


Ocena zagrożenia wybuchem

dla pomieszczenia laboratoryjnego -1/13

w Centrum NanoBioMedycznym

Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

ul. Wszechnicy Piastowskiej 3, 61-614 Poznań

	OCENA ZAGROŻENIA WYBUchem	Karta	0
	Centrum NanoBioMedyczne UAM ul. Wszechnicy Piastowskiej 3, 61-614 Poznań	Data wydania	2020.11.02
		Wydanie	2
SPIS TREŚCI			

SPIS TREŚCI

1 Część I Informacje ogólne


- 1.1 Cel i zakres opracowania
- 1.2 Postanowienia ogólne
- 1.3 Wykaz przestrzeni zagrożonych wybuchem wraz z ich podziałem na strefy
 - 1.3.1 Pomieszczenie laboratorium UHV/STM

2 Część II Informacje szczegółowe

- 2.1 Część IIA Identyfikacja zagrożenia wybuchem
 - 2.1.1 Substancje palne – właściwości fizyczne i chemiczne
 - 2.1.2 Miejsca i procesy, w których może powstać atmosfera wybuchowa
- 2.2 Część II B Wskazanie czynników mogących zainicjować zapłon
- 2.3 Część II C Zapobieganie wybuchowi i ochrona przed jego skutkami
 - 2.3.1 Środki techniczne i organizacyjne
- 2.4 Część II D Dokumentacja graficzna

3 Część III Informacje i dokumenty uzupełniające

- 3.1 Załączniki
- 3.2 Dokumenty odniesienia
- 3.3 Karta zmian
- 3.4 Autorzy Oceny Zagrożenia Wybuchem


 Część I	OCENA ZAGROŻENIA WYBUchem	Karta	1.1
	Centrum NanoBioMedyczne UAM ul. Wszechnicy Piastowskiej 3, 61-614 Poznań	Data wydania	2020.11.02
		Wydanie	2
INFORMACJE OGÓLNE		CEL I ZAKRES OPRACOWANIA	

1 CZĘŚĆ I INFORMACJE OGÓLNE

1.1 CEL I ZAKRES OPRACOWANIA

Celem opracowania jest przeprowadzenie *Oceny zagrożenia wybuchem* dla *pomieszczenia laboratoryjnego nr -1/13 w Centrum NanoBioMedycznym Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu przy ul. Wszechnicy Piastowskiej 3.*

Ocena zagrożenia wybuchem, wymagana rozporządzeniem Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 7 czerwca 2010 r. w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków, innych obiektów budowlanych i terenów (Dz.U. z 2010 r. Nr 109 poz. 719 z późn. zm.), 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.

	OCENA ZAGROŻENIA WYBUCHEM	Karta	1.2
	Centrum NanoBioMedyczne UAM ul. Wszechnicy Piastowskiej 3, 61-614 Poznań	Data wydania	2020.11.02
Część I		Wydanie	2
INFORMACJE OGÓLNE		POSTANOWIENIA OGÓLNE	

1.2 POSTANOWIENIA OGÓLNE

Niniejsze opracowanie jest analizą zagrożenia wybuchowego wraz z klasyfikacją stref zagrożenia wybuchem i określeniem ich zasięgu dla pomieszczenia laboratoryjnego UHV/STM, nr pom. -1/13 w związku ze stosowaniem gazów palnych/wybuchowych (wodór, etylen, metan) z butli jednorazowych o poj. 1 dm³ pod ciśnieniem 1,2 MPa.

Pomieszczenie laboratoryjne zlokalizowane jest w budynku Centrum NanoBioMedycznego UAM w Poznaniu przy ul. Wszechnicy Piastowskiej 3 na kondygnacji -1.

Zagrożenie wybuchem pomieszczenia laboratoryjnego związane jest z możliwością uwolnienia gazu palnego z butli lub instalacji do niej podłączonej. Laboratorium przeznaczone jest dla ultra-wysokopróżniowego układu do preparatyki i szczegółowej analizy cienkich warstw oraz nanostruktur powierzchniowych (laboratorium UHV/STM).


Mieszanina palnych substancji wybuchowych z powietrzem, w warunkach atmosferycznych, określana jest jako gazowa atmosfera wybuchowa [10]. Pod wpływem czynnika inicjującego zapłon, może dojść do wybuchu, czyli gwałtownego procesu spalania połączonego ze wzrostem ciśnienia. Powstający podczas wybuchu gwałtowny wzrost ciśnienia stwarza warunki zagrażające życiu i zdrowiu ludzi oraz negatywnie wpływa na konstrukcje budynków jak i samych urządzeń. W celu minimalizacji ryzyka wystąpienia wybuchu stosowane są dwie podstawowe metody zmniejszające to zagrożenie:

- zapobieganie możliwości wystąpienia wybuchu, określane też jako prewencja wybuchowa,
- zmniejszanie skutków wybuchu w przypadku jego powstania, określane jako ochrona przeciwwybuchowa [12].

Przestrzeń, w której występuje gazowa atmosfera wybuchowa lub można spodziewać się jej wystąpienia w takich ilościach, że wymaga to specjalnych środków zapobiegawczych dotyczących konstrukcji, instalowania i stosowania urządzeń, określana jest jako przestrzeń zagrożona wybuchem [10].

Przestrzenie zagrożone wybuchem klasyfikuje się na strefy według częstotliwości i czasu występowania gazowej atmosfery wybuchowej, w następujący sposób (zgodnie z [9]):

- **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 okres.

	OCENA ZAGROŻENIA WYBUchem		Karta	1.3
	Centrum NanoBioMedyczne UAM ul. Wszechnicy Piastowskiej 3, 61-614 Poznań		Data wydania	2020.11.02
			Wydanie	2
Część I				
INFORMACJE OGÓLNE		WYKAZ PRZESTRZENI ZAGROŻONYCH WYBUchem WRAZ Z ICH PODZIAŁEM NA STREFY		


1.3 WYKAZ PRZESTRZENI ZAGROŻONYCH WYBUchem WRAZ Z ICH PODZIAŁEM NA STREFY

Pomieszczenie laboratorium nie kwalifikuje się do pomieszczeń zagrożonych wybuchem.

Na podstawie przeprowadzonej analizy nie wyznacza się stref zagrożenia wybuchem zgodnie z normą [9].

Tabela 1 Identyfikacja miejsc, w których może występować atmosfera wybuchowa

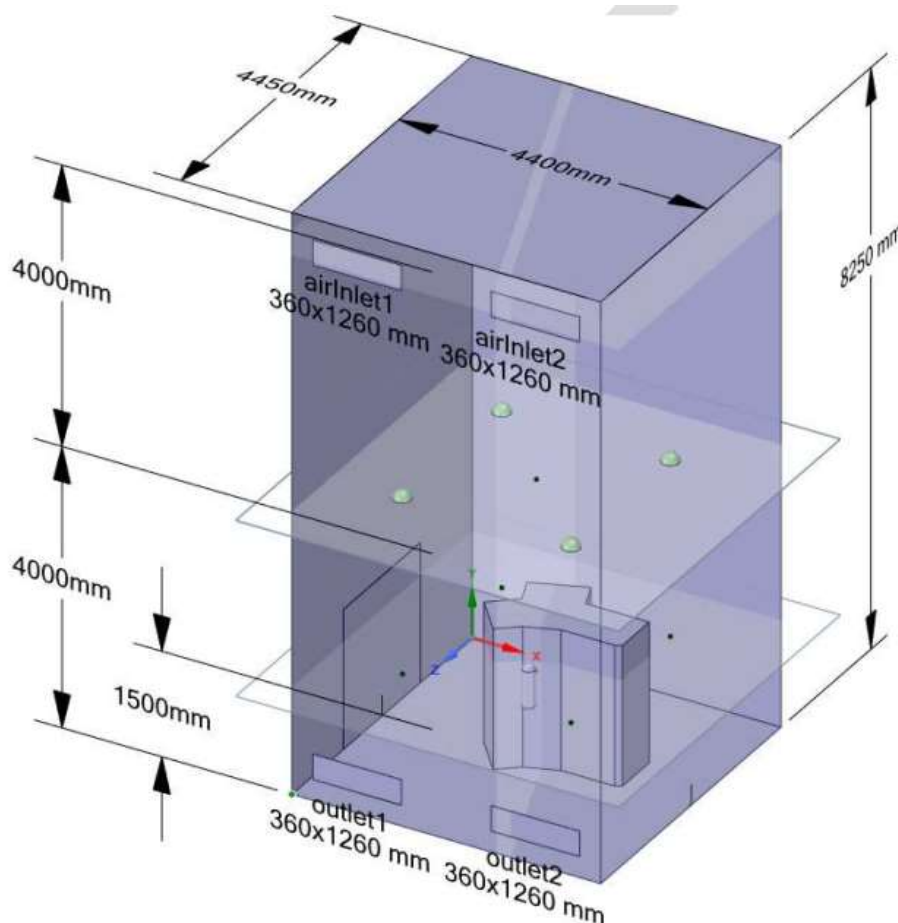
Lp.	Miejsce / stanowisko pracy, na którym może powstać atmosfera wybuchowa	Kwalifikacja / strefa
1.	Pomieszczenie laboratorium UHV/STM, nr pom. -1/13	<p>Zagrożenie wybuchem:</p> <p>Jeżeli obecna wentylacja mechaniczna:</p> <ul style="list-style-type: none"> - strefy zagrożenia wybuchem nie wyznaczają się. <p>W skrajnie niekorzystnych warunkach (awarii) możliwe jest osiągnięcie stężeń wodoru w mieszaninie z powietrzem na poziomie DGW, w związku z tym zastosowano środki techniczne i organizacyjne wskazane w Części II C niniejszej oceny.</p>

 Część I	OCENA ZAGROŻENIA WYBUCHEM	Karta	1.3
	Centrum NanoBioMedyczne UAM ul. Wszechnicy Piastowskiej 3, 61-614 Poznań	Data wydania	2020.11.02
		Wydanie	2
INFORMACJE OGÓLNE		WYKAZ PRZESTRZENI ZAGROŻONYCH WYBUCHEM WRAZ Z ICH PODZIAŁEM NA STREFY	


1.3.1 Pomieszczenie laboratorium UHV/STM

Na podstawie uzyskanych informacji od zleceniodawcy przyjęto następujące dane wejściowe:

- pojemność wodna butli z wodorem – 1 dm³,
- ciśnienie początkowe wodoru – 1,2 MPa,
- temperatura otoczenia – 21°C,
- wentylacja – w pomieszczeniu zastosowano wentylację mechaniczną nawiewno-wywiewną, kratki nawiewne i wywiewne zlokalizowane 30 cm od odpowiednio sufitu i podłogi o wym. 36 x 126 cm, wydajność wentylacji 2 x 850 m³/h, nawiew górą pomieszczenia,
- wymiary pomieszczenia: 4450 mm (szerokość), 4400 mm (długość) i 8250 mm (wysokość),
- pow. pomieszczenia: 19,6 m²;
- kubatura: 161,5 m³.



Rys. 1. Opis geometryczny analizowanego pomieszczenia laboratoryjnego -1/13

	OCENA ZAGROŻENIA WYBUCHEM	Karta	2.1.1
	Centrum NanoBioMedyczne UAM ul. Wszechnicy Piastowskiej 3, 61-614 Poznań	Data wydania	2020.11.02
Część IIA		Wydanie	2
INFORMACJE SZCZEGÓŁOWE		IDENTYFIKACJA ZAGROŻENIA WYBUCHEM I POŻAREM	
		Substancje palne - właściwości fizyczne i chemiczne	

2 CZĘŚĆ II INFORMACJE SZCZEGÓŁOWE

2.1 CZĘŚĆ IIA IDENTYFIKACJA ZAGROŻENIA WYBUCHEM

2.1.1 Substancje palne – właściwości fizyczne i chemiczne


Podstawowe właściwości fizykochemiczne, w tym palne i wybuchowe w mieszaninie z powietrzem zostały zestawione w tabelach 2-4.

Ponadto w pomieszczeniu mogą być stosowane: tiofenol oraz nadtlenek wodoru w pojemnikach o obj. nie większej niż 12 cm³, które nie mają wpływu na wytworzenie atmosfery wybuchowej w normalnych warunkach pracy oraz alkohol etylowy wykorzystywany jako środek do czyszczenia aparatury.

Tabela 2 Identyfikacja niebezpiecznych substancji

Lp.	Nazwa mieszaniny [Źródło informacji] Zastosowanie	Klasyfikacja i zagrożenia	Wybrane zwroty ws. środki ostrożności	Źródło informacji
		Wg rozporządzenia (EC) Nr 1272/2008 [CLP/GHS]		
1	Wodór*	H220 ** H280	P210 P377 P381 P403	[7]
2.	Etylen	H220**, H336***, H280	P210 P260	[4]
3.	Siarkowodór	H220**, H280, H330, H335, H440	P210 P260 P273	[5]
4.	Amoniak	H221, H280, H314, H310, H335, H400, H411	P210 P260 P273 P280	[1]
5.	Metan	H220**, H280	P210 P377 P381 P403	[13]

* Dane zaczerpnięte z karty charakterystyki dot. wodoru sprężonego. Z tego względu pominięto zagrożenia wynikające z charakteru sprężonego gazu.

	OCENA ZAGROŻENIA WYBUchem	Karta	2.1.1
	Centrum NanoBioMedyczne UAM ul. Wszechnicy Piastowskiej 3, 61-614 Poznań	Data wydania	2020.11.02
Część IIA		Wydanie	2
INFORMACJE SZCZEGÓŁOWE		IDENTYFIKACJA ZAGROŻENIA WYBUchem I POŻAREM	
		Substancje palne - właściwości fizyczne i chemiczne	

****H220** Skrajnie łatwopalny gaz.

H221: Gaz łatwopalny

H280: Zawiera gaz pod ciśnieniem; ogrzanie grozi wybuchem

H314: Powoduje poważne oparzenia skóry oraz uszkodzenia oczu

*****H336** Może wywoływać uczucie senności lub zawroty głowy.

H330: Wdychanie grozi śmiercią.

H335: Może powodować podrażnienie dróg oddechowych

H400: Działa bardzo toksycznie na organizmy wodne.

H331: Działa toksycznie w następstwie wdychani

H314: Powoduje poważne oparzenia skóry oraz uszkodzenia oczu.

H318: Powoduje poważne uszkodzenie oczu.

H400: Działa bardzo toksycznie na organizmy wodne.

H411: Działa toksycznie na organizmy wodne, powodując długotrwałe skutki.

P210: Przechowywać z dala od źródeł ciepła, gorących powierzchni, źródeł iskrzenia, otwartego ognia i innych źródeł zapłonu. Nie palić.

P260: Nie wdychać gazu/par.

P377: W przypadku płonienia wyciekającego gazu: Nie gasić, jeżeli nie można bezpiecznie zahamować wycieku.

P381: Wyeliminować wszystkie źródła zapłonu, jeżeli jest to bezpieczne.

P403: Przechowywać w dobrze wentylowanym miejscu.

P273: Unikać uwolnienia do środowiska.

P280: Stosować rękawice ochronne/odzież ochronną/ochronę oczu/ochronę twarzy.


	OCENA ZAGROŻENIA WYBUCHEM		Karta	2.1.1
	Centrum NanoBioMedyczne UAM ul. Wszechnicy Piastowskiej 3, 61-614 Poznań		Data wydania	2020.11.02
Część IIA			Wydanie	2
INFORMACJE SZCZEGÓŁOWE		IDENTYFIKACJA ZAGROŻENIA WYBUCHEM I POŻAREM		
		Substancje palne - właściwości fizyczne i chemiczne		

Tabela 3 Identyfikacja niebezpiecznych składników substancji

Lp.	Nazwa chemiczna [Źródło informacji]	Wzór chemiczny	Numer indeksowy	Numer WE	Numer CAS	Numer REACH
1.	Wodór	H ₂	001-001-00-9	215-605-7	1333-74-0	Wymieniony w załączniku IV/V rozporządzenia 1907/2006 (WE), zwolniony z obowiązku rejestracji.
2.	Etylen	C ₂ H ₄	601-010-00-3	200-815-3	74-85-1	01-2119462827-27
3.	Siarkowodór	H ₂ S	016-001-00-4	231-977-3	7783-06-4	01-2119445737-29
4.	Amoniak	NH ₃	007-001-00-5	231-635-3	7664-41-7	01-2119488876-14
5.	Metan	CH ₄	601-001-00-4	200-812-7	74-82-8	01-2119474442-39


	OCENA ZAGROŻENIA WYBUCHEM		Karta	2.1.1
	Centrum NanoBioMedyczne UAM ul. Wszechnicy Piastowskiej 3, 61-614 Poznań		Data wydania	2020.11.02
Część IIA			Wydanie	2
INFORMACJE SZCZEGÓŁOWE		IDENTYFIKACJA ZAGROŻENIA WYBUCHEM I POŻAREM		
		Substancje palne - właściwości fizyczne i chemiczne		

Tabela 4 Charakterystyka palnych substancji

Substancja	M _w [g/mol]	DGW [% obj.]	GGW [% obj.]	P _{par} [hPa]	ρ _{ciecz} [kg/m ³]	ρ _{wzg} [-]	ρ _{wzg, g.i.} [-]	T _m [°C]	T _w [°C]	T _z [°C]	T _s [°C]	Klasa temp.	E _{min} [mJ]	NDS [mg/m ³ 8 godzin/godzin.]	NDSch [mg/m ³ , 15 minut]	Próg zapachu [mg/m ³]
Wodór	2	4	77	NA	NA	0,069	NA	-259,2	-253	NA	560	T1	0,011 [5]	NA	NA	NA
Etylen	28,05	2,4	36	8100	NA	0,978	NA	-169,2	-103,7	NA	425	T1	0,07 [4]	NA	NA	NA
Siarkowodór	34,08	3,9	45	20851	NA	1,2	0,92	-86	-60,2		270	T3		7	14	0,0112- 0,182 (0,008- 0,13 ppm)
Amoniak	17,03	15,4	25	8573	682	0,59	0,8	-77,7	-33	NA	630	T1	680	14	28	3,5-37,1 (5-53 ppm)
Metan	16,04	4,4	15	NA	NA	0,6	NA	-182,47	-161,4	NA	600	T1	0,21	NA	NA	NA

M_w – masa cząsteczkowa, DGW – dolna granica wybuchowości, GGW – górna granica wybuchowości, P_{par} – prężność par w 20°C, ρ_{wzg} – gęstość cieczy, ρ_{wzg} – gęstość względem powietrza, ρ_{wzg, g.i.} – gęstość względna obliczona względem gazu idealnego, T_m – temperatura topnienia/krzepnięcia, T_w – temperatura wrzenia, T_z – temperatura zapłonu, T_s – temperatura samozapłonu, Gr. wybuch. - grupa wybuchowości, klasa temp. - klasa temperaturowa, E_{min} – minimalna energia zapłonu, NA – niedostępne (brak informacji), TyZa – temperatura zapłonu wg tygla zamkniętego, TyOt – temperatura zapłonu tygla otwartego, ND – nie dotyczy, NP. – niepalna, T_{roz} – temperatura rozkładu

*temperatura palenia się, NSP – produkt nie jest samozapalny



 Część IIA	OCENA ZAGROŻENIA WYBUCHEM		Karta	2.1.1
	Centrum NanoBioMedyczne UAM ul. Wszechnicy Piastowskiej 3, 61-614 Poznań		Data wydania	2020.11.02
			Wydanie	2
INFORMACJE SZCZEGÓŁOWE		IDENTYFIKACJA ZAGROŻENIA WYBUCHEM I POŻAREM		
		Substancje palne - właściwości fizyczne i chemiczne		

Tabela 5 Charakterystyka pojemników

Substancja	Objętość [dm ³]	P [MPa]	m _{substancji} [g]	Uwagi
Wodór	1	1,2	1	Pojemnik MiniCan Linde. Informacje zaczerpnięte z [2, 6]. Masa substancji obliczona z równania gazu doskonałego.
Etylen	1	1,2	14	Pojemnik MiniCan Linde. Informacje zaczerpnięte z [2, 3]. Masa substancji obliczona z równania gazu doskonałego.
Metan	1	1,2	8	Pojemnik MiniCan Linde. Informacje zaczerpnięte z [2, 13]. Masa substancji obliczona z równania gazu doskonałego.

	OCENA ZAGROŻENIA WYBUCEM	Karta	2.1.2
	Centrum NanoBioMedyczne UAM ul. Wszechnicy Piastowskiej 3, 61-614 Poznań	Data wydania	2020.11.02
Część IIA		Wydanie	2
INFORMACJE SZCZEGÓŁOWE	IDENTYFIKACJA ZAGROŻENIA WYBUCEM I POŻAREM		
	Miejsca i procesy, w których może powstawać atmosfera wybuchowa		

2.1.2 Miejsca i procesy, w których może powstać atmosfera wybuchowa

Pomieszczenie nr -1/13, laboratorium z aparaturą UHV/STM

W analizowanym pomieszczeniu wykorzystywane są podczas badań naukowych gazy palne zestawione w tabeli 4, mogące wytworzyć mieszaniny wybuchowe z powietrzem. Pomieszczenie posiada wentylację nawiewno-wyiewną, z nawiewem przy suficie pomieszczenia i wyciągiem przy posadce, co klasyfikuje je do pomieszczeń, z których mają być usuwane zasadniczo gazy cięższe od powietrza.


Najniebezpieczniejszym gazem z tabeli 4 jest wodór, który jest gazem lżejszym ($\rho_{wzg, H_2}=0,069$) od powietrza, czyli ma tendencję do unoszenia się. Drugim gazem lżejszym od powietrza w analizowanym pomieszczeniu jest amoniak ($\rho_{wzg, NH_3}=0,59$), a kolejnym metan ($\rho_{wzg, CH_4}=0,6$) i etylen ($\rho_{wzg, C_2H_4}=0,978$). W pomieszczeniu wykorzystywany jest tylko jeden gaz cięższy od powietrza, tj. siarkowodór.

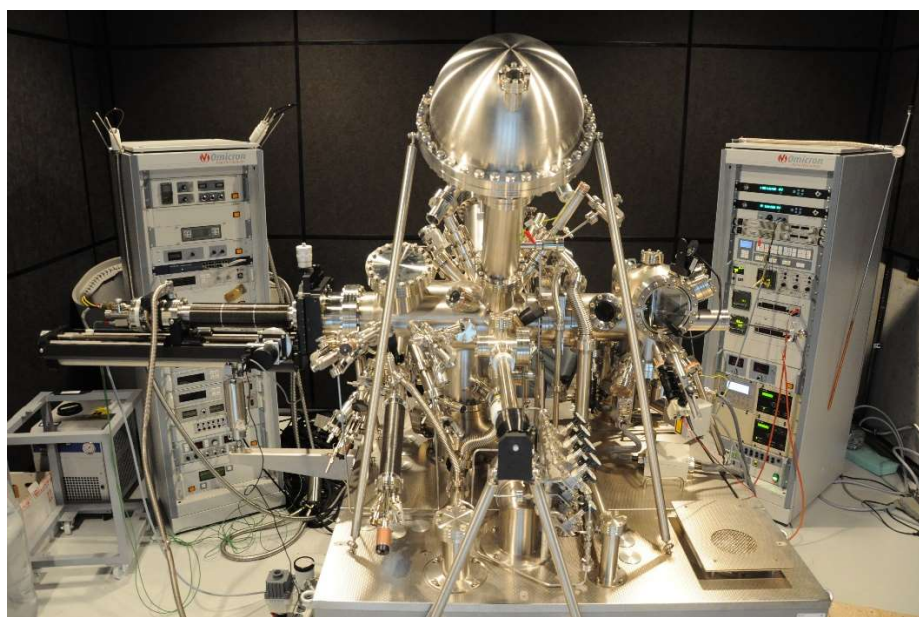
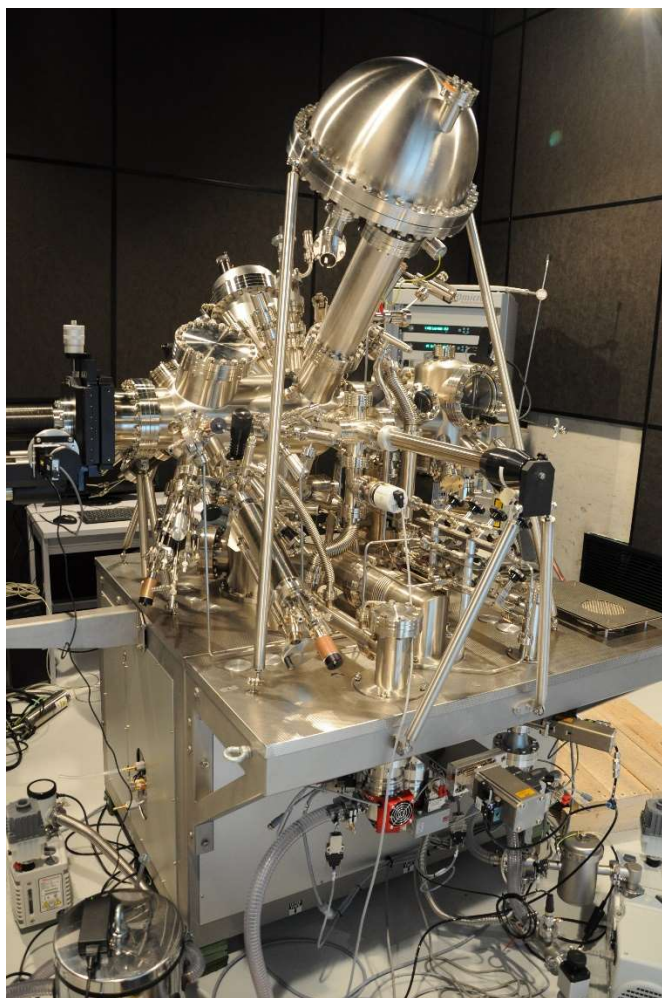
Biorąc pod uwagę właściwości wykorzystywanych, w tym planowanych do wykorzystywania gazów w analizowanym pomieszczeniu, należy uznać, że najniebezpieczniejszą substancją jest wodór. Z tego względu przyjęto do analizy możliwy najgorszy scenariusz, w którym dochodzi do nagłego uwolnienia wodoru w wyniku ciągłej nieszczelności z instalacji dostarczającej wodór z butli Minican o objętości 1 dm³ i pracującej pod ciśnieniem 1,2 MPa. Na rys. 3 przedstawiono wyposażenie laboratorium z widoczną pośrodku białą butlą, w której może znajdować się analizowany gaz. Należy podkreślić, że analizowany scenariusz ma charakter incydentalny i praktycznie nie jest spotykany w normalnych warunkach pracy, szczególnie gdy instalacja wykonana jest z komponentów typu Swagelok.

Charakterystyka źródła wykazała, że przy rozszczelnieniu o średnicy 1mm butla zostanie opróżniona w ciągu 3,5 s (rys. 4). Jest to charakterystyka typowa dla uwolnienia nagłego i należy założyć, że zostanie uwolniona cała zawartość butli do pomieszczenia.


Ze względu na niemożliwość standardowej analizy wentylacji, która nie jest zaprojektowana zgodnie z ogólnie przyjętymi warunkami dla ewakuacji gazów o gęstości względnej mniejszej od powietrza, podjęto ocenę zmiany stężenia wodoru w czasie z wykorzystaniem obliczeniowej mechaniki płynów (z j. ang. computational fluid dynamics, CFD). Obliczenia wykonano z uwzględnieniem charakterystyki przestrzennej pomieszczenia przedstawionej w podrozdziale 1.3.1. Szczegóły obliczeń przedstawiono w załączniku nr 3 [7].

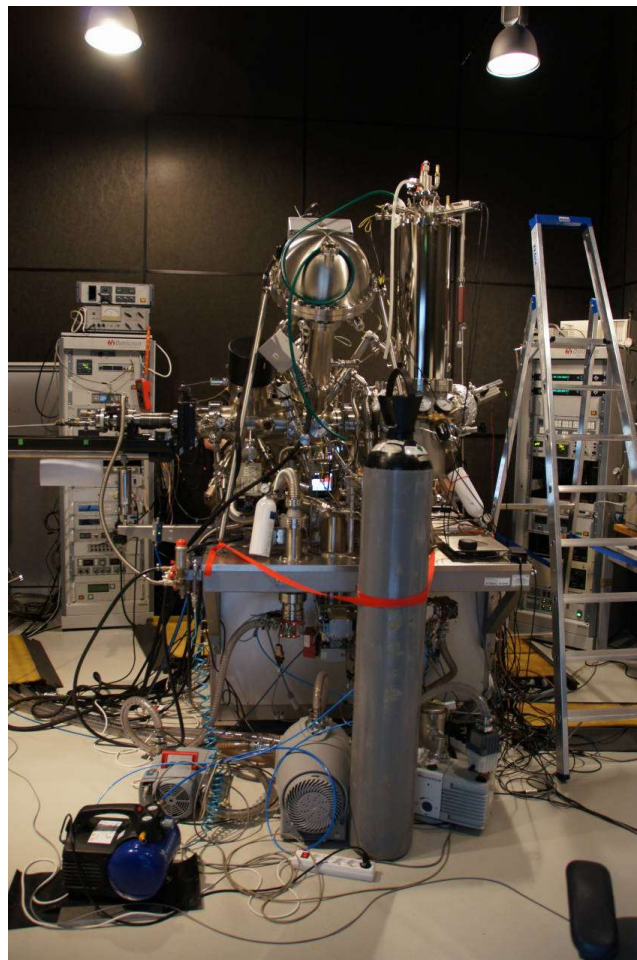
Obliczenia CFD analizowanego scenariusza jasno pokazują, że atmosfera wybuchowa, czyli osiągnięcie DGW dla wodoru jest możliwe w ciągu pierwszych sekund po uwolnieniu, a po czasie 5s od uwolnienia nie ma już w żadnej przestrzeni pomieszczenia przekroczonej wartości progowej DGW (porównaj rys. 5 i 6). Z kolei, izo-powierzchnia 50% DGW H₂ po 5s wyraźnie przemieszcza się ku ścianie i unosi się do góry (rys. 7), ale do 10s od uwolnienia nie ma już obecnej żadnej objętości o stężeniu przekraczającym 2% wodoru w analizowanym pomieszczeniu (rys. 8).

	OCENA ZAGROŻENIA WYBUchem	Karta	2.1.2
	Centrum NanoBioMedyczne UAM ul. Wszechnicy Piastowskiej 3, 61-614 Poznań	Data wydania	2020.11.02
Część IIA		Wydanie	2
INFORMACJE SZCZEGÓŁOWE	IDENTYFIKACJA ZAGROŻENIA WYBUchem I POŻAREM		
	Miejsca i procesy, w których może powstawać atmosfera wybuchowa		

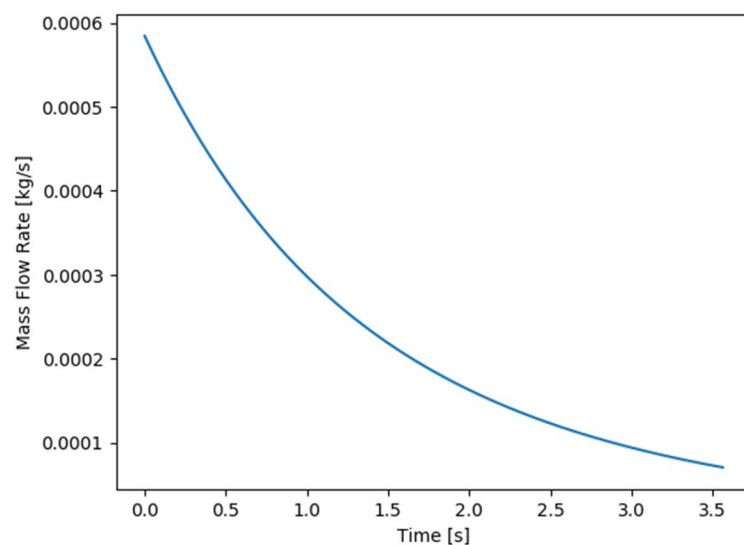


Rys. 2. Wyposażenie laboratorium. Źródło: [8]


	OCENA ZAGROŻENIA WYBUCHEM	Karta	2.1.2
	Centrum NanoBioMedyczne UAM ul. Wszechnicy Piastowskiej 3, 61-614 Poznań	Data wydania	2020.11.02
Część IIA		Wydanie	2
INFORMACJE SZCZEGÓŁOWE	IDENTYFIKACJA ZAGROŻENIA WYBUCHEM I POŻAREM		
	Miejsca i procesy, w których może powstawać atmosfera wybuchowa		

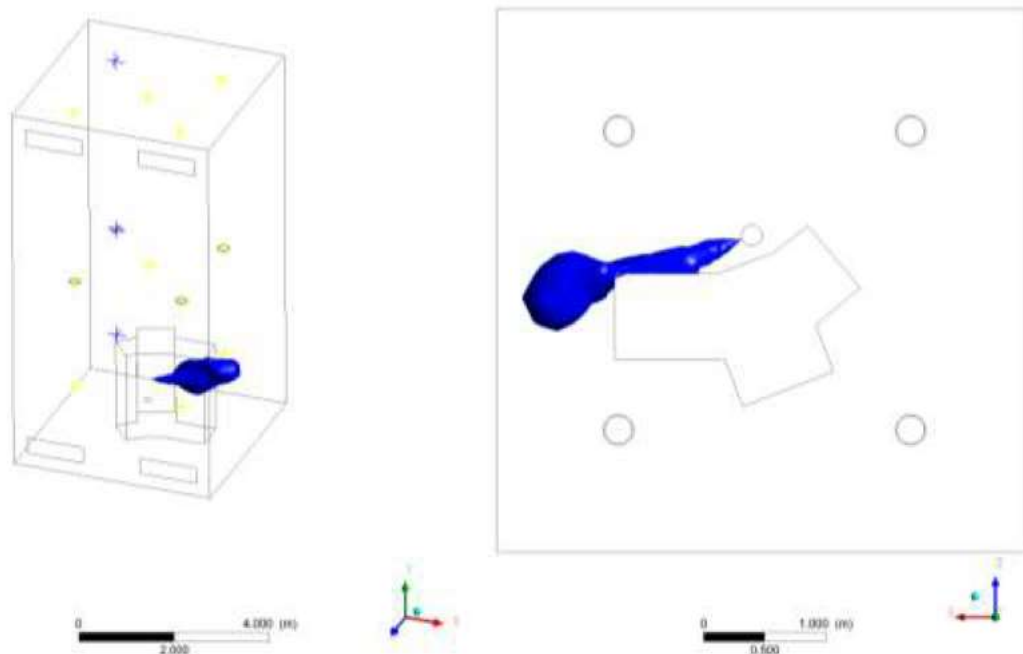


Rys. 3. Wyposażenie laboratorium z widocznymi butlami Minican. Źródło: opracowanie własne

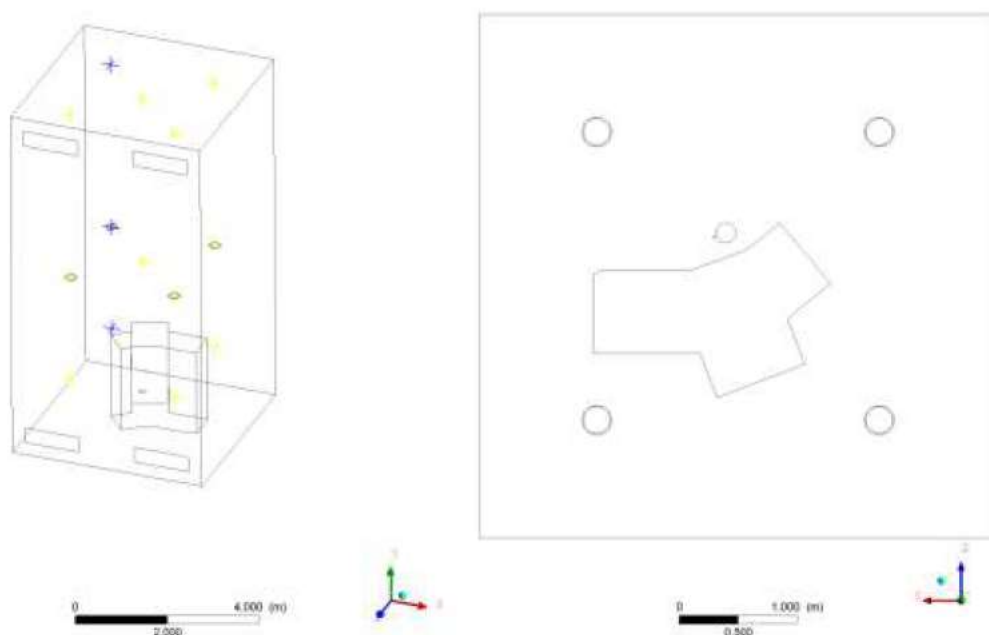


Rys. 4. Charakterystyka źródła uwolnienia przy założeniu otworu okrągłego o średnicy 1 mm, $P = 1.2 \text{ MPa}$, $T = 293\text{K}$. Źródło: opracowanie własne


	OCENA ZAGROŻENIA WYBUCHEM	Karta	2.1.2
	Centrum NanoBioMedyczne UAM ul. Wszechnicy Piastowskiej 3, 61-614 Poznań	Data wydania	2020.11.02
Część IIA		Wydanie	2
INFORMACJE SZCZEGÓŁOWE	IDENTYFIKACJA ZAGROŻENIA WYBUCHEM I POŻAREM		
	Miejsca i procesy, w których może powstawać atmosfera wybuchowa		

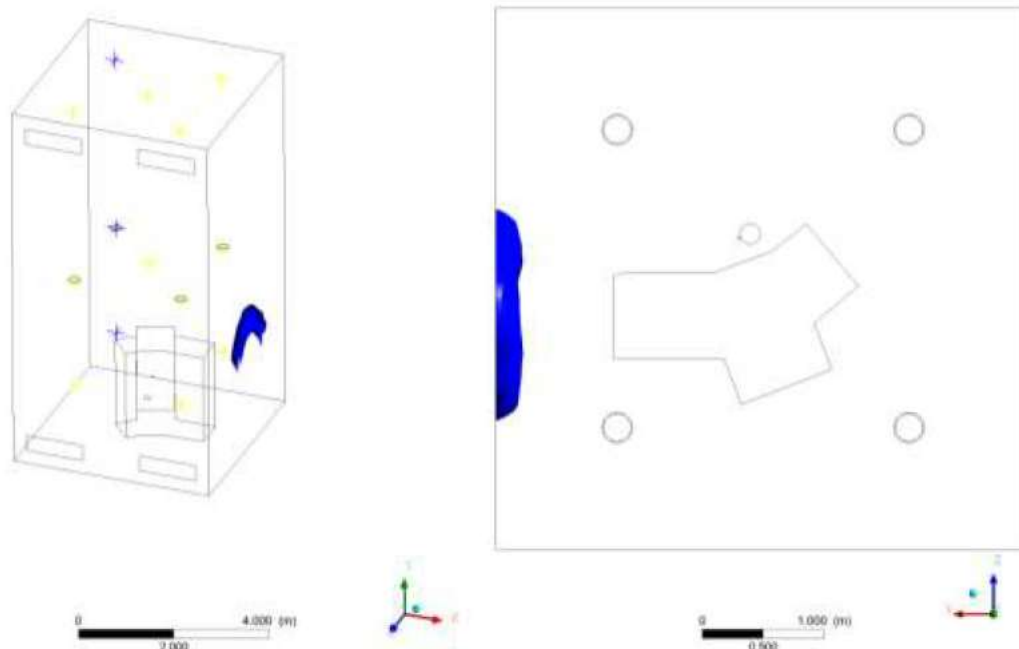


Rys. 5. Izo-powierzchnia 4 vol.% H_2 , czas 2s od uwolnienia. Źródło: [7].

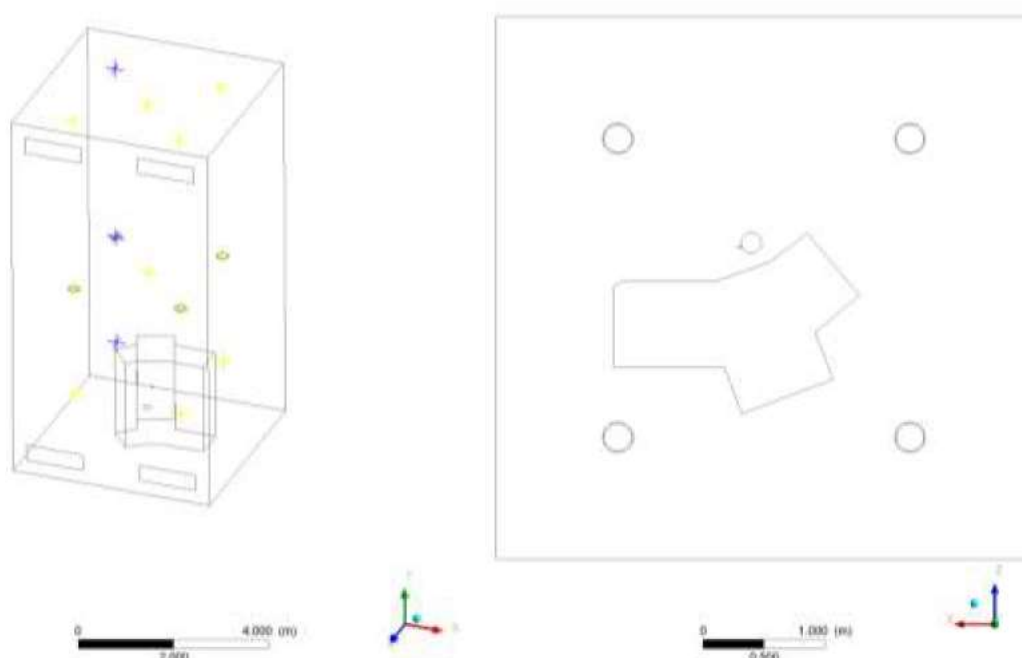


Rys. 6. Izo-powierzchnia 4 vol.% H_2 , czas 5s od uwolnienia. Źródło: [7].


	OCENA ZAGROŻENIA WYBUCHEM	Karta	2.1.2
	Centrum NanoBioMedyczne UAM ul. Wszechnicy Piastowskiej 3, 61-614 Poznań	Data wydania	2020.11.02
Część IIA		Wydanie	2
INFORMACJE SZCZEGÓŁOWE	IDENTYFIKACJA ZAGROŻENIA WYBUCHEM I POŻAREM		
	Miejsca i procesy, w których może powstawać atmosfera wybuchowa		



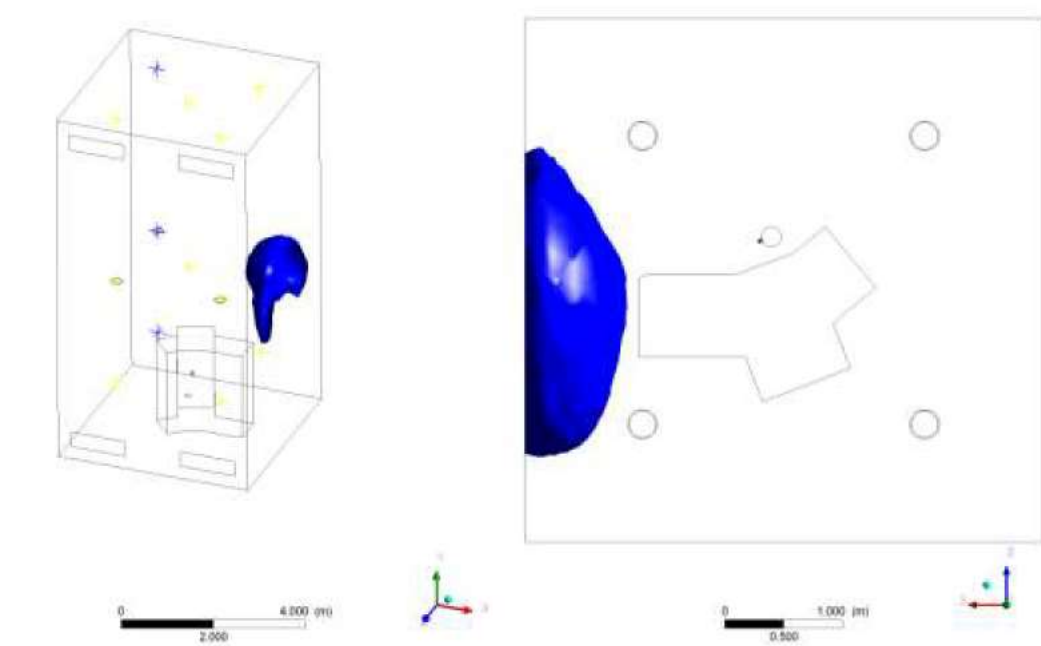
Rys. 7. Izo-powierzchnia 2 vol.% H_2 , czas 5s od uwolnienia. Źródło: [7].




Rys. 8. Izo-powierzchnia 2 vol.% H_2 , czas 10s od uwolnienia. Źródło: [7].

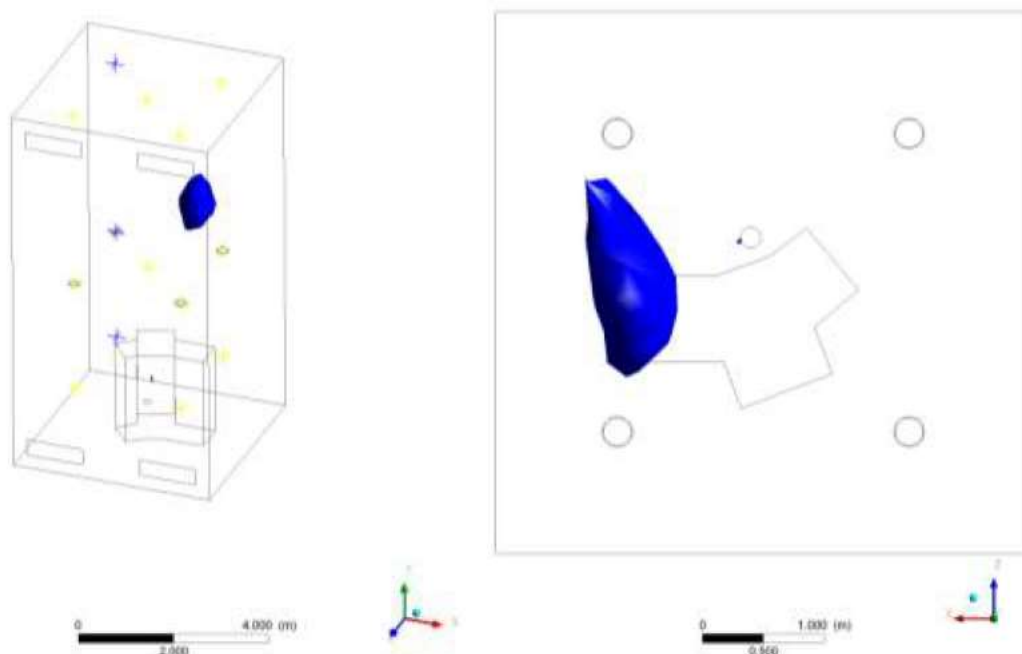
	OCENA ZAGROŻENIA WYBUCHEM	Karta	2.1.2
	Centrum NanoBioMedyczne UAM ul. Wszechnicy Piastowskiej 3, 61-614 Poznań	Data wydania	2020.11.02
Część IIA		Wydanie	2
INFORMACJE SZCZEGÓŁOWE	IDENTYFIKACJA ZAGROŻENIA WYBUCHEM I POŻAREM		
	Miejsca i procesy, w których może powstawać atmosfera wybuchowa		

Niestety wyniki symulacji pokazują niepokojące zjawisko unoszenia się chmury wodoru ku wyższym partiom pomieszczenia w kolejnych sekundach od uwolnienia (rys. 9 - 12). Należy jednak zauważyć, że wyniki obliczeń CFD przedstawione dla 67s od uwolnienia (rys. 13) zestawione z izo-powierzchnią z 55s (rys. 12) przedstawiają obiecujące zjawisko rozrzedzania atmosfery w objętości przysufitowej powyżej i w pobliżu kratek nawiewu. Zjawisko to jest także odzwierciedlone w spadku średniej wartości udziału objętościowego wodoru w objętości analizowanego pomieszczenia w czasie (rys. 14). Należy podkreślić, że otrzymane wyniki symulacji jednoznacznie potwierdzają, że w pomieszczeniu występuje atmosfera wybuchowa do 5s od uwolnienia, a od 30s nie ma żadnej objętości przestrzeni, w której przekroczono by 10% DGW. Jednak w przestrzeni przysufitowej wodór może zalegać przez dłuższy czas będąc sukcesywnie ewakuowany z pomieszczenia.

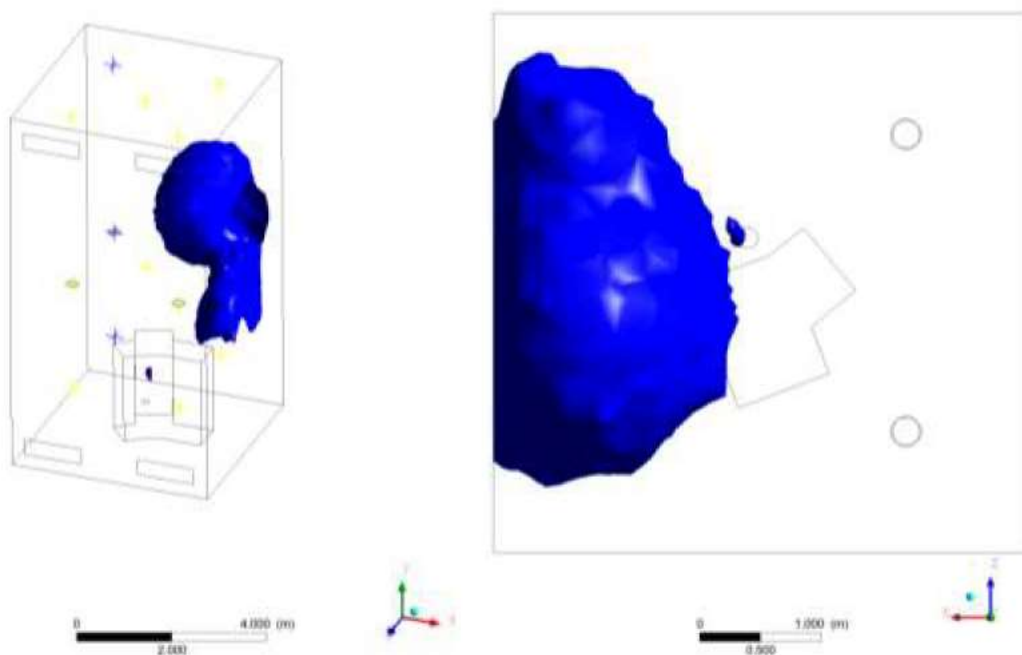


Rys. 9. Izo-powierzchnia 0,4 vol.% H_2 , czas 10s od uwolnienia. Źródło: [7].


	OCENA ZAGROŻENIA WYBUCHEM	Karta	2.1.2
	Centrum NanoBioMedyczne UAM ul. Wszechnicy Piastowskiej 3, 61-614 Poznań	Data wydania	2020.11.02
Część IIA		Wydanie	2
INFORMACJE SZCZEGÓŁOWE	IDENTYFIKACJA ZAGROŻENIA WYBUCHEM I POŻAREM		
	Miejsca i procesy, w których może powstawać atmosfera wybuchowa		

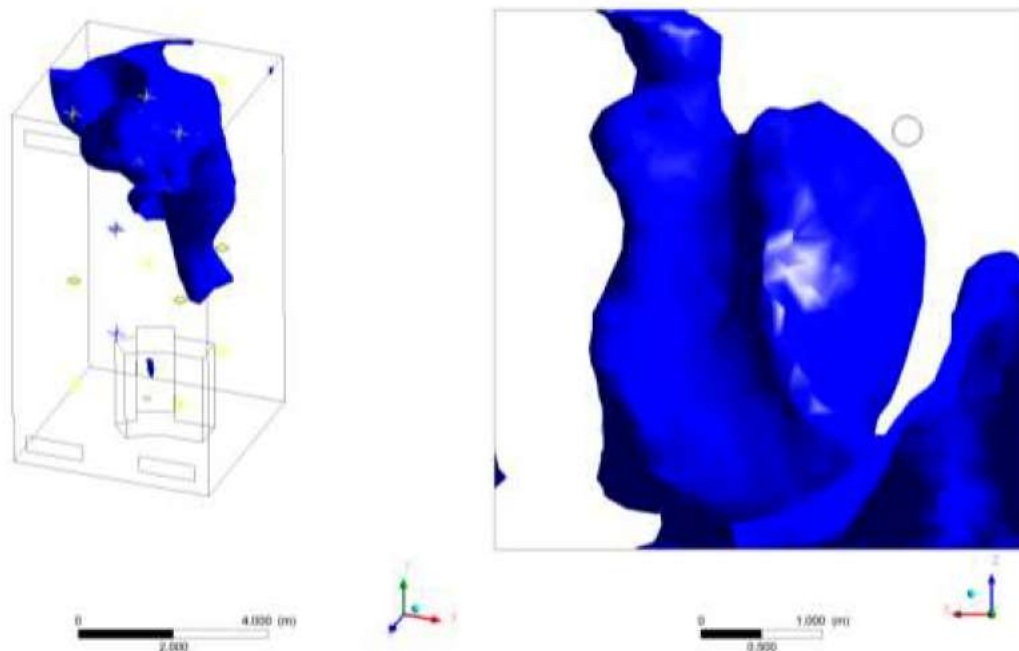


Rys. 10. Izo-powierzchnia 0,4 vol.% H_2 , czas 20s od uwolnienia. Źródło: [7].

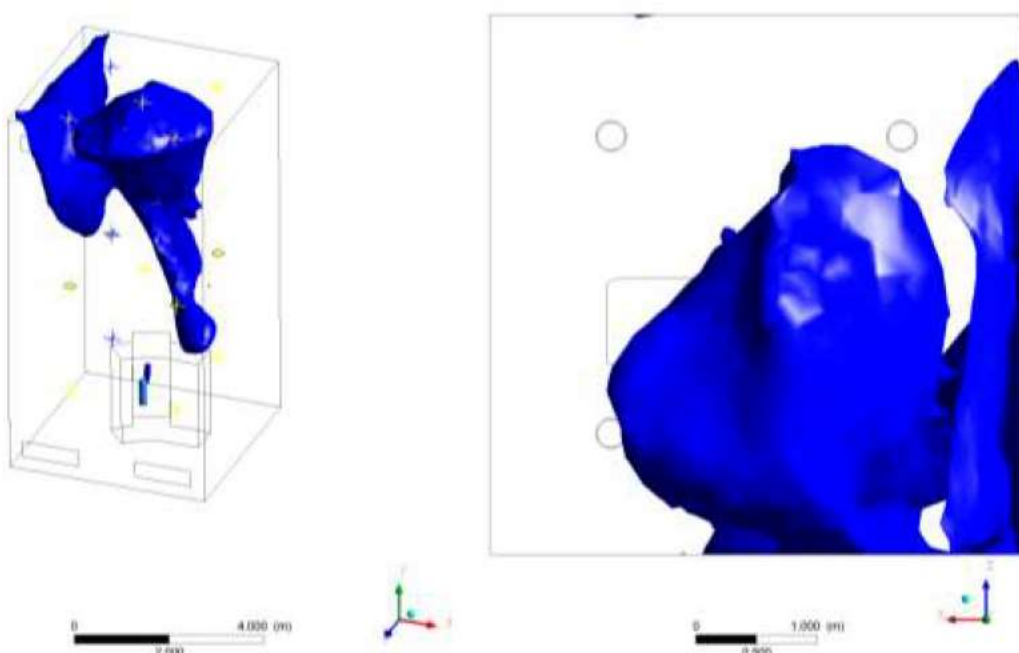


Rys. 11. Izo-powierzchnia 0,04 vol.% H_2 , czas 20s od uwolnienia. Źródło: [7].


	OCENA ZAGROŻENIA WYBUCHEM	Karta	2.1.2
	Centrum NanoBioMedyczne UAM ul. Wszechnicy Piastowskiej 3, 61-614 Poznań	Data wydania	2020.11.02
Część IIA		Wydanie	2
INFORMACJE SZCZEGÓŁOWE	IDENTYFIKACJA ZAGROŻENIA WYBUCHEM I POŻAREM		
	Miejsca i procesy, w których może powstawać atmosfera wybuchowa		

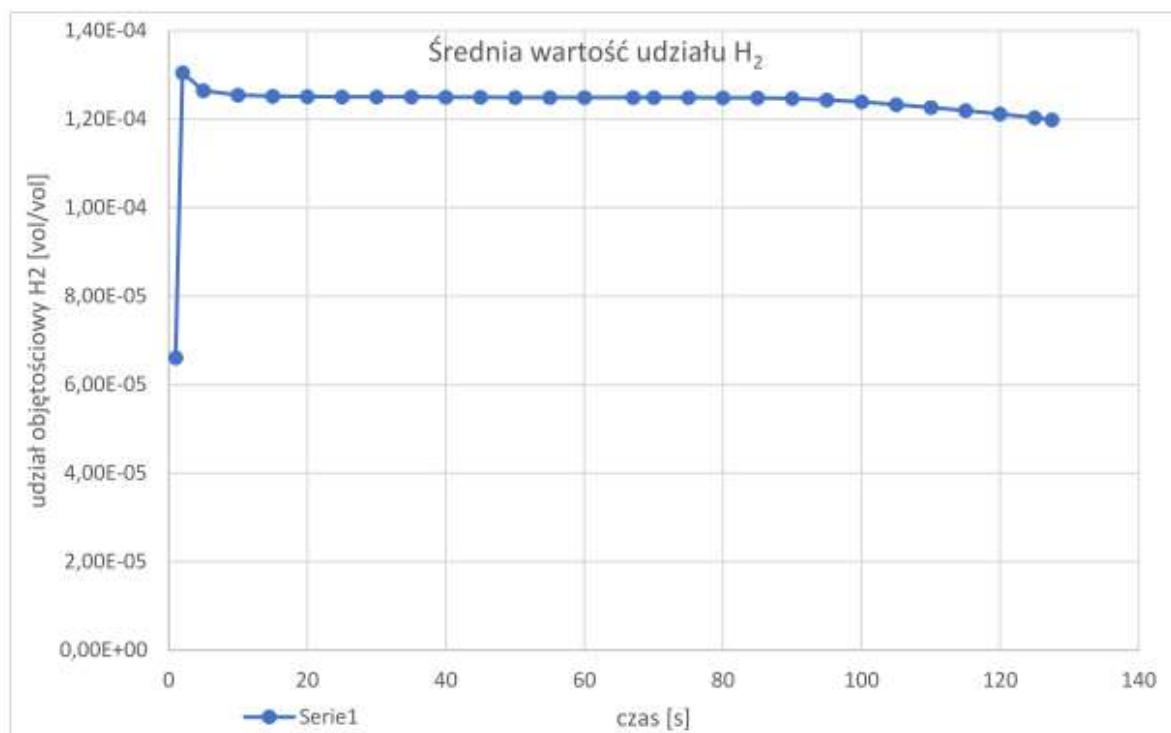


Rys. 12. Izo-powierzchnia 0,04 vol.% H_2 , czas 55s od uwolnienia. Źródło: [7].




Rys. 13. Izo-powierzchnia 0,04 vol.% H_2 , czas 67s od uwolnienia. Źródło: [7].

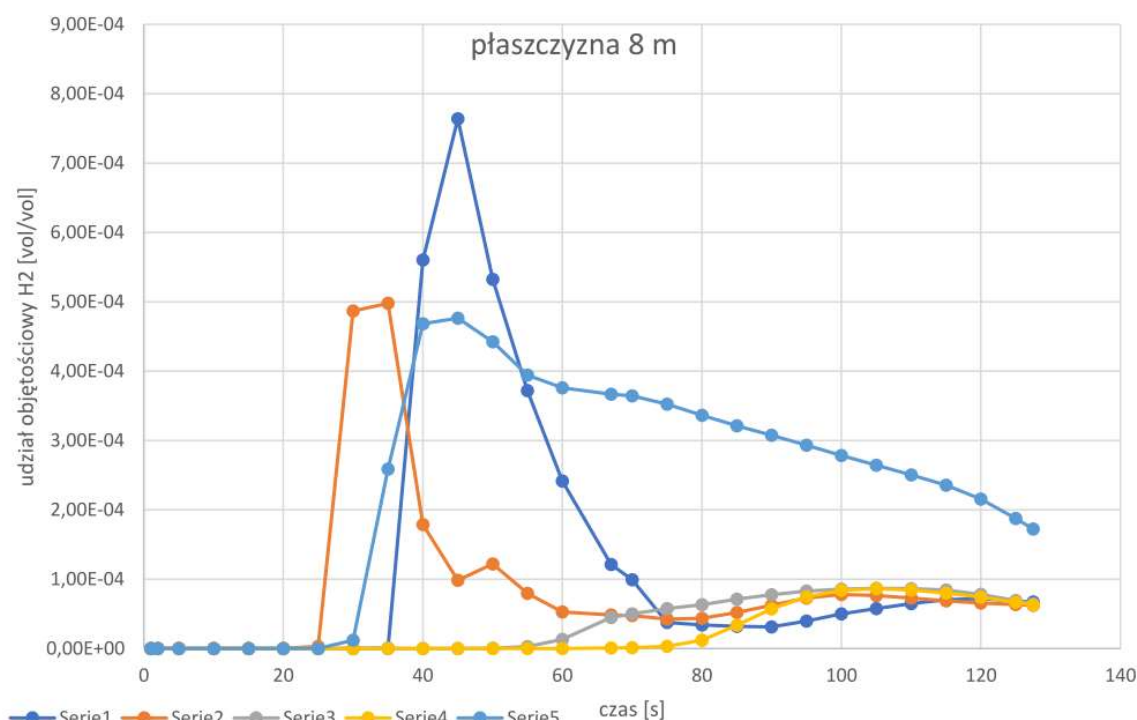
	OCENA ZAGROŻENIA WYBUCHEM	Karta	2.1.2
	Centrum NanoBioMedyczne UAM ul. Wszechnicy Piastowskiej 3, 61-614 Poznań	Data wydania	2020.11.02
Część IIA		Wydanie	2
INFORMACJE SZCZEGÓŁOWE	IDENTYFIKACJA ZAGROŻENIA WYBUCHEM I POŻAREM		
	Miejsca i procesy, w których może powstawać atmosfera wybuchowa		



Rys. 14. Średnia wartość udziału objętościowego H_2 , w objętości analizowanego pomieszczenia. Źródło: [7].

Należy zauważyć, że w czasie liczonym od uwolnienia udział objętościowy wodoru w płaszczyźnie przysufitowej (8m od podłogi, całe pomieszczenie ma wysokość 8,25m) w pięciu wybranych punktach ulokowanych nie bliżej niż 1m od narożników pomieszczenia pokazuje, że pik stężenia obecny jest między 30 a 115s od uwolnienia, a potem sukcesywnie spada, nie przekraczając stężenia 0,08% wodoru (co odpowiada 2% DGW) w żadnym z monitorowanych punktów symulacji CFD (rys. 15).


	OCENA ZAGROŻENIA WYBUCHEM	Karta	2.1.2
	Centrum NanoBioMedyczne UAM ul. Wszechnicy Piastowskiej 3, 61-614 Poznań	Data wydania	2020.11.02
Część IIA		Wydanie	2
INFORMACJE SZCZEGÓŁOWE	IDENTYFIKACJA ZAGROŻENIA WYBUCHEM I POŻAREM		
	Miejsca i procesy, w których może powstawać atmosfera wybuchowa		



Rys. 15. Udział objętościowy wodoru w pięciu punktach monitorowanych w czasie symulacji CFD w analizowanym pomieszczeniu na wysokości 8m. Źródło: [7].

Podsumowując wyniki symulacji CFD można stwierdzić, że istnieją warunki sprzyjające powstaniu atmosfery wybuchowej mieszaniny wodoru w ciągu pierwszych 5s od uwolnienia substancji, i to w przestrzeni, w której znajduje się duża ilość sprzętu elektronicznego. Biorąc pod uwagę właściwości palne wodoru należy przypuszczać jako całkiem realne zapalenie się wodoru w czasie rozpoczęcia ucieczki w wyniku tarcia płynu o ścianki otworu, co wyeliminuje możliwość powstania atmosfery wybuchowej, jednocześnie stwarzając zagrożenie pożarem. Przedstawiona analiza scenariusza wykraczającego poza normalne warunki pracy i mającego charakter zdarzenia awaryjnego uzasadnia brak konieczności wyznaczenia strefy zagrożenia wybuchem w czasie normalnych warunków pracy i w analizowanym pomieszczeniu laboratoryjnym.

Obliczony na podstawie rozporządzenia [11] przyrost ciśnienia, jaki powstanie w pomieszczeniu laboratoryjnym w wyniku wybuchu mieszaniny wodoru (1 g H₂), metanu (8 g CH₄) i etylenu (14 g C₂H₄) z powietrzem dają wyniki odpowiednio $\Delta P_{H_2} = 51 \text{ Pa}$, $\Delta P_{CH_4} = 56 \text{ Pa}$ i $\Delta P_{C_2H_4} = 80 \text{ Pa} \ll 5 \text{ kPa}$. Zatem pomieszczenie nie kwalifikuje się do zagrożonego wybuchem.


	OCENA ZAGROŻENIA WYBUCHEM	Karta	2.2
	Centrum NanoBioMedyczne UAM ul. Wszechnicy Piastowskiej 3, 61-614 Poznań	Data wydania	2020.11.02
Część IIB		Wydanie	2
INFORMACJE SZCZEGÓŁOWE		WSKAZANIE CZYNNIKÓW MOGĄCYCH ZAINICJOWAĆ ZAPŁON	

2.2 CZĘŚĆ II B WSKAZANIE CZYNNIKÓW MOGĄCYCH ZAINICJOWAĆ ZAPŁON

Poniżej przedstawiono czynniki stanowiące potencjalne ryzyko wystąpienia zagrożenia efektywnego źródła zapłonu w analizowanym obszarze. Należy zauważyć, że bez względu na rodzaj efektywnego źródła zapłonu, należy założyć, że skutkami będzie pożar lub eksplozja, w zależności od ilości obecnej substancji, stężenia oraz ograniczonej przestrzeni. Z tego względu w tabeli 6 nie ma wyszczególnionych skutków.


Tabela 6. Arkusz możliwości wystąpienia efektywnego źródła zapłonu

Lp.	Źródła zapłonu	Możliwe przyczyny, miejsca powstania	Dotyczy (tak/nie)	Skuteczność źródła zapłonu	Możliwe zabezpieczenia
1	Gorące powierzchnie	Urządzenia elektryczne.	Tak	Tak	System detekcji wodoru odłączający zasilanie elektryczne
2	Płomienie i gorące gazy	Otwarte źródło ognia.	Nie	Tak	Zakaz używania ognia otwartego i palenia papierosów w budynku. Dopuszczalne prowadzenie prac pożarowo niebezpiecznych po uprzednim opróżnieniu instalacji z gazów palnych
3	Iskry generowane mechanicznie	Prowadzenie operacji mechanicznych w obecności substancji łatwo palnych.	Nie	Tak	Dopuszczalne prowadzenie prac pożarowo niebezpiecznych po uprzednim opróżnieniu instalacji z gazów palnych.
4	Urządzenia elektryczne	Uszkodzenie urządzeń elektrycznych i/lub systemów elektrycznych znajdujących się w obszarze stosowania substancji łatwopalnych	Tak	Tak	Okresowe przeglądy urządzeń i instalacji. Bieżące naprawy.
5	Prądy błądzące, katodowa ochrona przed korozją	Uderzenie pioruna.	Nie		Instalacja uziemiająca.

 Część IIB	OCENA ZAGROŻENIA WYBUCHEM	Karta	2.2
	Centrum NanoBioMedyczne UAM ul. Wszechnicy Piastowskiej 3, 61-614 Poznań	Data wydania	2020.11.02
		Wydanie	2
INFORMACJE SZCZEGÓŁOWE		WSKAZANIE CZYNNIKÓW MOGĄCYCH ZAINICJOWAĆ ZAPŁON	

Ciąg dalszy tabeli 6

Lp.	Źródła zapłonu	Możliwe przyczyny, miejsca powstania	Dotyczy (tak/nie)	Skuteczność źródła zapłonu	Możliwe zabezpieczenia
6	Elektryczność statyczna	Wprowadzenie w obszar stosowania gazów palnych elementów mogących akumulować ładunki elektryczne.	Tak	Tak	Uziemienie elementów.
7	Uderzenie pioruna	Uderzenie pioruna	Tak	Tak	Instalacja piorunochronna
8	Oświetlenie		Tak	Tak	System detekcji wodoru odłączający zasilanie elektryczne
9	Fale elektromagnetyczne o częstotliwości radiowej (RF) od 10^4 Hz do 3×10^{12} Hz	Brak odpowiednich, znanych miejsc i instalacji w otoczeniu.	Nie		
10	Fale elektromagnetyczne od 3×10^{11} Hz do 3×10^{15} Hz	Brak odpowiednich, znanych miejsc i instalacji w otoczeniu.	Nie		
11	Promieniowanie jonizujące	Aparatura laboratoryjna - spektroskop fotoelektronów	Tak	Nie	
12	Ultradźwięki	Brak odpowiednich, znanych miejsc i instalacji w otoczeniu.	Nie		
13	Adiabatyczne sprężanie i fale uderzeniowe	Pożar i/lub wybuch butli z gazem łatwopalnym w pobliżu laboratorium.	Nie		
14	Reakcje egzotermiczne, włączając samozapłon pyłów	Brak odpowiednich, znanych miejsc i instalacji w otoczeniu.	Nie		

	OCENA ZAGROŻENIA WYBUCHEM	Karta	2.3.2
	Centrum NanoBioMedyczne UAM ul. Wszechnicy Piastowskiej 3, 61-614 Poznań	Data wydania	2020.11.02
Część II C		Wydanie	2
INFORMACJE SZCZEGÓŁOWE	ZAPOBIEGANIE WYBUCHOWI I OCHRONA PRZED JEGO SKUTKAMI		
	Środki techniczne i organizacyjne		

2.3 CZĘŚĆ II C ZAPOBIEGANIE WYBUCHOWI I OCHRONA PRZED JEGO SKUTKAMI


2.3.1 Środki techniczne i organizacyjne

Opis środków technicznych zapobiegania tworzeniu się atmosfery wybuchowej

W celu zapobiegania tworzeniu się atmosfery wybuchowej w pomieszczeniu laboratorium należy zastosować poniższe wskazania:

- zapewnić system detekcji gazów palnych/wybuchowych – detektory skalibrowane dla wodoru, etylenu i metanu – zalecana konfiguracja progów alarmowych:
 - po przekroczeniu stężenia 10% dolnej granicy wybuchowości mieszaniny powietrza z gazem (alarm I stopnia) – uruchamiana zostaje sygnalizacja akustyczno-optyczna,
 - po przekroczeniu stężenia 20% dolnej granicy wybuchowości mieszaniny powietrza z gazem (alarm II stopnia) dodatkowo rozłączone zostaje zasilanie elektryczne pomieszczenia; minimalny czas przewietrzania pomieszczenia laboratorium systemem wentylacji mechanicznej – 30 min.,
- wentylacja mechaniczna musi być uruchomiona a jej działanie zweryfikowane przed rozpoczęciem pracy z gazami palnymi;
- czujniki wodoru zainstalować pod sufitem oraz na wysokości 2,0 m;
- czujnik etylenu/metanu zainstalować na wysokości 2,0 m;
- okresowo należy weryfikować i dokumentować sprawność wentylacji i systemu detekcji gazów, zgodnie z zaleceniami producenta, nie rzadziej niż raz w roku;
- system detekcji gazów jest urządzeniem przeciwpożarowym zgodnie z [11], które należy wykonać w oparciu o projekt uzgodniony z rzeczoznawcą ds. zabezpieczeń przeciwpożarowych, a warunkiem dopuszczenia do jego użytkowania jest przeprowadzenie odpowiednich dla danego urządzenia prób i badań, potwierdzających prawidłowość jego działania;
- przy używaniu/przechowywaniu alkoholu etylowego (wykorzystywanego jako środek do czyszczenia aparatury) stosować pojemniki o obj. nie większej niż 0,5 dm³; dopuszcza się jednostkowy pojemnik o objętości do 5 dm³ wykonany z materiału co najmniej trudno zapalnego, z odprowadzeniem ładunków elektryczności statycznej, wyposażony w szczelne zamknięcie i zabezpieczony przed stłuczeniem.

Zaleca się wyposażenie pomieszczenia laboratorium dodatkowo w detektory skalibrowane dla siarkowodoru i amoniaku z uwagi na ich toksyczność.

	OCENA ZAGROŻENIA WYBUchem	Karta	2.3.2
	Centrum NanoBioMedyczne UAM ul. Wszechnicy Piastowskiej 3, 61-614 Poznań	Data wydania	2020.11.02
Część II C		Wydanie	2
INFORMACJE SZCZEGÓŁOWE	ZAPOBIEGANIE WYBUCHOWI I OCHRONA PRZED JEGO SKUTKAMI		
	Środki techniczne i organizacyjne		

**Opis sposobów unikania zapłonu atmosfery wybuchowej,
ze szczególnym uwzględnieniem środków i sposobów ochrony antyelektrostatycznej
dla osób pracujących i urządzeń technicznych**

Należy stosować uziemienia urządzeń i wyposażenia oraz sprawdzanie kompletności obwodów uziemiających.


W laboratorium obowiązuje bezwzględny zakaz palenia i używania otwartego ognia. Wszelkie prace naprawcze i konserwacyjne (w tym prace niebezpieczne pożarowo) należy wykonywać po opróżnieniu instalacji z gazów palnych/wybuchowych.

Środki ochrony indywidualnej:


- nie stosuje się dodatkowych środków ochrony indywidualnej.

Ograniczenie szkodliwego efektu wybuchu

Nie stosuje się dodatkowych środków przeciwdziałających rozprzestrzenianiu się wybuchu.

	OCENA ZAGROŻENIA WYBUchem	Karta	2.4
	Centrum NanoBioMedyczne UAM ul. Wszechnicy Piastowskiej 3, 61-614 Poznań	Data wydania	2020.11.02
Część II D		Wydanie	2
INFORMACJE SZCZEGÓŁOWE	ZAPOBIEGANIE WYBUCHOWI I OCHRONA PRZED JEGO SKUTKAMI		
	Dokumentacja graficzna		

2.4 CZĘŚĆ II D DOKUMENTACJA GRAFICZNA

	OCENA ZAGROŻENIA WYBUCHEM	Karta	3.1
	Centrum NanoBioMedyczne UAM ul. Wszechnicy Piastowskiej 3, 61-614 Poznań	Data wydania	2020.11.02
Część III		Wydanie	2
INFORMACJE I DOKUMENTY UZUPEŁNIAJĄCE		ZAŁĄCZNIKI	

3 CZĘŚĆ III INFORMACJE I DOKUMENTY UZUPEŁNIAJĄCE

3.1 ZAŁĄCZNIKI

Załącznik nr 1 - Skutki wybuchu

Charakterystycznymi cechami wybuchu są: nagły skok ciśnienia w miejscu reakcji, zmienna prędkość rozprzestrzeniania się procesu oraz niewielka zależność tej prędkości od czynników zewnętrznych. W związku z tym mechaniczne oddziaływanie wybuchu polega głównie na gwałtownym uderzeniu gazowych produktów reakcji na otaczające środowisko, co powoduje trwałe odkształcenia lub też zniszczenie przedmiotów znajdujących się w pobliżu miejsca wybuchu a także urazy i uszkodzenia ciała ludzi. Ponadto dodatkowym mechanicznym czynnikiem rażenia są odłamki – tj. fragmenty konstrukcji lub aparatury wyrzucane na znaczne odległości w momencie wybuchu. Poniższe tabele przedstawiają przykładowe dane dotyczące skutków oddziaływania nadciśnienia generowanego przez wybuch na ludzi oraz budynki [12].

Tab. 1. Oddziaływanie nadciśnienia generowanego przez wybuch na ludzi


Nadciśnienie [kPa]	Obrażenia
500 - 800	100% ofiar śmiertelnych
350 - 500	50% ofiar śmiertelnych
200 - 300	Wartość progowa dla wystąpienia ofiar śmiertelnych
133 - 200	Znaczne uszkodzenia płuc
200 - 233	50% prawdopodobieństwa zniszczenia błony bębenkowej ucha (u osób powyżej 20 roku życia)
100 - 133	50% prawdopodobieństwa zniszczenia błony bębenkowej ucha (u osób poniżej 20 roku życia)

Źródło: Woliński M., Ogrodnik G., Tomczuk J., Ocena zagrożenia wybuchem, wyd. II poprawione, Warszawa 2007

Tab. 2. Oszacowanie obrażeń u ludzi powodowanych przez nadciśnienie pochodzące od wybuchu

Nadciśnienie [kPa]	Obrażenia
17,5 - 35	1% ofiar śmiertelnych wskutek uszkodzenia płuc > 50% przypadków zniszczenia błony bębenkowej > 50% przypadków ciężkich obrażeń ciała od odłamków
7 - 17	1% przypadków zniszczenia błony bębenkowej 1% przypadków ciężkich obrażeń ciała od odłamków
3,5 - 7	Zranienia latającymi odłamkami szkła
1 - 2	Lekkie rany od latających odłamków szkła

Źródło: Woliński M., Ogrodnik G., Tomczuk J., Ocena zagrożenia wybuchem, wyd. II poprawione, Warszawa 2007

	OCENA ZAGROŻENIA WYBUCHEM	Karta	3.1
	Centrum NanoBioMedyczne UAM ul. Wszechnicy Piastowskiej 3, 61-614 Poznań	Data wydania	2020.11.02
Część III		Wydanie	2
INFORMACJE I DOKUMENTY UZUPEŁNIAJĄCE		ZAŁĄCZNIKI	

Tab. 3. Oddziaływanie odłamków o masie 4,54 [kg] na człowieka

Rodzaj urazu jako skutek trafienia odłamkiem	Prędkość odłamka [m/s]	Stopień zagrożenia
Wstrząs mózgu	3,05	Praktycznie bez urazu
	4,57	Próg zagrożenia
Pęknięcie czaszki	3,05	Praktycznie bez urazu
	4,57	Próg zagrożenia
	7,01	100% prawdopodobieństwa urazu

Źródło: Woliński M., Ogrodnik G., Tomczuk J., Ocena zagrożenia wybuchem, wyd. II poprawione, Warszawa 2007

Tab. 4. Oddziaływanie nadciśnienia generowanego przez wybuch na konstrukcje budowlane

Nadciśnienie [kPa]	Skutki
70	Budynki całkowicie zniszczone
35	Znaczne uszkodzenia budynków
10	Uszkodzenia nadające się do usunięcia
5	Znaczne zniszczenia przeszkleń
2	Zniszczone 10% przeszkleń


Źródło: Woliński M., Ogrodnik G., Tomczuk J., Ocena zagrożenia wybuchem, wyd. II poprawione, Warszawa 2007

Tab. 5. Zniszczenia powodowane przez falę ciśnieniową

Nadciśnienie [kPa]	Rodzaj zniszczeń
0,1 - 0,3	Nieznaczne uszkodzenia powierzchni przeszklonych
1 - 1,5	Stłuczenie typowego szkła okiennego
3,5 - 7,5	Powybijane okna, nieznacznie uszkodzone niektóre budynki
7,5 - 12,5	Powyginane ścianki z blachy
12,5 - 20	Uszkodzenie ścian z bloczków betonowych lub żuźlowych
20 - 30	Zawalenie się budynków z płyt betonowych Rozerwanie zbiorników na ropę naftową
30 - 50	Poważne uszkodzenia budynków o stalowej konstrukcji nośnej
40 - 60	Ciężkie uszkodzenia konstrukcji żelazobetonowych
70 - 80	Prawdopodobne zniszczenie większości budynków

Źródło: Woliński M., Ogrodnik G., Tomczuk J., Ocena zagrożenia wybuchem, wyd. II poprawione, Warszawa 2007

Z przedstawionych powyżej tabel wynika, że stosunkowo najmniejsze obrażenia dla ludzi są powodowane przez nadciśnienia nie przekraczające 10 - 15 [kPa], natomiast maksymalne przyrosty ciśnienia jakie człowiek jest w stanie przeżyć szacowane są nawet na kilkaset [kPa]. W przypadku budynków tego rzędu nadciśnienie spowoduje zniszczenie praktycznie każdej konstrukcji budowlanej. W tab. 3 przedstawiono przykładowe dane dotyczące urazów powodowanych przez odłamki o masie 4,54 [kg] trafiające w głowę człowieka. Trafienie odłamkiem lecącym z prędkością ~3 [m/s] praktycznie nie powoduje urazów, natomiast wzrost prędkości o 1,5 [m/s] lecącego odłamka może stanowić zagrożenie.

	OCENA ZAGROŻENIA WYBUCHEM	Karta	3.1
	Centrum NanoBioMedyczne UAM ul. Wszechnicy Piastowskiej 3, 61-614 Poznań	Data wydania	2020.11.02
Część III		Wydanie	2
INFORMACJE I DOKUMENTY UZUPEŁNIAJĄCE		ZAŁĄCZNIKI	

Załącznik nr 2 - Efektywne źródła zapłonu (na podstawie [9])

1. Gorące powierzchnie

Zapłon może wystąpić, jeżeli dojdzie do kontaktu atmosfery wybuchowej z ogrzaną powierzchnią. Źródłem zapłonu może być nie tylko sama gorąca powierzchnia - również warstwa pyłu lub 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. Ta zdolność staje się większa 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. Tak na przykład atmosfera wybuchowa gazu albo pary wewnątrz dość dużych ogrzanych przestrzeni (około 11 lub więcej) może ulec zapłonowi od powierzchni o niższych temperaturach niż określanych zgodnie z LEC 79-4 lub innymi równoważnymi metodami. Z drugiej strony 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, węzownice grzewcze i inne, źródłem niebezpiecznych temperatur mogą być również procesy mechaniczne i z udziałem maszyn. Procesy te obejmują również urządzenia, systemy ochronne, części i podzespoły, które zamieniają energię mechaniczną w ciepłą, tj. wszystkie rodzaje sprzęgła trących i hamulców działających mechanicznie (np. w pojazdach i wirówkach). Ponadto, wszystkie części ruchome w łożyskach, przepustach wałów, uszczelnieniach, itd. mogą stawać się źródłem zapłonu, jeżeli nie są w wystarczającym stopniu smarowane. W przypadku ścisłego mocowania 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.

Powinno się również brać pod uwagę wzrost temperatury w wyniku reakcji chemicznych (np. ze smarami i środkami czyszczącymi).

2. Płomienie i gorące gazy (z włączeniem gorących cząstek)

Płomienie towarzyszą reakcjom spalania w temperaturach powyżej 1000 °C. Gorące gazy są produktem reakcji, w przypadku płomieni dymiących i/lub kopących tworzą się również jarzące się cząstki stałe. Płomienie oraz ich gorące produkty reakcji lub inaczej wysoce ogrzane gazy mogą zapalić atmosferę wybuchową. Płomienie, nawet bardzo małe, są jednym z najbardziej efektywnych źródeł zapłonu.

Jeżeli atmosfera wybuchowa występuje zarówno wewnątrz jak i na zewnątrz urządzenia, systemu ochronnego, części lub podzespołu, albo w sąsiednich częściach instalacji i jeżeli zapłon następuje w

	OCENA ZAGROŻENIA WYBUCHEM	Karta	3.1
	Centrum NanoBioMedyczne UAM ul. Wszechnicy Piastowskiej 3, 61-614 Poznań	Data wydania	2020.11.02
Część III		Wydanie	2
INFORMACJE I DOKUMENTY UZUPEŁNIAJĄCE		ZAŁĄCZNIKI	

jednym z tych miejsc, płomień może rozprzestrzeniać się w inne miejsca przez otwory takie jak kanały wentylacyjne. Zapobieganie rozprzestrzenianiu się płomienia wymaga specjalnie zaprojektowanych środków ochronnych.

Krople stopionego metalu powstające podczas spawania lub cięcia są iskrami o bardzo dużej powierzchni, i dlatego są jednymi z najbardziej efektywnych źródeł zapłonu.

3. Iskry generowane mechanicznie

Jako wynik tarcia, uderzenia lub procesów ścierania takich jak mielenie, może następować oddzielenie od ciał stałych cząstek o dużej temperaturze będącej wynikiem energii używanej w procesie. Jeżeli cząstki te zawierają substancje zdolne do utleniania, na przykład żelazo lub stal, mogą ulegać procesowi utleniania, osiągając przez to nawet wyższe temperatury. Cząstki takie (iskry) mogą zapalać palne gazy i pary i pewne mieszaniny pyłowo - powietrzne (zwłaszcza mieszaniny pyłów metali z powietrzem). W złożu pyłu iskry mogą spowodować tlenie, które może być źródłem zapłonu dla atmosfery wybuchowej.

Jako powód iskrzenia powinno zostać rozważone przedostanie się do urządzeń, systemów ochronnych, części i podzespołów materiałów obcych np. kamieni albo skrawków metalu.

Tarcie, nawet między podobnymi metalami żelaznymi i miedzy pewnymi materiałami ceramicznymi, może generować gorące miejsca i iskry podobne do powstających w trakcie mielenia. Mogą one powodować zapłon atmosfer wybuchowych.

Uderzenia w obecności rdzy i metali lekkich (np. aluminium i magnezu) oraz ich stopów mogą zapoczątkowywać reakcję termitową, która może powodować zapłon atmosfer wybuchowych.

Metale lekkie - tytan i cyrkon - mogą również tworzyć zapalne iskry pod wpływem uderzenia lub tarcia w kontakcie z wystarczająco twardym materiałem, nawet w nieobecności rdzy.

4. Urządzenia elektryczne

W przypadku urządzeń elektrycznych jako źródła zapłonu mogą wystąpić iskry elektryczne i gorące powierzchnie (patrz 5.3.2). Iskry elektryczne mogą być generowane, np.:


- kiedy obwody elektryczne są otwierane i zamykane;
- przez poluzowanie połączeń;
- przez prądy błędne.

Wykazano jednoznacznie, że bardzo niskie napięcie (np. poniżej 50 V) stosuje się w celu ochrony osobistej przeciw porażeniu prądem i nie jest środkiem ochrony przed wybuchem. Napięcia niższe niż to mogą jednak wytworzyć energię wystarczającą do zapalenia atmosfery wybuchowej.

5. Prądy błędne, katodowa ochrona przed korozją

Prądy błędne mogą płynąć w systemach przewodzących elektryczność lub częściach systemów:

- jako prądy zwrotne w systemach energetycznych - zwłaszcza w sąsiedztwie kolei elektrycznej i dużych systemów spawających - kiedy, na przykład, elektroprzewodzące składniki systemu takie jak szyny i kable leżące pod ziemią obniżają opór ścieżki prądu zwrotnego;
- jako wynik zwarcia albo zwarcia uziemiającego z powodu uszkodzeń instalacji elektrycznych;

	OCENA ZAGROŻENIA WYBUCHEM	Karta	3.1
	Centrum NanoBioMedyczne UAM ul. Wszechnicy Piastowskiej 3, 61-614 Poznań	Data wydania	2020.11.02
Część III		Wydanie	2
INFORMACJE I DOKUMENTY UZUPEŁNIAJĄCE		ZAŁĄCZNIKI	

- jako wynik indukcji magnetycznej (np. ze względu na sąsiedztwo instalacji elektrycznych z silnymi prądami lub częstotliwościami radiowymi, i
- 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 podgrzania ścieżek przewodzących.

W przypadku zastosowania ochrony przed korozją metodą katodową z przyłożonym napięciem wyżej wymienione ryzyko zapłonu również jest możliwe. Jeżeli stosuje się anody protektorowe, ryzyko zapłonu z powodu iskier elektrycznych jest mało prawdopodobne, chyba że anody wykonane są z aluminium lub magnezu.

6. Elektryczność statyczna

W określonych warunkach wyładowania elektryczności statycznej mogą powodować zapłon. Rozładowanie naładowanych, izolowanych części przewodzących łatwo może prowadzić do iskier zapalających. W przypadku naładowanych elementów wykonanych z materiałów nieprzewodzących, dotyczy to głównie tworzyw sztucznych ale również pewnych innych materiałów, możliwe jest wystąpienie wyładowań snopiastych. W specjalnych przypadkach, podczas szybkich procesów rozdziału (np. taśmy przesuwające się na wałkach, pasy napędowe), lub przez kombinacje materiałów przewodzących i nieprzewodzących, możliwe są również rozchodzące się wyładowania snopiaste. Mogą również występować wyładowania stożkowe, od materiałów składowanych luzem, oraz rozładowania obłoków.


Wyładowania snopiaste mogą zapalać niemal wszystkie wybuchowe atmosfery gazów i par. Zgodnie z obecnym stanem wiedzy, nie można wykluczyć zapłonu wybuchowych atmosfer pyłowo - powietrznych ze skrajnie niską minimalną energią zapłonu przez wyładowanie snopiaste. Iskry, rozchodzące się wyładowania snopiaste, wyładowania stożkowe i rozładowania obłoku mogą zapalać wszystkie rodzaje atmosfer wybuchowych, w zależności od ich energii wyładowania.

7. 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 wyładowanie.

W miejscu uderzenia pioruna płyną silne prądy, które mogą tworzyć iskry w jego sąsiedztwie.

Nawet bez uderzenia pioruna, burze mogą powodować indukowane wysokie napięcia w urządzeniach, systemach ochronnych, częściach i podzespołach.

	OCENA ZAGROŻENIA WYBUCHEM	Karta	3.1
	Centrum NanoBioMedyczne UAM ul. Wszechnicy Piastowskiej 3, 61-614 Poznań	Data wydania	2020.11.02
Część III		Wydanie	2
INFORMACJE I DOKUMENTY UZUPEŁNIAJĄCE		ZAŁĄCZNIKI	

8. Fale elektromagnetyczne o częstotliwości radiowej (RF) od 10^4 Hz do 3×10^{12} Hz

Fale elektromagnetyczne są emitowane przez wszystkie systemy generujące i stosujące energię elektryczną o częstotliwości radiowej (systemy częstotliwości radiowej), np. nadajniki radiowe lub przemysłowe albo 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.

9. Fale elektromagnetyczne od 3×10^{11} Hz do 3×10^{15} Hz

Promieniowanie w tym zakresie widma może - zwłaszcza w przypadku skupienia - stać się źródłem zapłonu poprzez pochłanianie przez atmosfery wybuchowe lub powierzchnie ciał stałych.

Światło słoneczne, na przykład, może powodować zapłon w obecności przedmiotów zdolnych do skupienia jego promieni (np. butelki działające jak soczewki, reflektory skupiające).

W określonych warunkach promieniowanie intensywnych źródeł światła (ciągłego albo błyskowego) jest tak intensywnie pochłaniane przez cząstki pyłu, że stają się one źródłem zapłonu dla atmosfer wybuchowych lub dla 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, kiedy wiązka laserowa trafia na powierzchnię ciała stałego lub kiedy jest absorbowana przez cząstki pyłu w atmosferze albo przez zanieczyszczone części przezroczyste.

Powinno być brane pod uwagę, że jakiegokolwiek urządzenie, system ochronny, część i podzespoły generujący promieniowanie (np. lampy, łuki elektryczne, lasery, itd.) mogą stanowić źródło zapłonu jak to zdefiniowano w 1 i 4.

10. Promieniowanie jonizujące

Promieniowanie jonizujące generowane, na przykład, przez lampy rentgenowskie i substancje radioaktywne może zapalać atmosfery wybuchowe (zwłaszcza atmosfery wybuchowe z cząstkami pyłu) w wyniku absorpcji energii. Ponadto, źródło radioaktywne samo może się podgrzewać, z powodu wewnętrznej absorpcji energii promieniowania, do temperatury przekraczającej minimalną temperaturę samozapłonu otaczającej atmosfery wybuchowej.

Promieniowanie jonizujące może powodować chemiczny rozkład lub inne reakcje, które mogą prowadzić do tworzenia bardzo reaktywnych rodników lub niestabilnych chemicznie związków. Może to powodować zapłon.

	OCENA ZAGROŻENIA WYBUCHEM	Karta	3.1
	Centrum NanoBioMedyczne UAM ul. Wszechnicy Piastowskiej 3, 61-614 Poznań	Data wydania	2020.11.02
Część III		Wydanie	2
INFORMACJE I DOKUMENTY UZUPEŁNIAJĄCE		ZAŁĄCZNIKI	

UWAGA : Takie promieniowanie może również tworzyć atmosferę wybuchową przez rozkład (np. mieszanina tlenu i wodoru w wyniku radiolizy wody).

11. Ultradźwięki

Podczas stosowania fal ultradźwiękowych, znaczna część energii wytwarzanej przez przetwornik elektroakustyczny jest absorbowana przez substancje stałe lub ciekłe. W wyniku absorpcji, substancja wystawiana na działanie ultradźwięków ogrzewa się tak, że w skrajnych przypadkach, może nastąpić zapłon.

12. Adyabatyczne sprężanie i fale uderzeniowe

W przypadku sprężania adyabatycznego lub prawie adyabatycznego 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.

UWAGA: W przewodach ciśnieniowych kompresorów do sprężania powietrza i w zbiornikach podłączonych do tych przewodów, wybuchy mogą występować jako wynik zapłonu sprężonych mgieł olejów smarowych.

Fale uderzeniowe są generowane, na przykład, podczas nagłego rozprężania gazów pod wysokim ciśnieniem do rurociągów. W tym procesie fale uderzeniowe rozchodzą się do miejsc o niskim ciśnieniu szybciej niż szybkość dźwięku. Kiedy są uginane lub odbijane przez powyginany rurociąg, przewężenia, połączenia kołnierzowe, zamknięte zawory itd, mogą występować bardzo wysokie temperatury.


UWAGA: Urządzenia, systemy ochronne, części i podzespoły zawierające wysoce utleniające gazy, np. czysty tlen lub atmosfery gazowe o wysokim stężeniu tlenu, mogą stawać się efektywnym źródłem zapłonu przy sprężaniu adyabatycznym, fali uderzeniowej lub nawet zwykłym przepływie, ponieważ zapaleniu ulec mogą smary, szczeliwa i nawet materiały konstrukcyjne. Jeżeli to prowadzi do zniszczenia urządzeń, systemów ochronnych, części i podzespołów, ich części będą zapalać otaczającą atmosferę wybuchową

13. Reakcje egzotermiczne z włączeniem samozapalenia pyłów

Reakcje egzotermiczne mogą stanowić źródło zapłonu kiedy szybkość wytwarzania ciepła będzie większa od szybkości strat ciepła do otoczenia. Wiele reakcji chemicznych jest reakcjami egzotermicznymi. Możliwość osiągnięcia przez reakcje wysokiej temperatury jest zależna, między innymi, od stosunku objętość/powierzchnia systemu reakcyjnego, 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 włącza się reakcje piroforycznych substancji z powietrzem, metali alkalicznych z wodą, samozapalenie palnych pyłów²⁾, 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),


	OCENA ZAGROŻENIA WYBUCHEM	Karta	3.1
	Centrum NanoBioMedyczne UAM ul. Wszechnicy Piastowskiej 3, 61-614 Poznań	Data wydania	2020.11.02
Część III		Wydanie	2
INFORMACJE I DOKUMENTY UZUPEŁNIAJĄCE		ZAŁĄCZNIKI	

UWAGA I: 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 nadtlakiem wodoru).

Pewne połączenia substancji, zwłaszcza gdy są dobrze rozdrobnione, (np. aluminium/rdza albo cukier/chlorany) reagują gwałtownie w razie uderzenia lub tarcia.

UWAGA 2: Zagrożenia mogą też wynikać z reakcji chemicznych spowodowanych termiczną niestabilnością, wysokim ciepłem reakcji i/lub szybkim wyzwaniem gazu. Te zagrożenia nie są rozważane w normie [9].


	OCENA ZAGROŻENIA WYBUCEM	Karta	3.1
	Centrum NanoBioMedyczne UAM ul. Wszechnicy Piastowskiej 3, 61-614 Poznań	Data wydania	2020.11.02
Część III		Wydanie	2
INFORMACJE I DOKUMENTY UZUPEŁNIAJĄCE		ZAŁĄCZNIKI	

Załącznik nr 3 – Protokół z obliczeń emisji. Analiza numeryczna ExS-PB-06-2057-1.0

 Część III	OCENA ZAGROŻENIA WYBUCHEM	Karta	3.2
	Centrum NanoBioMedyczne UAM ul. Wszechnicy Piastowskiej 3, 61-614 Poznań	Data wydania	2020.11.02
		Wydanie	2
INFORMACJE I DOKUMENTY UZUPEŁNIAJĄCE		DOKUMENTY ODNIESIENIA	

3.2 DOKUMENTY ODNIESIENIA


1. Linde Group: Ammoniak, (2017).
2. Linde Group: Combine flexibility and safety with lightweight portability., [https://www.linde-gaz.pl/pl/images/HiQ specialty gases in small cylinders_EN_WR_tcm48-81570.pdf](https://www.linde-gaz.pl/pl/images/HiQ%20specialty%20gases%20in%20small%20cylinders_EN_WR_tcm48-81570.pdf).
3. Linde Group: Etylen, [https://www.linde-gaz.pl/pl/images/Eten 3_0_tcm48-80177.pdf](https://www.linde-gaz.pl/pl/images/Eten_3_0_tcm48-80177.pdf).
4. Linde Group: KARTA CHARAKTERYSTYKI- Eten (etylen), https://www.linde-gaz.pl/pl/images/10021778_tcm48-139788.pdf, (2017).
5. Linde Group: Karta charakterystyki: Siarkowodór. (2017).
6. Linde Group: Wodór 5.0. 7.
7. Pawłowicz, D.: Protokół z obliczeń emisji. Analiza numeryczna ExS-PB-06-2057-1.0, (2020).
8. <http://cnbm.amu.edu.pl/pl/uhv-stm> (dostęp: 8.10.2020).
9. PN-EN 1127-1:2019-10 Atmosfery wybuchowe - Zapobieganie wybuchowi i ochrona przed wybuchem - Część 1: Pojęcia podstawowe i metodyka.
10. PN-EN 60079-10-1:2016-02 Atmosfery wybuchowe - Część 10-1: Klasyfikacja przestrzeni - Gazowe atmosfery wybuchowe.
11. Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 7 czerwca 2010 r. w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków innych obiektów budowlanych i terenów (Dz. U. z 2010 r. Nr 109 poz. 719 z późn. zm.).
12. Woliński M., Ogrodnik G., Tomczuk J., Ocena zagrożenia wybuchem, wyd. II poprawione, Warszawa 2007.
13. Linde Group: Metan, (2017).

	OCENA ZAGROŻENIA WYBUchem	Karta	3.3
	Centrum NanoBioMedyczne UAM ul. Wszechnicy Piastowskiej 3, 61-614 Poznań	Data wydania	2020.11.02
Część III		Wydanie	2
INFORMACJE I DOKUMENTY UZUPEŁNIAJĄCE		KARTA ZMIAN	

3.3 KARTA ZMIAN

Karta przeglądu i aktualizacji dokumentu

Nr zmiany	Nr karty	Informacja o przeglądzie dokumentu (treść zmiany)	Data / podpis dokonującego przeglądu / zmiany

	OCENA ZAGROŻENIA WYBUCEM	Karta	3.4
	Centrum NanoBioMedyczne UAM ul. Wszechnicy Piastowskiej 3, 61-614 Poznań	Data wydania	2020.11.02
Część III		Wydanie	2
INFORMACJE I DOKUMENTY UZUPEŁNIAJĄCE		AUTORZY OZW	

3.4 AUTORZY OCENY ZAGROŻENIA WYBUCEM

	IMIĘ I NAZWISKO	UPRAWNIENIA/KWALIFIKACJE	PODPIS
opracował:	mgr Piotr Hegyi	technik pożarnictwa upr. 1502/07 SA PSP Poznań tytuł magistra uzyskany w dziedzinie fizyki	PROTECTIM <i>Piotr Hegyi</i> os. Konstytucji 3 Maja 82/17, 64-000 Kościan NIP 698-141-09-46 REGON 411570133 tel. 600 236 129 e-mail: biuro.protectim@gmail.com 
opracował:	dr inż. Piotr Mitkowski	Doktor nauk technicznych w obszarze inżynierii chemicznej (tytuł uzyskany w 2008 r. w Departament of Chemical and Biochemical Engineering, Technical University of Denmark) Autor i recenzent publikacji naukowych w dziedzinie inżynierii chemicznej oraz bezpieczeństwa procesowego Absolwent studiów podyplomowych "Bezpieczeństwo procesów przemysłowych" w roku 2019/2020 odbytych w Katedrze Inżynierii Bezpieczeństwa Pracy Politechniki Łódzkiej	