiegu reakcji wybuchu, dla gazu = 0,17,

V – objętość przestrzeni powietrznej pomieszczenia netto, (-10%) tutaj 49,59m³,

C_{st} – objętościowe stężenie stechiometryczne,

$$C_{st} = \frac{1}{1 + 4,84 \cdot \beta} = 0,039$$

β – stechiometryczny współczynnik tlenu w reakcji wybuchu

$$\beta = n_c + \frac{n_H - n_{Cl}}{4} - \frac{n_O}{2} = 5$$

ρ – gęstość gazu w temperaturze pomieszczenia 1,83 kg/m³.

Ze względu na zabezpieczenie instalacji systemem detekcji propanu(butanu), który automatycznie zamyka dopływ gazu z szafy do pomieszczenia masę gazu, która wytworzyć może atmosferę wybuchową przyjmuje się nie więcej niż 0,05kg.

Stąd

$$\Delta P = 1,75kPa$$

Mieszanina wybuchowa, która może wytworzyć się w pomieszczeniu, spowoduje przyrost ciśnienia równy 1,75kPa, czyli mniejszy niż 5kPa, stąd pomieszczenie nie będzie zagrożone wybuchem.

Uwaga: W przypadku nie zastosowania detekcji zamykającej automatycznie dopływ gazu do pomieszczenia może być kwalifikowane jako zagrożone wybuchem.

W przypadku pomieszczenia 303a, ze względu na to iż poza wentylowaną szafą z butlą nie będą znajdowały się połączenia rozłączalne to ze względu na brak możliwości emisji gazu do pomieszczenia uznaje się je jako nie zagrożone wybuchem.

4.5. Pomieszczenie 311 - Laboratorium

4.5.1. Charakterystyka

W pomieszczeniu 311 Laboratorium o powierzchni 110,43m² i wysokości 4,3m znajdować się będą stanowiska laboratoryjne, m.in. stanowisko do pracy z Arcalem.

Butla z Arcalem R1-5 o pojemności 50dm³ znajdować się będzie w szafie wentylowanej o wydajności 100m³/h i będzie na stałe podłączona instalacją do stanowiska pracy znajdującego się w obrębie dygestorium. Ciśnienie w butli 200bar, ciśnienie robocze w instalacji 6bar, średnica rurociągu 8x1mm (DN6).

Zgodnie z kartą charakterystyki Arcal R1-5 zawiera w swoim składzie 95% argonu i 5% wodoru.

Pomieszczenie zostanie wyposażone w detekcję wodoru, który w razie wycieku gazu zamknie elektrozawór przy butli wewnątrz szafy wentylowanej.

Ponadto pomieszczenie zgodnie z zaleceniami inwestora wyposażone będzie w wentylację awaryjną o wydajności zapewniającej 10wym/h.

4.5.2. Źródła emisji i ich klasyfikacja

W normalnych warunkach połączenia rozłączalne na instalacji Arcalem należy uznać jako źródło emisji **stopnia drugiego**.

Aby określić wydajność wypływu gazu z nieszczelności należy stwierdzić czy wypływ gazu będzie dławiony czy nie, na podstawie zależności na ciśnienie krytyczne (obliczenia wykonywane dla wodoru):

$$p_c = p_0 \left(\frac{\gamma + 1}{2} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma - 1}} = 1896452 \text{ Pa} = 0,19 \text{ MPa}$$

gdzie: p_0 – ciśnienie poza instalacją (Pa),

γ – współczynnik politropy, liczony z zależności:

$$\gamma = \frac{M \cdot c_p}{M \cdot c_p - R} = 1,406$$

gdzie: M – masa molowa, tutaj 2kg/kmol,

c_p – ciepło właściwe, tutaj 14400J/kgK.

W związku z tym, że ciśnienie absolutne w instalacji przed redukcją $p=20\text{MPa}$ jest większe od ciśnienia krytycznego p_c mamy do czynienia z wypływem dławionym.

Dla wypływu dławionego wydajność emisji oblicza się z zależności:

$$W_g = C_d S p \sqrt{\gamma \frac{M}{ZRT} \left(\frac{2}{\gamma + 1} \right)^{\frac{(\gamma + 1)}{(\gamma - 1)}}} = 2,35 \cdot 10^{-3} \text{ kg/s}$$

gdzie: p – ciśnienie wewnątrz instalacji, tutaj 20000000Pa,

S – powierzchnia wypływu, tutaj $0,25 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$,

T – temperatura 293K.

Objętościowa wydajność wypływu jest równa $0,028\text{m}^3/\text{s}$, a objętościowa charakterystyka wypływu równa $0,7\text{m}^3/\text{s}$.

W związku z tym, że ciśnienie absolutne w instalacji po redukcji $p=0,7\text{MPa}$ jest większe od ciśnienia krytycznego p_c mamy do czynienia z wypływem dławionym.

Dla wypływu dławionego wydajność emisji oblicza się z zależności:

$$W_g = C_d S p \sqrt{\gamma \frac{M}{ZRT} \left(\frac{2}{\gamma + 1} \right)^{(\gamma+1)/(\gamma-1)}} = 8,2 \cdot 10^{-5} \text{kg/s}$$

gdzie: p – ciśnienie wewnątrz instalacji, tutaj 700000Pa ,

S – powierzchnia wypływu, tutaj $0,25 \cdot 10^{-6}\text{m}^2$,

T – temperatura 293K .

Objętościowa wydajność wypływu jest równa $0,001\text{m}^3/\text{s}$, a objętościowa charakterystyka wypływu równa $0,025\text{m}^3/\text{s}$.

Zestawienie źródeł emisji znajduje się w załączniku nr 3.

4.5.3. Ocena stopnia wentylacji

Pomieszczenie wyposażone będzie w wentylację mechaniczną awaryjną o wydajności co najmniej 10wym/h .

Zgodnie z wykresem C.1 normy PN-EN 60079-10-1:2016-02 wentylację w pomieszczeniu ocenia się jako wentylację o **stopniu średnim** oraz **dyspozycyjności dostatecznej**.

Wentylację szafy z butlą zgodnie z wykresem C.1 normy PN-EN 60079-10-1:2016-02 ocenia się jako wentylację o **stopniu wysokim** oraz **dyspozycyjności dostatecznej**.

Wentylację w obrębie dygestorium ocenia się jako wentylację o **stopniu wysokim** oraz **dyspozycyjności dobrej**.

4.5.4. Wyznaczenie stref

Zgodnie z tabelą załącznika nr 1 oraz arkuszami danych z załączników nr 2 i 3 oraz wykresem D.1 normy PN-EN 60079-10-1:2016-02 wewnątrz szafy oraz

wewnątrz kanałów wentylacji szafy i wentylacji awaryjnej oraz w promieniu 2m od ujścia na dachu wyznacza się **STREFĘ 2 zagrożenia wybuchem**.

Ponadto od połączeń rozłączalnych na instalacji z gazem poza dygestorium wyznacza się **STREFĘ 2 zagrożenia wybuchem** w promieniu 0,25m.

4.5.5. Ocena pomieszczenia pod kątem kwalifikacji jako pomieszczenia zagrożonego wybuchem

W celu oceny pomieszczenia pod kątem kwalifikacji jako pomieszczenia zagrożonego wybuchem należy obliczyć przyrost ciśnienia, jaki mógłby zostać spowodowany również przez wybuch wodoru. Możliwy przyrost ciśnienia oblicza się przy założeniu sytuacji, że dojdzie do emisji wodoru z nieszczelności na instalacji.

$$\Delta P = \frac{m_{\max} \cdot \Delta P_{\max} \cdot W}{V \cdot C_{st} \cdot \rho}$$

gdzie: $m_{\max}$ – maksymalna masa substancji palnych, tworzących mieszaninę wybuchową, jaka może wydzielć się w rozpatrywanym pomieszczeniu (kg),

$\Delta P_{\max}$ – maksymalny przyrost ciśnienia przy wybuchu stechiometrycznej mieszaniny w zamkniętej komorze (tutaj 625kPa),

W – współczynnik przebiegu reakcji wybuchu, dla gazu = 0,17,

V – objętość przestrzeni powietrznej pomieszczenia netto, (-10%) tutaj 427,5m³,

C_{st} – objętościowe stężenie stechiometryczne,

$$C_{st} = \frac{1}{1 + 4,84 \cdot \beta} = 0,29$$

β – stechiometryczny współczynnik tlenu w reakcji wybuchu

$$\beta = n_c + \frac{n_H - n_{Cl}}{4} - \frac{n_O}{2} = 0,5$$

ρ – gęstość gazu w temperaturze pomieszczenia 0,083kg/m³.

Ze względu na zabezpieczenie instalacji systemem detekcji wodoru, który automatycznie zamyka dopływ gazu z szafy do pomieszczenia masę gazu, która wytworzyć może atmosferę wybuchową przyjmuje się nie więcej niż 0,01kg.

Stąd

$$\Delta P = 0,1kPa$$

Mieszanina wybuchowa, która może wytworzyć się w pomieszczeniu, spowoduje przyrost ciśnienia równy 0,1kPa, czyli mniejszy niż 5kPa, stąd pomieszczenie nie będzie zagrożone wybuchem.

Uwaga: W przypadku nie zastosowania detekcji zamykającej automatycznie dopływ gazu do pomieszczenia może być kwalifikowane jako zagrożone wybuchem.

5. Czynniki mogące zainicjować zapłon

Aby doszło do wybuchu oprócz wytworzenia mieszaniny wybuchowej musi pojawić się w jednym czasie źródło zapłonu, samozapłonu lub samozapalenia, określane w normie PN-EN 1127-1 jako efektywne źródło zapłonu. To czy dane źródło zapłonu jest efektywne, czyli zapoczątkuje proces spalania, zależy od substancji palnej. Parametrami, które charakteryzują podatność mieszaniny wybuchowej do zapoczątkowania procesu spalania, a w konsekwencji wybuchu są:

- Minimalna energia zapłonu (MEZ).
- Minimalna temperatura samozapłonu atmosfery wybuchowej.

Zgodnie z normą¹¹ wyróżnia się trzynaście rodzajów źródeł zapłonu, które wraz z krótką charakterystyką zostały zebrane w tabeli nr 1.

Tabela 1. Źródła zapłonu i ich charakterystyka

Źródło zapłonu	Charakterystyka	Możliwość pojawienia się
1	2	3
gorące powierzchnie	atmosfera wybuchowa może zapalić się w przypadku kontaktu z gorącymi powierzchniami, jeżeli temperatura powierzchni osiąga minimalną temperaturę samozapłonu atmosfery wybuchowej, np. nagrzana powierzchnia, urządzenia wadliwie działającego	mało możliwe
płomienie i gorące gazy	zarówno płomienie jak i żarzące się stałe cząstki mogą wywołać zapłon atmosfer wybuchowych; nawet bardzo małe płomienie są jednymi z najbardziej efektywnych źródeł zapłonu i dlatego też muszą być eliminowane z miejsc niebezpiecznych; dlatego wprowadza się zakaz palenia tytoniu i używania otwartego ognia, a prace remontowe z użyciem np. palnika muszą być odpowiednio zabezpieczone	mało możliwe

¹¹ Norma PN-EN 1127-1.

iskry wytwarzane mechanicznie	tarcie, uderzenia i ścieranie mogą spowodować iskrzenie; w przypadku gazów ten typ źródła zapłonu stanowi również duże niebezpieczeństwo gdyż wymagana energia zapłonu dla przedmiotowych substancji jest niska, np. narzędzia iskrzące w kontakcie z betonem,	mało możliwe
urządzenia elektryczne	nawet przy niskich napięciach, iskrzenie elektryczne i gorące powierzchnie mogą stanowić źródła zapłonu w urządzeniach elektrycznych (np: podczas zamykania i przerywania obwodów elektrycznych oraz w wyniku prądów elektrycznych błędnych); w strefach zagrożenia wybuchem dopuszcza się stosowanie urządzeń elektrycznych w wykonaniu tylko i wyłącznie przeciwwybuchowym (oznaczone skrótem Ex) zgodnie z rozdziałem 6	po zastosowaniu odpowiednich urządzeń mało możliwe
prądy błędne, katodowa ochrona przed korozją,	prądy błędne mogą płynąć w systemach przewodzących elektryczność lub częściach systemów w sytuacji: ■ istnienia prądów powrotnych (duże systemy spawalnicze); ■ zwarcia (uszkodzenia instalacji elektrycznej); ■ indukcji magnetycznej (sąsiedztwo instalacji elektrycznej z silnymi prądami lub częstotliwościami radiowymi); ■ uderzenia pioruna	mało możliwe
elektryczność statyczna	w określonych warunkach wyładowania elektryczności statycznej mogą powodować zapłon; wyładowania naładowanych, izolowanych części przewodzących łatwo mogą prowadzić do wytworzenia iskier zapalających, które mogą zapalić mieszaninę wybuchową gazu z powietrzem	poziom zależny od zastosowanej posadzki oraz odzieży

uderzenie pioruna	jeżeli uderzenie pioruna nastąpi w atmosferze wybuchowej, zawsze dojdzie do jej zapłonu, co więcej, istnieje również możliwość zapłonu ze względu na wysokie temperatury osiągane przez elementy przewodzące wyladowanie	mało możliwe
fale elektromagnetyczne o częstotliwości radiowej od 10^4Hz do $3 \cdot 10^{12}\text{Hz}$	fale elektromagnetyczne są emitowane przez wszystkie systemy generujące i stosujące energię elektryczną o częstotliwości radiowej (nadajniki radiowe lub przemysłowe); przewodzące części znajdujące się w polu promieniowania działają jak anteny odbiorcze; może zaistnieć sytuacja, że część przewodząca spowoduje zapłon atmosfery wybuchowej poprzez odebranie energii o częstotliwości radiowej co w konsekwencji spowoduje rozżarzenie cienkiego przewodu lub wygenerowanie iskry	mało możliwe
fale elektromagnetyczne o częstotliwości radiowej od $3 \cdot 10^{11}\text{Hz}$ do $3 \cdot 10^{15}\text{Hz}$	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 skupione przez przedmiot)	mało możliwe
promieniowanie jonizujące	promieniowanie jonizujące generowane, na przykład, przez lampy rentgenowskie i substancje radioaktywne może zapalać atmosfery wybuchowe w wyniku absorpcji energii	mało możliwe
ultradźwięki	podczas stosowania fal ultradźwiękowych, znaczna część energii wytwarzanej przez przetwornik elektroakustyczny jest absorbowana przez substancje stałe lub ciekłe; substancja wystawiona na działanie ultradźwięków ogrzewa się tak, że w skrajnych przypadkach może nastąpić zapłon	mało możliwe

spężanie adiabatyczne i fale uderzeniowe	w przypadku sprężania adiabatycznego lub prawie adiabatycznego i w falach uderzeniowych mogą występować tak wysokie temperatury, że atmosfera wybuchowa może zostać zapalona	mało możliwe
reakcje egzotermiczne, samozapalenie pyłów	reakcje egzotermiczne mogą stanowić źródło zapłonu gdy szybkość wytwarzania ciepła będzie większa od szybkości odprowadzania ciepła do otoczenie,	mało możliwe

6. Kryteria doboru urządzeń elektrycznych

W strefach zagrożenia wybuchem dopuszcza się stosowanie urządzeń elektrycznych w wykonaniu tylko i wyłącznie przeciwwybuchowym.

Zgodnie z normą EN 1127-1 w zależności od rodzaju substancji i strefy zagrożenia wybuchem należy stosować urządzenia z odpowiednich kategorii (tabela 2).

Tabela 2. Dobór kategorii urządzeń w strefach zagrożonych wybuchem

Strefa	Kategoria urządzenia	Grupa wybuchowości	Temperatura	Poziom EPL
dla par etanolu				
0	1G	IIB	T2 lub T3 lub T4 lub T5 lub T6	Ga
1	1G lub 2G	IIB	T2 lub T3 lub T4 lub T5 lub T6	Ga lub Gb
2	1G lub 2G lub 3G	IIB	T2 lub T3 lub T4 lub T5 lub T6	Ga lub Gb lub Gc
dla wodoru				
2	1G lub 2G lub 3G	IIC	T2 lub T3 lub T4 lub T5 lub T6	Ga lub Gb lub Gc
dla metanu				
2	1G lub 2G lub 3G	I/IIA	T2 lub T3 lub T4 lub T5 lub T6	Ga lub Gb lub Gc
dla propan-butanu				
2	1G lub 2G lub 3G	IIA	T2 lub T3 lub T4 lub T5 lub T6	Ga lub Gb lub Gc

Natomiast najnowsza edycja normy ogólnej dotyczącej urządzeń elektrycznych (EN 60079-0) wprowadza modyfikację znakowania urządzeń w oparciu o pojęcie metody oceny ryzyka obejmującej Poziomy Zabezpieczenia Urządzenia (EPL – Equipment Protection Level) wskazujące ryzyko zapłonu związane z urządzeniem, niezależnie od tego, jaki zastosowano rodzaj budowy przeciwwybuchowej. Zgodnie z tym urządzenia elektryczne powinny odpowiadać następującym grupom i poziomom EPL.

7. Wnioski i zalecenia

Należy zwrócić uwagę na przestrzeganie podstawowych zasad bezpieczeństwa związanych z użytkowaniem, przede wszystkim zakazu palenia tytoniu w miejscach występowania stref zagrożenia wybuchem.

Substancje należy przechowywać i pracować z nimi zgodnie z przyjętymi założeniami w dokumencie.

Instalacja propan-butanu (pomieszczenie 303d), Arcalu (pomieszczenie 224 i 311) oraz mieszanki argonu i metanu (pomieszczenie 212a) musi być zabezpieczona systemem detekcji, który automatycznie odetnie dopływ gazu wewnątrz szafy w przypadku jego wykrycia.

Instalacja poza szafą w pomieszczeniach 303a i 212 musi być wykonana jako szczelna bez połączeń rozłączalnych.

W pomieszczeniu 216 aby uniknąć kwalifikacji pomieszczenia jako zagrożonego wybuchem alkohol powinien być magazynowany w specjalnych wentylowanych szafach lub należy pomieszczenie wyposażać w detekcję par etanolu i wentylację awaryjną uruchamianą automatycznie o wydajności zapewniającej co najmniej 20wym/h. Zarówno wentylacja szafy jak i wentylacja awaryjna musi być wyposażona w wentylator zgodny z rozdziałem 6.

Ponadto łączna ilość cieczy o temperaturze zapłonu do 21°C tj. etanolu przechowywanych w strefie pożarowej ZL III nie może przekraczać 10dm³. W związku z tym należy albo zmniejszyć ilość etanolu, a większą ilość magazynować w specjalnym pomieszczeniu do tego celu przeznaczonym stanowiącym odrębną strefę pożarową PM, lub zastosować szafy w odporności ogniowej co najmniej 90minut.

W strefach zagrożenia wybuchem należy stosować urządzenia w wykonaniu Ex, zgodnie z rozdziałem 6.

W miejscu wyznaczenia stref zagrożenia wybuchem należy stosować posadzkę odprowadzającą ładunek elektrostatyczny oraz odpowiednią odzież.

Niniejszy dokument należy zaktualizować w przypadku gdy nastąpią zmiany mające wpływ na wynik oceny zagrożenia wybuchem. Ponadto przed rozpoczęciem prac należy dokonać oceny ryzyka związanego z występowaniem atmosfery wybuchowej wraz z „Dokumentem zabezpieczenia przed wybuchem”.

8. Literatura

8.1. Prawodawstwo i normy

1. Dyrektywa 1999/92/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 16 grudnia 1999 roku w sprawie minimalnych wymagań dotyczących bezpieczeństwa i ochrony zdrowia pracowników zatrudnionych na stanowiskach pracy, na których może wystąpić atmosfera wybuchowa (Dz. U. L 23, z 28.1.2000, str.57), ostatnie sprostowanie z dnia 7 czerwca 2000 r. (Dz. U. L 134, z 7.6.2000, str.36).
2. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2014/34/UE z dnia 26 lutego 2014 r. w sprawie harmonizacji ustawodawstw państw członkowskich odnoszących się do urządzeń i systemów ochronnych przeznaczonych do użytku w atmosferze potencjalnie wybuchowej.
3. 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).
4. Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 7 czerwca 2010r. w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków, innych obiektów budowlanych i terenów (Dz. U. Nr 109, poz. 719).
5. Norma PN-EN 60079-0:2013-3 Atmosfery wybuchowe -- Część 0: Urządzenia -- Podstawowe wymagania.
6. Norma PN-EN 60079-10-1:2016-02 Atmosfery wybuchowe -- Część 10-1: Klasyfikacja przestrzeni -- Gazowe atmosfery wybuchowe.
7. Norma PN-EN 1127-1:2011 Atmosfery wybuchowe – Zapobieganie wybuchowi i ochrona przed wybuchem – Część 1: Pojęcia podstawowe i metodologia.

8.2. Bibliografia

1. Woliński M., Ogrodnik G., Tomczuk J., Ocena zagrożenia wybuchem, Szkoła Główna Służby Pożarniczej, Warszawa 2002.
2. Borysewicz M., Kuncerowicz-Polak B., Zagrożenia pożarowe i wybuchowe, CIOP, Warszawa 1997.
3. Karta charakterystyk substancji niebezpiecznych.

9. Załączniki

Załącznik 1. Wpływ wentylacji na rodzaj strefy

Wentylacja						
Stopień emisji	Wysoki			Średni		
	Stopień					
	Dyspozycyjność					
	Dobra	Dostateczna	Słaba	Dobra	Dostateczna	Słaba
Ciągła	(Strefa 0 NE) Niezagrożona ¹⁾	(Strefa 0 NE) Strefa 2 ¹⁾	(Strefa 0 NE) Strefa 1 ¹⁾	Strefa 0	Strefa 0 + Strefa 2	Strefa 0 + Strefa 1
Pierwszy	(Strefa 1 NE) Niezagrożona ¹⁾	(Strefa 1 NE) Strefa 2 ¹⁾	(Strefa 1 NE) Strefa 2 ¹⁾	Strefa 1	Strefa 1 + Strefa 2	Strefa 1 + Strefa 2
Drugi ²⁾	(Strefa 2 NE) Niezagrożona ¹⁾	(Strefa 2 NE) Niezagrożona ¹⁾	Strefa 2	Strefa 2	Strefa 2	Strefa 2
¹⁾ Strefa 0NE, 1NE lub 2NE oznacza teoretyczną strefę, która w warunkach normalnych ma pomijalnie mały zasięg;						
²⁾ Strefa 2 w przestrzeni wywołanej emisją o drugim stopniu może się rozszerzyć po przypisaniu jej pierwszego stopnia lub emisji ciągłej, w tym przypadku należy przyjąć większą odległość;						
³⁾ Strefa będzie strefą 0, jeżeli wentylacja jest tak słaba, a emisja jest taka, że w praktyce atmosfera wybuchowa istnieje niemal ciągle (tj. zbliżając się do warunków „braku wentylacji”)						
UWAGA – „+” oznacz „otoczona przez”						

Załącznik 2. Wykaz i charakterystyka substancji mogących stworzyć zagrożenie wybuchowe

Nr	Nazwa	DGW		Temperatura samozapłonu [°C]	Maksymalne ciśnienie wybuchu [bar]	MEZ [mJ]	Grupa wybuchowości	Klasa temperaturowa	Uwagi
		g/m ³	%obj.						
1	wodór	3,4	4	580	6,25	0,011	IIC	T1	
2	metan	33	5	650	6,05	0,28	I/IIA	T1	
3	propan	50	2,1	460	7,42	0,25	IIA	T1	
4	butan	39	1,5	410	7,42	0,25	IIA	T2	
5	alkohol etylowy	50	3,1	400	6,34	0,65	IIB	T2	
Dane literaturowe									
Dane z kart charakterystyk substancji niebezpiecznych									

Załącznik 3. Arkusz danych klasyfikacji przestrzeni zagrożonych – Wykaz źródeł emisji

Pomieszczenia laboratoryjne budynku dydaktycznego A2														
Akademia Górniczo-Hutnicza														
1	2	3	4	5	6	7	8			9	10	11	12	13
Lp.	Źródło emisji		Stopień emisji ¹⁾	Odniesienie ²⁾	Materiał palny		Stan ³⁾	Rodzaj ⁴⁾	Stopień ⁵⁾	Dyspozycyjność ⁵⁾	Rodzaj strefy 0-1-2	Przebieg zagrożenia		Lp.
	Opis	Uytuowanie			Temp. i ciśnienie pracy	Zasięg strefy [m]						Odniesienie		
					[°C]	[MPa]								
1	połączenia rozłączalne	szafa wentylowana - pomieszczenie 212	S	2	ot.	20	G	A	wysoki	dostat.	2	wewnątrz szafy oraz wewnątrz kanałów wentylacji szafy oraz w promieniu 2m od ujęcia na dachu		
2	połączenia rozłączalne	instalacja - pomieszczenie 212a	S	2	ot.	0,6	G	A	średni	dostat.	2	w promieniu 0,5m od połączeń rozłączalnych (zawory, reduktory, itp.)		
												wewnątrz kanałów wentylacji awaryjnej oraz w promieniu 2m od ujęcia na dachu		
3	otwarte pojemniki	pomieszczenie 216	C	5	ot.	ot.	L	N	niski	słaba	0	wewnątrz pojemnika z alkoholem,		
											1	w promieniu 0,5m od otwartych pojemników		
											2	w promieniu 0,5m od strefy 1		
4	zamknięte pojemniki	pomieszczenie 216	C	5	ot.	ot.	L	N	niski	słaba	2	w promieniu 0,5m		*
6	połączenia rozłączalne	szafa wentylowana - pomieszczenie 224	S	1	ot.	20	G	A	wysoki	dostat.	2	wewnątrz szafy oraz wewnątrz kanałów wentylacji szafy oraz w promieniu 2m od ujęcia na dachu		

7	połączenia rozłączalne	instalacja - pomieszczenie 224	S	1	ot.	0,6	G	A	średni	dostat.	2	w promieniu 0,5m od połączeń rozłączalnych (zawory, reduktory, itp.) wewnątrz kanałów wentylacji awaryjnej oraz w promieniu 2m od ujęcia na dachu
8	połączenia rozłączalne	szafa wentylowana - pomieszczenie 303a	S	3-4	ot.	0,4	G	A	wysoki	dostat.	2	wewnątrz szafy oraz wewnątrz kanałów wentylacji szafy oraz w promieniu 2m od ujęcia na dachu
9	połączenia rozłączalne	instalacja - pomieszczenie 303d	S	3-4	ot.	0,15	G	A	średni	dostat.	2	w promieniu 0,5m od połączeń rozłączalnych (zawory, reduktory, itp.) wewnątrz kanałów wentylacji awaryjnej oraz w promieniu 2m od ujęcia na dachu
	połączenia rozłączalne	szafa wentylowana - pomieszczenie 311	S	1	ot.	20	G	A	wysoki	dostat.	2	wewnątrz szafy oraz wewnątrz kanałów wentylacji szafy oraz w promieniu 2m od ujęcia na dachu
	połączenia rozłączalne	instalacja - pomieszczenie 311	S	1	ot.	0,6	G	A	średni	dostat.	2	w promieniu 0,5m od połączeń rozłączalnych (zawory, reduktory, itp.)

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

2) Powołano się na numer listy w załączniku nr 2;

3) G – gaz; L – ciecz; LG – ciekły gaz; S – ciało stałe;

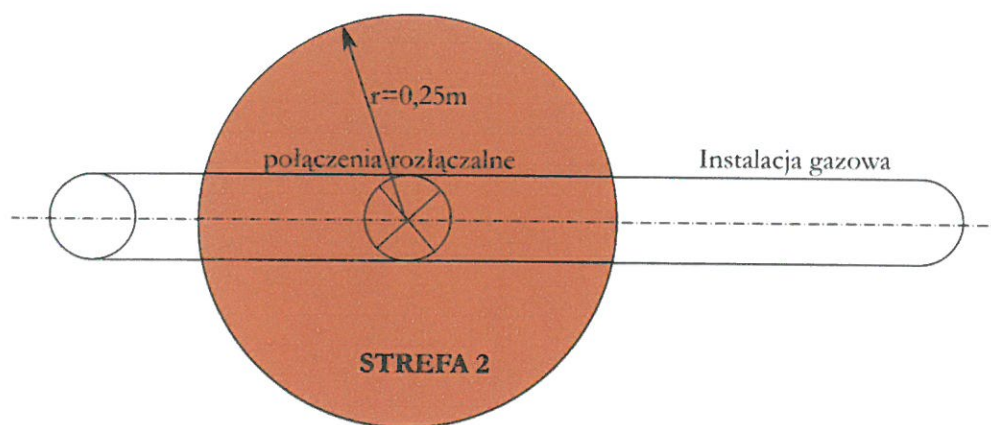
4) N – naturalna; A – mechaniczna;

5) Patrz wcześniejsze obliczenia.

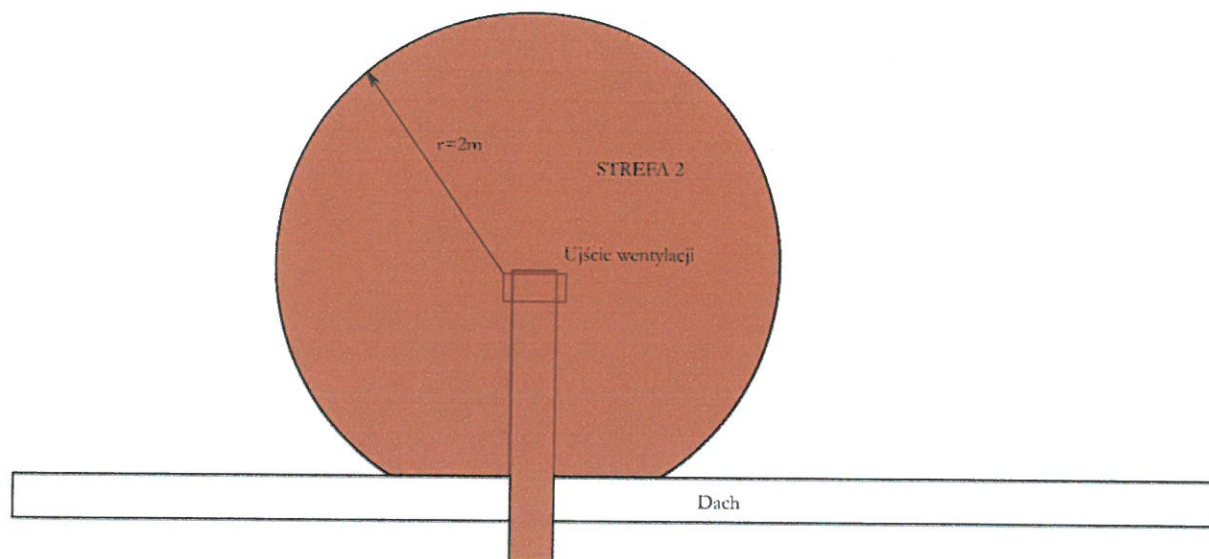
* w zależności od zastosowania szaf wentylowanych lub wentylacji awaryjnej wewnątrz kanałów wentylacji odpowiednio szafy lub wentylacji awaryjnej oraz w promieniu 2m od ujęcia na dachu wyznacza się **Strefę 2 zagrożenia wybuchem**

Załącznik 4. Poglądowe rysunki strefa zagrożenia wybuchem

Ze względu na brak możliwości na tym etapie dokładnej lokalizacji poszczególnych stref w części graficznej poniżej poglądowe przedstawienie wybranych stref zagrożenia wybuchem



Rysunek 1. Strefa zagrożenia wybuchem od połączeń rozłączalnych na instalacji z propan-butanem, Arcalem i mieszkanką argonu i metanu na instalacji poza szafą



Rysunek 2. Strefa zagrożenia wybuchem wewnątrz i u ujścia instalacji wentylacji wyciągowej szaf z gazami palnymi i etanolem oraz wentylacji awaryjnej

Lokalizację wszystkich stref zagrożenia wybuchem należy nanieść na opracowane rzuty technologii dla budynku.