

Materiały szkoleniowe

ZAGROŻENIA ELEKTROSTATYCZNE (ZES)
W ŚRODOWISKU PRACY I ŻYCIA

Serwis internetowy BEZPIECZNIEJ

CIOP-PIB 2017

1. Wprowadzenie

Przez zagrożenia elektrostatyczne rozumie się zagrożenia wypadkowe, których pierwotną przyczyną było wyładowanie elektrostatyczne (ESD). Wyładowanie elektrostatyczne jest wyładowaniem elektrycznym w powietrzu, którego źródłem jest nagromadzenie nadmiaru ładunku elektrostatycznego na powierzchni obiektów/materiałów nieprzewodzących – stałych i ciekłych, zwartych i rozproszonych lub na powierzchni odizolowanych obiektów przewodzących, w tym na ciele człowieka. Do wyładowania dochodzi, gdy natężenie pola elektrycznego przy powierzchni obiektu naelektryzowanego, zbliżanego do niego materiału przewodzącego, przekracza wartość wytrzymałości dielektrycznej powietrza (ok. 2,7 MV/m).

2. Klasyfikacja własności materiałów pod kątem zdolności do odprowadzania ładunku.

Podstawowe znaczenie dla powstawania, a zwłaszcza kumulacji ładunku elektrostatycznego ma zdolność materiału do przewodzenia prądu elektrycznego.

Obiektem przewodzącym w sensie ochrony przed wyładowaniami elektrostatycznymi jest obiekt (materiał) stały lub ciekły o rezystywności (rezystywności skrośnej) $\rho_v \leq 10^4 \Omega\text{m}$ lub/i rezystywności powierzchniowej $\rho_s \leq 10^7 \Omega$. Na powierzchni obiektu przewodzącego uziemionego lub stykającego się z innym obiektem uziemionym nie ma praktycznie możliwości gromadzenia ani zachowania ładunku elektrostatycznego.

1. Obiektem (materiałem) częściowo przewodzącym (zwanym też rozpraszającym) jest obiekt (materiał) o rezystywności skrośnej z zakresu $10^4 \Omega\text{m} < \rho_v \leq 10^8 \Omega\text{m}$ lub/i rezystywności powierzchniowej z zakresu $10^7 \Omega < \rho_s \leq 10^{10} \Omega$. Ładunek elektrostatyczny na powierzchni materiału (obektu) rozpraszającego stykającego się z uziemionym obiektem przewodzącym, może pozostawać tylko przez mały czas do 1 ms, co uniemożliwia zgromadzenie ładunku o wartości wystarczającej do wywołania wyładowania elektrostatycznego.
2. Obiektem (materiałem) nieprzewodzącym jest obiekt (materiał) o wartości rezystywności skrośnej i/lub powierzchniowej większej od podanych powyżej.
3. Obiektem przewodzącym odizolowanym od ziemi jest obiekt przewodzący, którego wartość rezystancji do ziemi (tzw. rezystancja upływu) przekracza wartość $10^6 \Omega$.

W przypadku cieczy stosuje się odwrotność rezystywności czyli przewodność.

4. Cieczą przewodzącą jest ciecz o przewodności skrośnej $\gamma_v > 1000 \text{ pS/m}$
5. Cieczą częściowo przewodzącą jest ciecz nie posiadająca zdolności zachowywania istotnej ilości ładunku elektrostatycznego, gdy styka się z uziemieniem, o przewodności:
 $50 \text{ pS/m} < \gamma_v \leq 1000 \text{ pS/m};$
6. Cieczą nieprzewodzącą jest ciecz o przewodności skrośnej $\gamma_v < 50 \text{ pS/m}$.

Na obiektach przewodzących uziemionych nie ma możliwości kumulacji ładunku. Zdolność kumulacji ładunku na obiektach o własnościach rozpraszających zależy od wielkości obiektu i jego pojemności elektrycznej. Nie można wykluczyć wyładowania z/do takiego materiału, a zagrożenie zależne jest od zdolności zapłonowych atmosfery wybuchowej. Dlatego w przypadku atmosfer o najmniejszej energii

zapłonu stosowanie antystatycznych materiałów rozpraszających może być niewystarczające, dlatego zaleca się wtedy stosowanie materiałów przewodzących.

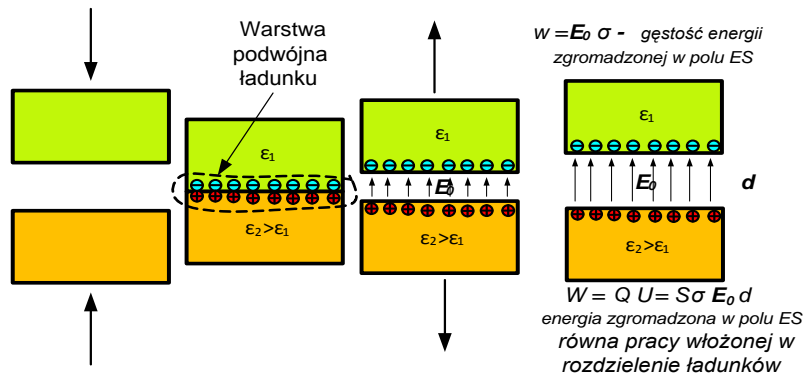
Wyładowanie elektrostatyczne może nastąpić między obiektem naelektryzowanym, a obiektem przewodzącym, zwłaszcza uziemionym, który staje się wtedy jedną z elektrod. Źródłem pola ES jest wtedy obiekt naelektryzowany, zazwyczaj obiekt nieprzewodzący.

Obecnie coraz częściej stosuje się materiały hybrydowe, zwłaszcza tkaniny. Zazwyczaj zasadniczą część tkaniny jest wykonane z materiału nieprzewodzącego, elektryzującego. W celu ograniczenia elektryzacji takie tkaniny, wprowadza się w jej strukturę siatkę przewodzącą z włókien przewodzących, którymi mogą być druty metalowe, włókna z odpowiednio domieszkowanego tworzywa (najczęściej sadzą, znacznie rzadziej nanorurkami węglowymi) lub włókna z napyłoną warstwą metaliczną (np. miedź). Tkanina o takiej strukturze, jeśli włókna przewodzące są otoczone materiałem nieprzewodzącym, mogą wykazywać bardzo dużą rezystywność mierzoną klasycznymi metodami, i być zliczone do materiałów nieprzewodzących. Dlatego do ich klasyfikacji konieczne są inne parametry i metody badawcze (np. zdolność do elektryzacji, skuteczność tłumienia pojemnościowego). Niezależnie od technologii, wyroby (np. odzież antystatyczna) z tego rodzaju tkanin stosowane w silnym polu elektrostatycznym powinny być uziemione, gdyż w przeciwnym przypadku mogą, naelektryzowane przez indukcję, stanowić dużą pojemność elektryczną, z której mogą nastąpić niebezpieczne wyładowania iskrowe. Tkaniny tego rodzaju stosuje się także na tzw. kontenery elastyczne (big-bagi) klasy C. Mają one specjalne złącza do ich obowiązkowe uziemiania.

Istotne dla intensywności elektryzacji ma odpowiedni dobór materiałów stykających się lub wzajemnie się trących. Można tu skorzystać z tzw. szeregu trybo elektrycznego (szeregu Cohen'a) przedstawionego w następnym rozdziale.

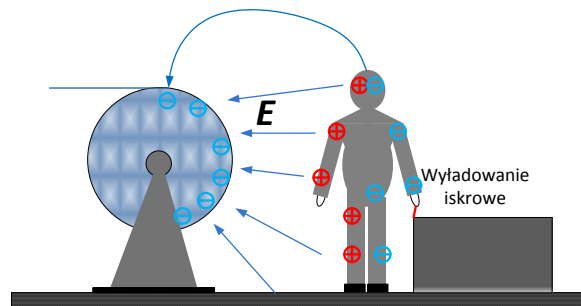
3. Podstawowe mechanizmy elektryzacji, odpowiedzialne za zagrożenia elektrostatyczne:

- 1) elektryzacja przez kontakt i rozdzielanie lub tarcie dwóch obiektów (materiałów), z których co najmniej jeden nie jest przewodnikiem,



Rys. 1. Elektryzacja przez kontakt

- 2) elektryzacja przez indukcję - rozsunięcie ładunków elektrycznych na powierzchni obiektu przewodzącego, odizolowanego, ekspozowanego na pole elektrostatyczne,



Rys. 2. Elektryzacja przez indukcję i wyładowanie iskrowe z ciała pracownika do przewodzącego obiektu.

- 3) elektryzacja przez przewodzenie – elektryzacja odizolowanego obiektu przewodzącego lub rozpraszającego przez zetknięcie z naelektryzowanym obiektem przewodzącym lub niezerową elektrodą źródła napięcia stałego,
- 4) rozdrabnianie materiałów stałych i ciekłych prowadzi do ich silnej elektryzacji (główny mechanizm to tarcie, w pewnym stopniu także efekt piezoelektryczny w przypadku minerałów).

Inne mechanizmy mają mniejsze znaczenie w powstawaniu zagrożeń elektrostatycznych.

4. Mechanizmy elektryzacji

Procesy technologiczne i czynności prowadzące do silnej elektryzacji (niebezpiecznej w przypadku wystąpienia atmosfer wybuchowych)

- 1) ruch i zachowanie pracownika – chodzenie po nieprzewodzącej posadzce, siedzenie i wstawanie z siedzisk pokrytych syntetyczną tapicerką (np. siedzenia samochodowe), zdejmowanie i zakładanie odzieży, noszenie odzieży i obuwia wykonanych z materiałów syntetycznych, tarcie o elementy wyposażenia. Pracownik nie wyposażony w obuwie antystatyczne i przebywający w pomieszczeniu z nieprzewodzącą podłogą, może zostać naelektryzowany przez indukcję.
- 2) wewnątrzzakładowy transport kołowy - wózki z napędem i bez z kołami/oponami z materiałów nieprzewodzących,
- 3) procesy technologiczne związane z materiałami sypkimi – kruszenie, rozdrabnianie, mielenie, przesiewanie, mieszanie, przesypywanie – także z toreb i worków o pojemności kilkunastu litrów i większych, transport pneumatyczny i zsypywanie grawitacyjne, transport ślimakowy i transport taśmociągami (elektryzacja w momencie odrywania się materiału od taśmy), napełnianiem kontenerów i silosów, tarcie i uderzanie przemieszczającego się materiału sypkiego z przedmiotami i pokryciami nieprzewodzącym,
- 4) procesy związane z cieczami – przelewanie, nalewanie połączone z rozpryskiwaniem, atomizacja, transport rurociągami, mieszanie, filtrowanie, odwirowywanie, tankowanie,
- 5) procesy związane ze sprężonymi gazami – gwałtowne rozprężanie gazów prowadzące do zamarzania pary wodnej, dwutlenku węgla – powstałe kryształki lodu ulegają silnej elektryzacji przez tarcie,
- 6) inne procesy technologiczne związane z przetwarzaniem i wytwarzaniem dużych powierzchni folii syntetycznych, papieru, gumy, tkanin, transport taśmociągami, powoduje silną elektryzację taśmy (w krańcowych przypadkach grozi wyładowaniem szopiasnym rozprzestrzeniającym się),
- 7) niepoprawnie prowadzony proces neutralizacji ładunku elektrostatycznego neutralizatorami wysokonapięciowymi unipolarnymi.
- 8) transport materiałów sypkich lub ciekłych rurociągami z materiałów nieprzewodzących jest szczególnie niebezpieczny, gdyż grozi wyładowaniami snopiasnymi rozprzestrzeniającymi się.

Procesy technologiczne prowadzące do gwałtownego wzrostu gęstości objętościowej ładunku:

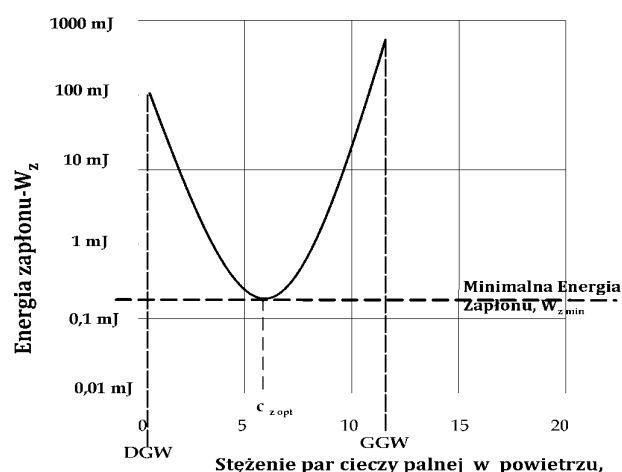
- 1) nasypywanie materiałów sypkich nieprzewodzących (np. granulatu, płatków i proszków z tworzyw sztucznych, cukru, maki, węgla, siarki, itp.) do zbiorników, kontenerów, silosów. W przypadku gdy ich powierzchnie wewnętrzne pokryte są warstwą izolacyjną lub przypadkowo przylegającą folią syntetyczną, może dochodzić do bardzo niebezpiecznych wyładowań snopiasnych rozprzestrzeniających,
- 2) nasypywanie materiałów sypkich do kontenerów elastycznych (tzw. "big-bagów"),
- 3) napełnianie zbiorników, kanistrów, bębnow itp., cieczami nieprzewodzącymi, zbiorników i kanistrów nieprzewodzących cieczami, niezależnie od ich przewodności,
- 4) transport taśmowy – narastająca w czasie silna elektryzacja taśm.

5. Parametry atmosfer wybuchowych i wyładowań elektrostatycznych

Atmosfera wybuchowa: mieszanina substancji palnych w postaci gazów, par, mgieł lub pyłów z powietrzem w warunkach atmosferycznych, w której po zapaleniu spalanie rozprzestrzeni się na całą nie spaloną mieszaninę. Wyróżnia się trzy podstawowe rodzaje atmosfer wybuchowych:

- atmosfera pyłowa: substancją palną jest mieszanina łatwopalnego pyłu lub włókien z powietrzem,
- atmosfera gazowa: substancją palną jest palny gaz, lub pary,
- atmosfera hybrydowa – łączne wystąpienie pyłów i gazów palnych.

Własności wybuchowe atmosfery, istotne w ochronie antyelektrostatycznej, charakteryzuje minimalna energia zapłonu (MEZ, angielski skrót MIE). Parametr ten wyznacza się, jako minimalną energię zgromadzoną na kondensatorze wzorcowym, przy której iskra z elektrod połączonych z kondensatorem, powoduje zapłon atmosfery. Jest to najmniejsza z możliwych energii, odpowiadająca optymalnemu stężeniu paliwa w powietrzu (por. rys. 3). Wybuch jest możliwy tylko dla stężeń zawierających się między Dolną i Górną Granicą Wybuchowości.



Rys. 3. Typowa zależność energii zapłonu od stężenia (objętościowego) paliwa w powietrzu (tu np. dla par cieczy palnej).

Typowe wartości MEZ zawierają się w granicach: od 0,01 mJ do 0,1 mJ dla gazów palnych, 0,1 do kilku mJ dla par cieczy palnych (za wyjątkiem disiarczku węgla, dla którego par MEZ = 0,009 mJ), dla pyłów od kilku do kilkuset mJ (za wyjątkiem pyłów materiałów wybuchowych).

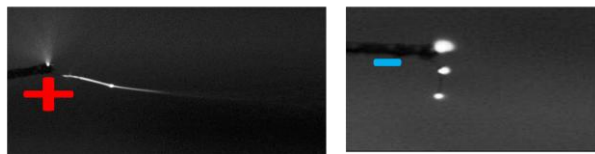
Wartości te mogą być o 1 do 2 rzędów wielkości mniejsze w atmosferze o zwiększonej zawartości tlenu.

Obecnie coraz szerzej stosuje się inny, łatwiej i dokładniej wyznaczalny parametr Minimalny Ładunek Zapalający (ang. MIQ). O ile MEZ dotyczy tylko wyładowań iskrowych między obiektami przewodzącymi, to MIQ pozwala także oceniać wyładowania snopiaste między ona naelektryzowanymi dielektrykami i obiektami przewodzącymi.

6. Rodzaje wyładowań elektrostatycznych i metody zapobiegania

W ochronie przed zagrożeniami elektrostatycznymi wyróżnia się kilka rodzajów wyładowań. Różnią się one zakresem energii, zasięgiem i ilością kanałów plazmowych, źródłem ich powstawania.

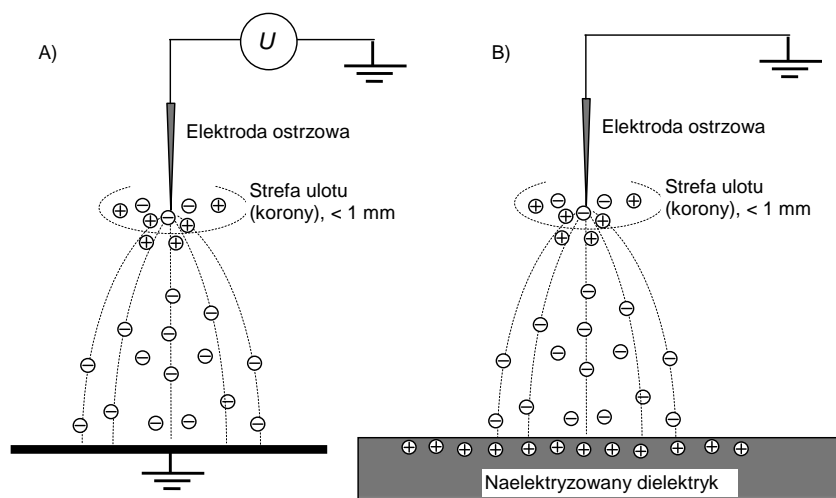
- 1) **Wyładowania ulotowe (zwane popularnie koronowymi)** dodatnie i ujemne są wyładowaniami niezupełnymi (nie odprowadzają całego ładunku) niskoenergetycznymi. Wyładowanie (z powielaniem nośników ładunku – elektronów, jonów) występuje, gdy natężenie pola elektrostatycznego przekracza wartość wytrzymałości dielektrycznej powietrza w ograniczonym obszarze. Tym obszarem jest bliskie sąsiedztwo (zazwyczaj poniżej 1 mm) cienkich przewodów, ostrzy, ostrych krawędzi. Ponieważ natężenie pola szybko maleje z odległością od tych elementów, powielanie ładunku zanika i kanał plazmowy nie rozprzestrzenia się w kierunku drugiej elektrody lub źródła pola.



Rys. 4. Dodatnie i ujemne wyładowanie z elektrody zasilanej ze źródła wysokiego napięcia w sposób ciągły

Jest to wyładowanie niskoenergetyczne, uważane za bezpieczne, choć istnieją podejrzenia, że niektóre jego odmiany mogą zapalać media o MEZ mniejszej od kilkunastu μJ (np. wodór, disiarczki węgla). Wyładowanie to może zapalać atmosfery wybuchowe, w której stężenie tlenu jest większe niż 21%. Ulot pojawia się na elektrodach o potencjale rzędu kilku kV w stosunku do otoczenia. Natężenie prądu jest tu rzędu od nanoamperów do kilkuset mikroamperów. Ulot stosuje się w jonizatorach do neutralizacji ładunku ES. Zazwyczaj nie określa się energii wyładowania ulotowego, a parametrem porównawczym jest zwykle natężenie prądu. Jego źródłem może być zasilacz napięcia stałego (np. neutralizator ładunku ES), jak na rys. 4. A, lub naelektryzowany dielektryk (np. bierny neutralizator ładunku ES), jak na rys. 4. B.

Wyładowania ulotowe są źródłem toksycznego gazu – ozonu, przy czym ulot ujemny (potencjał elektrody ulotowej jest ujemny) generuje ok. 10 razy więcej ozonu niż dodatni.



Rys. 5. Wyładowanie ulotowe (koronowe). A) źródłem pola elektrycznego jest źródło wysokiego napięcia U (tu ujemnego); B) źródłem pola elektrycznego jest ładunek elektryczny na powierzchni naelektryzowanego dielektryka lub odizolowanego naelektryzowanego przewodnika.

- 2) **Wyładowania snopiaste** są także wyładowaniami jednoelektrodowymi, niezupełnymi. Strefa powielania ładunku jest tu szersza niż w przypadku ulotu i może rozciągać się na odległość od kilku do kilkunastu centymetrów. Energia równoważna tych wyładowań nie przekracza 4 mJ. Są w stanie zapalać wszystkie atmosfery gazowe (gazy palne i pary cieczy palnych). Występują głównie między naelektryzowanymi dielektrykami a zbliżanymi do nich obiektami przewodzącymi (np. zbliżanie czepaka metalowego do powierzchni cieczy palnej naelektryzowanej w czasie transportu, nalewania, mieszania, itp.).

Zapalają wszystkie rodzaje gazów palnych i par cieczy palnych. Nie zapalają pyłów palnych, za wyjątkiem pyłów materiałów wybuchowych.



Rys. 6. Wyładowanie snopiaste ze źródła ciągłego

Zapobieganie tym wyładowaniem jest najtrudniejsze, stosuje się wiele różnych metod. Najbardziej oczywistą jest stosowanie materiałów elektrostatycznie przewodzących lub rozpraszających, w taki sposób by miały kontakt z ziemią. Zwiększenie przewodności materiałów i obiektów nieprzewodzących do poziomu własności elektrostatycznie rozpraszających, w połączeniu ze zmniejszeniem ich rezystancji upływu do $1 \text{ M}\Omega$ - $1 \text{ G}\Omega$ (w zależności od energii zapłonu atmosfery i rodzaju strefy zagrożonej wybuchem), osiąga się przez dodawanie do materiałów antystatyków. Jednocześnie należy zapewnić skuteczne odprowadzanie ładunku z materiałów rozpraszających przez zapewnienie ich stałego kontaktu z uziemionymi elementami przewodzącymi.

Jednak wiele powszechnie stosowanych materiałów dielektrycznych stałych i ciekłych ma tak dużą wartość rezystywności, że mimo ich kontaktu z uziemionym przewodnikiem, ładunek pozostaje zgromadzony przez wiele godzin a nawet dni, stwarzając zagrożenie wyładowania snopiastego i zapłonu atmosfery wybuchowej.

Zagrożenie można zmniejszyć przez:

- ograniczenie powierzchni dielektryka, przy czym wielkość dopuszczalnego pola powierzchni zależna jest od MEZ atmosfery wybuchowej;
- zmniejszyć ładunek przez zastosowanie jego neutralizacji, stosując elektryczne jonizatory (oparte na zjawisku ulotu) wysokonapięciowe lub bierne. Ni należy tych urządzeń wprowadzać do strefy zagrożenia wybuchem, zwłaszcza w przypadku atmosfer wybuchowych o $\text{MEZ} < 0,1 \text{ mJ}$. Neutralizatory bierne w postaci cienkich (średnica mniejsza od 1 mm) mogą być użyteczne do

neutralizacji materiałów sypkich, jeśli są umieszczone w pojemniku do którego są nasypywane, lub bezpośrednio przy zsypie;

- w przypadku cieczy, elektryzującej się w czasie transportu rurociągiem stosuje się tzw. relaksatory, czy zbiorniki o odpowiednio dużej pojemności, tak by istotnie zmniejszyć szybkość przepływu i by zapewnić dostatecznie dużą ilość czasu do rozładowania cieczy;

- zmniejszać intensywność elektryzacji zmniejszając szybkość procesów, które do niej prowadzą (por. rozdz. 4);

- w przypadku kontenerów elastycznych (big-bagów), przypadku zagrożenia wybuchowego nie stosować kontenerów klasy A, ale kontenery klas B, C, D (zgodnie z ich przeznaczeniem);

- zagrożenie wybuchowe można ograniczyć do minimum stosując tzw. inertyzację, czy zmniejszenie ilości tlenu w powietrzu, przez zastąpienie go gazem obojętnym zazwyczaj azotem. Przy stężeniu tlenu mniejszym od 4%, wybuch staje się niemożliwy, jeśli nie ma substancji o własnościach utleniających. Inertyzację, z uwagi na bezpieczeństwo pracowników (możliwość uduszenia), należy stosować wyłącznie w instalacjach zamkniętych;

- jedną z istotnych możliwości ograniczenia elektryzacji jest zapewnienie wilgotności powietrza w pomieszczeniach na poziomie nie mniejszym niż 60%. Metoda ta nie może być jedynym środkiem ochrony antystatycznej. Może być przydatna także w pomieszczeniach biurowych i mieszkalnych.

- elektryzację można ograniczyć dobierając kontaktujące się ze sobą materiały, z możliwie bliskiego sąsiedztwa w szeregu tryboelektrycznego:

Szereg dla polimerów:

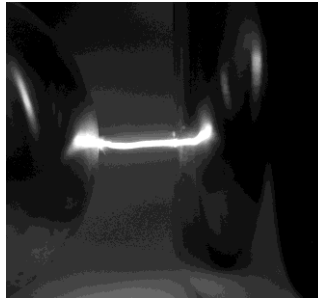
elektryzacja dodatnia/ polioksyetylen – Nylon 6.6 – 2-winylopirydyna/kopolimer styrenu – poli(winylobutyral) – poli(winyloacetal) – poli(met akrylan metylu) – etylen/kopolimer winyloacetalu – poliwęglan – polietylen – polistyren – żywica epoksydowa – polisulfon – poli(4-chloro, 3-metoksystyren) – poli(4-chlorostyren) – polieter chlorowany – polichlorek winylu – polietylen chlorowany – poli(trifluorochloroetylen) – poli(tetrafluoroetylen)
/elektryzacja ujemna.

Szereg dla szerszej grupy materiałów:

elektryzacja dodatnia/ azbest – szkło – mika – włosy ludzkie – nylon – wełna – futro zwierzęce – ołów – jedwab – aluminium – papier – bawełna – stal – drewno – twarda guma – nikiel, miedź – brąz, srebro – złoto, platyna – siarka – acetal – poliester – celulozoid – orlon – saran – poliuretan – polietylen – polipropylen – PCW – krzem – poli(tetrafluoroetylen)
/elektryzacja ujemna.

3) **Wyładowania iskrowe** są wyładowaniami pełnymi, dwuelektrodowymi, wysoko energetycznymi. Występują między obiektami przewodzącymi, którymi może być także ciało człowieka. Energia tych wyładowań może przekraczać 1 J i są w stanie zapalać wszystkie atmosfery palne gazowe i większość pyłowych. Wg dostępnych danych statystycznych i opinii ekspertów są one najpoważniejszym źródłem zapłonu atmosfer wybuchowych powodowanych przez wyładowania elektrostatyczne (ok. 90% zapłonów przez ESD).

Zapobieganie wyładowaniom iskrowym jest najłatwiejsze spośród wszystkich rodzajów wyładowań ES. Ryzyko wyładowania iskrowego jest bardzo małe w przypadku zrównania potencjału elektrostatycznego wszystkich obiektów i materiałów przewodzących znajdujących się w strefie zagrożonej. Uzyskuje się to przez tzw. mostkowanie, czyli elektryczne połączenie wszystkich obiektów przewodzących i ich uziemienie. W przypadku obiektów, urządzeń, instalacji, uziemienie i mostkowanie muszą mieć charakter trwały i w pewnych warunkach podwójny (dla zapewnienia niezawodności). Konieczna jest stała i okresowa kontrola ich niezawodności (zgodnie z PN-E-05204).



Rys. 7. Wyładowanie iskrowe. Kanał plazmowy łączy obydwie obiekty przewodzące, doprowadzając do zrównania ich potencjałów elektrycznych

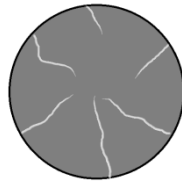
W przypadku obiektów tymczasowo wprowadzanych do stref zagrożonych (w celach operacyjnych, np. kanistry czy bębny z materiałami), mostkowanie i uziemienie może być wykonywane za pomocą odpowiednich zaciskowych złącz i uchwytów z przewodami uziemiającymi, przy czym połączenia takie muszą być niezawodne, trudne do przypadkowego rozłączenia).

W przypadku występowania atmosfer o małych energiach zapłonu, może być konieczne uziemianie nawet bardzo małych przedmiotów przewodzących, z narzędziami ręcznymi włącznie. Limity wielkości nieuziemionych obiektów w zależności od energii zapłonu atmosfery podano w normie PN-E-05204.

Bardzo duże niebezpieczeństwo stanowią przypadkowo umieszczone w zasięgu pola elektrostatycznego nieuziemione przedmioty metalowe, które mogą zostać naelektryzowane przez kontakt lub indukcję, np. przypadkowo umieszczone we wnętrzu wypełnionego lub napełnianego silosu przedmioty metalowe, przy zbliżeniu do ścian silosu lub metalowych elementów konstrukcyjnych mogą spowodować wyładowanie iskrowe i zapłon zawartości silosu.

Źródłem wyładowań iskrowych mogą być także pracownicy, dlatego w strefach zagrożonych muszą nosić antystatyczną odzież i antystatyczne obuwie (w przypadku potrzeby stosowania rękawic, muszą być one także antystatyczne) oraz nie wolno im w tych strefach zmieniać lub zdejmować odzież. Odzież musi być użytkowana zgodnie z instrukcją i być zapięta.

- 4) **Wyładowania stożkowe** (Maurera) występują na powierzchni dielektryków sypkich w silosach i innych dużych zbiornikach, między powierzchnią stożka materiału zsypywanego a ścianami silosu. Ich energia sięga kilkudziesięciu mJ.



Rys. 8. Wyładowania stożkowe na powierzchni pryzmy sypkiego dielektryka w przewodzącym kontenerze

Wg niektórych autorów występują także we wnętrzu pryzmy, choć wtedy trudno je zaobserwować. Zapobieganie im jest możliwe przez wprowadzenie cienkich przewodów ulotowych na wylocie zsyphu.

5) **Wyładowania snopiaste rozprzestrzeniające się**

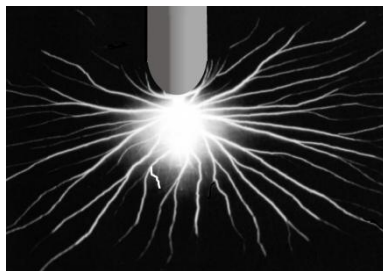
Poza wyładowaniami atmosferycznymi i piorunopodobnymi, są to najsilniejsze wyładowania elektrostatyczne, których energia może dochodzić do kilkunastu dżuli.

Wyładowania te są najniebezpieczniejsze, zapalają większość spotykanych atmosfer wybuchowych. Podstawowym środkiem zapobiegawczym jest niedopuszczenie do wytwarzania się warstwy ładunku o dużej gęstości powierzchniowej ($0,25 \text{ mC/m}^2$ lub większej), na warstwie dielektryka o grubości mniejszej od 10 mm, umieszczonego na podłożu przewodzącym. Zazwyczaj ładunki o takiej ilości powstają na skutek tarcia dużych ilości przemieszczanego nieprzewodzącego materiału sypkiego lub ciekłego (transport pneumatyczny, rurociągi, zsyphy silosów itp.). Najskuteczniejszym środkiem zapobiegawczym jest unikanie pokrywania powierzchni wewnętrznych rurociągów i silosów powłokami nieprzewodzącymi. Jeżeli takie powłoki są niezbędne, muszą być wykonane z materiału o wytrzymałości na przebicie elektryczne mniejszej od 4 kV (przebite powoduje rozładowaniem przed osiągnięciem niebezpiecznej gęstości ładunku powierzchniowego). Niedopuszczalne jest wykonywanie ww. rurociągów z materiałów nieprzewodzących, gdyż zbliżenie z zewnątrz do ich powierzchni obiektów przewodzących może spowodować wyładowania snopiaste na zewnątrz rurociągu albo snopiaste rozprzestrzeniające się w jego wnętrzu.

Miejscem, gdzie tego rodzaju wyładowania występują stosunkowo często są taśmociągi. Naelektryzowanie występuje na skutek ciągłego tarcia taśmy o rolki oraz na skutek ciągłego odrywania się transportowanego materiału od powierzchni taśmy. Wyładowanie następuje w chwili, gdy po stronie przeciwnej do naelektryzowanej taśmy styka się z uziemionymi rolkami metalowymi. Zjawiska tego można uniknąć, stosując taśmy z materiałów antystatycznych. Jest to szczególnie niebezpieczne, gdy w otoczeniu transportera unosi się pył, ale także w obecności atmosfer gazowych i hybrydowych, np. w kopalniach.

Wyładowania tego typu możliwe są także we wnętrzu napełnianych kontenerów elastycznych (tzw. „big bagów”, czyli worów z tworzyw syntetycznych) typu A (czyli bez żadnych elementów konstrukcyjnych zapobiegających wyładowaniom). Materiał tych kontenerów jest dielektrykiem, ale rolę powierzchni przewodzącej może spełnić pochłonięta przez niego woda lub dotknięcie z zewnątrz przedmiotem przewodzącym. W przypadku możliwości wystąpienia

atmosfer wybuchowych na zewnątrz kontenera, a także w jego wnętrzu, np. na skutek pojawienia się par rozpuszczalników, należy stosować kontenery typu B, C, D.



Rys. 9. Wyładowanie snopiate rozprzestrzeniające się

7. Czynniki ludzkie w zagrożeniach elektrostatycznych wybuchowych

Ochrona antystatyczna musi obejmować oprócz środków technicznych i procedur organizacyjnych obecność pracowników i ich zachowania. Szczególną cechą człowieka w środowisku pracy jest jego mobilność powodująca, oprócz możliwości naelektryzowania się, także możliwość przenoszenia ładunku elektrostatycznego, oraz zdolność nieprzewidywalnego zmieniania scenariuszy procesów technologicznych.

W zakładach pracy, w których mogą wystąpić atmosfery wybuchowe, przeszkoleni powinni być wszyscy pracownicy, którzy mogą mieć wpływ świadomie lub nieświadomie na powstawanie zagrożeń elektrostatycznych.

Należy zwrócić uwagę, że wypadki, w tym zapłon atmosfer wybuchowych zazwyczaj występują na skutek zmian w stosunku do sytuacji, w których zapłon nie zdarzał się. Dlatego szczególnej analizy i uwagi wymaga każda zmiana warunków technologicznych (w tym także zmiana materiałów, opakowań, narzędzi, szybkości operacji itp.) oraz zmian personelu, jego obowiązków, wyposażenia i ubrania.

Podstawowymi obowiązkami pracowników są przestrzeganie procedur technologicznych, stosowania wymaganych dla wykonywanych czynności środków ochrony osobistej, w tym antystatycznej odzieży i obuwia ochronnego. Środki te muszą być przez pracownika bezwzględnie stosowane, zgodnie z instrukcją użytkowania. Nie wolno zmieniać, zakładać, zdejmować lub rozpinąć odzieży antystatycznej w obszarze stref zagrożonych wybuchem.

W miarę możliwości rezystancja upływu pracownika, uwzględniające także obuwie, powinna być mierzona przed wejściem do strefy zagrożonej. Pożądane jest sprzężenie miernika ze służą uniemożliwiająca wejście osobie w niewłaściwym obuwiu.

Szkolenie pracowników, niezależnie nauczania ich procedur bezpieczeństwa, powinny być w zakresie elektryczności stycznej ukierunkowane na rozumienie zjawisk i zagrożeń oraz metod zapobiegania im, gdyż żadne szkolenie nie wyczerpie wszystkich możliwych niebezpiecznych sytuacji. Konieczne jest sprawdzanie przyswajania treści szkoleń i przez pracowników, zrozumienia ich i umiejętności praktycznego stosowania.

Konieczny jest nadzór nad stosowaniem procedur ochronnych i środków ochrony indywidualnej i zbiorowej.

Konieczne jest opracowanie terminarza kontroli środków ochrony zbiorowej (np. sprawności mostkowań i uzemień, rezystancji upływu podłogi) i środków ochrony indywidualnej (np. rezystancji obuwia i odzieży antystatycznej) zgodnego z wymaganiami normy PN-E-05204 i ściśle jego przestrzeganie.

8. Cele ochrony antyelektrostatycznej

Głównymi celami ochrony anty(elektro)statycznej są zapobieganie zapłonowi atmosfer wybuchowych i rażeniom elektrostatycznym. Metodą osiągnięcia celu jest zapobieganie powstawaniu wyładowań elektrostatycznych.

W celu zapewnienia skuteczności ochrony antystatycznej, musi być ona wdrażana na wszystkich poziomach planowania, przygotowania i prowadzenia procesów technologicznych, prowadzonych w zakładach pracy, w których mogą wystąpić atmosfery wybuchowe, budową i wyposażeniem pomieszczeń zakładów włącznie.

Zakres ochrony antystatycznej zależy od rodzaju medium palnego/wybuchowych, zwłaszcza od wartości minimalnej energii zapłonu, oraz od rodzaju i zasięgu wyznaczonych stref zagrożonych wybuchem (strefy 0, 1, 2, oraz 20, 21, 22).

Szczegóły zakresu, niezbędnych działań, przedsięwzięć i rozwiązań technicznych, podane są w normie PN-E-05204:1994 *Ochrona przed elektrycznością statyczną – Ochrona obiektów, instalacji i urządzeń – Wymagania*.

Ochrona antyelektrostatyczna ma charakter wielopoziomowy:

1. Zapobieganie lub ograniczanie występowania atmosfer wybuchowych
2. Zapobieganie elektryzowaniu się albo nadmiernemu elektryzowaniu się materiałów, urządzeń i ludzi,
3. Zapobieganie wyładowaniom elektrostatycznym w obszarach zagrożonych wybuchem,
4. Permanentne szkolenie pracowników, tworzenie procedur zabezpieczających przed wybuchem i stałe kontrolowanie ich przestrzegania.

9. Elektryczność statyczna – zasady oceny zagrożenia i metody badań

Ocena zagrożenia inicjacją zapłonu atmosfer wybuchowych przez wyładowania elektrostatyczne polega na wyznaczeniu wartości wielkości kryterialnych w miejscu pracy i porównaniu ich z wartościami krytycznymi tych wielkości. Ponieważ pomiary wielkości związanych ze zjawiskami elektrostatycznymi, w warunkach zakładów pracy zazwyczaj obarczone są dużą niepewnością, przy ocenie zagrożenia stosuje się pewien margines błędu. Wg Polskich Normach jako wartość krytyczną parametru kryterialnego przyjmuje się wartość 10-krotnie mniejszą od wartości teoretycznej.

Wartości wielkości kryterialnych wyznacza się na podstawie pomiarów wielkości fizycznych związanych z poziomem naelektryzowania obiektów oraz z własnościami środowiska i materiałów do rozpraszania ładunku elektrostatycznego i zapobiegania występowania istotnych różnic potencjałów między obiektami przewodzącymi. W Polsce ocenę tę, a także organizację ochrony antyelektrostatycznej można prowadzić w oparciu o normy:

PN-E-05201:1992 Ochrona przed elektrycznością statyczną - Metody oceny zagrożeń wywołanych elektryzacją materiałów dielektrycznych stałych - Metody oceny zagrożenia pożarowego i/lub wybuchowego [norma wycofana]

PN-E-05202:1992 Ochrona przed elektrycznością statyczną - Bezpieczeństwo pożarowe i/lub wybuchowe - Wymagania ogólne [norma wycofana]

PN-E-05203:1992 Ochrona przed elektrycznością statyczną - Materiały i wyroby stosowane w obiektach oraz strefach zagrożonych wybuchem - Metody badania oporu elektrycznego właściwego i oporu upływu [norma wycofana]

PN-E-05204:1994 Ochrona przed elektrycznością statyczną - Ochrona obiektów, instalacji i urządzeń -- Wymagania

Metoda oceny stopnia zagrożenia wg PN-E-05202:1992 [norma wycofana]

Stopień zagrożenia, α :

wskaźnik wyrażający stosunek maksymalnej wartości zmierzonej lub wyznaczonej w danych warunkach N_{\max} do odpowiedniej wartości krytycznej $N_{k \max}$, której przekroczenie jest warunkiem wystąpienia zagrożenia.

Zagrożenie zapłonem jest możliwe, jeśli wskaźnik α przekracza wartość 1, a stan zagrożenia jest bardzo duży, jeśli wskaźnik przekracza wartość 10.

Ocena zagrożenia wywołanego elektryzacją materiałów o płaskiej powierzchni

Tab. 1. Wartości krytyczne N_{kmax} do wyznaczania wskaźnika zagrożenia α , wg PN-92-E-05201 [norma wycofana]

Parametr	Wartość krytyczna	Warunki
Czas relaksacji - τ	$\tau_{kr} \leq 1$ ms	
Ładunek przenoszony przez kanał plazmowy w czasie wyładowania - Q_i	$Q_{i\ kr} \leq 10^{-8}$ MEZ	W obecności mieszanin wybuchowych gazów albo par z powietrzem
	$Q_{i\ kr} \leq 10^{-9}$ MEZ	W obecności mieszanin wybuchowych pyłów z powietrzem
Energia wyładowania W_w	$W_w < 0,1$ MEZ	

Stan zagrożenia występuje, jeżeli względny stopień zagrożenia α jest większy od 1. Stopień zagrożenia ocenia się na podstawie wskaźników:

1. stopnia naelektryzowania $\alpha_1 = \sigma_{max}/\sigma_{kr}$, (Tab. 2) albo $\alpha_1 = V_{pmax}/V_{pkr}$ albo $\alpha_1 = E_{max}/E_{kr}$ Wskaźnik $\alpha > 1$ świadczy o istnieniu stanu zagrożenia, stan zagrożenia jest duży, gdy $\alpha > 10$;
2. czasu relaksacji (Tab. 2) $\alpha_2 = \tau_{max}/\tau_{kr}$. $\alpha > 1$ świadczy o możliwości wyładowań, zatem istnieje stan zagrożenia, stan zagrożenia jest duży, gdy $\alpha > 10$;
3. energii wyładowań z powierzchni badanego materiału lub ładunku przemieszczanego w impulsie wyładowania. Tutaj $\alpha_3 = W_{wmax}/0,1 W_{z\ min}$. Wskaźnik $\alpha > 1$ świadczy o istnieniu stanu zagrożenia, stan zagrożenia jest duży, gdy $\alpha > 10$. Przy braku informacji o W_w , można zastosować wskaźnik $\alpha_4 = Q_{i\ max}/Q_{i\ kr}$.
4. energii wyładowań elektrostatycznych W_w

Wartości maksymalne parametrów muszą być zmierzone lub wyznaczone. Stan zagrożenia nie występuje, gdy spełnione są warunki podane w Tab. 1 – 3.

Tab. 2. Wartości krytyczne parametrów opisujących stopień naelektryzowania obiektów płaskich w obecności mediów palnych, wg PN-92-E-05201 [norma wycofana]

Minimalna energia zapłonu, MEZ	Powierzchniowa gęstość ładunku σ_{kr}	Potencjał powierzchni naładowanej, $V_{p\ kr}$ przy podanej MEZ	Wartość ładunku przemieszczanego w czasie wyładowania $Q_{i\ kr}$, dla palnych mieszanin z powietrzem	Natężenie pola elektrycznego, E_{kr} przy podanej $W_{z\ min}$
MEZ $\leq 0,1$ mJ	$\leq 2,7$ $\mu\text{C}/\text{m}^2$	$\leq 1\ 000$		$\leq 100\ 000$
$0,1$ mJ \leq MEZ $\leq 0,5$ J		$\leq 3\ 000$		$\leq 150\ 000$
$0,5$ J $<$ MEZ		Bez ograniczeń		Bez ograniczeń

Tab. 3. Wartości krytyczne we wskaźnikach zagrożenia α , wg PN-92-E-05201 [norma wycofana]

Parametr	Wartość krytyczna	Warunki
τ	$\tau_{kr} \leq 1 \text{ ms}$	
Q_i	$Q_{i\ kr} \leq 10^{-8} \text{ MEZ}$	W obecności mieszanin wybuchowych gazów albo par z powietrzem
	$Q_{i\ kr} \leq 10^{-9} \text{ MEZ}$	W obecności mieszanin wybuchowych pyłów z powietrzem
W_w	$W_w < 0,1 \text{ MEZ}$	

Ocena zagrożenia wywołanego elektryzacją materiałów sypkich

Kryteria oceny

1. Zagrożenie nie występuje, gdy stosuje się materiał o $\rho_v \leq 10^4 \ \Omega \text{ m}$, znajdujący się w kontakcie z uziemionymi metalowymi elementami urządzeń
2. Zagrożenie jest zależne od stopnia naelektryzowania materiału i jest oceniane wg kryteriów w tab. 4

Tab. 4. Ocena zagrożenia na podstawie stopnia naelektryzowania, wg PN-92-E-05201

Względny stopień naelektryzowania materiału $q_m = Q/m$	Poziom zagrożenia
$q_m < 0,1 \ \mu\text{C/kg}$	Mały
$0,1 \ \mu\text{C/kg} \leq q_m < 1,0 \ \mu\text{C/kg}$	Średni
$1,0 \ \mu\text{C/kg} \leq q_m < 5,0 \ \mu\text{C/kg}$	Duży
$5,0 \ \mu\text{C/kg} \leq q_m$	Bardzo duży

Dopuszczalny potencjał ES odizolowanego od ziemi obiektu przewodzącego (np. zbiorniku napełnionym materiałem sypkim naelektryzowanym) o pojemności C nie powinien przekraczać wartości:

$$U_{kr} = \sqrt{\frac{\text{MEZ}}{5C}}$$

Metoda oceny stopnia zagrożenia - porównanie wartości zmierzonych, wyznaczonych lub pobranych z danych źródłowych [τ (lub ρ), q , Q , E , U (przy danym C) i W] z ww. wartościami krytycznymi. Stan zagrożenia pojawia się, gdy $\alpha > 1$ i rośnie ze wzrostem α . Stopień zagrożenia określa jako stosunkowo duży, gdy $\alpha > 10$. Zagrożenie nie występuje, gdy $\alpha < 1$ dla τ (lub ρ_v) i co najmniej 1 z pozostałych parametrów, w odniesieniu do materiału sypkiego i do stykającego się z nim tworzywa urządzenia technologicznego.

Ocena zagrożenia wywołanego elektryzacją aerozoli

Zagrożenie wynika z możliwości powstania wyładowań między chmurą aerozolu naelektryzowanego podczas transportu pneumatycznego, a przewodzącymi ścianami lub elementami przewodu przesyłowego lub zbiornika. Podstawą kryteriów jest ograniczenie σ_{\max} do $26,6 \ \mu\text{C/m}^2$ i

odpowiadające jej maksymalne natężenia pola $E_{\max} = 3 \text{ MV/m}$, po przekroczeniu których powstają wyładowania iskrowe w powietrzu. Stosując współczynnik bezpieczeństwa równy 10 (dzieląc te wartości przez 10), opracowano:

Kryteria oceny zagrożenia w przewodach transportujących

Zagrożenie nie powstaje, jeżeli spełnione są warunki:

$$\frac{1}{D_p} \cdot \frac{Q(t)}{v_0 t} \leq 8,4 \mu\text{C/m}^2 \quad \text{lub} \quad \frac{1}{D_p} \cdot \frac{Q(t)}{v_0 t} = D_p \rho_d(t) = D_p \rho_s C_v(t) \leq 10,6 \mu\text{C/m}^2$$

gdzie: D_p – średnica przewodu, m; $Q(t)$ – ładunek ES, C, cząstek materiału przemieszczanego w czasie t , s; v_0 – średnia prędkość liniowa nośnika, m/s; ρ_s – gęstość statyczna ładunku, C/m^3 , równa $\rho_s = Q(t)/V(t)$; ρ_d – gęstość dynamiczna ładunku, C/m^3 , równa $\rho_d = Q(t)/(V(t) + V_0(t))$; $C_v(t)$ – stężenie objętościowe cząstek stałych w przepływie dwufazowym,

$$C_v(t) = V(t)/(V(t) + V_0(t))$$

gdzie: $V(t)$ - całkowita objętość cząstek, m^3 ; $V_0(t)$ – objętość fazy nośnej (powietrza) odpowiadającej $V(t)$.

Kryteria oceny zagrożenia w zbiornikach, silosach itp.

Zagrożenie nie występuje, gdy spełnione są poniższe warunki:

$$\frac{1}{D_p} \cdot \frac{Q(t)}{v_0 t} \leq 12,5 \mu\text{C/m}^2 \quad \text{lub} \quad D_p = \frac{Q(t)}{v_0 t} = D_p \rho_d(t) = D_p \rho_s C_v(t) \leq 15,9 \mu\text{C/m}^2$$

Metoda oceny zagrożenia - zagrożenie ocenia się stosując wsp. α , którego mianownik stanowią wartości krytyczne a licznik wartości obliczone na podstawie pomiarów.

10. System prawnej ochrony przed wyładowaniami elektrostatycznymi

Ochrona przed zagrożeniami elektrostatycznymi (ES) obecnie obejmuje tylko zapobieganie inicjowaniu zapłonu atmosfer wybuchowych przez wyładowania elektrostatyczne.

Na terenie Unii Europejskiej i Polskiej Rzeczypospolitej ochrona przed zapłonem atmosfer wybuchowych (EX) w miejscu pracy, przez wyładowania elektrostatyczne (ESD), jest obligatoryjna.

W Unii Europejskiej obowiązuje obecnie pięć dyrektyw, z których wynika obowiązkowa ochrona przed elektrycznością statyczną w obszarze atmosfer wybuchowych:

Dyrektywa ATEX USERS

DYREKTYWA 1999/92/WE PARLAMENTU EUROPEJSKIEGO I RADY z dnia 16 grudnia 1999 r.

w sprawie minimalnych wymagań dotyczących bezpieczeństwa i ochrony zdrowia pracowników zatrudnionych na stanowiskach pracy, na których może wystąpić atmosfera wybuchowa (piętnasta dyrektywa szczegółowa w rozumieniu art. 16 ust. 1 dyrektywy 89/391/EWG)

DZIENNIK URZĘDOWY WSPÓLNOT EUROPEJSKICH, 28.1.2000, L 23/57

Dyrektywa ta ustala minimalne wymagania dla bezpieczeństwa i ochrony zdrowia pracowników potencjalnie zagrożonych z powodu wystąpienia atmosfery wybuchowej, a szczególnie obowiązki pracodawców.

„W trakcie wykonywania obowiązków ustanowionych w art. 6 ust. 3 i art. 9 ust. 1 dyrektywy 89/391/EWG **pracodawca ocenia konkretne zagrożenie wynikające z przebywania w przestrzeni zagrożonej wybuchem, biorąc pod uwagę, co najmniej:**

- prawdopodobieństwo powstania atmosfer zagrożonych wybuchem i ich trwałość,
- prawdopodobieństwo zaistnienia źródeł zapłonu, włączając wyładowania elektrostatyczne, które będą obecne i staną się aktywne oraz skuteczne,
- instalacje, użyte substancje, zachodzące procesy i ich ewentualne wzajemne oddziaływanie,
- rozmiar przewidywanych skutków

Ryzyko wybuchu jest oceniane całościowo.” (art. 4)

„Mając na uwadze zapobieganie wybuchom, w rozumieniu art. 6 ust. 2 dyrektywy 89/391/EWG, a także zabezpieczenie przeciwwybuchowe, pracodawca podejmuje techniczne i/lub organizacyjne środki odpowiadające naturze określonego działania, zgodnie z zasadą pierwszeństwa i zgodnie z następującymi podstawowymi zasadami:

- zapobiegania tworzeniu się atmosfery wybuchowej a tam, gdzie natura określonych działań na to nie pozwala,
- unikania zapalenia atmosfer zagrożonych wybuchem, i
- ograniczenia szkodliwego efektu wybuchu, w celu zapewnienia ochrony zdrowia i bezpieczeństwa pracowników.”

„Środki te zostaną, w miarę potrzeby połączone i/lub uzupełnione środkami przeciwdziałającymi rozprzestrzenianiu się wybuchom i będą podlegać przeglądowi regularnie lub gdy nastąpią znaczące zmiany.” (art. 3)

2.3. Zgodnie z art. 3, zapobieganie niebezpieczeństwu zapłonu musi także uwzględniać wyładowania elektrostatyczne, tam gdzie pracownicy lub środowisko miejsca pracy może działać jako nośniki lub źródło napięcia.

„Pracownicy muszą być zaopatrzeni w odpowiednie ubiory zawierające materiały, które nie tworzą wyładowań elektrostatycznych mogących powodować powstawanie środowisk wybuchowych. (Załącznik 2.3) ”

Postanowienia Dyrektywy 1999/92/WE zostały wprowadzone do prawa polskiego

Rozporządzeniem Ministra Gospodarki z dnia 8 lipca 2010 r. w sprawie minimalnych wymagań, dotyczących bezpieczeństwa i higieny pracy, związanych z możliwością wystąpienia w miejscu pracy atmosfery wybuchowej. (Dz. U. z dnia 30 lipca 2010 r.)

Rozporządzenie m.in. stanowi co następuje:

„§ 4. 4. Pracodawca dokonuje kompleksowej oceny ryzyka związanego z możliwością wystąpienia w miejscach pracy atmosfery wybuchowej, zwanej dalej „oceną ryzyka”, biorąc pod uwagę co najmniej:

- 1) prawdopodobieństwo i czas występowania atmosfery wybuchowej;
- 2) prawdopodobieństwa wystąpienia oraz uaktywniania się źródeł zapłonu, w tym wyładowań elektrostatycznych;”

„§ 5.1. Pracodawca dzieli przestrzeń zagrożone wybuchem na strefy, klasyfikując je na podstawie prawdopodobieństwa i czasu występowania atmosfery wybuchowej (dla gazów, par i mgieł strefy 0, 1, 2; dla pyłów strefy 20, 21,22)

§ 10. 1 Zapobieganie zagrożenia zapłonem ... powinno także uwzględniać ładunki elektrostatyczne przenoszone lub wytwarzane przez osoby pracujące lub środowisko pracy. Tam, gdzie atmosfera wybuchowa może pojawiać się w ilościach zagrażających bezpieczeństwu i zdrowiu ..., pracodawca zapewnia osobom pracującym odpowiednie ubiory, które nie będą przyczyniać się do powstawania wyładowań elektrostatycznych mogących wywołać zapłon atmosfery wybuchowej

Dyrektywa ATEX

Dyrektywa 2014/34/UE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 26 lutego 2014 r. w sprawie harmonizacji ustawodawstw państw członkowskich odnoszących się do urządzeń i systemów ochronnych przeznaczonych do użytku w w atmosferze potencjalnie wybuchowej

Dyrektywa ta zastąpiła obowiązującą wcześniej dyrektywę ATEX 100a (94/9/WE) przede wszystkim uzupełniając ją o wymagania tzw. Nowych Ram Prawnych.

Postanowienia dyrektywy ATEX zostały wprowadzone do prawa polskiego rozporządzeniem 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. 2016 poz. 817)

W załączniku nr 2 do rozporządzenia, pkt. 1.3. Potencjalne źródła zapłonu podano:

„1.3.2. Zagrożenia od elektryczności statycznej

Za pomocą odpowiednich środków należy zapobiegać powstawaniu ładunków elektrostatycznych zdolnych do wywołania ni bezpiecznych wyładowań.”

Dyrektywa Maszynowa

DYREKTYWA 2006/42/WE PARLAMENTU EUROPEJSKIEGO I RADY z dnia 17 maja 2006 r. w sprawie maszyn, zmieniająca dyrektywę 95/16/WE (przekształcenie)

(Tekst mający znaczenie dla EOG)

EHSR 1.5.2. Elektryczność Statyczna

Maszyny muszą być zaprojektowane i wykonane tak, aby zapobiegać lub ograniczać gromadzenie się potencjalnie niebezpiecznych ładunków elektrostatycznych lub wyposażone w układ do ich rozładowywania.

EHSR 1.5.7. Wybuch

„Maszyny muszą być skonstruowane i wykonane z myślą o zapobieganiu wszelkim zagrożeniom wybuchem powodowanym przez samą maszynę, bądź przez gazy, ciecze, pyły, opary, lub inne substancje wytwarzane lub wykorzystywane przez urządzenie. W tym celu producent ma obowiązek podjąć kroki dla:

- uniknięcia niebezpiecznych stężeń produktów,
- zapobiegnięcia zapłonowi potencjalnej mieszaniny wybuchowej,
- ograniczenia wszelkich wybuchów, jakie mogą mieć miejsce tak, aby nie zagrażały one otoczeniu.

Te same środki zapobiegawcze należy zastosować w przypadku, jeżeli producent przewiduje wykorzystanie maszyn w środowisku zagrożonym wybuchem. Wyposażenie elektryczne będące częścią maszyny musi być zgodne, w zakresie zapobiegania zagrożeniu wybuchem, z postanowieniami obowiązujących dyrektyw szczegółowych.”

Postanowienia Dyrektywy Maszynowej zostały wprowadzone do prawa polskiego Rozporządzeniem Ministra Gospodarki z dnia 21 października 2008 r. w sprawie zasadniczych wymagań dla maszyn (Dz. U. . z dnia 7 listopada 2008 r.Nr 199, poz. 1228), wprowadzającego do prawa krajowego przepisy Dyrektywy Maszynowej 2006/42/WE.

Załącznik nr 1

ORIENTACYJNY WYKAZ ELEMENTÓW BEZPIECZEŃSTWA

11. Układy do rozładowywania ładunków elektrostatycznych zapobiegające gromadzeniu się potencjalnie niebezpiecznych ładunków elektrostatycznych.

Dyrektywa 89/686/EWG w sprawie zbliżenia ustawodawstw Państw Członkowskich odnoszących się do wyposażenia ochrony osobistej, przyjęta 21 grudnia 1992 r.,

Dyrektywa specyfikuje procedury do oceny zgodności i wymagania dotyczące bezpieczeństwa i ochrony zdrowia w zastosowaniu do wszystkich ochron osobistych:

„ŚOI przewidziane do użytku w atmosferze zagrożonej wybuchem powinny być tak zaprojektowane i wykonane, aby nie mogły być źródłem iskry lub łuku elektrycznego spowodowanych elektrycznością statyczną lub uderzeniem i mogących spowodować zapłon mieszanki wybuchowej.”

To oznacza, że ŚOI (środki ochrony osobistej) przeznaczone do użycia w środowisku wybuchowym:

- muszą posiadać własności antystatyczne, które pozostają skuteczne w całym okresie ich stosowania, pod warunkiem ich właściwego użytkowania, zgodnego z zaleceniami producenta;
- muszą być wykonane z materiałów o których wiadomo, że nie powodują powstawania iskiei (np. na skutek uderzenia, tarcia, rażenia lub wstrząsu);
- nie mogą zawierać niechronionych części składników elektrycznych, które nie spełniają wymagań dyrektywy 94/9/EC.

Postanowienia Dyrektywy 89/686/EWG zostały wprowadzone do prawa polskiego Rozporządzeniem Ministra Gospodarki, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 31 marca 2003 r. w sprawie zasadniczych wymagań dla środków ochrony indywidualnej (Dz.U. Nr 80, poz. 725). Rozporządzenie to zostało zastąpione od dnia 1 stycznia 2006 r. Rozporządzeniem Ministra Gospodarki z dnia 21 grudnia 2005 r. (Dz. U. Nr 259, poz. 2173).

Dyrektywa 89/655/EWG

Dyrektywa 89/655/EWG dotycząca minimalnych wymagań w dziedzinie bezpieczeństwa i higieny użytkowania sprzętu roboczego przez pracowników podczas pracy, przyjęta 30 listopada 1989 r., mająca zastosowanie do wyposażenia roboczego stosowanego na stanowiskach pracy, stanowi ogólne minimalne wymagania odnoszące się do ryzyka wybuchu.

„2.18. Sprzęt roboczy musi odpowiednio ochraniać pracowników przed ryzykiem wybuchu urządzenia lub substancji produkowanej, używanej, czy zmagazynowanej w wyposażeniu.”

Dyrektywa została wprowadzona do prawa polskiego Rozporządzeniem Ministra Gospodarki z dnia 30 października 2002 r. w sprawie minimalnych wymagań dotyczących bezpieczeństwa i higieny pracy w zakresie użytkowania maszyn przez pracowników podczas pracy (Dz.U. Nr 191 poz. 1596), zmienione rozporządzeniem z dnia 30 września 2003 r. (Dz. U. Nr 178, poz. 1745)

§ 19. Maszyny odpowiednio zabezpiecza się w celu ochrony pracowników przed:

- 1) ryzykiem pożaru, przegrzania lub uwolnienia się gazu, pyłu, płynu oraz innych substancji wytwarzanych, używanych lub zmagazynowanych w maszynach;

2) ryzykiem wybuchu urządzenia lub substancji wytwarzanych, używanych albo zmagazynowanych w maszynach;

3) zagrożeniami wynikającymi z bezpośredniego lub pośredniego kontaktu z energią elektryczną.

Rozporządzenie MSWiA z 7.06.2010 w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków, innych obiektów budowlanych i terenów. Dz.U. 109/2010/poz. 719:

Rozdział 3 Materiały niebezpieczne pożarowo

§ 7. 1. Przy używaniu lub przechowywaniu materiałów niebezpiecznych należy:

5) przechowywać ciecze o temperaturze zapłonu poniżej 328,15 K (55 °C) wyłącznie w pojemnikach, urządzeniach i instalacjach przystosowanych do tego celu, **wykonanych z materiałów co najmniej trudno zapalnych, odprowadzających ładunki elektryczności statycznej**, wyposażonych w szczelne zamknięcia i zabezpieczonych przed stłuczeniem.

Rozdział 7 Instalacje i urządzenia techniczne

§ 35. 1. Instalacje i urządzenia techniczne oraz technologiczne, w których podczas eksploatacji **mogą wytwarzać się ładunki elektryczności statycznej o potencjale wystarczającym do zapalenia występujących materiałów palnych**, wyposaża się w odpowiednie środki ochrony, zgodnie z Polskimi Normami dotyczącymi ochrony przed elektrycznością statyczną.

Wymienione Dyrektywy i Rozporządzenia mają ogólnikowy charakter i nie pokazują w jaki sposób powinna być wykonywana ocena ryzyka oraz jakie środki techniczne i organizacyjne powinny być stosowane w prewencji inicjacji wybuchów i pożarów przez wyładowania elektrostatyczne.

Informacje i instrukcje niezbędne dla przeprowadzenia tych działań zawarte są w serii norm, opracowanych przez Instytut Przemysłu Organicznego:

1. PN-92/E-05200 *Ochrona przed elektrycznością statyczną – Terminologia*
2. PN-92/E-05201 *Ochrona przed elektrycznością statyczną – Metody oceny zagrożeń wywołanych elektryzacją materiałów dielektrycznych stałych – Metody oceny zagrożenia pożarowego i/lub wybuchowego*
3. PN-92/E-05202 *Ochrona przed elektrycznością statyczną – Bezpieczeństwo pożarowe i/lub wybuchowe – Wymagania ogólne*
4. PN-92/E-05203 *Ochrona przed elektrycznością statyczną – Materiały i wyroby stosowane w obiektach oraz strefach zagrożonych wybuchem – Metody badania oporu elektrycznego właściwego i oporu upływu*
5. PN-E-05204:1994 *Ochrona przed elektrycznością statyczną – Ochrona obiektów, instalacji i urządzeń – Wymagania*
6. PN-E-05205:1997 *Ochrona przed elektrycznością statyczną – Ochrona przed elektrycznością statyczną w produkcji i stosowaniu materiałów wybuchowych*

7. PN-EN 1149-1:2008 *Odzież ochronna -- Właściwości elektrostatyczne -- Część 1: Metoda badania rezystywności powierzchniowej*
8. PN-EN 1149-2:1999 *Odzież ochronna – Właściwości elektrostatyczne – Metoda badania rezystancji skróśnej*
9. PN-IEC 61340-4-1:2006 *Elektryczność statyczna -- Część 4-1: Znormalizowane metody badań do określonych zastosowań -- Rezystancja elektryczna wykładzin podłogowych i gotowych podłóg*
10. PN-EN 61340-5-1:2017-01 *Elektryczność statyczna – Część 5-1: Ochrona przyrządów elektronicznych przed elektrycznością statyczną -- Wymagania ogólne*
11. PN-EN 61340-4-3:2003 *Elektryczność statyczna – Część 4-3: Znormalizowane metody badań do określonych zastosowań – Obuwie*
12. PN-EN 1127-1:2011 *Atmosfery wybuchowe – Zapobieganie wybuchowi i ochrona przed wybuchem – Część 1: Pojęcia podstawowe i metodyka. (wprowadza normę europejską EN-1127 – 1:2007)*
13. PN-EN 1381:2004 *Przestrzenie zagrożone wybuchem – Zapobieganie wybuchowi i ochrona przed wybuchem – Oznaczenia minimalnej energii zapłonu mieszanin pyłowo-powietrznych (wprowadza normę europejską EN 13821:2002)*

Normy te nie mają obecnie statusu obowiązkowego stosowania, jednak są jednymi z najlepszych praktycznych narzędzi ochrony antyelektrostatycznej. Szczególnie norma PN-E-05204:1994 jest praktycznym kompendium wiedzy na temat warunków, kryteriów stosowania i praktycznej organizacji ochrony antystatycznej w zakładach przemysłowych w których mogą występować atmosfery wybuchowe.

11. Rażenia elektrostatyczne

Rażenia (pojęcie stosowane w ochronie antystatycznej) są odczuwalnymi przez człowieka skutkami wyładowania elektrostatycznego bezpośrednio przez ciało. W zależności od wartości ładunku przeniesionego w czasie wyładowania, mogą być tylko ledwie odczuwalne, wyraźnie odczuwalne, przykre, bolesne, powodujące skurcze mięśni aż po utratę świadomości, zaburzenie lub zatrzymanie akcji serca.

W praktyce (w środowisku pracy i życia) większość przypadków rażeń dotyczy wyładowań z naelektryzowanego ciała człowieka przy kontakcie z obiektem przewodzącym (w tym także z innym człowiekiem). Obiekt przewodzący może być uziemiony lub nie, jednak rażenie jest silniejsze przy kontakcie z obiektem uziemionym. Ponieważ maksymalny potencjał elektrostatyczny naelektryzowanego ciała człowieka zazwyczaj nie przekracza 20 kV (przy wyższych potencjałach następuje niskoenergetyczne wyładowanie ulotowe, ograniczające ładunek), to nie jest możliwy efekt patofizjologiczny. Możliwe jest natomiast odczucie silnego, przykrego ukłucia i gwałtowny odruch uniku.

W przypadku kontaktu z dużymi obiektami naelektryzowanymi, których pojemność elektryczna jest większa od pojemności ciała człowieka, możliwy jest w skrajnych przypadkach skurcz mięśni, zaburzenie rytmu serca lub jego zatrzymanie, jednak takie sytuacje są bardzo rzadkie.

Najbardziej niebezpiecznym efektem rażenia jest gwałtowny, odruchowy unik, mogący doprowadzić do upadku, uderzenia itp., a w rezultacie do zranień, poważnych obrażeń i uszkodzeń ciała, a w bardzo rzadkich przypadkach do śmierci. Niestety statystyka takich wypadków nie jest znana.

Wyniki badań percepcji rażeń elektrostatycznych prowadzone przez *Guderską* pokazano w tab. 5.

Z kolei amerykański ekspert w dziedzinie ochrony przeciwwybuchowej, *Britton* podaje typowe progi odczuć i reakcji rażenia gołej dłoni, w zależności od energii wyładowania elektrostatycznego powodującego rażenie, jak niżej:

- 0,5 – 2 mJ – próg odczuwania,
- 1 – 10 mJ – różne poziomy uciążliwości,
- 15 – 25 mJ – rażenie przykre,
- 250 mJ – poważne rażenie,
- 1 – 10 J – możliwa utrata przytomności,
- powyżej 10 J – możliwe zatrzymanie akcji serca.

W występowaniu ładunków elektrostatycznych, nierozzerwalnie towarzyszy występowanie pola elektrostatycznego. Jego natężenie w powietrzu nie może być większe od 3 ok. MV/m (30 kV/cm), gdyż po przekroczeniu tej wartości rozpoczyna się samoistne wyładowanie elektrostatyczne, prowadzące do zaniku ładunku i pola elektrostatycznego. Ekspozycja ciała człowieka na pole elektrostatyczne o wartości natężenia mniejszej od 3 MV/m, nie powoduje żadnych skutków zdrowotnych, gdyż pole elektrostatyczne, jak również pole elektryczne wolnozmiennne, nie wnika do wnętrza ciała (tłumienie większe od 10^{12} razy, czyli od 240 dB). Przewodność ciała ludzkiego, w tym także skóry i naskórka jest wystarczająco duża, aby doszło do ekranowania wnętrza ciała, przez ładunek indukowany na jego powierzchni.

Tab. 5. Rodzaje rażeń elektrostatycznych i reakcje ludzi naelektryzowanych, dotykających palcem uziemionej elektrody, wg badań Guderskiej

Wartość potencjału przed rażeniem, kV	Reakcja lub odczucie osoby badanej	Energia zgromadzona w pojemności elektrycznej osoby badanej, mJ
wartości progowe kobiety: 2,3 mężczyźni: 2,4	delikatne dotknięcie lub ukłucie	kobiety: 0,05 – 0,6 mężczyźni: 0,05 – 0,8
5	ukłucie lub dotknięcie w opuszek, impuls wzdłuż palca	0,8 – 1,2
8	mocniejsze ukłucie i uderzenie w opuszek, impuls wzdłuż palca, lekki skurcz w palcu	2,0 – 2,3
12	mocne ukłucie lub uderzenie w opuszek, impuls wzdłuż palca (czasem aż do łokcia), skurcz lub szarpnięcie w palcu, odruch cofnięcia ręki	4,5 – 6,8
18	drgnięcie ciała, j.w.	10,2 – 15,2
25	impuls wzdłuż palca, czasem do łokcia, mocne uderzenie lub ukłucie w opuszek, drgnięcie ciała, odruch cofnięcia ręki	19,7 – 29
30	impuls wzdłuż palca i śródreżcza aż do łokcia, uderzenie lub ukłucie w opuszek, skurcz lub szarpnięcie w palcu lub dłoni, gwałtowne cofnięcie ręki, drgnięcie ciała	28 – 42
40	impuls wzdłuż palca, śródreżcza – czasem do barku, ból – głównie w palcu wskazującym, gwałtowne cofnięcie ręki, uderzenie w palec, skurcz lub szarpnięcie w palcu lub w dłoni, obawa przed dotknięciem elektrody	50 – 75
48	impuls wzdłuż palca, śródreżcza – czasem do barku, ból – głównie w palcu wskazującym, gwałtowne cofnięcie ręki, uderzenie w palec, skurcz lub szarpnięcie w palcu lub w dłoni, wyraźna obawa przed dotknięciem elektrody, odczuwane ruchy włosów na głowie	75 – 108

Pośrednim skutkiem ekspozycji na pole elektrostatyczne może być rażenie, jeśli osoba znajdująca się w odpowiednio silnym polu dotknie obiektu przewodzącego. Dochodzi wtedy do elektryzacji przez indukcję. Przy natężeniu pola nie przekraczającym 10 kV/m, odczuwalne rażenia nie są możliwe.

PYTANIA SPRAWDZAJĄCE

1. Dlaczego elektryczność statyczna jest czynnikiem środowiska pracy, który musi być pod kontrolą? Jakie zagrożenia powoduje występowanie skumulowanego ładunku elektrostatycznego?
2. Jakie zjawisko związane z elektrycznością statyczną może powodować wypadki?
3. Które wyładowania elektrostatyczne stwarzają zagrożenie wybuchowe?
4. Jakie zagrożenia stwarzają poszczególne typy wyładowań elektrostatycznych?
5. W jaki sposób można zapobiec wyładowaniom iskrowym?
6. W jaki sposób można zapobiec wyładowaniom snopiastym oraz stożkowym?
7. W jaki sposób można zapobiec wyładowaniom snopiastym oraz snopiastym rozprzestrzeniającym się?
8. Jaki system oceny zagrożenia zapłonem atmosfer wybuchowych przez wyładowania elektrostatyczne wprowadzono w normach polskich? Wymień stosowane w tej ocenie wielkości kryterialne.