

OCENA ZAGROŻENIA WYBUCEM

dla

**kabiny lakierniczej, magazynu cieczy łatwopalnych
oraz magazynu gazów technicznych**

usytuowanych na terenie

ZAJEZDNI TRAMWAJOWEJ

zlokalizowanej w Gdańsku przy ul. Wita Stwosza 110

Gdańskie Autobusy i Tramwaje Sp. z o.o.



opracował

Grzegorz

mgr inż. poż. Grzegorz Maliszewski
dypl. SGSP Nr 4234/2004

Gdańsk, 5 sierpnia 2020 r.

Spis treści

Wprowadzenie.....	4
1. Spis aktów prawnych i normatywnych.....	5
2. Definicje i określenia	6
3. Lokalizacja zakładu i miejsc potencjalnie zagrożonych wybuchem.....	9
4. Analiza zagrożenia wybuchowego.....	10
4.1. Informacje ogólne.....	10
4.2. Właściwości stosowanych i magazynowanych substancji łatwopalnych	12
4.2.1. Wykaz substancji łatwopalnych oraz sposób ich przechowywania.....	12
4.2.2. Ciecze stosowane w procesach lakierniczych.....	13
4.2.3. Acetylen.....	17
4.2.4. Propan-butan.....	19
4.3. Magazyn cieczy łatwopalnych - mieszalnia farb	22
4.3.1. Informacje ogólne.....	22
4.3.2. Szacowanie częstości, czasu trwania, stopnia oraz natężenia emisji	22
4.3.3. Analiza wentylacji	24
4.3.4. Rodzaj i zasięg stref zagrożenia wybuchem	26
4.3.5. Występowanie pomieszczenia zagrożonego wybuchem	26
4.4. Kabina lakiernicza	28
4.4.1. Informacje ogólne.....	28
4.4.2. Szacowanie częstości, czasu trwania, stopnia oraz natężenia emisji podczas nanoszenia powłoki podkładowej	30
4.4.3. Szacowanie częstości, czasu trwania, stopnia oraz natężenia emisji podczas nanoszenia powłoki lakierniczej	32
4.4.4. Analiza wentylacji	34
4.4.5. Rodzaj i zasięg stref zagrożenia wybuchem	36
4.4.6. Występowanie pomieszczenia zagrożonego wybuchem	37
4.5. Magazyn gazów technicznych	39
4.5.1. Informacje ogólne.....	39
4.5.2. Szacowanie częstości, czasu trwania, stopnia oraz natężenia emisji acetyleny	40
4.5.3. Szacowanie częstości, czasu trwania, stopnia oraz natężenia emisji propanu-butanu	40
4.5.4. Analiza wentylacji	41
4.5.5. Rodzaj i zasięg stref zagrożenia wybuchem	42
5. Potencjalne źródła zapłonu	43

6. Zabezpieczenie przed wybuchem w strefach zagrożenia wybuchem	44
7. Wnioski i zalecenia	46

Wprowadzenie

Niniejsza ocena zagrożenia wybuchem dotyczy trzech obiektów usytuowanych na terenie zakładu funkcjonującego pod nazwą **Zajezdnia Tramwajowa** zlokalizowanego w Gdańsku przy ul. Wita Stwosza 110. Podmiotem zarządzającym tym zakładem i jego użytkownikiem jest spółka **Gdańskie Autobusy i Tramwaje Sp. z o.o.** z siedzibą w Gdańsku przy ul. Jaśkowa Dolina 2.

Obiektami będącymi przedmiotem niniejszego opracowania są:

- **kabina lakiernicza,**
- **magazyn cieczy łatwopalnych** na potrzeby lakierni, będący jednocześnie pomieszczeniem mieszalni farb,
- **magazyn gazów technicznych.**

W niniejszym dokumencie dokonana zostanie analiza i ocena zagrożenia wybuchowego w powyższych obiektach. W przypadku stwierdzenia występowania takiego zagrożenia wyznaczone zostaną strefy zagrożenia wybuchem oraz sprawdzone zostanie ewentualne występowanie pomieszczeń zagrożonych wybuchem. Ponadto w części końcowej opracowania zostaną zidentyfikowane potencjalne źródła zapłonu oraz wskazane sposoby zapobieżenia zapłonowi mieszanin wybuchowych.

W czasie opracowywania niniejszej oceny zagrożenia wybuchem nie były jeszcze prowadzone prace lakiernicze, ani nie rozpoczęto przechowywania cieczy łatwopalnych w magazynie cieczy łatwopalnych. Ponadto magazyn gazów technicznych wykonany zostanie dopiero po skończeniu niniejszego opracowania.

W związku z tym informacje na temat planowanych do prowadzenia procesów z udziałem substancji łatwopalnych dotyczą stanu przyszłego. Z kolei opis cieczy łatwopalnych oraz procesów prowadzonych z ich udziałem oparto o informacje właściwe dla typowych prac lakierniczych.

Jeden egzemplarz niniejszego dokumentu powinien się znajdować na terenie Zajezdni Tramwajowej.

Osoby, które prowadzą czynności służbowe we wskazanych obiektach lub stanowią ich obsługę, powinny zostać zapoznane z jego treścią.

1. Spis aktów prawnych i normatywnych

W niniejszym opracowaniu oparto się o następujące akty prawne, normatywne i zasady wiedzy technicznej:

- rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1272/2008 z dnia 16 grudnia 2008 r. w sprawie klasyfikacji, oznakowania i pakowania substancji niebezpiecznych i mieszanin, zmieniające i uchylające dyrektywy 67/548/EWG i 1999/45/WE oraz zmieniające rozporządzenie (WE) nr 1907/2006 [CLP];
- dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1999/92/WE z dnia 16 grudnia 1999 r. w sprawie minimalnych wymagań mających na celu poprawę stanu bezpieczeństwa i ochrony zdrowia pracowników potencjalnie narażonych na ryzyko spowodowane atmosferami wybuchowymi [ATEX USERS];
- dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady nr 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 [ATEX];
- rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (tekst jednolity z 2019 r. poz. 1065 ze zm.);
- rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 7 czerwca 2010 r. w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków, innych obiektów budowlanych i terenów (Dz. U. Nr 109, poz. 719 ze zm.);
- rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 21 listopada 2005 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać bazy i stacje paliw płynnych, rurociągi przesyłowe dalekosiężne służące do transportu ropy naftowej i produktów naftowych i ich usytuowanie (Dz. U. z 2014 r., poz. 1853 ze zm.);
- 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);
- rozporządzenie Ministra Rozwoju z dnia 6 czerwca 2016 r. w sprawie wymagań dla urządzeń i systemów ochronnych przeznaczonych do użytku w atmosferze potencjalnie wybuchowej (Dz. U. poz. 817);
- Polska Norma PN-EN 1127-1 *Atmosfery wybuchowe. Zapobieganie wybuchowi i ochrona przed wybuchem. Część 1: Pojęcia podstawowe i metodyka*;
- Polska Norma PN-EN 60079-10 *Urządzenia elektryczne w przestrzeniach zagrożonych wybuchem. Część 10: Klasyfikacja przestrzeni zagrożonych wybuchem*;
- Polska Norma PN-EN 50272-3 *Wymagania bezpieczeństwa i instalowania baterii wtórnych. Część 3: Baterie trakcyjne*;
- Polska Norma PN-B-02852 *Obliczanie gęstości obciążenia ogniowego oraz wyznaczanie względnego czasu trwania pożaru*;
- karty charakterystyki poszczególnych substancji niebezpiecznych.

2. Definicje i określenia

W niniejszym opracowaniu przyjęto następujące definicje i określenia:

gazowa atmosfera wybuchowa – mieszanina substancji palnych w postaci gazu z powietrzem, w warunkach atmosferycznych, w której po zapaleniu, spalanie rozprzestrzenia się na całą nie spaloną mieszaninę

parowa atmosfera wybuchowa – mieszanina substancji palnych w postaci pary palnej cieczy z powietrzem, w warunkach atmosferycznych, w której po zapaleniu, spalanie rozprzestrzenia się na całą nie spaloną mieszaninę

pyłowa atmosfera wybuchowa – mieszanina substancji palnych w postaci pyłu lub włókien z powietrzem, w warunkach atmosferycznych, w której po zapaleniu, spalanie rozprzestrzenia się na całą nie spaloną mieszaninę

przestrzeń zagrożona wybuchem – przestrzeń, w której występuje gazowa, parowa lub pyłowa atmosfera wybuchowa lub można spodziewać się jej wystąpienia w takich ilościach, że wymaga to specjalnych środków zapobiegawczych dotyczących konstrukcji, instalowania i stosowanych urządzeń (w pomieszczeniu należy wyznaczyć strefę zagrożenia wybuchem, jeżeli może w nim występować mieszanina wybuchowa o objętości co najmniej $0,01 \text{ m}^3$ w zwartej przestrzeni)

strefa 0 – przestrzeń, w której gazowa lub parowa atmosfera wybuchowa występuje ciągle lub w długich okresach

strefa 1 – przestrzeń, w której pojawienie się gazowej lub parowej atmosfery wybuchowej jest prawdopodobne w warunkach normalnej pracy

strefa 2 – przestrzeń, w której w warunkach normalnej pracy nie jest prawdopodobne pojawienie się gazowej, ani parowej atmosfery wybuchowej, a jeżeli pojawi się ona rzeczywiście, to może tak się stać tylko rzadko i tylko na krótki okres i zazwyczaj wskutek awarii instalacji lub urządzenia

strefa 20 – przestrzeń, w której pyłowa atmosfera wybuchowa występuje ciągle lub w długich okresach

strefa 21 – przestrzeń, w której pojawienie się pyłowej atmosfery wybuchowej jest prawdopodobne w warunkach normalnej pracy

strefa 22 – przestrzeń, w której w warunkach normalnej pracy nie jest prawdopodobne pojawienie się pyłowej atmosfery wybuchowej, a jeżeli pojawi się ona rzeczywiście, to może tak się stać tylko rzadko i tylko na krótki okres i zazwyczaj wskutek awarii instalacji lub urządzenia

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

źródło emisji – punkt lub miejsce, z którego mogą uwalniać się do atmosfery gaz palny, para palna, ciecz palna lub pył palny tak, że może się utworzyć atmosfera wybuchowa

emisja ciągła – emisja, która występuje stale lub której występowania można spodziewać się w długich okresach

pierwszy stopień emisji – emisja, której występowania podczas normalnej pracy można spodziewać się okresowo lub okazjonalnie

drugi stopień emisji – emisja, której występowania w warunkach normalnej pracy nie można spodziewać się, a jeżeli pojawi się ona rzeczywiście, to może tak się stać tylko rzadko i tylko na krótkie okresy

wydajność emisji – ilość palnego gazu, pary, cieczy lub pyłu uwalnianych w jednostce czasu ze źródła emisji

wentylacja – przemieszczanie powietrza oraz jego wymiana na świeże powietrze w wyniku działania wiatru, występowania różnic temperatury lub wymuszania mechanicznego (np. za pomocą wentylatorów)

dolna granica wybuchowości (DGW) – stężenie gazu palnego, pary palnej cieczy lub pyłu palnego w powietrzu, poniżej którego atmosfera nie jest wybuchowa

górną granicą wybuchowości (GGW) – stężenie gazu palnego, pary palnej cieczy lub pyłu palnego w powietrzu, powyżej którego atmosfera gazowa nie jest wybuchowa

temperatura samozapłonu – najniższa temperatura ogrzanej powierzchni, przy której, w określonych warunkach, może wystąpić zapalenie substancji palnej w postaci mieszaniny gazu, pary lub pyłu z powietrzem

temperatura zapłonu – najniższa temperatura cieczy, w której, w pewnych znormalizowanych warunkach, ciecz wydziela parę w takich ilościach, że jest zdolna do utworzenia palnej mieszaniny pary z powietrzem, tzn. mieszaniny, która ulega zapłonowi od punkтового bodźca energetycznego

wysoki stopień wentylacji – wentylacja, która jest w stanie zredukować stężenie przy źródle emisji niemal natychmiast, dając w wyniku stężenie poniżej dolnej granicy wybuchowości; w rezultacie otrzymuje się strefę o małym (nawet pomijalnym) zasięgu

średni stopień wentylacji – wentylacja, która 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 gdzie atmosfera wybuchowa nie zalega w nadmiarze po zakończeniu emisji

niski stopień wentylacji – wentylacja, która nie jest w stanie wpływać na stężenie, w czasie trwania emisji i/lub nie może zabezpieczyć przed zbytnim zaleganiem atmosfery palnej po zakończeniu emisji

dobra dostępność wentylacji – wentylacja funkcjonuje zawsze w czasie normalnego stanu pracy urządzeń technologicznych

dostateczna dostępność wentylacji – wentylacja funkcjonuje w czasie normalnego stanu pracy urządzeń technologicznych, choć dopuszcza się występowanie rzadkich przerw, w krótkich okresach

słaba dostępność wentylacji – wentylacja nie spełnia wymagań dla dostępności dobrej i dostatecznej, lecz nie dopuszcza się występowania przerw o długich okresach

otwór typu A – otwór otwarty lub często otwierany, a także otwór z zamknięciem niedopasowanym

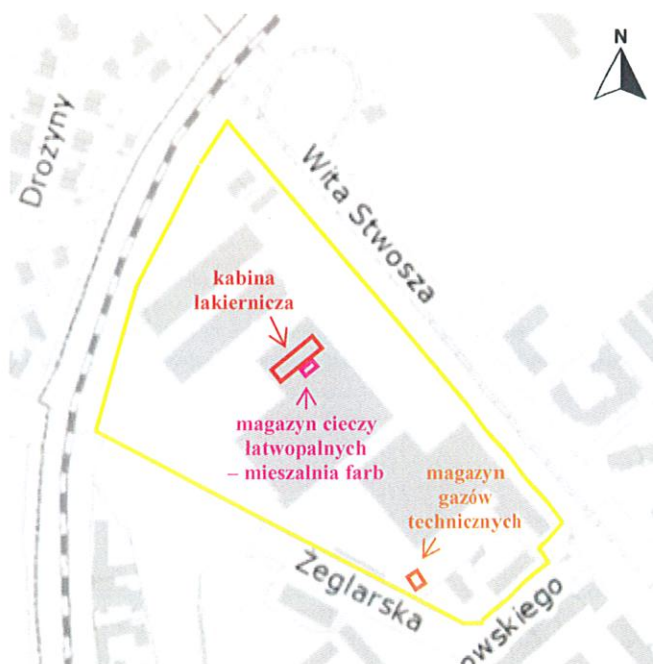
otwór typu B – otwór normalnie zamknięty (np. zamknięcie automatyczne) i otwierany rzadko, który jest ponadto dokładnie dopasowany

otwór typu C – otwór normalnie zamknięty (np. zamknięcie automatyczne) i otwierany rzadko, który jest ponadto dokładnie dopasowany oraz uszczelniony (np. uszczelką) wzdłuż całego obwodu; lub dwa otwory typu B połączone szeregowo, mające niezależne automatyczne urządzenia zamykające

otwór typu D – otwór normalnie zamknięty typu C, który może być otwarty tylko za pomocą specjalnych środków lub awaryjnie

3. Lokalizacja zakładu i miejsc potencjalnie zagrożonych wybuchem

Zakład będący przedmiotem niniejszego opracowania nosi nazwę **Zajezdni Tramwajowej** i usytuowany jest w Gdańsku przy ul. Wita Stwosza 110. Lokalizację tę, a także usytuowanie obiektów, w których stosowane lub magazynowane są substancje łatwopalne, przedstawiono na rysunku poniżej.



Rys. Nr 1: Zajezdnia Tramwajowa oraz obiekty poddane ocenie zagrożenia wybuchem

Kabina lakiernicza oraz przylegający do niej **magazyn cieczy łatwopalnych – mieszalnia farb** znajdują się wewnątrz hali usytuowanej w budynku jednokondygnacyjnym. Budynek ten zakwalifikowany jest jako produkcyjno-magazynowy (PM) o gęstości obciążenia ogniowego poniżej 500 MJ/m².

W południowej części zakładu usytuowana zostanie stalowa wiata stanowiąca **magazyn gazów technicznych**.

Miejsca, w których stosowane lub magazynowane są ciecze łatwopalne, są przestrzeniami wydzielonymi z pomieszczenia hali za pomocą ścianek metalowych lub systemowych. Przestrzenie te posiadają własne wejścia z hali oraz mogą być traktowane jako odrębne pomieszczenia. Wyposażone są one również w instalację wentylacji przeciwwybuchowej nawiewno-wywiewnej.

Wiata stanowiąca magazyn gazów technicznych posiada konstrukcją stalową, a jej ściany wykonane są z metalowej siatki. Wewnątrz niej składowane są butle stalowe (pełne i puste) o różnej pojemności, zawierające: acetylen, propan-butan, tlen, argon oraz dwutlenek węgla.

4. Analiza zagrożenia wybuchowego

4.1. Informacje ogólne

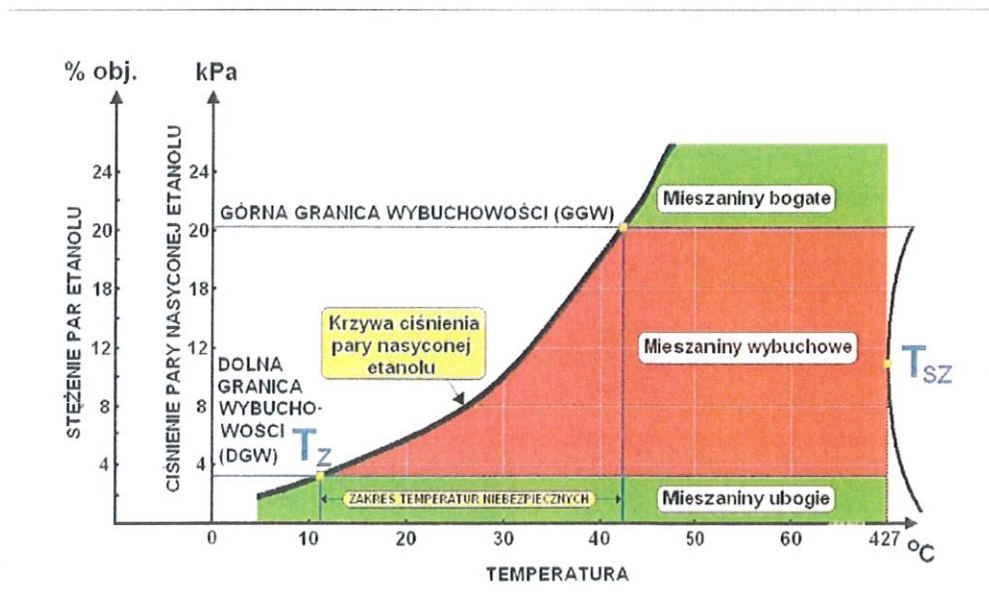
Zagrożenia związane z cieczami palnymi i gazami palnymi dotyczą przede wszystkim możliwości tworzenia przez nie atmosfery wybuchowej.

Do zainicjowania wybuchu (zapalenia się) palnych par cieczy lub palnych gazów niezbędne są:

- materiał palny (para cieczy, gaz) w odpowiedniej ilości (stężeniu),
- utleniacz (w rozpatrywanych przypadkach – tlen z powietrza) w odpowiedniej ilości (stężeniu),
- impuls (bodziec) energetyczny o odpowiedniej energii,
- wolne rodniki powstałe z materiału palnego lub utleniacza w wyniku zadziałania impulsu (bodźca) energetycznego.

Wszystkie te czynniki warunkują wystąpienie wybuchu (zapalenia się). Dlatego do zapalenia się i wybuchu może dojść jedynie wówczas, gdy dla danej ilości materiału palnego zapewniono odpowiednią ilość utleniacza. Wielkość ta opisana jest jako stężenie substancji palnej w mieszaninie z powietrzem (w zwykłych warunkach, tzn. nielaboratoryjnych, utleniaczem jest niemal zawsze tlen z powietrza). Stężenie to musi zawierać się pomiędzy dolną (DGW), a górną (GGW) granicą wybuchowości danego materiału palnego (mieszaniny zbyt bogate w materiał palny lub zbyt ubogie, nie wybuchają).

Na Wykresie Nr 1 przedstawiono przykładowy zakres stężeń wybuchowych dla par etanolu.



Zależność pomiędzy ciśnieniem pary nasyconej, temperaturą i granicami wybuchowości na przykładzie etanolu, T_z – temperatura zapłonu, T_{sz} – temperatura samozapłonu

Wykres Nr 1: Zakres stężeń wybuchowych

Impuls energetyczny powoduje „rozbicie” cząsteczek materiału palnego i utleniacza na wolne rodniki, które ze sobą reagują w sposób egzotermiczny dostarczając kolejnych porcji energii (reakcja łańcuchowa) dla następnych cząsteczek, co powoduje także i ich „rozbicie”. Cząsteczki, które nie zostaną „rozbite” na wolne rodniki nie mogą ze sobą przereagować.

Wziąć należy również pod uwagę stopień ograniczenia przestrzeni, w której dochodzi do zapłonu mieszaniny wybuchowej, gdyż im jest ona bardziej ograniczona (np. przeszkodami), tym wybuch jest bardziej turbulentny i gwałtowny, tempo przyrostu ciśnienia większe, a skutki poważniejsze.

Z powyższego wynika, iż aby nie doszło do wybuchu należy usunąć z potencjalnej strefy reakcji spalania substancję palną (pary cieczy palnej, gaz palny), utleniacz (powietrze), źródło energii lub wolne rodniki.

Najprostszym i najpewniejszym sposobem niedopuszczenia do wybuchu jest usunięcie substancji palnej poprzez zamknięcie jej w szczelnych pojemnikach. Z kolei już po wystąpieniu emisji par palnych cieczy konieczne jest ich szybkie usunięcie za pomocą wentylacji mechanicznej lub korzystnej wentylacji naturalnej. Możliwe jest również wyeliminowanie impulsów (bodźców) energetycznych, o czym mowa będzie w dalszej części niniejszego opracowania. Natomiast praktycznie niemożliwe jest usunięcie tlenu z powietrza, a więc z potencjalnej strefy reakcji spalania.

Wolne rodniki mogą być blokowane za pomocą niektórych cząsteczek, które to zjawisko jest wykorzystywane przy gaszeniu proszkami gaśniczymi do pożarów grup B i C.

4.2. Właściwości stosowanych i magazynowanych substancji łatwopalnych

4.2.1. Wykaz substancji łatwopalnych oraz sposób ich przechowywania

W czasie opracowywania niniejszej oceny zagrożenia wybuchem nie były jeszcze prowadzone prace lakiernicze, ani nie rozpoczęto przechowywania cieczy łatwopalnych w magazynie cieczy łatwopalnych.

W związku z tym informacje na temat planowanych do prowadzenia procesów z udziałem substancji łatwopalnych dotyczą stanu przyszłego. Z kolei opis cieczy łatwopalnych oraz procesów prowadzonych z ich udziałem oparto o informacje właściwe dla typowych prac lakierniczych.

W analizowanych przestrzeniach kabiny lakierniczej oraz magazynu cieczy łatwopalnych – mieszalni farb stosowane lub przechowywane będą substancje niebezpieczne wykorzystywane podczas oczyszczania lub lakierowania elementów karoserii tramwajów, w tym następujące ciecze łatwopalne:

- zmywacz spirytusowy wolny NEXA P850-1402 – w pojemnikach metalowych zawierających maksymalnie 5 dm³ cieczy,
- podkład wytrawiający P565-767 – w pojemnikach metalowych zawierających maksymalnie 2,5 dm³ cieczy,
- podkład wypełniający szary EHS P565-1027 – w pojemnikach metalowych zawierających maksymalnie 5 dm³ cieczy,
- podkład epoksydowy P580-2100 – w pojemnikach metalowych zawierających maksymalnie 5 dm³ cieczy,
- rozcieńczalnik P852-1689 – w pojemnikach z tworzyw sztucznych zawierających maksymalnie 2,5 dm³ cieczy,
- rozcieńczalnik P852-1792 – w pojemnikach z tworzyw sztucznych zawierających maksymalnie 2,5 dm³ cieczy,
- rozcieńczalnik do podkładu epoksydowego P850-1391 – w pojemnikach metalowych zawierających maksymalnie 5 dm³ cieczy,
- aktywator do podkładu wytrawiającego NEXA P275-533 – w pojemnikach z tworzyw sztucznych zawierających maksymalnie 2,5 dm³ cieczy,
- aktywator do podkładu epoksydowego NEXA P210-833 – w pojemnikach metalowych zawierających maksymalnie 0,5 dm³ cieczy,
- utwardzacz NEXA P210-982 – w pojemnikach metalowych zawierających maksymalnie 5 dm³ cieczy,
- podkład w sprayu NEXA P565-9085 – w pojemnikach metalowych zawierających maksymalnie 0,4 dm³,
- lakier akrylowy P498-EHS – w pojemnikach metalowych zawierających maksymalnie 5 dm³ cieczy,
- lakier na bazie żywic Selemix 7.536 – w pojemnikach metalowych zawierających maksymalnie 5 dm³ cieczy,

- ekspresowy lakier bezbarwny P190-6659 – w pojemnikach metalowych zawierających maksymalnie 5 dm³ cieczy,
- rozcieńczalnik NITRO RC-01 – w pojemnikach z tworzyw sztucznych zawierających maksymalnie 5 dm³ cieczy,
- rozcieńczalnik NEXA P852-1792 – szybki – w pojemnikach z tworzyw sztucznych zawierających maksymalnie 2,5 dm³ cieczy,
- rozcieńczalnik NEXA P852-1792 – szybki – w pojemnikach z tworzyw sztucznych zawierających maksymalnie 2,5 dm³ cieczy,
- przyspieszacz schnięcia NEXA P275-455 – w pojemnikach z tworzyw sztucznych zawierających maksymalnie 0,5 dm³ cieczy.

Ponadto prowadzone na terenie zajezdni procesy technologiczne i czynności powodują, że znajdują się tu następujące gazy palne:

- acetylen techniczny przechowywany wewnątrz wiaty w stalowych butlach (pojedyncza butla zawiera maksymalnie 50 dm³ acetyleny pod nadciśnieniem 25 bar),
- propan-butan (LPG) przechowywany wewnątrz wiaty w stalowych butlach z syfonem (pojedyncza butla zawiera maksymalnie 11 kg LPG każda pod nadciśnieniem 6 bar).

4.2.2. Ciecze stosowane w procesach lakierniczych

W analizowanych przestrzeniach kabiny lakierniczej oraz magazynu cieczy łatwopalnych – mieszalni farb stosowane lub przechowywane będą substancje niebezpieczne wykorzystywane podczas oczyszczania lub lakierowania elementów karoserii tramwajów.

Podkreślić przy tym należy, że w tym procesie technologicznym będzie przechowywana i stosowana stosunkowo duża liczba cieczy łatwopalnych. Ponadto ciecze te stanowić będą mieszaniny wielu substancji łatwopalnych. Mimo to można te ciecze pogrupować w zależności od funkcji w procesie technologicznym, która skutkuje zbliżonym składem cieczy w danej grupie.

Mając to na uwadze pod względem zagrożenia pożarowego i wybuchowego przyjąć można, że najważniejszymi grupami cieczy łatwopalnych są:

- podkłady,
- lakiery,
- utwardzacze,
- rozcieńczalniki (do podkładu i do lakieru).

W procesie technologicznym stosowanych jest kilka rodzajów **podkładu**, z których najważniejszymi są: podkład wytrawiający P565-767 oraz podkład wypełniający szary P565-1027. Ich przybliżone składy oraz główne zagrożenia wywoływane przez te składniki przedstawiono w poniższych tabelach nr 1 i 2.

Tabela Nr 1: Główne składniki stosowanego podkładu wytrawiającego P565-767

SUBSTANCJA	octan butylu	związki cynku	alkohol butylowy	dimetylobenzen
zawartość	do 35%	do 25%	do 20%	do 10%
zagrożenie	H226	H400	H226	H226

Tabela Nr 2: Główne składniki stosowanego podkładu wypełniającego P565-1027

SUBSTANCJA	octan butylu	dimetylobenzen	solwent nafta	trimetylobenzen
zawartość	do 15%	do 12%	do 10%	do 5%
zagrożenie	H226	H226	H226	H226

W procesie technologicznym stosowanych jest kilka rodzajów **lakieru**, z których najważniejszymi są: lakier akrylowy P498 i lakier Selemix 7.536. Ich przybliżone składy oraz główne zagrożenia wywoływane przez te składniki przedstawiono w poniższych tabelach nr 3 i 4.

Tabela Nr 3: Główne składniki stosowanego lakieru akrylowego P498

SUBSTANCJA	metryloheksanon	pigmenty	octan butylu	solwent nafta
zawartość	do 25%	do 25%	do 15%	do 2%
zagrożenie	H226	H350	H226	H226

Tabela Nr 4: Główne składniki stosowanego lakieru Selemix 7.536

SUBSTANCJA	dimetylobenzen	octan butylu	solwent nafta	trimetylobenzen
zawartość	do 20%	do 15%	do 10%	do 5%
zagrożenie	H226	H226	H226	H226

W procesie technologicznym stosowanych jest kilka rodzajów **utwardzacza**, z których najważniejszym jest utwardzacz średni P210-982. Jego przybliżony skład oraz główne zagrożenia wywoływane przez składniki przedstawiono w poniższej Tabeli Nr 5.

Tabela Nr 5: Główne składniki stosowanego utwardzacza P210-982

SUBSTANCJA	heksametyleno-diizocyjanian	octan butylu	metryloheksanon	solwent nafta
zawartość	do 70%	do 15%	do 7%	do 5%
zagrożenie	H332	H226	H226	H226

W procesie technologicznym stosowanych jest kilka rodzajów **rozcieńczalnika**, z których najważniejszymi są: P852-1689, P852-1792, P852-1794 oraz rozcieńczalnik NITRO RC01. Ich przybliżone składy oraz główne zagrożenia wywoływane przez te składniki przedstawiono w poniższych tabelach.

Tabela Nr 6: Główne składniki stosowanego rozcieńczalnika P852-1689

SUBSTANCJA	metryloheksanon	metrylopentanon	octan oktylu
zawartość	ok. 40%	ok. 40%	ok. 18%
zagrożenie	H226	H225	H315

Tabela Nr 7: Główne składniki stosowanego rozcieńczalnika P852-1792

SUBSTANCJA	solwent nafta	octan butylu	trimetylobenzen	ester butoksyetylowy kwasu octowego	pentanodion
zawartość	do 25%	do 25%	ok. 15%	ok. 12%	ok. 12%
zagrożenie	H226	H226	H226	H312	H226

Tabela Nr 8: Główne składniki stosowanego rozcieńczalnika P852-1794

SUBSTANCJA	octan butylu	metryloheksanon	metrylo-pentanon	solwent nafta	trimetylobenzen
zawartość	do 25%	ok. 20%	ok. 15%	ok. 15%	ok. 10%
zagrożenie	H226	H226	H225	H226	H226

Tabela Nr 9: Główne składniki stosowanego rozcieńczalnika NITRO RC01

SUBSTANCJA	toluen	octan butylu	octan etylu	izobutanol
zawartość	ok. 65% (maks. 72%)	ok. 15%	ok. 10%	ok. 10%
zagrożenie	H225	H226	H225	H226

Jak wynika z powyższych tabel, substancją najbardziej powszechną w stosowanych substancjach i jednocześnie stanowiącą duży udział niemal w każdej cieczy (mieszanie) łatwopalnej, jest **octan butylu**. Jego właściwości przedstawiono w Tabeli Nr 10.

Z kolei substancją posiadającą jedne z najbardziej niebezpiecznych właściwości pod względem pożarowym i wybuchowym oraz jednocześnie posiadającą największy (maksymalnie 72%) udział w rozcieńczalniku NITRO RC01, jest **toluen**. Jego właściwości przedstawiono w Tabeli Nr 11.

Tabela Nr 10: *Właściwości octanu butylu*

parametr	wartość
postać	ciecz bezbarwna
zapach	aromatyczny
gęstość cieczy w 20 °C	0,880 kg/dm ³
masa cząsteczkowa	116 kg/kmol
gęstość par względem powietrza	4 razy gęstsze pary
temperatura zapłonu	25 °C ÷ 32 °C
temperatura samozapłonu	370 °C
klasa temperaturowa	T2
temperatura wrzenia	126 °C
grupa wybuchowości	IIA
dolna granica wybuchowości	1,2%
górna granica wybuchowości	7,5%
ciepło spalania	30 MJ/kg
klasyfikacja	H 226 - łatwopalna ciecz i pary kategoria zagrożenia 3

Tabela Nr 11: *Właściwości toluenu*

parametr	wartość
postać	ciecz bezbarwna
zapach	charakterystyczny węglowodorowy
gęstość cieczy w 20 °C	0,873 kg/dm ³
masa cząsteczkowa	92 kg/kmol
gęstość par względem powietrza	~ 3,2 razy gęstsze pary
temperatura zapłonu	4 °C
temperatura samozapłonu	480 °C
klasa temperaturowa	T1
temperatura wrzenia	111 °C
grupa wybuchowości	IIA
dolna granica wybuchowości	1,2%
górna granica wybuchowości	7,0%
ciepło spalania	42 MJ/kg
klasyfikacja	H 225 - wysoce łatwopalna ciecz i pary kategoria zagrożenia 2

Toluen, którego udział w stosowanym rozcieńczalniku NITRO RC01 jest największy, jest cieczą wysoce łatwopalną o temperaturze zapłonu 4 °C i bardzo niskiej dolnej granicy wybuchowości, wynoszącej 1,2%. Oznacza to, że toluen jest główną substancją wchodzącą w skład mieszaniny lakierniczej, która może przyczynić się do zapłonu i wybuchu par tej mieszaniny w warunkach panujących w lakierni oraz w mieszalni farb, gdzie temperatura

wynosi około 20 °C. Jednak po zapaleniu się toluenu również i pary pozostałych cieczy łatwopalnych wezmą udział w ewentualnym wybuchu.

Octan butylu jest z kolei cieczą wysoce łatwopalną o wyższej temperaturze zapłonu (od 25 °C), która jednak może pojawić się w lakierni (temperatura co najmniej 20 °C) oraz w mieszalni farb (w ciepłe dni wiosną i latem). Ponadto, podobnie jak toluen, substancja ta posiada bardzo niską dolną granicę wybuchowości, wynoszącą 1,2%.

Zauważyć również należy, że pary niemal wszystkich z powyższych substancji są ponad 3 razy cięższe od powietrza, co oznacza, że przy braku ruchów powietrza, będą one opadać jak najniżej.

Mieszaniny stosowane w procesie technologicznym składają się, w przybliżeniu w następujących częściach, z poszczególnych cieczy łatwopalnych:

- mieszanina podkładowa:
 - podkład (7/9),
 - utwardzacz (1/9),
 - rozpuszczalnik (1/9);
- mieszanina lakiernicza:
 - lakier (4/7),
 - utwardzacz (2/7),
 - rozpuszczalnik (1/7).

Zastosowanie mieszaniny różnego rodzaju cieczy łatwopalnych powoduje, że nie jest możliwe jednoznaczne wyliczenie ich jednoczesnego wpływu (przy uwzględnieniu ich udziału w preparacie) na parametry potencjalnej mieszaniny wybuchowej. Dlatego, po uwzględnieniu dodatkowego marginesu bezpieczeństwa, w dalszych obliczeniach wszystkie substancje łatwopalne o właściwościach H225 i H226 zastąpione zostaną jedną najbardziej reprezentatywną dla danej mieszaniny substancją. W ten sposób ustalono następujące substancje reprezentatywne:

- dla mieszaniny podkładowej: **octanu butylu** (H226) – substancja ta stanowi około 32% tej mieszaniny, jednak do dalszych obliczeń przyjęto jej udział na poziomie **70%** (udział substancji łatwopalnych o właściwościach H225 i H226);
- dla mieszaniny lakierniczej: **toluen** (H225) – substancja ta stanowi około 10% tej mieszaniny, jednak do dalszych obliczeń przyjęto jej udział na poziomie **65%** (udział substancji łatwopalnych o właściwościach H225 i H226).

4.2.3. Acetylen

Na terenie zajezdni przechowywany jest acetylen (acetylen jest to potoczna nazwa etynu), przy czym znajduje się on w formie rozpuszczonej w innej substancji.

Proces technologiczny z użyciem acetyleny prowadzony na terenie zajezdni polega na przeładunku butli, ich magazynowaniu we wiacie przeznaczonej wyłącznie na gazy techniczne, a także na stosowaniu tego gazu podczas prac prowadzonych na terenie zakładu.

W zakładzie stosowane są butle zawierające po 50 dm³ acetylenu każda, przy czym w zakładzie znajduje się maksymalnie 15 sztuk butli pełnych. Butle z acetylenem składowane są w pozycji stojącej na betonowej posadzce.

Właściwości acetyleny, z punktu widzenia zagrożenia pożarowego i wybuchowego, przedstawiono poniższej Tabeli Nr 12.

Tabela Nr 12: *Właściwości acetyleny*

parametr	wartość
postać	gaz rozpuszczony w cieczy
zapach	słaby, przypominający zapach czosnku
masa molowa gazu	26 g/mol
gęstość względem powietrza	0,9
temperatura zapłonu	- 118 °C
temperatura samozapłonu	305 °C
klasa temperaturowa	T2
temperatura wrzenia	- 84 °C
grupa wybuchowości	IIC
dolna granica wybuchowości	2,3 %
górna granica wybuchowości	100 %
ciepło spalania	50 MJ/kg

Klasyfikację oraz zwroty wskazujące środki ostrożności według rozporządzenia (WE) nr 1272/2008 [CLP], przedstawiono w Tabeli Nr 13.

Tabela Nr 13: *Klasyfikacja oraz środki ostrożności wg CLP dla acetyleny*

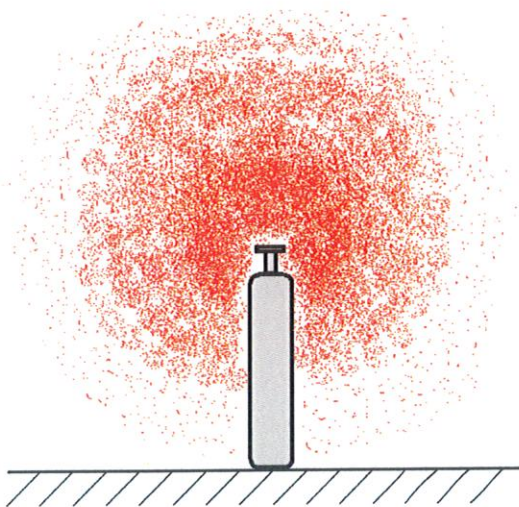
zwrot	treść
H 220	skrajnie łatwopalny gaz , kategoria zagrożenia 1
H 230	gazy nietrwale; może reagować wybuchowo nawet bez dostępu powietrza
H 280	zawiera gaz pod ciśnieniem; ogrzanie grozi wybuchem
P 202	nie używać przez zapoznaniem się i zrozumieniem wszystkich środków bezpieczeństwa
P 210	przechowywać z dala od źródeł ciepła, gorących powierzchni, źródeł iskrzenia, otwartego ognia i innych źródeł zapłonu; nie palić
P 377	w przypadku płonienia wyciekającego gazu: nie gasić, jeżeli nie można bezpiecznie zahamować wycieku
P 381	wyeliminować wszystkie źródła zapłonu, jeżeli jest to bezpieczne
P 403	przechowywać w dobrze wentylowanym miejscu

Acetylen posiada bardzo szeroki zakres wybuchowości (granice wybuchowości) i może wybuchnąć w każdym stężeniu powyżej wartości 2,3%. Oznacza to, że podczas wycieku przy pojawieniu się źródła zapłonu niezwykle łatwo dochodzi do wybuchu. Z kolei wysokie ciepło spalania powoduje, że ewentualny pożar wiąże się z emisją dużej ilości energii cieplnej.

Średniowysoka temperatura samozapłonu sprawia, że gaz ten w mieszaninie z powietrzem względnie rzadko ulegać będzie wybuchowi bez zadziałania punktowego bodźca (impulsu) energetycznego.

W przypadku emisji acetyleny do atmosfery ważną rolę odgrywa jego ciężar wynikający z gęstości. Zgodnie z informacją zamieszczoną powyżej acetylen posiada gęstość wynoszącą 0,9 gęstości powietrza, a to oznacza, że podczas wycieku będzie on rozprzestrzeniał się we wszystkich kierunkach z nieznaczną tendencją do unoszenia się „do góry”.

Na poniższym przedstawiono zachowanie się acetyleny po wycieku (wydostaniu się), przy bezwietrznej pogodzie i małym natężeniu wypływu, z zaworu butli stalowej, w której jest przechowywany.



Rys. Nr 2: *Zachowanie się acetyleny po wycieku z butli (przy bezwietrznej pogodzie)*

Acetylen jest gazem wonnym o słabym zapachu czosnku, co jest jednak wystarczające do szybkiego wykrycia jego wycieku przez człowieka za pomocą narządu powonienia.

4.2.4. Propan-butan

Na terenie zajezdni przechowywany jest w butlach stalowych i stosowany skroplony propan-butan (LPG), czyli mieszanina skroplonych gazów pochodzących z ropy naftowej, w której największy udział mają propan i butan, przy czym ich proporcje są zmieniane w zależności od pory roku.

Proces technologiczny z użyciem propanu-butanu prowadzony na terenie zajezdni polega na przeładunku butli, ich magazynowaniu we wiacie przeznaczonej wyłącznie na gazy techniczne, a także na stosowaniu tego gazu do napędu sztaplarek.

W zakładzie stosowane są butle zawierające po 11 kg propanu-butanu każda, przy czym w zakładzie znajduje się maksymalnie 8 sztuk butli pełnych. Butle składowane są w pozycji stojącej na betonowej posadzce i w stosach.

Właściwości propanu-butanu, z punktu widzenia zagrożenia pożarowego i wybuchowego, przedstawiono poniższej Tabeli Nr 14.

Tabela Nr 14: *Właściwości propanu-butanu*

parametr	wartość
postać	gaz skroplony
gęstość magazynowanej cieczy	~ 0,5 kg/dm ³ *
masa molowa	~ 50 g/mol *
gęstość gazu względem powietrza	~ 1,7 *
objętość w stanie gazowym do objętości w stanie skroplonym	~ 254 *
temperatura zapłonu	propan: - 95 °C; butan: - 60 °C
temperatura samozapłonu	propan: 470 °C; butan: 365 °C
klasa temperaturowa	propan: T1; butan: T2
temperatura topnienia	propan: - 187 °C; butan: - 135 °C
temperatura wrzenia	propan: - 42 °C; butan: - 1 °C
grupa wybuchowości	IIA
dolna granica wybuchowości	~ 1,9 % *
górna granica wybuchowości	~ 9,5 % *
temperatura płomienia	~ 1990 °C *
ciepło spalania	~ 50 MJ/kg *

* - w zależności od składu mieszaniny propan-butan

Klasyfikację oraz zwroty wskazujące środki ostrożności według rozporządzenia (WE) nr 1272/2008 [CLP], przedstawiono w Tabeli Nr 15.

Tabela Nr 15: *Klasyfikacja oraz środki ostrożności wg CLP dla propanu-butanu*

zwrot	treść
H 220	skrajnie łatwopalny gaz , kategoria zagrożenia 1
H 280	zawiera gaz pod ciśnieniem; ogrzanie grozi wybuchem
P 210	przechowywać z dala od źródeł ciepła, gorących powierzchni, źródeł iskrzenia, otwartego ognia i innych źródeł zapłonu; nie palić
P 377	w przypadku płonienia wyciekającego gazu: nie gasić, jeżeli nie można bezpiecznie zahamować wycieku
P 381	wyeliminować wszystkie źródła zapłonu, jeżeli jest to bezpieczne
P 403	przechowywać w dobrze wentylowanym miejscu
P 410	chronić przed światłem słonecznym

Propan i butan posiadają wąski zakres wybuchowości (granice wybuchowości), co oznacza, że podczas wycieku, przy pojawieniu się źródła zapłonu, do wybuchu dojdzie wyłącznie w części chmury mieszaniny gazowej o małym stężeniu propan-butanu (a więc zazwyczaj na jej obrzeżach, z których płomień będzie rozprzestrzeniał się na pozostałą część

chmury). Z kolei wysokie ciepło spalania powoduje, że ewentualny pożar wiąże się z emisją dużej ilości energii cieplnej.

Wysoka temperatura samozapłonu powoduje, że gaz ten w mieszaninie z powietrzem rzadko ulegać będzie wybuchowi bez zadziałania punktowego bodźca (impulsu) energetycznego.

W przypadku emisji propan-butanu do atmosfery ważną rolę odgrywa jego ciężar wynikający z gęstości. Zgodnie z informacją zamieszczoną w powyższej tabeli propan-butan posiada gęstość wynoszącą około 1,7 gęstości powietrza, a to oznacza, że podczas wycieku będzie on „ścielął się” po rysunku przedstawiono zachowanie się propanu-butanu po wycieku (wydostaniu się), przy bezwietrznej pogodzie i małym natężeniu wypływu, z zaworu butli stalowej, w której jest przechowywany.



Rys. Nr 3: *Zachowanie się propanu-butanu po wycieku z butli (przy bezwietrznej pogodzie)*

Zarówno propan jak i butan są gazami bezwonnymi, jednak mieszanina tych gazów znajdująca się w butlach na terenie zakładu zawiera substancję o bardzo wonnym, charakterystycznym siarczkowym zapachu, co jest wystarczające do szybkiego wykrycia jego wycieku przez człowieka za pomocą narządu powonienia.

4.3. Magazyn cieczy łatwopalnych - mieszalnia farb

4.3.1. Informacje ogólne

Przestrzeń określana mianem **magazynu cieczy łatwopalnych – mieszalni farb**, która może być określana jako pomieszczenie, znajduje się wewnątrz hali w jednokondygnacyjnym budynku produkcyjno-magazynowym. Przylega ono do kabiny lakierniczej i posiada jedno wejście z przestrzeni hali, w której się znajduje.

Pomieszczenie to posiada następujące wymiary:

- długość: 3,6 m,
- szerokość: 2,4 m,
- wysokość: 2,55 m.

W pomieszczeniu znajdować się będą regały, na których ustawione będą pojemniki z cieczami służącymi do celów lakierniczych, przy czym będą to pojemniki zarówno fabrycznie zamknięte, jak i pojemniki otwierane w procesie komponowania mieszanin lakierniczych. W pomieszczeniu przechowywany będzie również sprzęt służący do prowadzenia prac lakierniczych.

Pomieszczenie służyć również będzie do przelewania i mieszania ze sobą składników przygotowywanych mieszanin podkładowych i lakierniczych. W chwili obecnej brak jest w pomieszczeniu sprzętu służącego do tego celu. W związku z tym do celów niniejszego opracowania przyjęto, że przelewanie i mieszanie ze sobą cieczy łatwopalnych realizowane będzie na stole (dygestorium itp.), które wyposażone będzie w tacę wychwytową. Z uwagi na niewielką przestrzeń niezbędną do przelewania i mieszania ze sobą składników przygotowywanych mieszanin podkładowych i lakierniczych przyjęto również, że powierzchnia tacy wychwytowej wynosić będzie około 0,5 m².

Pomieszczenie wyposażone jest w wentylację wywiewną z otworami wyciągowymi usytuowanymi przy posadzce oraz z otworem kompensacyjnym usytuowanym w suficie pomieszczenia pobierającym powietrze bezpośrednio z przestrzeni hali, a także w uziemioną instalację elektryczną – oświetleniową (pomieszczenie oświetlone jest wyłącznie światłem sztucznym).

Pomieszczenie posiada betonową posadzkę, a jego ściany wykonane są z uziemionych elementów stalowych. Budynek produkcyjno-magazynowy, w którym znajduje się omawiane pomieszczenie, wyposażony jest w instalację piorunochronną.

4.3.2. Szacowanie częstości, czasu trwania, stopnia oraz natężenia emisji

W celu dokonania oceny zagrożenia wybuchowego o najbardziej niekorzystnych skutkach dla pomieszczenia magazynu cieczy łatwopalnych – mieszalni farb należy rozpatrzyć scenariusze rozlania się cieczy łatwopalnej o najbardziej niebezpiecznych właściwościach pożarowych i wybuchowych.

Największe pojemniki, które znajdować się będą w tym pomieszczeniu posiadają pojemność 5 dm³.

Z kolei najbardziej niebezpieczną substancją w tym pomieszczeniu, przechowywaną w dużych ilościach, będzie **toluen** stanowiący do 72% rozcieńczalnika NITRO RC01 przechowywanego w pojemnikach 5 dm³.

Z substancją tą mogą wiązać się dwa najbardziej niekorzystne scenariusze, którego zdarzeniem początkowym jest przewrócenie się pojemnika:

- wylanie się toluenu na tacę wychwytową,
- rozlanie się toluenu na betonową posadzkę pomieszczenia.

Na poniższych rysunku przedstawiono przykładowy pojemnik z rozcieńczalnikiem NITRO RC01.



Rys. Nr 4: Pojemnik z rozcieńczalnikiem NITRO RC01

W niniejszej analizie przyjęto, że wskutek nieuwagi po otwarciu pojemnik z rozcieńczalnikiem NITRO RC01 nie został właściwie zamknięty. Ponadto wskutek przesuwania i stawiania kolejnych pojemników, analizowany pojemnik został przewrócony, co spowodowało wyciek całej cieczy znajdującej się powyżej dolnej krawędzi otworu wylewowego pojemnika, tj. około 2/3 jego zawartości, co oznacza około 3,33 dm³ cieczy łatwopalnej (przyjęto toluen, dla którego wyciekła masa wyniesie 2,91 kg).

Powierzchnia tacy wychwytowej wynosi około 0,5 m², natomiast wolna powierzchnia posadzki pomieszczenia wynosi około 8,6 m², przy czym 3,33 dm³ rozcieńczalnika zajmie maksymalną powierzchnię około 3,33 m². Współczynnik parowania (K) z tacy (niewielki przepływ powietrza) przyjęto jako 2,4, natomiast z posadzki przy wyłączonej wentylacji wywiewnej (brak wentylacji) przyjęto jako 1, a przy włączonej wentylacji wywiewnej (duży przepływ powietrza) przyjęto jako 7,7.

Natężenie emisji toluenu z tacy o powierzchni 0,5 m² wynosi:

$$m/\tau_{\text{taca}} [\text{kg/s}] = 10^{-9} \times F \times K \times P_s \times M^{1/2} = 10^{-9} \times 0,5 \text{ m}^2 \times 2,4 \times 2\,894 \text{ Pa} \times 9,59 = \\ = 0,0333 \times 10^{-3} \text{ kg/s}$$

Z kolei natężenie emisji toluenu z rozlewiska o powierzchni 3,33 m² wynosi:

$$(\text{dla } K = 1) \quad m/\tau_{\text{rozl-1}} [\text{kg/s}] = 10^{-9} \times F \times K \times P_s \times M^{1/2} = 10^{-9} \times 3,33 \text{ m}^2 \times 2\,894 \text{ Pa} \times 9,59 = \\ = 0,0925 \times 10^{-3} \text{ kg/s}$$

$$(\text{dla } K = 7,7) \quad m/\tau_{\text{rozl-7,7}} [\text{kg/s}] = 10^{-9} \times F \times K \times P_s \times M^{1/2} = 10^{-9} \times 3,33 \text{ m}^2 \times 7,7 \times 2\,894 \text{ Pa} \times \\ \times 9,59 = 0,615 \times 10^{-3} \text{ kg/s}$$

Jest to wypływ występujący jedynie podczas awarii, stąd należy go zakwalifikować jako **emisję drugiego stopnia**.

4.3.3. Analiza wentylacji

W pomieszczeniu magazynu cieczy łatwopalnych – mieszalni farb zapewniono wentylację mechaniczną.

W jej skład wchodzi:

- wentylacja wywiewna (Q) o wydajności **388 dm³/s** (wentylator o mocy 0,25 kW) z dwoma otworami wyciągowymi o wymiarach 25 cm × 30 cm każdy (w sumie 0,15 m²) usytuowanymi przy posadzce pomieszczenia,
- otwór kompensacyjny o wymiarach 100 cm × 45 cm (0,45 m²) usytuowany w suficie pomieszczenia, pobierający powietrze bezpośrednio z przestrzeni hali

Otwory te przedstawiono na rysunkach poniżej.



Rys. Nr 5: Otwory wyciągowe w magazynie cieczy łatwopalnych – mieszalni farb



Rys. Nr 6: Otwór kompensacyjny w magazynie cieczy łatwopalnych – mieszalni farb

Wentylacja wywiewna nie pracuje stale, lecz jest załączana przed wejściem do pomieszczenia. Oznacza to, że pracuje ona podczas przelewania i mieszania cieczy łatwopalnych, jednak nie pracuje w czasie, gdy nie są prowadzone procesy lakiernicze. Może to skutkować wytworzeniem mieszaniny wybuchowej w skutek rozszczelnienia pojemnika z cieczą łatwopalną w czasie wolnym od pracy. Należy więc zapewnić skuteczne usunięcie par cieczy łatwopalnych z tego pomieszczenia przed wejściem do niego ludzi.

Ilość toluenu znajdującego się w pomieszczeniu magazynu cieczy łatwopalnych – mieszalni farb w mieszaninie z powietrzem ulega zmniejszeniu wyłącznie wskutek działania wentylacji wymuszonej (wyciągowej), przy czym wydajność tej wentylacji gwarantującej stężenie toluenu o wartości poniżej dolnej granicy wybuchowości (DGW), w przypadku wylania się toluenu na tacę wychwytową, wynosi:

$$W_{taca} = (m/\tau_{taca}) / (0,5 \times DGW) = 0,0333 \times 10^{-3} \text{ kg/s} / (0,5 \times 45,9 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^3) \\ = 0,00145 \text{ m}^3/\text{s} = \mathbf{1,45 \text{ dm}^3/\text{s}}$$

Rzeczywista wydajność wentylacji mechanicznej pomieszczenia wynosi 388 dm³/s, co oznacza, że jest ona w stanie skutecznie usuwać pary cieczy łatwopalnych ulatniające się z powierzchni tacy wychwytowej.

Konieczna wydajność wentylacji pomieszczenia mieszalni farb gwarantującej stężenie toluenu o wartości poniżej dolnej granicy wybuchowości (DGW), w przypadku wylania się toluenu na posadzkę pomieszczenia zależy od tego, czy wylew nastąpił przy wyłączonej wentylacji (K = 1), czy przy załączonej wentylacji (K = 7,7) i wynosi:

$$W_{rozl-1} = (m/\tau_{rozl}) / (0,5 \times DGW) = 0,0925 \times 10^{-3} \text{ kg/s} / (0,5 \times 45,9 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^3) \\ = 0,004 \text{ m}^3/\text{s} = \mathbf{4 \text{ dm}^3/\text{s}}$$

$$W_{rozl-7,7} = (m/\tau_{rozl}) / (0,5 \times DGW) = 0,615 \times 10^{-3} \text{ kg/s} / (0,5 \times 45,9 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^3) \\ = 0,027 \text{ m}^3/\text{s} = \mathbf{27 \text{ dm}^3/\text{s}}$$

Rzeczywista wydajność wentylacji mechanicznej pomieszczenia wynosi 388 dm³/s, co oznacza, że jest ona w stanie skutecznie usuwać pary cieczy łatwopalnych ulatniające się z powierzchni rozlewiska powstałego na posadzce pomieszczenia.

W przypadku jeśli wyciek nastąpi poza godzinami pracy zakładu, wentylacja wywiewna nie jest załączona, co oznacza, że cała odparowana ilość cieczy łatwopalnej (3,33 dm³) znajdować się będzie wewnątrz pomieszczenia.

Czas niezbędny do usunięcia tych par przez wentylację wyciągową (przyjmując korzystne, lecz nie idealne umiejscowienie otworów wentylacyjnych, k = 3) wynosi:

$$t = (k \times V) / Q = (3 \times 3,6 \text{ m} \times 2,4 \text{ m} \times 2,55 \text{ m}) / 0,388 \text{ m}^3/\text{s} = \mathbf{171 \text{ s} = \sim 3 \text{ min}}$$

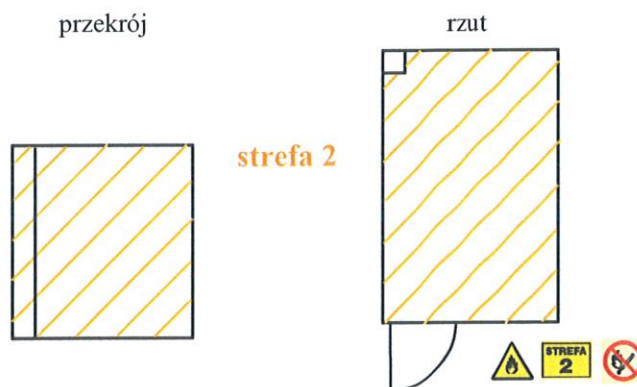
W związku z tym, że w pomieszczeniu magazynu cieczy łatwopalnych – mieszalni farb nie występuje wentylacja mechaniczna pracująca stale, przed wejściem pracowników do pomieszczenia magazynu cieczy łatwopalnych – mieszalni farb i przed załączeniem oświetlenia w tym pomieszczeniu, należy uruchomić wentylację wywiewną na czas 3 min. Spowoduje to usunięcie z tego pomieszczenia par cieczy łatwopalnych powstałych w czasie ewentualnego wycieku cieczy łatwopalnych z pojemnika.

Powyższe ustalenia i obliczenia pozwalają uznać, że w pomieszczeniu magazynu cieczy łatwopalnych – mieszalni farb wentylacja jest w stanie zredukować stężenie poniżej dolnej granicy wybuchowości w przypadku wylania się cieczy łatwopalnej na tacę wychwytową i na posadzkę. Otwory wyciągowe nie są jednak usytuowane w miejscu występowania potencjalnej emisji. W tym przypadku należy więc uznać **stopień wentylacji mechanicznej za średni.**

Zasilanie wentylatora mechanicznego pomieszczenia jest dwustronne (z dwóch głównych punktów zasilania). Pracuje on jednak jedynie w czasie prowadzenia czynności związanych z przelewaniem oraz mieszaniem cieczy łatwopalnych – rozpoczęcie tych czynności uwarunkowane jest wcześniejszym uruchomieniem wentylatora. W związku z tym **dostępność wentylacji mechanicznej należy uznać za dostateczną**.

4.3.4. Rodzaj i zasięg stref zagrożenia wybuchem

Na podstawie przedstawionych powyżej szacunków, w tym braku wentylacji mechanicznej pracującej stale, ustalono, że w **całej kubaturze pomieszczenia magazynu cieczy łatwopalnych – mieszalni farb** (tj. od poziomu posadzki do poziomu sufitu) należy wyznaczyć **strefę 2** zagrożenia wybuchem obecną stale, zgodnie z poniższym rysunkiem.



Rys. Nr 7: *Strefa zagrożenia wybuchem w pomieszczeniu magazynu cieczy łatwopalnych – mieszalni farb oraz znaki bezpieczeństwa, które powinny być umieszczone na drzwiach wejściowych*

4.3.5. Występowanie pomieszczenia zagrożonego wybuchem

Zgodnie z § 37 ust. 7 rozporządzenia Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 7 czerwca 2010 r. w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków, innych obiektów budowlanych i terenów (Dz. U. Nr 109, poz. 719 ze zm.) pomieszczenie uznaje się za zagrożone wybuchem, gdy może się w nim wytworzyć 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.

Do celów obliczeniowych przyjęto, że wyciek cieczy łatwopalnej następuje poza godzinami pracy zakładu, gdy wentylacja pomieszczenie jest wyłączona.

Jeśli magazyn cieczy łatwopalnych – mieszalnia farb traktowana będzie jako pomieszczenie, do wytworzenia wartości nadciśnienia na poziomie 5 kPa potrzebna jest niżej obliczona ilość **toluenu**:

Dane:

$$\Delta P = 5 \text{ kPa}$$

$$V \text{ (objętość przestrzeni powietrznej pomieszczenia)} = 22 \text{ m}^3$$

$$C_{st} = 0,02244$$

$$\rho_{parT} = 3,943 \text{ kg/m}^3$$

$$\Delta P_{max} = 566 \text{ kPa}$$

$$W = 0,1$$

$$m = \Delta P (V \times C_{st} \times \rho_{parT}) / (\Delta P_{max} \times W) = \\ = (5 \text{ kPa} \times 22 \text{ m}^3 \times 0,02244 \times 3,943 \text{ kg/m}^3) / (566 \text{ kPa} \times 0,1) = \mathbf{0,172 \text{ kg}}$$

Ilość cieczy łatwopalnych (toluenu), która może wyciec w pomieszczeniu magazynu cieczy łatwopalnych – mieszalni farb wynosi około 3,33 dm³, co przy gęstości toluenu 0,873 kg/dm³ oznacza masę **2,91 kg** toluenu.

Całkowita ilość par cieczy łatwopalnych (toluenu), która może wydzielić się (bez uwzględniania wentylacji) w pomieszczeniu mieszalni farb (**2,91 kg**) jest większa niż ilość toluenu zdolna do wytworzenia nadciśnienia 5 kPa (**0,172 kg**).

Magazyn cieczy łatwopalnych – mieszalnia farb jest pomieszczeniem zagrożonym wybuchem (jeśli magazyn ten traktowany będzie jako pomieszczenie).

Pomieszczenie magazynu cieczy łatwopalnych – mieszalni farb posiada ściany i strop wykonane z blachy. Strop ten posiada masę poniżej 75 kg/m², co oznacza, że może być traktowany jako „dach lekki”.

Rozprężenie fali nadciśnienia odbywa się do przestrzeni hali produkcyjnej, która posiada kubaturę ponad 1 000 m³, a więc około 50 razy większą od kubatury magazynu cieczy łatwopalnych – mieszalni farb, co powoduje, że hala ta nie jest pomieszczeniem zagrożonym wybuchem.

4.4. Kabina lakiernicza

4.4.1. Informacje ogólne

Przestrzeń określana mianem **kabiny lakierniczej**, która może być określana jako pomieszczenie, znajduje się wewnątrz hali w jednokondygnacyjnym budynku produkcyjno-magazynowym. Posiada dwa wejścia z przestrzeni hali, w której się znajduje oraz jedną bramę wjazdową dla tramwajów.

Rozmiary kabiny lakierniczej pozwalają na wjazd do niej całego tramwaju i wynoszą:

- długość: 38,5 m,
- szerokość: 6,0 m,
- wysokość: 4,3 m.

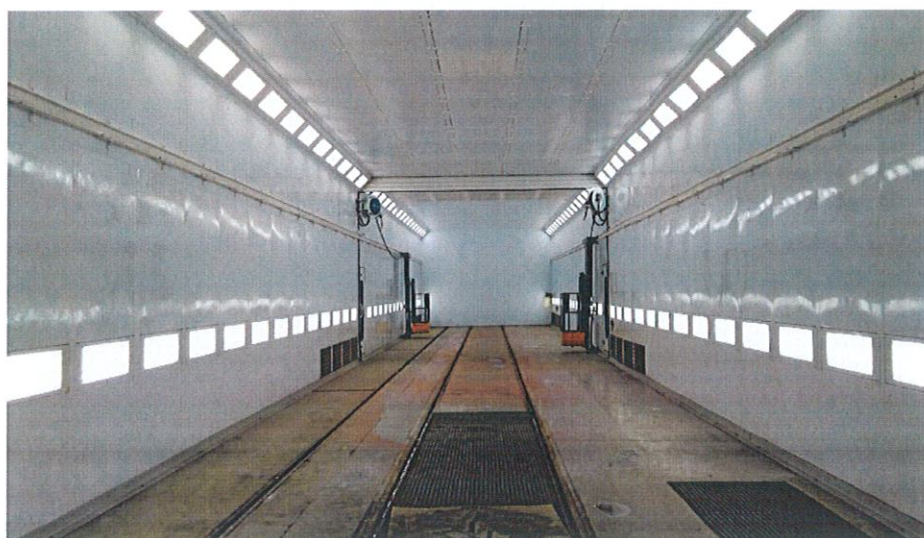
Kabina wyposażona jest w wentylację nawiewno-wywiewną z otworami wyciągowymi usytuowanymi przy posadzce oraz z otworami nawiewnymi usytuowanymi w suficie kabiny. Instalacja wentylacji wyposażona jest w nagrzewnice, co oznacza, że powietrze przez nią wtłaczane do wnętrza kabiny posiada temperaturę pozwalającą na ogrzanie kabiny do wartości odpowiedniej do prowadzenia procesów lakierniczych (około 20 °C) oraz suszenie pomalowanych elementów (około 60 °C).

Kabina wyposażona jest również w uziemioną instalację elektryczną – oświetleniową w szczelnych oprawach (pomieszczenie oświetlone jest wyłącznie światłem sztucznym) oraz instalację ze sprężonym powietrzem. Budynek produkcyjny, w którym znajduje się hala z umieszczoną w niej kabiną lakierniczą, wyposażony jest w instalację odgromową.

Kabina posiada betonową posadzkę, w którą wbudowane są stalowe szyny tramwajowe oraz stalowe kratownice. W osi kabiny w pobliżu bramy wjazdowej znajduje się kanał ze ścianami z elementów żelbetowych. W kanale zapewniono otwór wyciągowy wentylacji mechanicznej.

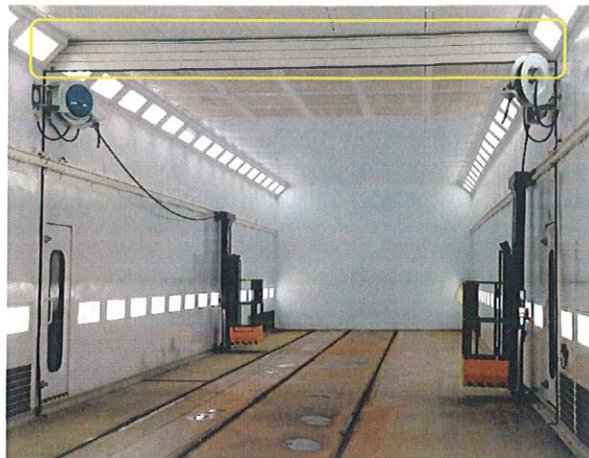
Ściany i strop (sufit) kabiny wykonane są z uziemionych elementów stalowych. Malowane elementy lub cały malowany pojazd są podczas malowania uziemiane.

Kabinę lakierniczą przedstawiono na rysunkach poniżej.



Rys. Nr 8: Wnętrze kabiny lakierniczej

Kabina posiada funkcję dzielenia na pół za pomocą opuszczanej bramy. Bramę tę przedstawiono na rysunku poniżej. Wówczas obie części posiadają własną, niezależną od siebie wentylację nawiewno-wywiewną.



Rys. Nr 9: *Brama opuszczana dzieląca kabinę lakierniczą na dwie części*

W trakcie nanoszenia powłok na malowane elementy operatorzy mogą poruszać się na dwóch wózkach zawieszonych na ścianach kabiny. Elementy jezdne tych wózków przeznaczone są do pracy w strefach zagrożenia wybuchem. Wózek przedstawiono na rysunku poniżej.



Rys. Nr 10 *Wózek jezdny do prowadzenia prac lakierniczych*

W trakcie prowadzenia prac lakierniczych zarówno brama wjazdowa dla tramwajów, jak i drzwi wejściowe do kabiny, są zamknięte. Drzwi wyposażone są w uszczelki i mogą być traktowane jako otwór typu C.

4.4.2. Szacowanie częstości, czasu trwania, stopnia oraz natężenia emisji podczas nanoszenia powłoki podkładowej

Stosowanym sposobem malowania elementów karoserii jest technika malowania pneumatycznego, w której znajdujące się w podajniku ciecze porywane są przez strumień przepływającego sprężonego powietrza, po czym tak utworzona mieszanina cieczy z powietrzem wypływa z pistoletu lakierniczego poprzez rozpylacz. Przepływająca ciecz rozbijana jest na bardzo małe cząstki. Uzyskany przez nie pęd sprawia jednak, że część tych cząstek odbija się od elementu malowanego i jest tracona do przestrzeni kabiny lakierniczej (zazwyczaj opada na dół, gdzie jej większość jest porywana przez strumień powietrza wyciąganego z kabiny przez wentylację wyciągową). Operatorem pneumatycznego pistoletu malarskiego jest pracownik zakładu, który sam kieruje pracą tego pistoletu (w tym wydajnością), może on przy tym przemieszczać się z wykorzystaniem dwóch wózków zawieszonych na ścianach kabiny.

Mieszaniny podkładowa stosowana w procesie technologicznym składa się, w przybliżeniu w następujących częściach, z poszczególnych cieczy łatwopalnych:

- podkład (7/9),
- utwardzacz (1/9),
- rozpuszczalnik (1/9).

Nanoszenie powyższej mieszaniny odbywa się codziennie w godzinach pracy zakładu. Podczas tego procesu utrzymywana jest minimalna temperatura wewnątrz kabiny lakierniczej na poziomie 20 °C, przy czym po skończeniu procesu malowania i po opuszczeniu kabiny przez pracowników, istnieje możliwość uruchomienia procesu suszenia elementów malowanych w temperaturze 60 °C.

Mieszanina nanoszona jest na elementy różnej wielkości: od pojedynczego elementu karoserii o powierzchni poniżej 1 m² do całej powierzchni metalowej karoserii tramwaju, przy czym w przypadku największych tramwajów taka sumaryczna powierzchnia może wynieść do 90 m².

Mieszanina podkładowa, której ilość wynosi do 7,5 dm³ cieczy nanoszona jest za jednym razem w przeciągu 1 godziny przez dwie osoby na całą malowaną powierzchnię.

W związku z tym w przypadku malowania największej powierzchni:

- uśredniona prędkość wypływu cieczy (z dwóch pistoletów lakierniczych pracujących jednocześnie): około 0,125 dm³/min,
- uśredniona prędkość malowania (przez dwie osoby jednocześnie): około 1,5 m²/min,
- uśrednione zużycie mieszanki: około 0,083 dm³/m².

Z uwagi na brak szczegółowych informacji na temat parowania rozpuszczalników w trakcie nanoszenia podkładu, jak i w trakcie schnięcia elementów karoserii oraz mając na względzie właściwości octanu butylu przyjęto, że:

- pneumatyczny sposób nanoszenia mieszanki powoduje, że na drodze od pistoletu lakierniczego do powierzchni karoserii jest tracone lub odparowuje 20% cieczy łatwopalnych,
- z mieszaniny naniesionej na powierzchnię karoserii w pierwszej i w drugiej minucie po nałożeniu odparowuje 50% cieczy łatwopalnych – wynika to z faktu, że w początkowej fazie schnięcia powłoki podkładowej odparowywanie rozpuszczalników nie jest utrudnione (znacząca ilość rozpuszczalników znajduje się na powierzchni naniesionej powłoki, a więc nie występują bariery w przenikaniu par do powietrza).

- o z mieszaniny naniesionej na powierzchnię karoserii w trzeciej i w każdej kolejnej minucie po nałożeniu odparowuje 25% cieczy łatwopalnych oraz że jest to proces ciągły aż do całkowitego odparowania rozpuszczalników – wynika to z faktu, że po początkowej fazie schnięcia powłoki podkładowej na jej powierzchni wytwarza się cienka powłoka częściowo wyschniętego podkładu, który sprawia, że odparowywanie rozpuszczalników jest utrudnione (wówczas znacząca ilość rozpuszczalników znajduje się pod powierzchnią cienkiej powłoki częściowo wyschniętego podkładu).

W mieszaninie podkładowej ($7,5 \text{ dm}^3$) cieczy łatwopalne stanowią około 70%, co stanowi objętość ciekłą $5,25 \text{ dm}^3$. Z tej ilości (tj. z $5,25 \text{ dm}^3$) 20% (tj. $1,05 \text{ dm}^3$) jest tracona lub odparowuje w trakcie nanoszenia, a reszta (80%, tj. $4,2 \text{ dm}^3$) pozostaje na powierzchni karoserii.

Oznacza to, że emisja do atmosfery par łatwopalnych z cieczy podkładowej podawanej z pistoletu malarskiego wynosi $0,0175 \text{ dm}^3/\text{min}$ (E_1).

Mieszanina podkładowa, która pozostała na powierzchni karoserii, zaczyna odparowywać od momentu jej nanoszenia, przy czym w przeciągu pierwszej i drugiej minuty odparowuje 50% cieczy łatwopalnych, natomiast w trzeciej i w każdej kolejnej minucie po nałożeniu odparowuje 25% cieczy łatwopalnych.

Oznacza to, że w trakcie każdej minuty na element karoserii (o powierzchni $1,5 \text{ m}^2$) trafia $0,07 \text{ dm}^3$ cieczy łatwopalnych, z których:

- w przeciągu pierwszej minuty odparowuje $0,035 \text{ dm}^3$ cieczy łatwopalnych,
- w przeciągu drugiej minuty odparowuje $0,0175 \text{ dm}^3$ cieczy łatwopalnych,
- w przeciągu trzeciej minuty odparowuje $0,004375 \text{ dm}^3$ cieczy łatwopalnych,
- w przeciągu czwartej minuty odparowuje $0,00328125 \text{ dm}^3$ cieczy łatwopalnych itd.

W trakcie nakładania podkładu (60 min) powierzchnia z nałożoną powłoką będzie się zwiększała, a co za tym idzie będzie rosła również emisja cieczy łatwopalnych, przy czym emisja ta osiągnie największą wartość w 60 min, kiedy to będą miały miejsce następujące emisje:

- emisja z pistoletu malarskiego: $0,0175 \text{ dm}^3/\text{min}$ (E_1)
- + powłoka z 59. minuty: emisja $0,035 \text{ dm}^3/\text{min}$ (E_2)
- + powłoka z 58. minuty: emisja $0,0175 \text{ dm}^3/\text{min}$ (E_3)
- + powłoka z 57. minuty: emisja $0,004375 \text{ dm}^3/\text{min}$ (E_4)
- + powłoka z 56. minuty: emisja $0,00328125 \text{ dm}^3/\text{min}$

Dalsza emisja z powłok od 56. minuty cechuje się tym, że stanowi ona 75% emisji z „nowszej” minuty, co oznacza, że emisja z wszystkich powłok od 57. minuty wstecz aż do powłoki z 1. minuty wynosi:

$$E_{S4} = E_4 \times [1 - (0,75)^{57}] / (1 - 0,75) = 0,0174999 = \sim 0,0175 \text{ dm}^3/\text{min}$$

Oznacza to, że sumaryczna emisja cieczy łatwopalnych w 60. minucie nanoszenia powłoki podkładowej wynosi:

$$E_P = E_1 + E_2 + E_3 + E_{S4} = 0,0175 \text{ dm}^3/\text{min} + 0,035 \text{ dm}^3/\text{min} + 0,0175 \text{ dm}^3/\text{min} + 0,0175 \text{ dm}^3/\text{min} = \mathbf{0,0875 \text{ dm}^3/\text{min}}$$

cieczy łatwopalnych

Wartość ta oznacza emisję $0,00145833 \text{ dm}^3/\text{s}$ cieczy łatwopalnych, co przy gęstości octanu butylu ($0,880 \text{ kg}/\text{dm}^3$) daje emisję **0,0012833 kg/s**.

Emisja ta występuje podczas normalnej pracy, jednak trwa nie dłużej niż 1,5 godziny w przeciągu 1 doby. W związku z tym przyjęto, że jest to **emisja pierwszego stopnia**.

4.4.3. Szacowanie częstości, czasu trwania, stopnia oraz natężenia emisji podczas nanoszenia powłoki lakierniczej

Stosowanym sposobem malowania elementów karoserii jest technika malowania pneumatycznego, w której znajdujące się w podajniku cieczy porywane są przez strumień przepływającego sprężonego powietrza, po czym tak utworzona mieszanina cieczy z powietrzem wypływa z pistoletu lakierniczego poprzez rozpylacz. Przepływająca ciecz rozbijana jest na bardzo małe cząstki. Uzyskany przez nie pęd sprawia jednak, że część tych cząstek odbija się od elementu malowanego i jest tracona do przestrzeni kabiny lakierniczej (zazwyczaj opada na dół, gdzie jej większość jest porywana przez strumień powietrza wyciąganego z kabiny przez wentylację wyciągową). Operatorem pneumatycznego pistoletu malarskiego jest pracownik zakładu, który sam kieruje pracą tego pistoletu (w tym wydajnością), może on przy tym przemieszczać się z wykorzystaniem dwóch wózków zawieszonych na ścianach kabiny.

Mieszanina lakiernicza stosowana w procesie technologicznym składa się, w przybliżeniu w następujących częściach, z poszczególnych cieczy łatwopalnych:

- lakier (4/7),
- utwardzacz (2/7),
- rozpuszczalnik (1/7).

Nanoszenie powyższej mieszaniny odbywa się codziennie w godzinach pracy zakładu. Podczas tego procesu utrzymywana jest minimalna temperatura wewnątrz kabiny lakierniczej na poziomie $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$, przy czym po skończeniu procesu malowania i po opuszczeniu kabiny przez pracowników, istnieje możliwość uruchomienia procesu suszenia elementów malowanych w temperaturze $60 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Mieszanina nanoszona jest na elementy różnej wielkości: od pojedynczego elementu karoserii o powierzchni poniżej 1 m^2 do całej powierzchni metalowej karoserii tramwaju, przy czym w przypadku największych tramwajów taka sumaryczna powierzchnia może wynieść do 90 m^2 .

Mieszanina lakiernicza, której ilość wynosi do 5 dm^3 cieczy nanoszona jest dwukrotnie przez dwie osoby (pracujące jednocześnie) na całą malowaną powierzchnię. Za pierwszym razem nanoszona jest ilość do $2,5 \text{ dm}^3$ cieczy w przeciągu 0,5 godziny, po czym następuje przerwa 0,5 godz., po której ponownie nanoszona jest ilość do $2,5 \text{ dm}^3$ cieczy w przeciągu 0,5 godziny. Malowanie całego tramwaju odbywa się w dwóch kolorach, co oznacza, że proces ten odbywa się jedynie na powierzchni jednego docelowego koloru. Drugi kolor (z takim samym zużyciem mieszaniny lakierniczej) nanoszony jest dopiero na drugi dzień. Do celów obliczeniowych przyjęto, że powierzchnie obu kolorów na karoserii są sobie równe.

Jak wskazano powyżej, mieszanina lakiernicza (której ilość wynosi do $2,5 \text{ dm}^3$ cieczy) наносzona jest za jednym razem w przeciągu 0,5 godziny na malowaną powierzchnię (maksymalnie 45 m^2), co oznacza w przypadku takiej powierzchni:

- uśrednioną prędkość wypływu cieczy (z dwóch pistoletów lakierniczych pracujących jednocześnie): około $0,083 \text{ dm}^3/\text{min}$,
- uśrednioną prędkość malowania (przez dwie osoby jednocześnie): około $1,5 \text{ m}^2/\text{min}$,
- uśrednione zużycie mieszanki: około $0,055 \text{ dm}^3/\text{m}^2$.

Z uwagi na brak szczegółowych informacji na temat parowania rozpuszczalników w trakcie nanoszenia lakieru, jak i w trakcie schnięcia elementów karoserii oraz mając na względzie właściwości octanu butylu i toluenu przyjęto, że:

- pneumatyczny sposób nanoszenia mieszanki powoduje, że na drodze od pistoletu lakierniczego do powierzchni karoserii jest tracone lub odparowuje 20% cieczy łatwopalnych,
- z mieszaniny naniesionej na powierzchnię karoserii w pierwszej i w drugiej minucie po nałożeniu odparowuje 50% cieczy łatwopalnych – wynika to z faktu, że w początkowej fazie schnięcia powłoki lakierniczej odparowywanie rozpuszczalników nie jest utrudnione (znacząca ilość rozpuszczalników znajduje się na powierzchni naniesionej powłoki, a więc nie występują bariery w przenikaniu par do powietrza).
- z mieszaniny naniesionej na powierzchnię karoserii w trzeciej i w każdej kolejnej minucie po nałożeniu odparowuje 25% cieczy łatwopalnych oraz że jest to proces ciągły aż do całkowitego odparowania rozpuszczalników – wynika to z faktu, że po początkowej fazie schnięcia powłoki lakierniczej na jej powierzchni wytwarza się cienka powłoka częściowo wyschniętego lakieru, który sprawia, że odparowywanie rozpuszczalników jest utrudnione (wówczas znacząca ilość rozpuszczalników znajduje się pod powierzchnią cienkiej powłoki częściowo wyschniętego lakieru).

W mieszaninie lakierniczej ($2,5 \text{ dm}^3$) cieczy łatwopalne stanowią około 65%, co stanowi objętość ciekłą $1,625 \text{ dm}^3$. Z tej ilości (tj. z $1,625 \text{ dm}^3$) 20% (tj. $0,325 \text{ dm}^3$) jest tracona lub odparowuje w trakcie nanoszenia, a reszta (80%, tj. $1,3 \text{ dm}^3$) pozostaje na powierzchni karoserii.

Oznacza to, że emisja do atmosfery cieczy łatwopalnych z cieczy lakierniczej podawanej z pistoletu malarskiego wynosi $0,010833 \text{ dm}^3/\text{min}$ (E_1).

Mieszanina lakiernicza, która pozostała na powierzchni karoserii, zaczyna odparowywać od momentu jej nanoszenia, przy czym w przeciągu pierwszej i drugiej minuty odparowuje 50% cieczy łatwopalnych, natomiast w trzeciej i w każdej kolejnej minucie po nałożeniu odparowuje 25% cieczy łatwopalnych.

Oznacza to, że w trakcie każdej minuty na element karoserii (o powierzchni $1,5 \text{ m}^2$) trafia $0,0433 \text{ dm}^3$ cieczy łatwopalnych, z których:

- w przeciągu pierwszej minuty odparowuje $0,02166 \text{ dm}^3$ cieczy łatwopalnych,
- w przeciągu drugiej minuty odparowuje $0,010833 \text{ dm}^3$ cieczy łatwopalnych,
- w przeciągu trzeciej minuty odparowuje $0,00270833 \text{ dm}^3$ cieczy łatwopalnych,
- w przeciągu czwartej minuty odparowuje $0,00203125 \text{ dm}^3$ cieczy łatwopalnych itd.

W trakcie nakładania lakieru (30 min) powierzchnia z nałożoną powłoką będzie się zwiększała, a co za tym idzie będzie rosła również emisja cieczy łatwopalnych, przy czym

emisja ta osiągnie największą wartość w 30 min, kiedy to będą miały miejsce następujące emisje:

- emisja z pistoletu malarskiego: $0,010833 \text{ dm}^3/\text{min}$ (E_1)
- + powłoka z 29. minuty: emisja $0,02166 \text{ dm}^3/\text{min}$ (E_2)
- + powłoka z 28. minuty: emisja $0,010833 \text{ dm}^3/\text{min}$ (E_3)
- + powłoka z 27. minuty: emisja $0,00270833 \text{ dm}^3/\text{min}$ (E_4)
- + powłoka z 26. minuty: emisja $0,00203125 \text{ dm}^3/\text{min}$

Dalsza emisja z powłok od 26. minuty cechuje się tym, że stanowi ona 75% emisji z „nowszej” minuty, co oznacza, że emisja z wszystkich powłok od 27. minuty wstecz aż do powłoki z 1. minuty wynosi:

$$E_{S4} = E_4 \times [1 - (0,75)^{27}] / (1 - 0,75) = 0,01082875 \text{ dm}^3/\text{min}$$

Oznacza to, że sumaryczna emisja cieczy łatwopalnych w 30. minucie nanoszenia powłoki lakierniczej wynosi:

$$E_L = E_1 + E_2 + E_3 + E_{S4} = 0,010833 \text{ dm}^3/\text{min} + 0,02166 \text{ dm}^3/\text{min} + 0,010833 \text{ dm}^3/\text{min} + 0,01082875 \text{ dm}^3/\text{min} = \mathbf{0,05415475 \text{ dm}^3/\text{min}}$$
 cieczy łatwopalnych

Wartość ta oznacza emisję $0,00090258 \text{ dm}^3/\text{s}$ cieczy łatwopalnych, co przy gęstości toluenu ($0,873 \text{ kg}/\text{dm}^3$) daje emisję **$0,000788 \text{ kg/s}$** .

W związku z tym, że z każdą minutą emisja z powłoki maleje $4/3$ razy, po przerwie trwającej 0,5 godz. emisja z ostatnio naniesionej części powłoki maleje ponad tysiącrotnie, co oznacza, że wpływ emisji z pierwszego etapu malowania na emisję z drugiego etapu malowania jest pomijalny.

Emisja z powłoki lakierniczej występuje podczas normalnej pracy, jednak trwa w sumie nie dłużej niż 2 godziny w przeciągu 1 doby. W związku z tym przyjęto, że jest to **emisja pierwszego stopnia**.

4.4.4. Analiza wentylacji

Kabina lakiernicza wyposażona jest w dwa niezależne zespoły wentylacyjno-filtracyjne (sekcja A oraz sekcja B), z których każdy obsługuje połowę przestrzeni kabiny. Po podzieleniu kabiny na dwie części za pomocą opuszczanej bramy wewnętrznej każdy z tych zespołów może pracować osobno (lakierowanie mniejszych elementów). W przypadku braku dzielenia kabiny na dwie części pracują oba zespoły jednocześnie (lakierowanie całego tramwaju).

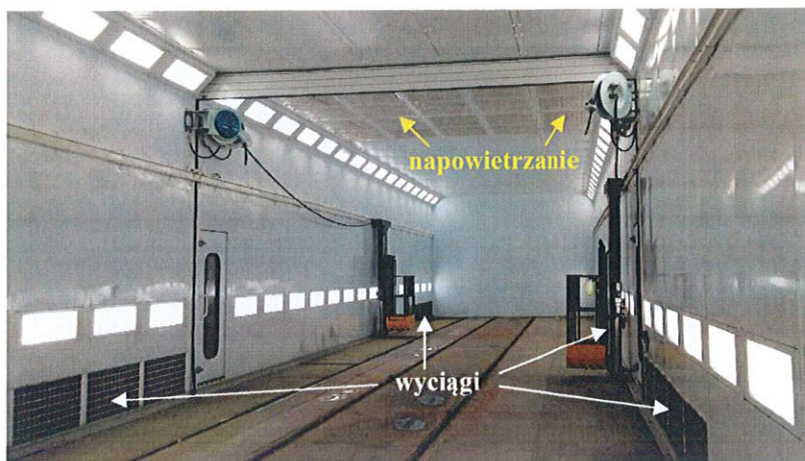
Każdy z dwóch zespołów wentylacyjno-filtracyjnych składa się m.in. z:

- wentylacji nawiewnej (Q_n) o wydajności **$38\,000 \text{ m}^3/\text{h}$ ($10,5 \text{ m}^3/\text{s}$)** z otworami nawiewnymi połączonymi w jeden panel wymiarach $5 \text{ m} \times 5 \text{ m}$, wyposażony w filtry, zamontowany w suficie kabiny;

- wentylacji wyciągowej (Q_w) o wydajności $38\ 000\ \text{m}^3/\text{h}$ ($10,5\ \text{m}^3/\text{s}$) z otworami wyciągowymi połączonymi w dwa panele wymiarach $4,8\ \text{m} \times 0,5\ \text{m}$ każdy, wyposażone w filtry, zamontowane w dolnej części kabiny (dolna krawędź otworów usytuowana jest 10 cm nad posadzką kabiny) oraz z panelu zamontowanego w kanale poniżej posadzki kabiny.

Łączna moc wszystkich silników wentylacji nawiewnej i silników wentylacji wyciągowej zamontowanych na potrzeby kabiny lakierniczej wynosi $66,8\ \text{kW}$, natomiast łączna wydajność wentylacji całej kabiny lakierniczej wynosi $76\ 000\ \text{m}^3/\text{h}$ ($21\ \text{m}^3/\text{s}$).

Część otworów wentylacyjnych zamontowanych w kabinie lakierniczej przedstawiono na poniższym rysunku.



Rys. Nr 11: Otwory napowietrzające i wyciągowe w kabinie lakierniczej

Wentylacja kabiny lakierniczej (napowietrzająca i wyciągowa) uruchamiana jest przez pracownika zakładu zanim rozpoczęte zostaną czynności nanoszenia powłoki. Uruchomienie wentylacji następuje więc przed rozpoczęciem emisji cieczy łatwopalnych do wnętrza kabiny.

Powietrze przepływa przez tę część kabiny, w której następuje emisja cieczy łatwopalnych, z góry kabiny w dół, przy czym wydajność tego przepływu wynosi (łącznie dla całej kabiny) $21\ \text{m}^3/\text{s}$.

Wydajność wentylacji (W), która gwarantowałaby, że stężenie cieczy łatwopalnych w kabinie lakierniczej pozostawałoby poniżej dolnej granicy wybuchowości (DGW) zależy od natężenia emisji cieczy łatwopalnych oraz od ich dolnej granicy wybuchowości. Wydajność ta zostanie więc obliczona odrębnie dla procesu nakładania powłoki podkładowej (W_P) oraz odrębnie dla procesu nakładania powłoki lakierniczej (W_L):

Wymagana wydajność wentylacji przy nakładaniu powłoki podkładowej (ciecz reprezentatywna: octan butylu):

$$W_P = E_P / (0,25 \times DGW) = 1,2833 \times 10^{-3}\ \text{kg/s} / (0,25 \times 68 \times 10^{-3}\ \text{kg/m}^3) = 0,0755\ \text{m}^3/\text{s}$$

Wymagana wydajność wentylacji przy nakładaniu powłoki lakierniczej (ciecz reprezentatywna: toluen):

$$W_L = E_L / (0,25 \times DGW) = 0,788 \times 10^{-3}\ \text{kg/s} / (0,25 \times 49 \times 10^{-3}\ \text{kg/m}^3) = 0,0643\ \text{m}^3/\text{s}$$

Zapewniona wydajność wentylacji mechanicznej ($21 \text{ m}^3/\text{s}$) jest więc znacznie większa (ponad 100-krotnie) od wydajności wymaganej.

Oznacza to, że w kabinie lakierniczej prawdopodobieństwo wystąpienia mieszaniny wybuchowej jest pomijalne.

Powyższe pozwala uznać, że wentylacja mechaniczna w kabinie lakierniczej jest w stanie zredukować stężenie przy źródle emisji niemal natychmiast, dając w wyniku stężenie poniżej dolnej granicy wybuchowości (oznacza to **wysoki stopień wentylacji**). W rezultacie otrzymuje się strefę zagrożenia wybuchem o małym zasięgu.

Zasilanie wentylatorów mechanicznych jest dwustronne (zakład zasilany jest z dwóch głównych punktów zasilania w energię elektryczną). Pracują one wyłącznie w czasie prowadzenia prac malarskich – rozpoczęcie prac malarskich uwarunkowane jest wcześniejszym uruchomieniem wentylatorów. Uznać więc należy teoretycznie jest możliwa sytuacja, w której następuje resztkowa emisja par cieczy łatwopalnych bez pracującej wentylacji. W związku z tym **dostępność wentylacji mechanicznej** należy uznać za **dostateczną**.

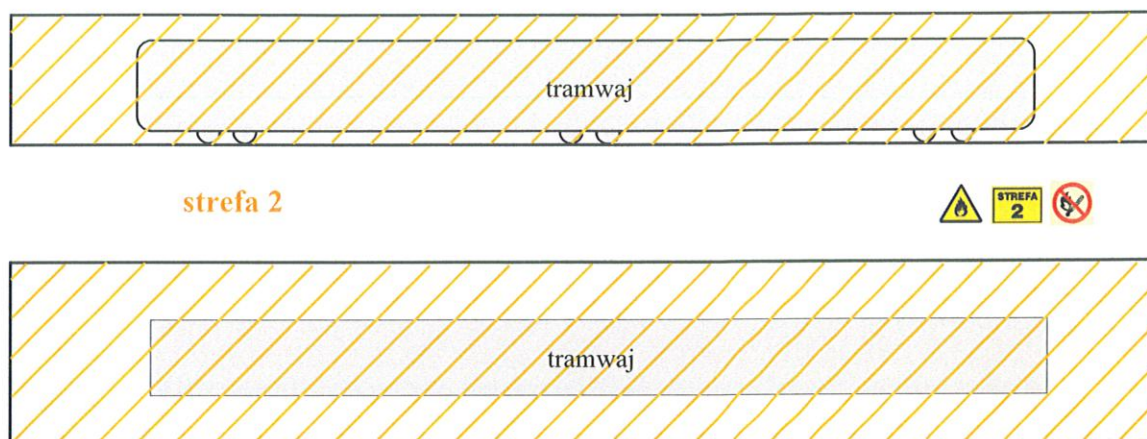
4.4.5. Rodzaj i zasięg stref zagrożenia wybuchem

Zgodnie z analizą zamieszczoną w poprzednim podpunkcie prawdopodobieństwo wystąpienia mieszaniny wybuchowej jest niewielkie. Jednak z uwagi na występowanie strumienia rozpylonych przez pistolet malarski cieczy łatwopalnych, możliwość występowania mieszaniny wybuchowej w powietrzu musi być więc wzięte pod uwagę.

W zakresie czasu utrzymywania się mieszaniny wybuchowej przyjąć można, że około 1 minuty od zakończenia procesu pneumatycznego nakładania mieszaniny istotnie zmniejsza się emisja par cieczy łatwopalnych do przestrzeni kabiny lakierniczej z pistoletu malarskiego. Mimo to pozostaje jeszcze emisja z powierzchni pomalowanych wcześniej elementów karoserii, malejąca znacząco z upływem czasu i nieistotna po 10 minutach od zakończenia natrysku pneumatycznego. Należy również wziąć pod uwagę możliwość niewłaściwych ruchów w różnych kierunkach pistoletu malarskiego w trakcie jego pracy (błędy pracowników), które mogą skierować strumień par cieczy łatwopalnych w całej rozpiętości kabiny.

W związku z koniecznością uwzględnienia w niniejszym opracowaniu wysokiego, ale uzasadnionego, marginesu bezpieczeństwa, należy przyjąć, że **wewnątrz całej kabiny lakierniczej należy wyznaczyć strefę 2 zagrożenia wybuchem obecną w trakcie nanoszenia cieczy łatwopalnych oraz do 15 min od zakończenia ich nakładania, a także w trakcie procesu suszenia pomalowanych elementów.**

Zasięg tak wyznaczonej strefy przedstawia poniższy rysunek.



Rys. Nr 12: Strefa zagrożenia wybuchem w kabinie lakierniczej oraz znaki bezpieczeństwa, które powinny być umieszczone na każdych drzwiach wejściowych i na bramie wjazdowej

4.4.6. Występowanie pomieszczenia zagrożonego wybuchem

Zgodnie z § 37 ust. 7 rozporządzenia Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 7 czerwca 2010 r. w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków, innych obiektów budowlanych i terenów (Dz. U. Nr 109, poz. 719 ze zm.) pomieszczenie uznaje się za zagrożone wybuchem, gdy może się w nim wytworzyć 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.

Jeśli kabina lakiernicza traktowana będzie jako pomieszczenie, do wytworzenia takiej wartości nadciśnienia potrzebna jest niżej obliczona ilość **octanu butylu**:

Dane:

$$\Delta P = 5 \text{ kPa}$$

$$V \text{ (objętość przestrzeni powietrznej kabiny, po odjęciu kubatury tramwaju)} = 720 \text{ m}^3$$

$$C_{st} = 0,02518$$

$$\rho_{parOB} = 4,97 \text{ kg/m}^3$$

$$\Delta P_{max} = 650 \text{ kPa}$$

$$W = 0,1$$

$$m = \Delta P (V \times C_{st} \times \rho_{parOB}) / (\Delta P_{max} \times W) = \\ = (5 \text{ kPa} \times 720 \text{ m}^3 \times 0,02518 \times 4,97 \text{ kg/m}^3) / (650 \text{ kPa} \times 0,1) = \mathbf{6,931 \text{ kg}}$$

Ilość cieczy łatwopalnych (octanu butylu), która może zostać użyta w procesie malowania w kabinie lakierniczej wynosi 5,25 dm³, co przy gęstości octanu butylu 0,880 kg/dm³ oznacza masę **4,62 kg** octanu butylu.

Całkowita ilość par cieczy łatwopalnych (octanu butylu), która może wytworzyć się (bez uwzględniania wentylacji) w kabinie lakierniczej (4,62 kg) jest mniejsza niż ilość octanu butylu zdolna do wytworzenia nadciśnienia 5 kPa (6,931 kg).

Do wytworzenia nadciśnienia 5 kPa potrzebna jest niżej obliczona ilość **toluenu**:

Dane:

$$\Delta P = 5 \text{ kPa}$$

$$V \text{ (objętość przestrzeni powietrznej kabiny, po odjęciu kubatury tramwaju)} = 720 \text{ m}^3$$

$$C_{st} = 0,02244$$

$$\rho_{parT} = 3,943 \text{ kg/m}^3$$

$$\Delta P_{max} = 566 \text{ kPa}$$

$$W = 0,1$$

$$\begin{aligned} m &= \Delta P (V \times C_{st} \times \rho_{parT}) / (\Delta P_{max} \times W) = \\ &= (5 \text{ kPa} \times 720 \text{ m}^3 \times 0,02244 \times 3,943 \text{ kg/m}^3) / (566 \text{ kPa} \times 0,1) = \mathbf{5,628 \text{ kg}} \end{aligned}$$

Ilość cieczy łatwopalnych (toluenu), która może zostać użyta w procesie malowania w kabinie lakierniczej wynosi 1,625 dm³, co przy gęstości toluenu 0,873 kg/dm³ oznacza masę **1,419 kg** toluenu.

Całkowita ilość par cieczy łatwopalnych (toluenu), która może wytworzyć się (bez uwzględniania wentylacji) w kabinie lakierniczej (1,419 kg) jest znacznie mniejsza niż ilość toluenu zdolna do wytworzenia nadciśnienia 5 kPa (5,628 kg).

Kabina lakiernicza nie jest pomieszczeniem zagrożonym wybuchem (jeśli kabina ta traktowana będzie jako pomieszczenie).

4.5. Magazyn gazów technicznych

4.5.1. Informacje ogólne

Magazyn gazów technicznych, o którym mowa w ocenie zagrożenia wybuchem, wykonany zostanie dopiero po skończeniu niniejszego opracowania. W związku z tym informacje na jego temat dotyczą stanu przyszłego.

Magazyn gazów technicznych stanowić będzie wolnostojącą wiatę usytuowaną w południowym narożniku terenu zakładu, o wymiarach poziomych około $2\text{ m} \times 3\text{ m}$ i wysokości około 2,5 m. Wiata oddalona będzie od budynków o ponad 8 m, przy czym odległość wiaty od najbliższego budynku (jest to mieszkalny wielorodzinny usytuowany w kierunku wschodnim) wynosić będzie około 14 m.

Zaleca się, aby butle z gazem palnym składowane wewnątrz wiaty oddalone były od granicy z sąsiednią działką budowlaną o co najmniej 4 m.

Konstrukcja wiaty oraz jej dach wykonane będą z elementów metalowych, a ściany (na całej wysokości i szerokości) z metalowej siatki. Posadzka wiaty wykonana zostanie z betonu. Konstrukcja wiaty powinna zostać uziemiona.

Wewnątrz wiaty składowane będą w butlach stalowych:

- gazy palne:
 - **acetylen** w butlach zawierających maksymalnie 50 dm^3 acetyleny każda pod nadciśnieniem 25 bar – przewiduje się składowanie wewnątrz wiaty do 15 sztuk butli,
 - **propan-butan** w butlach z syfonem zawierających maksymalnie 11 kg LPG każda pod nadciśnieniem 6 bar – przewiduje się składowanie wewnątrz wiaty do 8 sztuk butli;
- gazy niepalne:
 - tlen,
 - dwutlenek węgla,
 - argon.

Stosowane w zakładzie butle z gazami palnymi przedstawiono na rysunku poniżej.



Rys. Nr 13: Butle z gazami palnymi: acetylen (z lewej) oraz propan-butan (z prawej)

4.5.2. Szacowanie częstości, czasu trwania, stopnia oraz natężenia emisji acetyleny

Acetylen techniczny przechowywany jest w butlach stalowych zawierających maksymalnie 50 dm³ acetyleny, każda pod nadciśnieniem 25 bar.

Stalowe butle są elementami szczelnymi. W związku z tym, przy zachowaniu wymagań dozorowych w zakresie przeglądów i konserwacji, nie rozpatruje się ich rozszczelnienia. Niemniej jednak rozpatrzyć należy możliwość rozszczelnienia zaworu odcinającego butlę. Przewiduje się, że zdarzenie takie może wystąpić co kilkadziesiąt lat, przy czym samo rozszczelnienie będzie miało niewielką powierzchnię (rzędu 0,25 mm²).

Z uwagi na brak urządzeń mogących automatycznie wykryć wyciek acetyleny należy przyjąć, że będzie ona trwała aż do spadku ciśnienia w butli do ciśnienia atmosferycznego, co może potrwać wiele godzin.

Wyciek gazu palnego z butli może nastąpić wyłącznie wskutek jej awarii, w związku z czym mamy wówczas do czynienia z **drugim stopniem emisji** acetyleny.

Emisję acetyleny z uszkodzonego zaworu butli można oszacowano w następujący:

Dane:

$$p_0 = 1 \text{ atm} = 101,3 \text{ kPa} = 1,013 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$p = 1 \text{ atm} + 25 \text{ bar} = 101,3 \text{ kPa} + 25 \times 10^5 \text{ Pa} = 26 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$T = 293 \text{ K}$$

$$M = 26 \text{ g/mol}$$

$$s = 0,25 \text{ mm}^2 = 0,25 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$\gamma_{\text{C}_2\text{H}_2} = 1,23 \text{ (wykładnik adiabaty)} \rightarrow \text{wypływ acetyleny jest dławiony}$$

Natężenie wypływu masowego acetyleny ($I_{\text{C}_2\text{H}_2\text{m}}$) na początku wycieku z pełnej butli wynosi:

$$I_{\text{C}_2\text{H}_2\text{m}} = s \times p \times [\gamma \times (M/RT)]^{1/2} \times [2/(\gamma+1)]^{(\gamma+1)/2(\gamma-1)} = \mathbf{0,00139 \text{ kg/s}} = 1,39 \text{ g/s}$$

Z zależności $pV = nRT$ wynika, że natężenie wypływu objętościowego acetyleny¹ na początku wycieku z pełnej butli wynosi:

$$I_{\text{C}_2\text{H}_2\text{v}} = \mathbf{0,0013 \text{ m}^3/\text{s}} = 1,3 \text{ dm}^3/\text{s}$$

4.5.3. Szacowanie częstości, czasu trwania, stopnia oraz natężenia emisji propanu-butanu

Propan-butan przechowywany jest w butlach stalowych zawierających maksymalnie 11 kg tej mieszaniny gazów, każda pod nadciśnieniem 6 bar.

Stalowe butle są elementami szczelnymi. W związku z tym, przy zachowaniu wymagań dozorowych w zakresie przeglądów i konserwacji, nie rozpatruje się ich rozszczelnienia. Niemniej jednak rozpatrzyć należy możliwość rozszczelnienia zaworu

¹ Przy ciśnieniu normalnym.

odcinającego butlę. Przewiduje się, że zdarzenie takie może wystąpić co kilkadziesiąt lat, przy czym samo rozszczelnienie będzie miało niewielką powierzchnię (rzędu $0,25 \text{ mm}^2$).

Z uwagi na brak urządzeń mogących automatycznie wykryć wyciek propanu-butanu należy przyjąć, że będzie ona trwała aż do spadku ciśnienia w butli do ciśnienia atmosferycznego, co może potrwać wiele godzin.

Wyciek gazu palnego z butli może nastąpić wyłącznie wskutek jej awarii, w związku z czym mamy wówczas do czynienia z **drugim stopniem emisji** propanu-butanu.

Do celów obliczeniowych niniejszej analizy przyjęto dla uproszczenia, że butla zawiera wyłącznie propan, który jest gazem o bardziej niebezpiecznych właściwościach wybuchowych. Emisję propanu z uszkodzonego zaworu butli można oszacować w następujący sposób:

Dane:

$$p_0 = 1 \text{ atm} = 101,3 \text{ kPa} = 1,013 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$p = 1 \text{ atm} + 6 \text{ bar} = 101,3 \text{ kPa} + 6 \times 10^5 \text{ Pa} = 7 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$T = 293 \text{ K}$$

$$M = 44 \text{ g/mol}$$

$$s = 0,25 \text{ mm}^2 = 0,25 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$\gamma_{\text{C}_3\text{H}_8} = 1,13 \text{ (wykładnik adiabaty)} \rightarrow \text{wypływ propanu jest dławiony}$$

Natężenie wypływu masowego propanu ($\text{I}_{\text{C}_3\text{H}_8\text{m}}$) na początku wycieku z pełnej butli wynosi:

$$\text{I}_{\text{C}_3\text{H}_8\text{m}} = s \times p \times [\gamma \times (M/RT)]^{1/2} \times [2/(\gamma+1)]^{(\gamma+1)/2(\gamma-1)} = \mathbf{0,0047236 \text{ kg/s}} = 4,7236 \text{ g/s}$$

Z zależności $pV = nRT$ wynika, że natężenie wypływu objętościowego propanu² na początku wycieku z pełnej butli wynosi:

$$\text{I}_{\text{C}_3\text{H}_8\text{v}} = \mathbf{0,00261 \text{ m}^3/\text{s}} = 2,61 \text{ dm}^3/\text{s}$$

4.5.4. Analiza wentylacji

Dla wiaty magazynowej gazów technicznych zapewniona zostanie wyłącznie wentylacja naturalna. Otworami wentylacyjnymi będą ściany wykonane z siatki niemal na całej swojej powierzchni, przy czym krótszy bok wiaty posiada wymiary około $2 \text{ m} \times 2 \text{ m}$, natomiast dłuższy bok około $3 \text{ m} \times 2 \text{ m}$. Powoduje to, że podczas działania wentylacji naturalnej powierzchnia otworu, przez który następuje wentylacja, wynosi co najmniej 4 m^2 .

Powyższe oznacza, że zapewniono bardzo dobre warunki wentylacji i co za tym idzie bardzo dobre warunki naturalnego przepływu (wypływu na zewnątrz wiaty) ewentualnie wyciekłego acetyleny lub propanu-butanu.

Zgodnie z Polską Normą PN-EN 50272-3 przyjęto, że prędkość przepływu powietrza przez otwory wentylacji naturalnej (grawitacyjnej) wynosi co najmniej $0,1 \text{ m/s}$.

W takim przypadku objętościowy przepływ powietrza przez magazyn gazów technicznych wynosi około:

$$Q_p = 4 \text{ m}^2 \times 0,1 \text{ m/s} = \mathbf{0,4 \text{ m}^3/\text{s}} \text{ (400 dm}^3/\text{s)}$$

² Przy ciśnieniu normalnym.

Znając masowe natężenie wypływu **acetylenu** (wynoszące 1,39 g/s) można wyznaczyć wydajność wentylacji gwarantującą zachowanie stężenia acetylenu poniżej dolnej granicy wybuchowości (DGW):

$$W_{WC_2H_2} = (m/\tau) / (0,5 \times DGW) = 1,39 \times 10^{-3} \text{ kg/s} / (0,5 \times 24,9 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^3) = 0,112 \text{ m}^3/\text{s}$$

gdzie: $DGW = 2,3\% = 0,416 \times 10^{-3} \times 26 \times 2,3 = 24,9 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^3$

Podobnie znając masowe natężenie wypływu **propanu** (wynoszące 4,7236 g/s) można wyznaczyć wydajność wentylacji gwarantującą zachowanie stężenia propanu poniżej dolnej granicy wybuchowości (DGW):

$$W_{WC_3H_8} = (m/\tau) / (0,5 \times DGW) = 4,7236 \times 10^{-3} \text{ kg/s} / (0,5 \times 38,4 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^3) = 0,246 \text{ m}^3/\text{s}$$

gdzie: $DGW = 2,1\% = 0,416 \times 10^{-3} \times 44 \times 2,1 = 38,4 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^3$

Szacowany objętościowy przepływ powietrza (wentylacja naturalna) jest 3 razy większy w przypadku acetylenu i 1,6 razy większy w przypadku propanu od wydajności gwarantującej pozostawanie stężenia gazu palnego w powietrzu w magazynie gazów technicznych poniżej dolnej granicy wybuchowości.

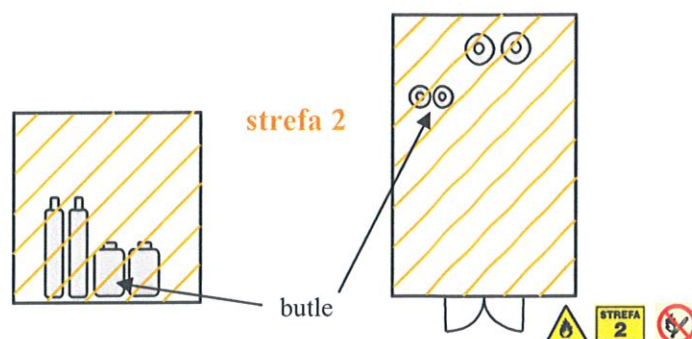
Oznacza to, że zapewnione otwory wentylacji naturalnej gwarantują skuteczne usuwanie acetylenu lub propanu wyciekających z zaworu butli.

W związku z powyższym można uznać, że w magazynie gazów technicznych mamy do czynienia z **wentylacją wysokiego stopnia**.

Z uwagi na fakt, że w magazynie gazów technicznych funkcjonuje wyłącznie wentylacja naturalna mamy do czynienia ze **słabą dostępnością wentylacji**.

4.5.5. Rodzaj i zasięg stref zagrożenia wybuchem

Na podstawie przedstawionych powyżej szacunków ustalono, że w **całej kubaturze magazynu gazów technicznych** (tj. od poziomu posadzki do poziomu dachu) należy wyznaczyć **strefę 2** zagrożenia wybuchem obecną stale, zgodnie z poniższym rysunkiem.



Rys. Nr 14: *Strefa zagrożenia wybuchem w magazynie gazów technicznych oraz znaki bezpieczeństwa, które powinny być umieszczone na drzwiach wejściowych*

5. Potencjalne źródła zapłonu

Aby nastąpiło zapalenie się mieszaniny wybuchowej, w jej obrębie musi pojawić się efektywny bodziec energetyczny, który zapoczątkuje rozpad cząsteczek materiału palnego i utleniacza na wolne rodniki. Bodźcami tymi są potencjalne źródła zapłonu:

- 1) gorące powierzchnie,
- 2) otwarty ogień,
- 3) iskry wytwarzane mechanicznie,
- 4) urządzenia elektryczne,
- 5) prądy błądzące,
- 6) elektryczność statyczna,
- 7) uderzenia pioruna,
- 8) fale elektromagnetyczne o częstotliwości radiowej od 10^4 Hz do 3×10^{12} Hz,
- 9) fale elektromagnetyczne o częstotliwości od 3×10^{11} Hz do 3×10^{15} Hz (np. laserowe),
- 10) promieniowanie jonizujące,
- 11) ultradźwięki,
- 12) sprężenie adiabatyczne i fale uderzeniowe,
- 13) reakcje egzotermiczne.

Do najbardziej powszechnych źródeł zapłonu, mogących wystąpić na terenie Zajezdni Tramwajowej będącej przedmiotem niniejszego opracowania, należą:

- otwarty ogień (płomień zapalki, zapalniczki, papieros lub prace prowadzone z otwartym płomieniem, np. cięcie metali palnikiem gazowym),
- iskry wytwarzane mechanicznie (w skutek uderzenia elementów lub narzędzi stalowych o twarde przedmioty, prace szlifierskie, spawanie elektrodą węglową),
- urządzenia elektryczne (iskwienie w silnikach i stykach elektrycznych oraz z niesprawnych instalacji elektrycznych),
- elektryczność statyczna (ubrania i obuwie pracowników z materiałów sztucznych elektrostatycznych, wytwarzających i akumulujących ładunki elektryczne),
- bezpośrednie uderzenie pioruna lub uderzenie w sąsiedni obiekt połączone z indukcją napięcia w innych stalowych obiektach, konstrukcjach i przewodach.

6. Zabezpieczenie przed wybuchem w strefach zagrożenia wybuchem

Aby nie doszło do zapalenia się mieszaniny wybuchowej materiału palnego z utleniaczem, nie można dopuścić do wystąpienia w jej obrębie efektywnego źródła zapłonu. W związku z tym w **strefach zagrożenia wybuchem** **nie wolno** dopuścić do pojawienia się któregośkolwiek z wymienionych powyżej potencjalnych źródeł zapłonu, czyli nie wolno m.in.:

- doprowadzać do nagrzewania się jakichkolwiek powierzchni do temperatury grożącej wystąpieniem samozapłonu (zgodnie z podanymi w pkt. 4.2. niniejszego dokumentu klasami temperaturowymi);
- używać otwartego ognia (płomienia, palników gazowych, palić papierosów),
- prowadzić prac remontowo-budowlanych bez specjalnego zezwolenia wydanego przez prowadzącego zakład,
- uderzać twardymi przedmiotami o siebie (chyba że wykonane są z materiałów nie iskrzących np. pokrytych mosiądzem),
- stosować urządzeń elektrycznych, które nie posiadają oznaczenia Ex i nie są odpowiedniej kategorii (w strefie 2 należy stosować urządzenia kategorii 1, 2 lub 3),
- prowadzić instalacji odgromowej budynku lub terenu,
- stosować nadajników radiowych,
- generować fal elektromagnetycznych laserowych oraz skupiać wiązki światła np. poprzez soczewkę,
- wykorzystywać lub przechowywać materiałów rozszczepialnych,
- generować ultradźwięków,
- doprowadzać do wybuchów chemicznych i fizycznych,
- przeprowadzać egzotermiczne reakcje chemiczne,
- składować mokrej paszy (np. siana).

Z kolei w **strefach zagrożenia wybuchem** należy:

- wszelkie prace remontowo-budowlane prowadzić wyłącznie po uzyskaniu pisemnego specjalnego zezwolenia wydanego przez prowadzącego zakład;
- wszelkie prace remontowo-budowlane prowadzić wyłącznie przy zerowym stężeniu substancji palnej w powietrzu (np. poprzez wypełnienie instalacji gazem obojętnym);
- wszelkie prace remontowo-budowlane prowadzić wyłącznie po zabezpieczeniu (przed działaniem bodźców energetycznych) pojemników z substancjami palnymi lub po usunięciu tych pojemników;
- stosować urządzenia elektryczne, które posiadają oznaczenia Ex i są odpowiedniej kategorii.

W strefie 2 należy stosować urządzenia elektryczne kategorii 1, 2 lub 3 oznaczone jako EEx II 1, EEx II 2, EEx II 3.

W strefie 1 należy stosować urządzenia elektryczne kategorii 1, lub 2 oznaczone jako EEx II 1, EEx II 2;

- uziemiać elementy metalowe urządzeń i instalacji znajdujące się w tych strefach,
- stosować ubrania antyelektrostatyczne oraz obuwie odprowadzające ładunki elektryczności statycznej (poprzez podeszwę lub poprzez taśmę-ostrogę).

7. Wnioski i zalecenia

Po przeprowadzonej analizie sformułowano następujące zalecenia do wprowadzenia w niniejszym zakładzie:

- 1) Elementy wykonane z materiałów przewodzących elektryczność (np. stalowe kraty podłogowe) znajdujące się w strefach zagrożenia wybuchem powinny być uziemione.
- 2) Pracownicy przebywający w strefach zagrożenia wybuchem powinni mieć założone ubrania antyelektrostatyczne oraz obuwie odprowadzające ładunki elektryczności statycznej (poprzez podeszwę lub poprzez taśmę-ostrogę).
- 3) W pomieszczeniu magazynu cieczy łatwopalnych – mieszalni farb przelewanie cieczy łatwopalnych jest dopuszczalne wyłącznie na sprzęcie (stole, dygestorium itp.) wyposażonym w tacę wychwytową.
- 4) W przypadku braku w pomieszczeniu magazynu cieczy łatwopalnych – mieszalni farb wentylacji mechanicznej pracującej stale, należy przed wejściem pracowników do tego pomieszczenia i przed załączeniem oświetlenia w tym pomieszczeniu, uruchomić wentylację wywiewną na czas 3 min. Spowoduje to usunięcie z tego pomieszczenia par cieczy łatwopalnych powstałych w czasie ewentualnego wycieku cieczy łatwopalnych z pojemnika.
- 5) Podczas nanoszenia na malowane elementy powłoki podkładowej oraz powłoki lakierniczej drzwi wejściowe oraz brama wjazdowa do kabiny lakierniczej powinny być zamknięte.
- 6) Podczas mieszania i przelewania cieczy łatwopalnych w magazynie cieczy łatwopalnych – mieszalni farb drzwi wejściowe do tego pomieszczenia powinny być zamknięte.
- 7) Zaleca się, aby wewnątrz wiaty stanowiącej magazyn gazów technicznych butle pełne zawierające gazy palne były ustawione odrębnie od butli pustych. Tak powstałe grupy butli powinny być opisane w jednoznaczny sposób („*BUTLE PEŁNE*”, „*BUTLE PUSTE*”) za pomocą informacji pisemnej umieszczonej na siatce od wewnątrz wiaty.
- 8) Zaleca się, aby butle pełne zawierające gaz palny ustawione były wewnątrz wiaty w odległości co najmniej 0,5 m od siatki stanowiącej wydzielenie tej wiaty z przestrzeni zewnętrznej.
- 9) Strefy zagrożenia wybuchem należy oznakować zgodnie ze znakami bezpieczeństwa wskazanymi na rysunkach przedstawiających strefy zagrożenia wybuchem zamieszczonych w pkt 4. niniejszego dokumentu. W tym celu na każdych drzwiach wejściowych oraz na bramie wjazdowej do pomieszczenia/przestrzeni z wyznaczoną strefą zagrożenia wybuchem należy umieścić po trzy znaki wskazane na rysunkach w pkt 4. niniejszego dokumentu.
- 10) Dla budynku zawierającego kabinę lakierniczą oraz magazyn cieczy łatwopalnych należy przeprowadzać badania instalacji elektrycznej oraz instalacji odgromowej (wraz z przeglądem instalacji) przynajmniej raz w roku.