

Zygmunt J. Grabarczyk
Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy
Laboratorium Elektryczności Statycznej

Zagrożenia elektrostatyczne w strefach zagrożenia wybuchem: przyczyny powstawania i zasady zapobiegania

Streszczenie

W artykule przedstawiono przegląd zagrożeń powodowanych w środowisku pracy przez wyładowania elektrostatyczne (ES), ze szczególnym zwróceniem uwagi na ryzyko zapłonu atmosfer wybuchowych. Przedstawiono skalę wybuchów inicjowanych w przemyśle przez wyładowania ES. Omówiono podstawowe rodzaje spotykanych wyładowań ES, ich zdolności zapłonowe i warunki, w których mogą się ujawniać. Przedstawiono podstawowe mechanizmy powstawania, kumulacji i rozpraszania ładunków ES oraz metody techniczne i organizacyjne zapobiegania zapłonowi atmosfer palnych przez wyładowania ES. Przedstawiono podstawowe normy i przepisy obowiązujące w Polsce w zakresie przeciwybuchowej ochrony antystatycznej.

Słowa kluczowe: *atmosfera wybuchowa, elektryczność statyczna, energia zapłonu, rażenie elektrostatyczne, wyładowanie elektrostatyczne.*

Abstract

The paper reviews hazards caused by electrostatic discharges (ESD) in the working environment with special attention paid to the risk of explosive atmospheres being ignited. The scale of that risk in the industry is shown. The kinds of ESDs, their incendiary qualities and the circumstances at which they can manifest themselves are discussed. The paper shows the most important and dangerous mechanisms of electrostatic charge separation, accumulation and dissipation, and the technical and organizational methods of preventing the ignition of explosive atmospheres by ESDs. The article also lists basic Polish technical standards and state regulations on preventing the risk of ignition of explosive atmospheres by ESDs.

Keywords: *explosive atmosphere, ignition energy, electrostatic shock, electrostatic discharge, static electricity.*

1. Wprowadzenie

„Elektrostatyka”, jako dział fizyki jest nauką o ładunkach elektrycznych pozostających w spoczynku lub poruszających się na tyle wolno, że można zaniedbać efekty magnetyczne. W technice przez elektryczność statyczną (ES) rozumie się nie zrównoważony ładunek elektryczny, zgromadzony na powierzchni dielektryka stałego (lub w objętości masy dielektryka sypkiego) lub na powierzchni i w objętości dielektryka ciekłego, lub na powierzchni odizolowanego od ziemi obiektu przewodzącego. Rozumiana jest także, jako zespół zjawisk powstawania, gromadzenia i zaniku nie zrównoważonego ładunku elektrycznego, przy czym szybkości tych zjawisk są niekiedy tak znaczne, że wytwarzane przez nie pole elektromagnetyczne obejmuje pasmo częstotliwościowe do kilku GHz. Zagrożenie elektrostatyczne jest potencjalnym, niebezpiecznym lub szkodliwym skutkiem zjawisk elektrostatycznych, zwłaszcza wyładowań elektrostatycznych. Można wyróżnić trzy typy zagrożeń stwarzanych przez wyładowania ES:

- zapłon atmosfer wybuchowych i materiałów wybuchowych,
- rażenie ciała człowieka,
- uszkodzenie aparatury i elementów elektronicznych (np. elektronicznej aparatury diagnostycznej i podtrzymującej życie, aparatury kontrolnej mającej wpływ na bezpieczeństwo procesu itp.).

Najgroźniejszym rodzajem zagrożenia ES jest możliwość inicjacji zapłonu atmosfer wybuchowych. Energia wyładowań ES spotykanych w praktyce wynosi od kilku mikrodżuli (μJ) do kilkudziesięciu milidżuli (mJ), a w sporadycznych przypadkach nawet do kilku dżuli (J), i niekiedy może przekraczać wartość energii zapłonu atmosfery wybuchowej, tworząc poważne zagrożenie wybuchem lub pożarem.

Tab. 1. Procentowy udział wyładowań elektrostatycznych w zapłonie pyłów [3, tab. 9.]

Przyczyna wybuchu	Udział procentowy	Zmiany w latach 1985/95, %
Podgrzanie przez tarcie	32,7	-1,0
Tlenie	12,7	+1,2
Wyładowania elektrostatyczne	8,5	+0,6
Pożar, płomienie	7,9	-0,4
Samozapłon	6,0	+0,2
Gorące powierzchnie	4,8	-1,4
Prace gorące	4,1	-0,3
Urządzenia elektryczne	3,2	$\pm 0,0$
Nieustalone przyczyny	17,0	+1,2
Pozostałe	3,0	-0,2

Tab. 2. Procentowy udział wyładowań elektrostatycznych w zapłonie pyłów na skutek różnych mechanizmów w różnych miejscach i procesach [3, tab. 9.]

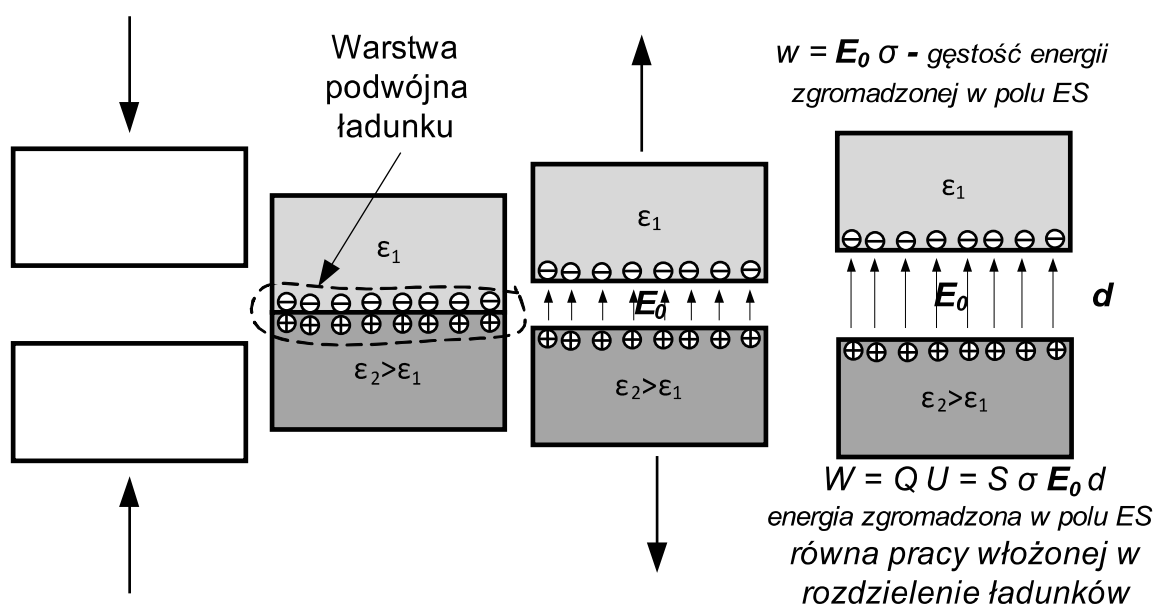
Lokalizacja/ Proces	Silos/ Bunkier	Kolektor pyłu	Młyn/ Rozdrab- nianie	Taśmo- ciąg	Suszar- nia	Mie- szalnik	Szlifiernia/ Polernia	Sito
Przyczyna								
Iskra mechaniczna, ogrzewanie mechaniczne	17,2	41,0	71,3	45,5	1,8	46,1	86,4	12,5
Tlenie	30,2	10,5	-	9,1	27,8	-	-	6,3
Wyładowania elektrostatyczne	2,6	9,5	3,7	16,7	9,3	34,6	-	12,5
Ogień	6,0	4,8	1,3	-	-	3,9	-	12,5
Samozapłon	2,6	6,7	3,7	4,5	18,5	-	-	6,3
Gorące powierzchnie	10,3	-	3,7	4,5	16,7	-	-	-
Prace gorące	7,8	0,9	-	3,0	1,8	3,9	-	-
Urządzenia elektryczne	3,5	0,9	-	-	-	-	-	-
Nieustalone przyczyny	18,1	20,9	12,5	13,6	20,4	11,5	13,6	50,0
Pozostałe	1,7	4,8	3,7	3,0	3,7	-	-	-

Opracowania zawierające statystyczne analizy wybuchów inicjowanych przez wyładowania ES są trudno osiągalne. Zakłady pracy (zarówno krajowe, jak i za granicą) niechętnie udostępniają takie dane. Państwowa Straż Pożarna szacowała liczbę pożarów wywołanych przez wyładowania ES w 1999 r. na 73, a w 2000 r. na 32. Ok. 9% wybuchów pyłów powodują wyładowania ES [7, 8]. Z nieoficjalnych informacji uzyskanych od ekspertów firmy konsultingowej Chilworth Technology Ltd. wynika, że obecnie w Europie notuje się, co najmniej kilka inicjacji wybuchów przez wyładowania ESD rocznie. W 1997 BIA [3] opublikował zestawienia przyczyn wybuchów pyłów zarejestrowanych do 1995 r. (z ok. 40 lat) w całych Niemczech. Analiza dotyczy ok. 600 wybuchów. Przyczyny zapłonu pyłów pokazano w tab. 1. i 2, przy czym wyładowania ES okazują się jedną z trzech głównych przyczyn wybuchów.

Wyładowania ES są niebezpieczne wszędzie tam, gdzie występują atmosfery wybuchowe. Zgodnie z Dyrektywą ATEX 94/9/WE atmosfera wybuchowa definiowana jest jako mieszanina substancji palnych w postaci gazów, par, mgieł lub pyłów z powietrzem w warunkach atmosferycznych, w której po zapaleniu proces spalania rozprzestrzenia się na całą nie spaloną mieszaninę. W praktyce jednak atmosfery wybuchowe należy rozpatrywać szerzej, jako mieszaniny paliwa i utleniacza. Utleniaczem może być tlen atmosferyczny i ciekły, chlor, fluor, tlenek węgla, tlenki azotu i inne. Jeśli stężenie tlenu jest podwyższone, minimalna energia zapłonu atmosfery palnej może być o kilka rzędów wielkości mniejsza niż zmierzona w warunkach standardowych, natomiast przy stężeniu tlenu mniejszym od 5% objętości mieszaniny, przestaje mieć ona własności wybuchowe.

2. Mechanizmy i warunki elektryzacji

Elektryzacja jest powszechnym zjawiskiem fizycznym, występującym zawsze przy zetknięciu dwóch obiektów (stałych, ciekłych). Jest zjawiskiem powierzchniowym, polegającym na przenikaniu nośników ładunku elektrycznego (elektronów, jonów) przez powierzchnię styku, spowodowanym różnymi stanami energetycznymi nośników po obu stronach powierzchni [4]. Elektryzację dielektryków stałych pokazano na rys. 1. W otoczeniu styku obu obiektów powstaje tzw. warstwa podwójna ładunku. Może ona obejmować powierzchnię styku lub znajdować się po jej jednej stronie (np. styk cieczy i ciała stałego). Ładunki różnoimienne są przyciągane do siebie przez siłę Coulomba (np. ładunki powierzchniowe przywierających do siebie dwóch folii syntetycznych). Przy rozdzielaniu obu obiektów konieczne jest wykonanie pracy przeciw tej sile. Wykonana praca zamienia się w energię zgromadzoną w polu elektrostatycznym. Jest to tzw. energia naładowania elektrostatycznego. Między rozdzielanymi obiektami pojawia się różnica potencjału U , rosnąca wraz z odległością rozdzielanych powierzchni. Jeżeli oba obiekty są przewodzące, to elektryzacja jest znikoma, gdyż przy rozdzielaniu dochodzi do neutralizującego przepływu prądu między obiektami, przez ostatni punkt styku. Jeśli co najmniej jeden z obiektów jest dielektrykiem, to neutralizacja drogą przewodzenia nie jest możliwa.



Rys. 1. Powstawania warstwy płaskiej podwójnej ładunku elektrostatycznego, powstałej w otoczeniu powierzchni styku dwóch płaskich dielektryków stałych.

W – energia zgromadzona w układzie (J), w – gęstość energii (J/m^3), U – różnica potencjałów (napięcie) między warstwami ładunku, V , (U proporcjonalne do pracy włożonej w rozdzielanie ładunków), Q – wartość ładunku zgromadzonego na każdej z rozdzielonych powierzchni, S – powierzchnia styku dielektryków, s – powierzchniowa gęstość ładunku, E_0 – natężenie pola elektrostatycznego między rozdzielanymi powierzchniami.

Natężenie pola elektrostatycznego między ładunkami warstwy podwójnej zazwyczaj jest bardzo znaczne. Jeśli przekracza 3 MV/m, to rozdzielaniu materiału izolacyjnego i przewodzącego mogą towarzyszyć wyładowania elektryczne, ograniczające poziom ostatecznego naelektryzowania. W powietrzu osiągane gęstości ładunku powierzchniowego są rzędu 1–100 $\mu\text{C}/\text{m}^2$, podczas gdy w próżni 10–1000 $\mu\text{C}/\text{m}^2$ [5]. O ilości ładunku rezydualnego decyduje przewodność izolatora i szybkość rozdzielania. Im szybkość jest mniejsza, tzn. im stosunek czasu rozdzielania obu powierzchni do stałej czasu relaksacji materiału izolacyjnego ($\tau = \rho V \tau$, gdzie ρV – rezystywność skrośna materiału, τ – przenikalność elektryczna materiału) jest większy, oraz im większa jest przewodność materiału, tym mniejszy ładunek pozostaje na jego powierzchni. Zatem szybkie procesy technologiczne (np. przewijanie folii przez obracające się wałki, transport pneumatyczny materiałów sypkich, itp.), powodują bardzo silną elektryzację. W strefach zagrożenia wybuchem nie wolno rozdzielać materiałów dielektrycznych (np. rozpakowywać owiniętych folią palet lub innych opakowanych przedmiotów, zdejmować odzież itp.).

Zjawiska elektryzacji zazwyczaj są bardziej złożone niż pokazano to na modelu z rys. 1. Zależne są od przenikalności elektrycznej i przewodności materiałów, od ich struktury, od temperatury, pola powierzchni styku i wielu innych czynników. Zazwyczaj przy zetknięciu różnych materiałów, materiał o większej przenikalności elektrycznej zostaje naelektryzowany dodatnio. Często przytacza się tzw. szereg elektrostatyczny materiałów stałych (szereg trybo-elektryczny, szereg Cohena). Materiały są uszeregowane od elektryzujących się najbardziej dodatnio, do elektryzujących się najbardziej ujemnie. W praktyce bywają liczne odstępstwa od porządku tego szeregu, ale ogólnie chcąc uniknąć silnej elektryzacji materiałów należy wybierać te, które są możliwie najbliższe usytuowane w tym szeregu. W 1970 r. Strella przedstawił szereg trybo-elektryczny dla polimerów, szeregując je wg wartości pracy wyjścia elektronów z ich powierzchni. Z dwóch polimerów, ten o większej pracy wyjścia elektryzuje się ujemnie w stosunku do polimeru o mniejszej pracy wyjścia. Szereg ten ma kolejność:

⊕ → Polioksyetylen > Nylon 6.6 > 2-winylopirydyna/kopolimer styrenu > Poli(winylobutyral) > Poli(winyloacetal) > Poli(met akrylan metylu) > Etylen/kopolimer winyloacetalu > Poliwęglan > Polietylen > Polistyren > Żywica epoksydowa > Poli-sulfon > Poli(4-chloro, 3-metoksytyren) > Poli(4-chlorostyren) > Polieter chlorowany > Polichlorek winylu > Polietylen chlorowany > Poli(trifluorochloroetylen > Poli(tetrafluoroetylene) —.

Taylor i Secker [6] cytują za Ungerem szereg szerszej grupy materiałów:

⊕ → 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 → Celuloid → Orlon → Saran → Poliuretan → Polietylen → Polipropylen → PCW → Krzem → Poli(tetrafluoroetylen) —.

Tab. 3. Typowe wartości naelektryzowania organicznych materiałów sypkich [7, 8]

Proces technologiczny	Gęstość ładunku, C/kg
Przesiewanie	10 pC/kg – 1 nC/kg
Przesypywanie	1 nC/kg – 0,1 μ C/kg
Transport ślimakowy	10 nC/kg – 1 μ C/kg
Mielenie, kruszenie	0,1 μ C/kg – 1 μ C/kg
Rozdrabnianie mikrocząsteczkowe	0,1 μ C/kg – 100 μ C/kg
Transport pneumatyczny	1 μ C/kg – 100 μ C/kg

Szczególnie dobre warunki do separacji ładunku zachodzą przy styku dielektryków i metali, prowadząc do niezwykle silnej elektryzacji materiałów sypkich i cieczy transportowanych metalowymi rurociągami. Z wielu powodów nie można uniknąć kontaktu obu rodzajów materiałów. Jednym z nich jest wykorzystywanie metali do odprowadzania nadmiaru ładunku oraz wyrównywania potencjałów elektrycznych przez uziemione obiekty metalowe, co jest ważnym elementem ochrony antystatycznej.

W warunkach przemysłowych podstawowym mechanizmem elektryzacji jest kontakt i tarcie. Dotyczy ono zarówno materiałów dielektrycznych stałych litych i sypkich, jak i ciekłych. Zazwyczaj problemy dotyczą materiałów nieprzewodzących (o rezystywności skrośnej większej od $10^8 \Omega\text{m}$ i powierzchniowej większej od $10^{10} \Omega$, w przypadku cieczy stosuje się raczej warunek przewodności skrośnej mniejszej od 100 pS).

Szczególnie dużo uwagi poświęca się materiałom sypkim, które podlegając różnorodnym procesom technologicznym kontaktują się z metalowymi ścianami rurociągów, zsyków, zbiorników, sit, młynów itp. Typowe średnie wartości naelektryzowania tych materiałów podano w tab. 3. W przypadku cieczy jednofazowych płynących w metalowym rurociągu, przy przepływie laminarnym przyjmuje się, że w stanie ustalonym, gęstość objętościowa ładunku w cieczy wynosi $\rho_0 = 5v$ (gdzie: ρ_0 - wartość gęstości objętościowej ładunku w $\mu\text{C}/\text{m}^3$ dla nieskończonej długości rury, v - liniowa prędkość przepływu cieczy w rurze, m/s, 5 – stała empiryczna, $\mu\text{C s}/\text{m}^4$). W przypadku cieczy dwu- lub wielofazowych wartość ładunku może być większa o kilka rzędów wielkości.

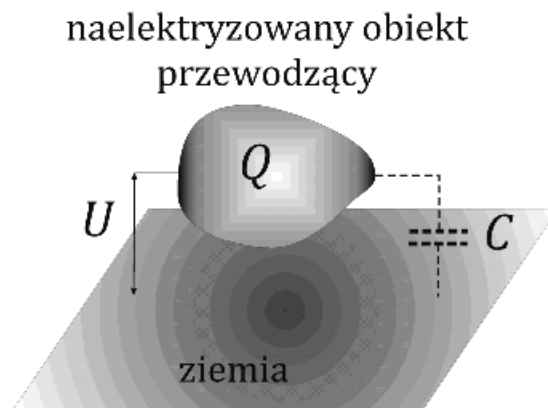
W praktyce uważa się, że zagrożenie jest istotne przy naelektryzowaniu materiału dielektrycznego powyżej $1 \mu\text{C}/\text{m}^3$. Innymi istotnymi dla bezpieczeństwa mechanizmami elektryzacji może być elektryzacja przez strumień aerojonów lekkich [9], emitowanych przy długotrwałych wyładowaniach ulotowych (koronowych) lub przez indukcję [10] (dotyczy tylko obiektów przewodzących umieszczonych w polu elektrostatycznym, np. pracownik niosący nieprzewodzący zbiornik z naelektryzowanym materiałem we wnętrzu).

3. Wyładowania elektrostatyczne

Wyładowania elektrostatyczne (ang. skrót, ESD) są odmianą wyładowań elektrycznych, zachodzących w powietrzu atmosferycznym, charakteryzującą się silnie

ograniczoną dostępną energią i wynikającym stąd stosunkowo krótkim czasie trwania. Wyróżnia się kilka istotnych odmian tych wyładowań [10]:

- wyładowania iskrowe występują między obiektami przewodzącymi, są odpowiedzialne za ok. 90% wszystkich zapłonów pyłów inicjowanych przez wyładowania ES, zapalają praktycznie wszystkie palne atmosfery. Ponieważ dotyczą obiektów przewodzących, to stosunkowo łatwo jest szacować ich energię na podstawie pomiaru pojemności i potencjału elektrycznego obiektu naelektryzowanego (por. rys. 2);



Rys. 2. Pojemność elektryczna C względem ziemi naelektryzowanego obiektu przewodzącego, o łącznym ładunku Q zgromadzonym na powierzchni i napięciu U . (Energia układu wynosi $W = CU^2 / 2$)

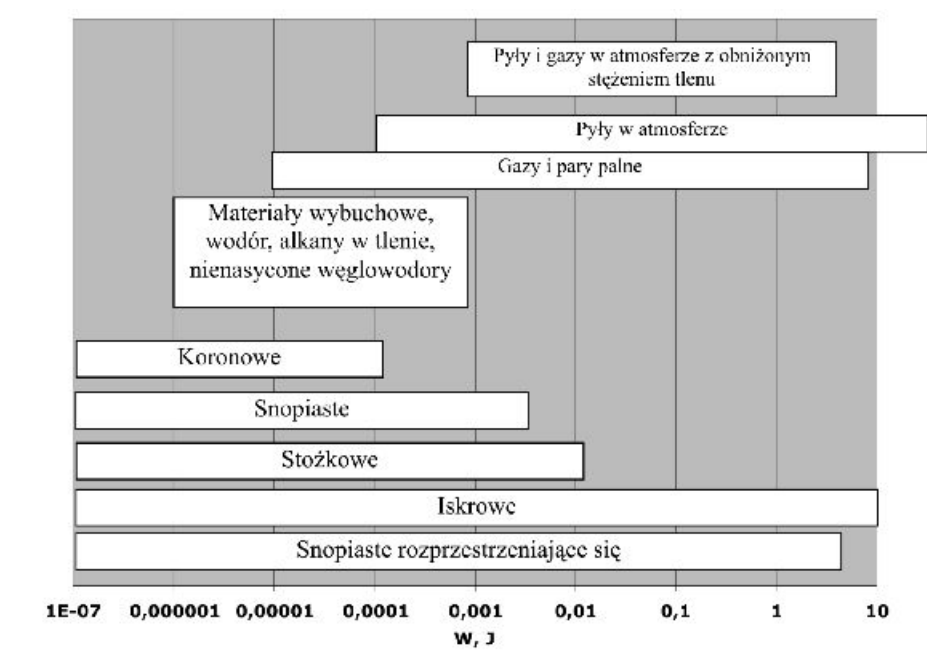
- wyładowania snopiaste rozprzestrzeniające się (ang. PBD), zbiegające się w jednym punkcie strumienie plazmy, występują na naelektryzowanych cienkich powierzchniach dielektrycznych pokrywających powierzchnie metalowe (np. farba syntetyczna, dielektryczne pokrycie wewnętrznej powierzchni zbiornika lub metalowego rurociągu, syntetyczna rura okręcona metalowym przewodem lub folią). Są to najsilniejsze wyładowania ES, ich własności zapalające mogą być większe od iskrowych;
- wyładowania stożkowe występują na powierzchniach pryzm materiałów sypkich zgromadzonych w metalowych zbiornikach (np. silosach), w kierunku ścian zbiorników. Są zdolne zapalać gazy i pary palne oraz niektóre pyły;
- wyładowania snopiaste zazwyczaj zachodzą między naelektryzowaną powierzchnią dielektryka stałego lub ciekłego i obiektem przewodzącym, mogą zapalać gazy i pary cieczy palnych oraz jedynie pyły materiałów wybuchowych;
- wyładowania ulotowe (zwane też koronowymi) występują z cienkich przewodów i ostrzy znajdujących się w silnym polu elektrostatycznym. W szczególnych okolicznościach mogą zapalać wodór, etan, acetylen, pary disiarczku węgla i inne gazy i pary w atmosferze o zwiększonym stężeniu tlenu.

Na rys. 3. porównano własności zapłonowe wyładowań z minimalną energią zapłonu różnych typów atmosfer wybuchowych.

4. Typowe zagrożenia

Zagrożenia zapłonem występują zawsze, gdy pojawia się atmosfera wybuchowa. Należy zwrócić także szczególną uwagę na możliwość wystąpienia atmosfer wybuchowych na skutek rozkładu materiałów, parowania rozpuszczalników z materiałów o ograniczonej palności itp.

Niebezpieczne wyładowania elektryczne mogą wystąpić wszędzie tam, gdzie występuje wzajemny ruch materiałów i obiektów (tarcie, toczenie, rozdzielanie itp.).



Rys. 3. Porównanie energii różnych wyładowań z minimalną energią zapłonu różnych typów atmosfer wybuchowych

W przypadku materiałów sypkich zagrożenie występuje przy pneumatycznym transporcie metalowymi rurociągami, zsypywaniem, mieleniem, kruszeniem i przesiewaniem materiałów oraz w transporcie międzyoperacyjnym w tzw. kontenerach elastycznych, taśmociągami, wózkami o nieprzewodzących kołach i oponach. Niebezpieczne atmosfery pyłowe powstają także, gdy podmuch powietrza wzbija pył osiadły na podłogach lub elementach instalacji. W przypadku cieczy palnych niebezpiecznymi procesami są filtracja, mieszanie, domieszkowanie (np. zasypywanie materiałów sypkich do reaktorów), tankowanie, mycie strumieniem wody dużych zbiorników (np. zbiornikowców), rozbryzgiwanie i atomizacja. Niebezpieczne jest łączne występowanie silnie naelektryzowanych materiałów sypkich i gazów, i par palnych (mogących pełnić rolę zapalnika dla pyłu).

Szczególnym zagrożeniem mogą być pracownicy elektryzujący się i przenoszący ładunek do strefy zagrożenia. Niezwykle ważne jest odpowiednie przeszkolenie pracowników i ich wyposażenie w środki ochrony indywidualnej (odzież i obuwie antystatyczne). W strefach zagrożenia wybuchem pracownicy nie mogą w żadnym

momencie pozostawać odizolowani od ziemi (z zasady rezystancja upływu powinna być mniejsza od $1 \text{ M}\tau$).

4. Zasady ochrony antyelektrostatycznej

Ochrona antyelektrostatyczna jest obligatoryjna w przypadku występowania stref zagrożenia wybuchem. Wdrażając Dyrektywę 1999/92/WE (zwaną ATEX USERS) [11] rozporządzenie [12, 13], stanowi, że:

- § 4.1. *Na stanowiskach pracy, na których mogą występować atmosfery wybuchowe, dokonuje się okresowej, nie rzadziej niż raz w roku, oceny ryzyka, a zwłaszcza:*
 - 1) *prawdopodobieństwa i częstotliwości występowania atmosfer wybuchowych;*
 - 2) *prawdopodobieństwa występowania oraz uaktywniania się źródeł zapłonu, w tym wyładowań elektrostatycznych;*
- § 6. *Miejsca pracy, w których mogą wystąpić atmosfery wybuchowe, powinny być sklasyfikowane z uwzględnieniem podziału na strefy zagrożenia wybuchem, zgodnie z normą PN-EN 1127-1:2001 [14];*
- § 14.1. *Podjmując działania zmierzające do zapobiegania zainicjowaniu zapłonu atmosfer wybuchowych, należy uwzględnić środki ograniczające prawdopodobieństwo wystąpienia **wyładowania elektrostatycznego**, jeżeli pracownik lub jego otoczenie są nośnikiem lub źródłem takiego ładunku, zgodnie z normą PN-E-05204:1994 [15].*
- § 14.2. *Pracodawca zapewni pracownikom odpowiednie środki ochrony indywidualnej wykonane z materiału, który nie będzie powodował **wyładowań elektrostatycznych**, w wyniku, których mogłoby nastąpić zainicjowanie zapłonu atmosfery wybuchowej, wg PN-EN 1149-1.*

Należy podkreślić, że jedynym konkretnym źródłem zapłonu wymienionym explicite w tej Dyrektywie są wyładowania elektrostatyczne.

Wdrażając Dyrektywę 89/686/EWG rozporządzenie [16] wymaga (§ 12.1.), by środki ochrony indywidualnej przeznaczone do używania w atmosferze wybuchowej nie mogły być źródłem iskry lub łuku elektrycznego, spowodowanych m.in. elektrycznością statyczną, i nie mogły spowodować zapłonu atmosfery wybuchowej. Ponadto wdrażając Dyrektywę 94/9/WE (ATEX) rozporządzenie [17] stanowi, że stosując odpowiednie środki, należy zapobiegać ładunkom elektrostatycznym, zdolnym do wywołania niebezpiecznych wyładowań.

W Polsce obowiązuje (na skutek przywołania w przedmiotowych przepisach) zestaw opracowanych przez Instytut Przemysłu Organicznego norm dotyczących ochrony przed elektrycznością statyczną [15, 18, 19, 20].

Inicjacja wybuchu przez wyładowanie ES jest ciągiem zdarzeń obejmujących obecność atmosfery wybuchowej, elektryzację materiałów, wyrobów, obiektów, instalacji i ludzi, kumulację ładunku elektrostatycznego prowadzącą do wzrostu natężenia pola elektrostatycznego do poziomu (lokalnie do 3 MV/m) powodującego jedną z form wyładowania ES, prowadzącą do zapłonu w przypadku, gdy energia

wyładowania przekracza energię zapłonu atmosfery wybuchowej. Uniemożliwienie któregokolwiek z tych zdarzeń przerywa ciąg i zapobiega inicjacji wybuchu.

Elektryzacja jest zjawiskiem powszechnym i nieuniknionym, zwłaszcza tam, gdzie stosuje się lub przetwarza materiały nieprzewodzące (dielektryki). Zadaniem ochrony anty(elektro)-statycznej jest ograniczenie poziomu elektryzacji i zapobieżenie nadmiernej kumulacji ładunku ES lub niedopuszczenie do powstania wyładowania inicjującego. Podstawowymi zasadami ochrony antystatycznej są [10]:

- 1) ograniczenie intensywności elektryzacji przez unikanie nadmiernej szybkości procesów wzajemnego tarcia materiałów i szybkości ich rozdzielania (np. zmniejszenie szybkości transportu pneumatycznego), ograniczenie powierzchni ulegających elektryzacji lub wręcz zakaz stosowania powierzchni dielektrycznych, gdy minimalna energia zapłonu medium jest mniejsza od 0,1 mJ;
- 2) zapobieżenie nadmiernej kumulacji ładunku przez jego „rozpraszanie”, które osiąga się ograniczając rezystancję upływu do wartości nie większej od 1 MΩ (gdy szybkość elektryzacji obiektu może osiągać wartości do 0,1 mA) lub od 1 GΩ (gdy szybkość elektryzacji jest mniejsza od 1 μA) stosując odpowiednio materiały przewodzące ($\rho_v \leq 10^4 \tau \text{ m}$ i/lub $\rho_s \leq 10^7 \Omega$) lub częściowo przewodzące zwaną też rozpraszającymi ($10^4 \Omega\text{m} < \rho_v \leq 10^8 \Omega\text{m}$ i/lub $10^7 \tau < \rho_s \leq 10^{10} \Omega$); stośując podłogi antystatyczną uziemioną; stośując neutralizację ładunku (np. jonizatorami elektrycznymi); pozostawiając niebezpiecznie naelektryzowaną materię (np. benzyna) w śpoczynku do czasu rozproszenia ładunku przed podjęciem operacji mogących inicjować wyładowania ES. W przypadku pracowników konieczne jest stośowanie odpowiedniej odzieży i obuwia antystatycznego [21-25];
- 3) wyrównanie potencjału elektrycznego (prawie zawsze sprowadzenie go do zera) wszystkich obiektów i przedmiotów metalowych (w celu zapobieżenia wyładowaniom iskrowym) występujących w strefie zagrożenia, przez ich uziemienie i mostkowanie (łączenie obiektów przewodzących ze sobą);
- 4) w celu zapobieżenia wyładowaniom snopiastym rozprzestrzeniającym się należy unikać pokrywania cienkimi warstwami dielektrycznymi obiektów przewodzących lub ograniczyć napięcie przebicia dielektryka, co najwyżej do 4 kV;
- 5) przy napełnianiu materiałami sypkimi kontenerów elastycznych, należy w zależności od rodzaju atmosfery wybuchowej i warunków technologicznych stosować kontenery właściwych klas (B, C, D).

We wszystkich przypadkach wystąpienia atmosfer wybuchowych należy stosować zasady podane w normie [15] oraz w [26], ponadto przy ochronie przeciwpożarowej budynków w [27].

Artykuł przygotowano na podstawie wyników zadania realizowanego w ramach Programu Wieloletniego „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, etap I, część A: zadania w zakresie służb państwowych, częściowo finansowanego w latach 2008-2010 przez Ministerstwo Pracy i Polityki Społecznej. Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy jest głównym koordynatorem Programu.

LITERATURA

- [1] T. B. Jones, J. L. King: *Powder handling and electrostatics*, Lewis Publishers, Chelsea, Michigan 1991.
- [2] D. Kondej, E. Gawęda: *Wybuchowość pyłów metali na przykładzie pyłów aluminium*, „Bezpieczeństwo pracy. Nauka i Praktyka”, 2006, nr 10 (421), s. 12.
- [3] *Analyse und Einzelfalldarstellung*, Dokumentation Staubexplosionen „BIA-Report”, HVBG, Sankt Augustin 1997, nr 11.
- [4] A. S. Gajewski: *Elektryczność statyczna - poznanie, pomiar, zapobieganie, eliminowanie*, IWZZ, Warszawa 1987.
- [5] L. G. Britton: *Avoiding static hazards in chemical operations*, Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers, New York 1999.
- [6] D. M. Taylor, P. E. Secker: *Industrial electrostatics. Fundamentals and measurements*, Research Studies Press Ltd., John Wiley and Sons Inc., New York 1994.
- [7] M. Glor: *Electrostatic hazards in powder handling*, Research Studies Press, Ltd, Letchworth 1988.
- [8] NFPA 77: *Recommended Practice on Static Electricity*, 2007 Edition.
- [9] Z. J. Grabarczyk: *Jonizacja powietrza w środowisku życia i pracy*, CIOP-PIB, Warszawa 2000.
- [10] Z. J. Grabarczyk, A. Kurczewska: *Zagrożenia elektrostatyczne w strefach zagrożonych wybuchem*, CIOP-PIB, Warszawa 2008.
- [11] Dyrektywa (ATEX-USERS) 1999/92/WE 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).
- [12] Rozporządzenie MGPIPS z 29 maja 2003 r. w sprawie minimalnych wymagań dotyczących bezpieczeństwa i higieny pracy pracowników zatrudnionych na stanowiskach pracy, na których może wystąpić atmosfera wybuchowa (Dz. U. Nr 107, poz. 1004).
- [13] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 9 czerwca 2006 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie minimalnych wymagań dotyczących bezpieczeństwa i ochrony zdrowia pracowników zatrudnionych na stanowiskach pracy, na których może wystąpić atmosfera wybuchowa (Dz. U. Nr 121, poz. 836).
- [14] PN-EN 1127-1:2007 *Atmosfery wybuchowe - Zapobieganie wybuchowi i ochrona przed wybuchem - Pojęcia podstawowe i metodologia*.
- [15] PN-E-05204:1994 *Ochrona przed elektrycznością statyczną – Ochrona obiektów, instalacji i urządzeń – Wymagania*.
- [16] Rozporządzenie MGPIPS z 21 grudnia 2005 r. w sprawie zasadniczych wymagań dla środków ochrony indywidualnej (Dz. U. Nr 259, poz. 2173).
- [17] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 22 grudnia 2005 r. w sprawie zasadniczych wymagań dla urządzeń i systemów ochronnych przeznaczonych do użytku w przestrzeniach zagrożonych wybuchem (Dz. U. nr 2005/263, poz. 2202).
PN-E-05200:1992 *Ochrona przed elektrycznością statyczną – Terminologia*.
- [18] PN-E-05201:1992 *Ochrona przed elektrycznością statyczną – Metody oceny zagrożeń wywołanych elektryzacją materiałów dielektrycznych stałych – Metody oceny zagrożenia pożarowego i/lub wybuchowego*.

- [19] PN-E-05202:1992 *Ochrona przed elektrycznością statyczną – Bezpieczeństwo pożarowe i/ lub wybuchowe – Wymagania ogólne.*
- [20] 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.*
- [21] PN EN 1149-1:2008 *Odzież ochronna. Właściwości elektrostatyczne. Część 1: Metoda badania do pomiaru rezystywności powierzchniowej.*
- [22] PN-EN 1149-2:1999/ Ap.1:2001 *Odzież ochronna – Właściwości elektrostatyczne. Część 2: Metoda badania rezystancji skrośnej.*
- [23] PN-EN 1149-3:2007 *Odzież ochronna – Właściwości elektrostatyczne. Część 3: Metody badań do pomiaru zaniku ładunku.*
- [24] PN EN 1149-5:2008 *Odzież ochronna. Właściwości elektrostatyczne. Część 5: Wymagania.*
- [25] PN-EN 61340-4-5:2006 *Elektryczność statyczna. Część 4-5: Znormalizowane metody badań do określonych zastosowań – Metody oceny skuteczności ochrony przed elektrycznością statyczną, zapewnianej przez obuwie i podłogę w układzie z udziałem człowieka.*
- [26] Wytyczne w zakresie ochrony przed elektrycznością statyczną obiektów i instalacji produkcyjnych WBP-84/MPCHiL-04. Ministerstwo Przemysłu Chemicznego i Lekkiego. Departament Bezpieczeństwa Pracy i Ochrony Środowiska, 1984.
- [27] Rozporządzenie MSWiA z 21 kwietnia 2006 r. w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków, innych obiektów budowlanych i terenów (Dz.U. z 2006 nr 80, poz. 563).