

OCENA ZAGROŻENIA WYBUCHEM

**DO PROJEKTU KONCEPCYJNEGO
PRZEBUDOWA ISTNIEJĄCEGO BUDYNKU
LABORATORYJNEGO NR 8 PRZY
UL. WÓLCZYŃSKIEJ 133 W WARSZAWIE**

Opracowała:

Styczeń 2025

Spis treści

1. CEL OPRACOWANIA	3
2. PODSTAWY PRAWNE	4
3. PODSTAWOWE DEFINICJE I OKREŚLENIA	5
4. OCENA ZAGROŻENIA WYBUCHEM	10
4.1. ZEWNĘTRZNA STACJA ROZPRĘŻALNI WODORU	10
4.1.1. Charakterystyka	10
4.1.2. Źródła emisji i ich klasyfikacja	11
4.1.3. Ocena stopnia wentylacji	12
4.1.4. Wyznaczenie stref	12
4.2. MAGAZYN CENTRALNY – POMIESZCZENIE 2.12	12
4.2.1. Charakterystyka	12
4.2.2. Źródła emisji i ich klasyfikacja	13
4.2.3. Ocena stopnia wentylacji	13
4.2.4. Wyznaczenie stref	13
4.2.5. Ocena pomieszczeń pod kątem kwalifikacji jako pomieszczenia zagrożonego wybuchem	13
4.3. LABORATORIA Z SZAFAMI NA ODCZYNNIKI - POMIESZCZENIA 2.49, 2.51, 2.56, 2.57	15
4.3.1. Charakterystyka	15
4.3.2. Źródła emisji i ich klasyfikacja	15
4.3.3. Ocena stopnia wentylacji	15
4.3.4. Wyznaczenie stref	16
4.3.5. Ocena pomieszczeń pod kątem kwalifikacji jako pomieszczenia zagrożonego wybuchem	16
4.4. INSTALACJA WODORU ZASILAJĄCA URZĄDZENIA	17
4.4.1. Charakterystyka	17
5. CZYNNIKI MOGĄCE ZAINICJOWAĆ ZAPŁON	19
6. KRYTERIA DOBORU URZĄDZEŃ ELEKTRYCZNYCH	22
7. WNIOSKI I ZALECENIA	23
8. LITERATURA	24
8.1. PRAWODAWSTWO I NORMY	24
8.2. BIBLIOGRAFIA	25
9. ZAŁĄCZNIKI	26

1. Cel opracowania

Celem opracowania jest ocena zagrożenia wybuchem do projektu **do projektu przebudowy istniejącego Budynku Laboratoryjnego nr 8 przy ul. Wólczyńskiej 133 w Warszawie.**

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 używało 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 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 60079-0:2018-09 Atmosfery wybuchowe -- Część 0: Urządzenia -- Podstawowe wymagania.
- Normy PN-EN 60079-10-1:2021 Atmosfery wybuchowe -- Część 10-1: Klasyfikacja przestrzeni -- Gazowe atmosfery wybuchowe.
- Normy PN-EN 1127-1:2019-10 Atmosfery wybuchowe – Zapobieganie wybuchowi i ochrona przed wybuchem – Część 1: Pojęcia podstawowe i metodyka.
- 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 piniących 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 wymaganiem 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

W ramach projektowanej przebudowy powstaną różnego typu laboratoria wraz z infrastrukturą technologiczną.

Ocenie zagrożenia wybuchem poddano miejsca wskazane przez zlecniodawcę ze względu na obecność takich ilości substancji palnych mogących stworzyć zagrożenie wybuchem, są to:

- zewnętrzna stacja rozprężalni wodoru – w oparciu o cztery maxipacki,
- magazyn centralny (pomieszczenie 2.12), w którym głównie będzie odbywało się magazynowanie substancji. Dopuszczalne mniejsze ilości będą przechowywane w szafach bezpiecznych, wentylowanych w laboratoriach.
- laboratoria z szafami na odczynniki - pomieszczenia 2.49, 2.51, 2.56, 2.57.
- instalacja wodoru zasilająca urządzenia.

W pozostałych laboratoriach zgodnie z informacjami od użytkownika ilości stosowanych cieczy łatwopalnych będą znikome zatem nie dokonuje się oceny zagrożenia wybuchem.

W laboratoriach 0.19-0.22 urządzenia zasilane będą gazami obojętnymi, utleniającymi, które nie stwarzają zagrożenia wybuchem, jak również mieszaniną gazów ($\text{Ar}+5\%\text{H}_2$, $\text{N}_2+10\%\text{H}_2$), które ze względu na przeważający udział gazu obojętnego, również nie będą stwarzały realnej możliwości wytworzenia mieszaniny wybuchowej powietrza z wodorem w stężeniu granic wybuchowości.

4.1. Zewnętrzna stacja rozprężalni wodoru

4.1.1. Charakterystyka

Po południowej stronie budynku zlokalizowana została zewnętrzna rozprężalnia wodoru zasilana z maksymalnie 10 wiązek butli (jedna wiązka to paleta z zestawem 12 butli, każda po 50l). Wiązki nie są elementem stałym, po opróżnieniu zostają wymienione na nowe. Łączna pojemność wodoru wynosi więcej niż 10m^3 .

Od strony budynku oraz najbliższej granicy działki teren rozprężalni wodoru jest osłonięty za pomocą ściany murowanej o odporności ogniowej REI120.

Od pozostałych stron rozprężalnię wodoru wydzielono za pomocą ogrodzenia z paneli azurowych. Nad wiązkami wykonano lekkie zadaszenie.

Zewnętrzna stacja rozprężalni wodoru realizowana jest w oparciu o cztery maxipacki. W każdym maxipacku będzie znajdowało się 48 butli. Rozprężalnia będzie obudowana z dwóch stron zgodnie z PZT ścianą oddzielenia ppoż. REI 120 o wysokości 3m. W obrębie rozprężalni będzie znajdował się panel kontrolny.

Rozprężalnia znajdować się będzie w odległości 14m od budynku. Stacja rozprężania wyposażona będzie w zawór bezpieczeństwa z ujściem na wysokości 8m.

4.1.2. Źródła emisji i ich klasyfikacja

W normalnych warunkach połączenia rozłączalne na instalacji z wodorem należy uznać jako źródło emisji **stopnia drugiego**. Zawór bezpieczeństwa należy uznać jako źródło emisji **stopnia pierwszego**.

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

$$p_c = p_0 \left(\frac{\gamma + 1}{2} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma - 1}} = 189645,2 Pa = 0,19 MPa$$

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 $p=20,1MPa$ jest większe od ciśnienia krytycznego p_c mamy do czynienia z wypływem dławionym.

Dla wypływu dławionego wydajność emisji oblicza się z zależności:

$$W_g = C_d S p \sqrt{\gamma \frac{M}{ZRT} \left(\frac{2}{\gamma + 1} \right)^{\frac{(\gamma + 1)}{(\gamma - 1)}}} = 0,0024 \text{ kg/s}$$

gdzie: p – ciśnienie wewnątrz instalacji, tutaj 20100000Pa,

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

T – temperatura 293K.

Objętościowa wydajność wypływu jest równa $0,028\text{m}^3/\text{s}$, a objętościowa charakterystyka wypływu równa $0,71\text{m}^3/\text{s}$.

Zestawienie źródeł emisji znajduje się w załączniku nr 3.

4.1.3. Ocena stopnia wentylacji

Ewentualna emisja będzie miała miejsce na terenie otwartym dlatego przyjmuje się przepływ powietrza na poziomie $0,5\text{m}/\text{s}$.

Zgodnie z wykresem C.1 normy PN-EN 60079-10-1:2021 dla źródeł emisji stopnia drugiego i pierwszego wentylację ocenia się jako wentylację o **stopniu średnim** 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 w obrębie stacji rozprężania i 1m od niej wyznacza się **STREFĘ 2 zagrożenia wybuchem**.

Ponadto od ujścia zaworu bezpieczeństwa wyznacza się **STREFĘ 1 zagrożenia wybuchem** w górę i w bok od zaworu na 3m, a wokół niej **STREFĘ 2 zagrożenia wybuchem** o promieniu 1m.

4.2. Magazyn centralny – pomieszczenie 2.12

4.2.1. Charakterystyka

W magazynie centralnym - pomieszczenie 2.12 o powierzchni $62,72\text{m}^2$ i wysokości $4,75\text{m}$ magazynowane będą odczynniki chemiczne używane w laboratoriach. Magazynowane odczynniki to zarówno ciała stałe, jak i ciecze.

W magazynie znajdować się będą m.in. ciecze łatwopalne, głównie rozpuszczalniki i inne stosowane w laboratoriach, m.in. alkohole, aceton, benzen, pentan, cykloheksan, octan etylu, toluen.

Ciecze łatwopalne magazynowane będą w większości w pojemnikach jednostkowych o objętości max 1dm^3 , poza acetonem pojemnik max $3,5\text{dm}^3$, n-heksanem pojemnik max $2,5\text{dm}^3$, toluenem pojemnik max $2,5\text{dm}^3$.

4.2.2. Źródła emisji i ich klasyfikacja

Nieszczelności w zamknięciach pojemników z cieczami łatwopalnymi należy uznać jako źródło emisji **stopnia drugiego**.

Zestawienie źródeł emisji znajduje się w załączniku nr 3.

4.2.3. Ocena stopnia wentylacji

Pomieszczenie wyposażone będzie w wentylację mechaniczną bytową o wydajności co najmniej 4wym/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**.

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 w pomieszczeniu oraz w kanałach wentylacji mechanicznej oraz w promieniu 2m od jej ujścia na dachu wyznacza się **STREFĘ 2 zagrożenia wybuchem**.

4.2.5. Ocena pomieszczeń pod kątem kwalifikacji jako pomieszczenia zagrożonego wybuchem

W celu oceny pomieszczenia pod kątem kwalifikacji jako pomieszczenia zagrożonego wybuchem należy obliczyć również przyrost ciśnienia, jaki mógłby zostać spowodowany przez wybuch. Obliczenia wykonano dla acetonu znajdującego się w największym opakowaniu jednostkowym. Możliwy przyrost ciśnienia oblicza się przy założeniu sytuacji, że dojdzie do wylania acetonu z opakowania.

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

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

ΔP_{\max} – maksymalny przyrost ciśnienia przy wybuchu stechiometrycznej mieszaniny w zamkniętej komorze (tutaj 772kPa),

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

V – objętość przestrzeni powietrznej pomieszczenia (przyjmuje się kubaturę pomieszczenia -10%) 268,13m³,

C_{st} – objętościowe stężenie stechiometryczne,

$$C_{st} = \frac{1}{1 + 4,84 \cdot \beta} = 0,049$$

β – stechiometryczny współczynnik tlenu w reakcji wybuchu

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

ρ – gęstość par w temperaturze pomieszczenia $\rho = \frac{p \cdot M}{R \cdot T} = 2,414 \text{ kg/m}^3$.

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

$$m = 10^{-9} \cdot F \cdot \tau \cdot K \cdot P_s \cdot \sqrt{M} = 2,75 \text{ kg}$$

gdzie: F – powierzchnia parowania, tutaj 3,5m²,

τ – przewidywany maksymalny czas wydzielania się par (s), zakłada się że ciecz odparuje w całości w ciągu 13 minut czyli 780 s,

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 =24465,5Pa,

M – masa molowa cieczy, tutaj równa 58kg/kmol.

Stąd

$$\Delta P = 6,78 \text{ kPa}$$

Mieszanina wybuchowa, która może wytworzyć się w pomieszczeniu, spowoduje przyrost ciśnienia równy 6,78kPa, czyli większy niż 5kPa, stąd pomieszczenie aby nie zostało zakwalifikowane jako zagrożone wybuchem, należy wyposażyć w system detekcji par uruchamiający wentylację awaryjną o wydajności co najmniej 10wym/h, wówczas m_{max}=0,87kg i $\Delta P=2,11 \text{ kPa}$.

Uwaga: W przypadku nie zastosowania detekcji uruchamiającej automatycznie wentylację awaryjną o wydajności co najmniej 10wym/h pomieszczenie będzie kwalifikowane jako zagrożone wybuchem.

4.3. Laboratoria z szafami na odczynniki - pomieszczenia 2.49, 2.51, 2.56, 2.57

4.3.1. Charakterystyka

Zgodnie z informacjami od użytkownika w pomieszczeniach 2.49, 2.51, 2.56, 2.57 ze względu na używanie cieczy łatwopalnych, dla łatwości pracy część będzie przechowywana w laboratoriach w szafach wentylowanych w odporności ogniowej. Prace z tym cieczami będą realizowane pod dygestorium, w trakcie prac będzie się odbywało przelewanie cieczy łatwopalnych, natomiast nie będzie odbywało się swobodne parowanie.

Używane ciecze to m.in. aceton, etanol, propanol, inne alkohole. Wszystkie te ciecze w opakowaniach do 1dm³.

4.3.2. Źródła emisji i ich klasyfikacja

Nieszczelności w zamknięciach pojemników z cieczami łatwopalnymi należy uznać jako źródło emisji **stopnia drugiego**.

Podczas przelewania cieczy pod dygestorium należy uznać jako źródło emisji **stopnia pierwszego**

Zestawienie źródeł emisji znajduje się w załączniku nr 3.

4.3.3. Ocena stopnia wentylacji

Pomieszczenie wyposażone będzie w wentylację mechaniczną bytową o wydajności co najmniej 4wym/h.

W wentylowanej szafie zgodnie z normą PN-EN 14470-1:2023-12E zapewniona powinna być wydajność zapewniająca 10wym/h. Wydajność wentylacji dygestorium w zależności od jego wielkości na poziomie 500-900m³/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 ocenia się jako wentylację

- o stopniu wysokim oraz dyspozycyjności dostatecznej oraz dygestorium
- o stopniu wysokim oraz dyspozycyjności dobrej.

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 60079-10-1:2021 ze względu na ilość magazynowanych cieczy palnych wewnątrz instalacji odciągowej wentylowanych szaf i w promieniu 2m od jej ujścia wyznacza się **STREFĘ 2 zagrożenia wybuchem**.

Wewnątrz dygestorium występuje teoretyczna strefa zagrożenia wybuchem, o pomijalnie małym zasięgu, stąd odstępuje się od wyznaczenia stref zagrożenia wybuchem.

4.3.5. Ocena pomieszczeń pod kątem kwalifikacji jako pomieszczenia zagrożonego wybuchem

W celu oceny pomieszczenia pod kątem kwalifikacji jako pomieszczenia zagrożonego wybuchem należy obliczyć również przyrost ciśnienia, jaki mógłby zostać spowodowany przez wybuch. Obliczenia wykonano dla najmniejszego pomieszczenia tj. 2.51. Możliwy przyrost ciśnienia oblicza się przy założeniu sytuacji, że dojdzie do rozlania acetonu podczas prac.

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

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

ΔP_{\max} – maksymalny przyrost ciśnienia przy wybuchu stechiometrycznej mieszaniny w zamkniętej komorze (tutaj 772kPa),

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

V – objętość przestrzeni powietrznej pomieszczenia (przyjmuje się kubaturę pomieszczenia -10%) 106,92m³,

C_{st} – objętościowe stężenie stechiometryczne,

$$C_{st} = \frac{1}{1 + 4,84 \cdot \beta} = 0,049$$

β – stechiometryczny współczynnik tlenu w reakcji wybuchu

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

ρ – gęstość par w temperaturze pomieszczenia $\rho = \frac{p \cdot M}{R \cdot T} = 2,414 \text{ kg/m}^3$.

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

$$m = 10^{-9} \cdot F \cdot \tau \cdot K \cdot P_s \cdot \sqrt{M} = 0,3 \text{ kg}$$

gdzie: F – powierzchnia parowania, tutaj 1 m^2 ,

τ – przewidywany maksymalny czas wydzielania się par (s), zakłada się, że ciecz po rozlaniu zostanie zebrane przez pracownika, stąd przyjmuje się 5 minut czyli 300 s,

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 = 24465,5 Pa,

M – masa molowa cieczy, tutaj równa 58 kg/kmol.

Stąd

$$\Delta P = 1,8 \text{ kPa}$$

Mieszanina wybuchowa, która może wytworzyć się w pomieszczeniu, spowoduje przyrost ciśnienia równy 1,8 kPa, czyli mniejszy niż 5 kPa, stąd pomieszczenie 2.51, a tym samym 2.49, 2.56, 2.57 nie zostają zakwalifikowane jako zagrożone wybuchem.

4.4. Instalacja wodoru zasilająca urządzenia

4.4.1. Charakterystyka

Ze względu na brak informacji na tym etapie dotyczących instalacji wodoru zasilającej urządzenia, ocenę zagrożenia wybuchem dotyczącą tej instalacji oraz zasilanych urządzeń należy wykonać na etapie projektowania instalacji gazowej.

Należy w razie konieczności zastosować rozwiązania techniczne w postaci np. automatycznego odcięcia dopływu gazu, wentylacji awaryjnej, aby pomieszczenia nie zostały zakwalifikowane 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 jest 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
1	2
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
plomień i gorące gazy (łącznie z gorącymi cząstkami)	zarówno płomień jak i żarzące się stale 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
uderzenia mechaniczne, tarcie i ścieranie	tarcie, uderzenia i ścieranie mogą spowodować iskrzenie; w przypadku gazów ten typ źródeł zapłonu stanowi również duże niebezpieczeństwo gdyż wymagana energia zapłonu dla przedmiotowych substancji jest niska, np. narzędzia iskrzące w kontakcie z betonem,

¹¹ Norma PN-EN 1127-1.

urządzenia i komponenty 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 błądzących); w strefach zagrożenia wybuchem dopuszcza się stosowanie urządzeń elektrycznych w wykonaniu tylko i wyłącznie przeciwwybuchowym (oznaczone skrótem Ex) zgodnie z rozdziałem 6
prądy błądzące, katodowa ochrona przed korozją	prądy błądzące mogą płynąć w systemach przewodzących elektryczność lub częściach systemów w sytuacji: <ul style="list-style-type: none"> ▪ istnienia prądów powrotnych (duże systemy spawalnicze); ▪ zwarcia (uszkodzenia instalacji elektrycznej); ▪ indukcji magnetycznej (sąsiedztwo instalacji elektrycznej z silnymi prądami lub częstotliwościami radiowymi); ▪ uderzenia pioruna
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
wyładowania atmosferyczne	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 wyładowanie
fale elektromagnetyczne o częstotliwości radiowej od 10^4Hz do $3 \cdot 10^{11}\text{Hz}$	fale elektromagnetyczne są emitowane przez wszystkie systemy generujące i stosujące energię elektryczną o częstotliwości radiowej (nadańniki 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
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)
promieniowanie jonizujące	promieniowanie jonizujące generowane, na przykład, przez lampy rentgenowskie i substancje radioaktywne może zapalać atmosfery wybuchowe w wyniku absorpcji energii

fale ultradźwiękowe	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
sprężanie 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
reakcje egzotermiczne, łącznie z samozapaleniem się pyłów	reakcje egzotermiczne mogą stanowić źródło zapłonu gdy szybkość wytwarzania ciepła będzie większa od szybkości odprowadzania ciepła do otoczenia,

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 cieczy				
0	1G	IIB	T3 lub T4 lub T5 lub T6	Ga
1	1G lub 2G	IIB	T3 lub T4 lub T5 lub T6	Ga lub Gb
2	1G lub 2G lub 3G	IIB	T3 lub T4 lub T5 lub T6	Ga lub Gb lub Gc
dla wodoru				
0	1G	IIC	T1 lub T2 lub T3 lub T4 lub T5 lub T6	Ga
1	1G lub 2G	IIC	T1 lub T2 lub T3 lub T4 lub T5 lub T6	Ga lub Gb
2	1G lub 2G lub 3G	IIC	T1 lub 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.

Mieszanina wybuchowa, która może wytworzyć się w pomieszczeniu magazynu centralnego, spowoduje przyrost ciśnienia równy 6,78kPa, czyli większy niż 5kPa, stąd pomieszczenie aby nie zostało zakwalifikowane jako zagrożone wybuchem, należy wyposażyć w system detekcji par uruchamiający wentylację awaryjną o wydajności co najmniej 10wym/h.

Ze względu na brak informacji na tym etapie dotyczących instalacji wodoru zasilającej urządzenia, ocenę zagrożenia wybuchem dotyczącą tej instalacji oraz zasilanych urządzeń należy wykonać na etapie projektowania instalacji gazowej. Należy w razie konieczności zastosować rozwiązania techniczne w postaci np. automatycznego odcięcia dopływu gazu, wentylacji awaryjnej, aby pomieszczenia nie zostały zakwalifikowane jako zagrożone wybuchem.

Wentylacja szaf przeznaczonych do przetrzymywania cieczy palnych (w pomieszczeniu 2.49, 2.51, 2.56, 2.57) oraz wentylacja bytowa oraz awaryjna magazynu centralnego (pomieszczenie 2.12) musi być wyposażona w wentylatory w wykonaniu Ex.

Niniejszy dokument należy bezzwłocznie zaktualizować w przypadku gdy obiekt zostanie oddany do użytkowania. 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. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 21 listopada 2005 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać bazy i stacje paliw płynnych, rurociągi przesyłowe dalekosieżne służące do transportu ropy naftowej i ich usytuowanie (Dz. U. Nr 243, poz. 2063, z późniejszymi zmianami).
6. Norma PN-EN 60079-0:2018-09 Atmosfery wybuchowe -- Część 0: Urządzenia -- Podstawowe wymagania.
7. Norma PN-EN 60079-10-1:2021 Atmosfery wybuchowe -- Część 10-1: Klasyfikacja przestrzeni -- Gazowe atmosfery wybuchowe.
8. Norma PN-EN 1127-1:2019-10 Atmosfery wybuchowe – Zapobieganie wybuchowi i ochrona przed wybuchem – Część 1: Pojęcia podstawowe i metodyka.
9. Norma PN-EN 14470-1:2023-12E Ognioodporne szafki magazynowe -- Część 1: Bezpieczne szafki do przechowywania płynów łatwopalnych.

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	Stopień						
	Wysoki			Średni			Niski
	Dyspozycyjność						
	Dobra	Dostateczna	Słaba	Dobra	Dostateczna	Słaba	Dobra, dost. lub 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	Strefa 0
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	Strefa 1 lub Strefa 0 ³⁾
Drugi ²⁾	(Strefa 2 NE) Niezagrożona ¹⁾	(Strefa 2 NE) Niezagrożona ¹⁾	Strefa 2	Strefa 2	Strefa 2	Strefa 2	Strefa 1 i nawet Strefa 0 ³⁾
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”							

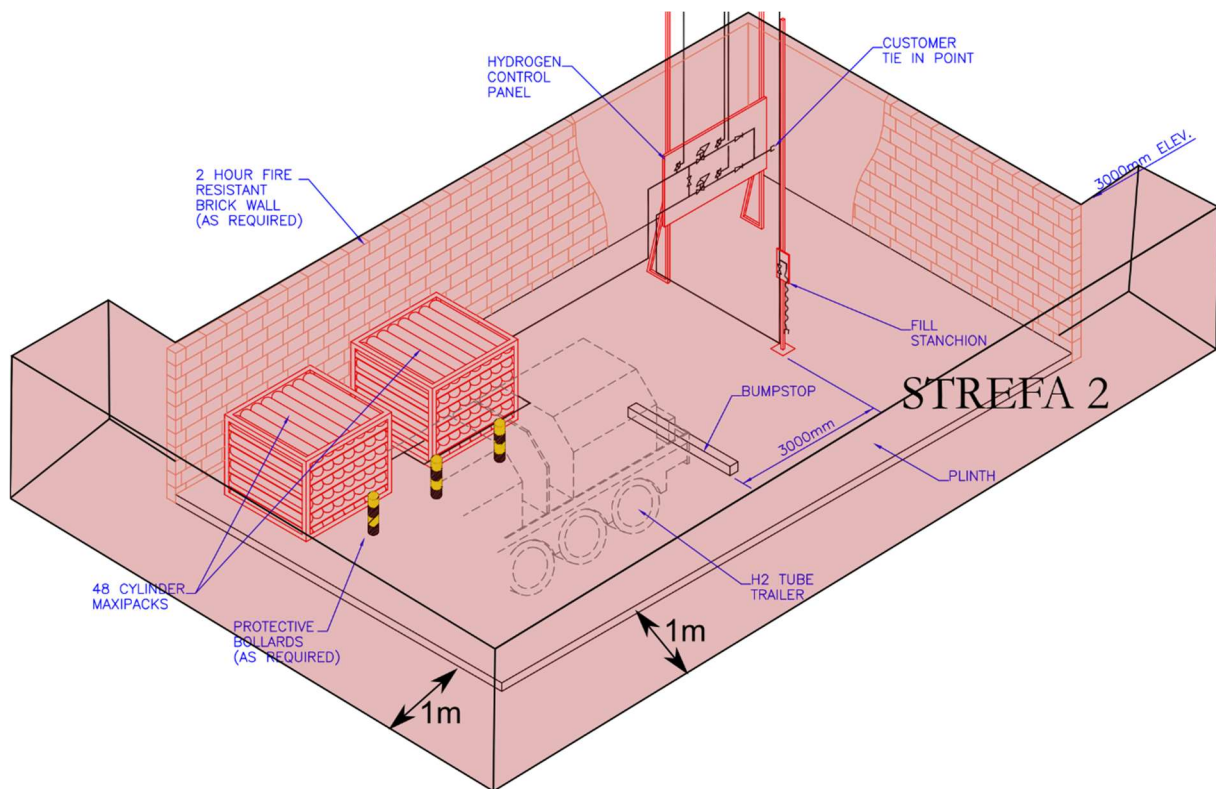
Załącznik 2. Wykaz i charakterystyka substancji mogących stworzyć zagrożenie wybuchowe najczęściej występujących w laboratoriach

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	alkohol etylowy	50	3,1	400	6,34	0,65	IIB	T2	
3	alkohol izopropylowy	50	2,0	400	6,44	0,65	IIA	T2	
4	aceton	50	2,5	540	7,72	1,15	IIA	T1	
5	octan etylu	-	2,2	460	7,52	0,46	IIA	T1	
6	cykloheksan	45	1,3	270	7,67	0,22	IIA	T3	
7	toluen	-	1,3	570	566	0,24	IIA	T1	
8	benzen	46	1,4	540	7,82	0,2	IIA	T1	
9	pentan	-	1,4	285	747	0,22	IIA	T3	
10	tetrahydrofuran		1,5	215	b.d.	b.d.	b.d.	T3	
Dane literaturowe Dane z kart charakterystyk substancji niebezpiecznych									

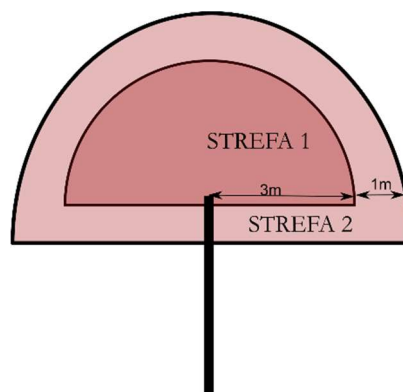
Załącznik 3. Arkusz danych klasyfikacji przestrzeni zagrożonych – Wykaz źródeł emisji

IMIF – Laboratorium nr 8															
1	2	3	4	5	6		7	8			9	10	11	12	13
Lp.	Źródło emisji		Stopień emisji ¹⁾	Odniesienie ²⁾	Materiał palny			Wentylacja			Przestrzeń zagrożona			Uwagi	
	Opis	Usytuowanie			Stan ³⁾	Rodzaj ⁴⁾	Stopień ⁵⁾	Dyspozycyjność ⁵⁾	Rodzaj strefy 0-1-2	Zasięg strefy [m]	Odniesienie				
												[°C]	[MPa]		
1	połączenia rozłączalne	stacja rozprężania wodoru	S	1	ot.	20	G	N	średni	dostat.	2	w obrębie stacji rozprężania oraz w odległości 1m od niej			
2	zawór bezpieczeństwa	stacja rozprężania wodoru	S	1	ot.	0,11	G	N	średni	dostat.	1	w górę i w bok od zaworu na 3m			
											2	o promieniu 1m wokół STREFY 1			
3	nieszczelność w zamknięciach pojemników	magazyn centralny - pomieszczenie 2.12	S	2-10	ot.	ot.	L	A	średni	dostat.	2	wewnątrz pomieszczenia oraz w instalacji wyciągowej wentylacji i w promieniu 2m od jej ujścia			
4	nieszczelność w zamknięciach pojemników	szafa wentylowana - pomieszczenia 2.49, 2.51, 2.56, 2.57	S	2-10	ot.	ot.	L	A	wysoki	dostat.	2	wewnątrz instalacji wyciągowej szafy i w promieniu 2m od jej ujścia			
5	połączenia rozłączalne	instalacja wodoru	na etapie projektu instalacji gazowej należy dokonać oceny zagrożenia wybuchem												
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.															

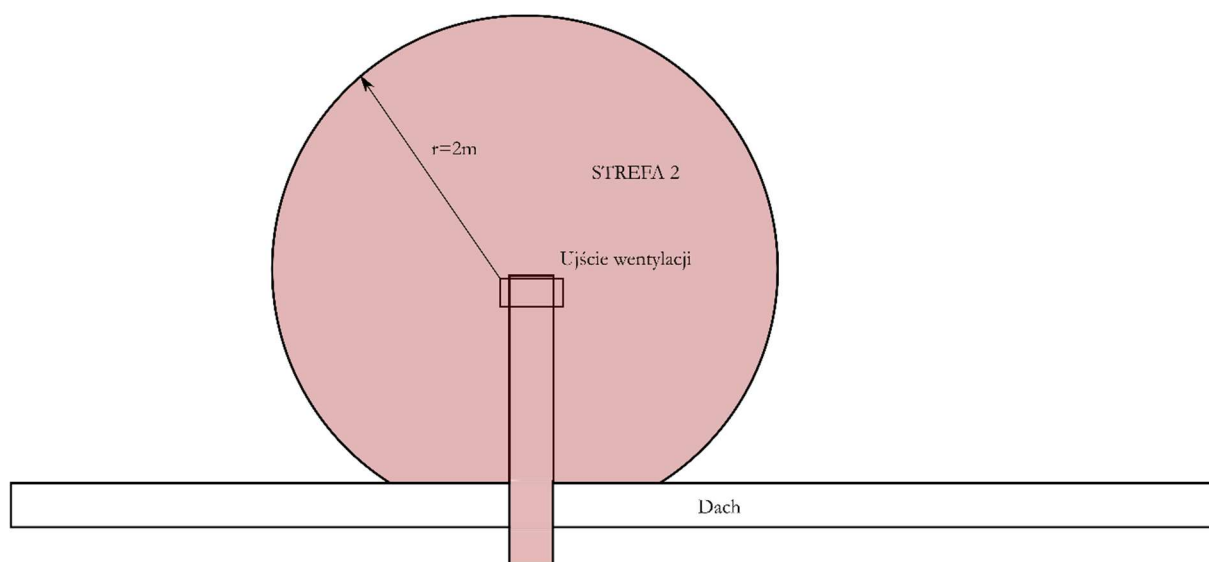
Załącznik 4.



Rysunek 1. Strefa zagrożenia wybuchem dla rozprężalni wodoru



Rysunek 2. Strefa zagrożenia wybuchem dla zaworów bezpieczeństwa w rozprężalni wodoru



Rysunek 3. Strefa zagrożenia wybuchem wewnątrz i u ujścia instalacji wentylacji wyciągowej szaf i wentylacji magazynu centralnego