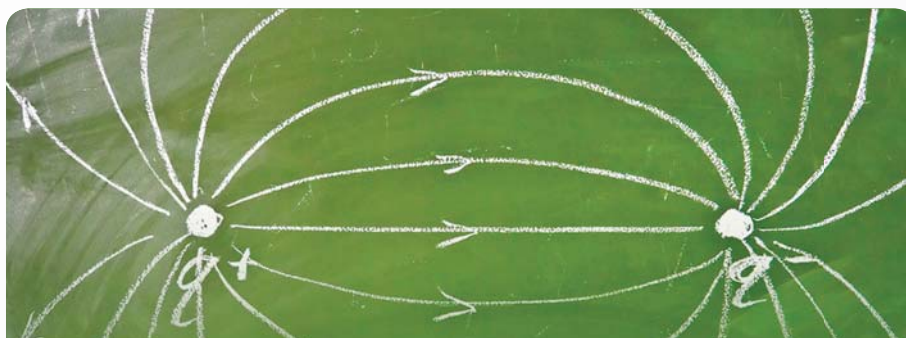


dr inż. ZYGMUNT J. GRABARCZYK

Centralny Instytut Ochrony Pracy
– Państwowy Instytut Badawczy

Kontakt: zygra@ciop.pl

Propozycja metody oceny ekspozycji pracowników na pole elektrostatyczne



Fot. Chaos/Bigstockphoto

Ekspozycja na pole elektrostatyczne może powodować elektryzację ciała pracownika przez indukcję. Skutkiem tego mogą być wyładowania iskrowe, powodujące rażenia pracowników, w następstwie czego pojawiają się niekontrolowane ruchy ciała, co grozi wypadkiem. Wymagania prawa pracy obowiązujące w Polsce, dotyczące ochrony przed polem elektromagnetycznym uwzględniają pole elektrostatyczne, jednak brak jest obecnie technicznych możliwości jego pomiaru.

Przepisy międzynarodowe (np. Dyrektywa 2013/35/UE) nie uwzględniają pola elektrycznego o częstotliwości mniejszej od 1 Hz. W artykule wykazano, że równoważny dla pomiaru natężenia pola elektrostatycznego może być pomiar ładunku elektrostatycznego indukowanego na powierzchni ciała pracownika. W tym celu można zastosować miernik ładunku przeniesionego w czasie wyładowania elektrostatycznego, opracowany w CIOP-PIB. Ocena narażenia na wyładowania iskrowe jest zgodna z postanowieniami zał. I do wymienionej Dyrektywy. Wykazano, że odczuwalne rażenia nie mogą wystąpić przy natężeniu pola elektrostatycznego mniejszym od 40 kV/m (tj. granicy strefy niebezpiecznej zdefiniowanej wymaganiami prawa pracy obowiązującymi w Polsce).

Słowa kluczowe: ładunek elektrostatyczny, pole elektrostatyczne, rażenie elektrostatyczne, wyładowanie elektrostatyczne, ocena ekspozycji na pole elektrostatyczne

The proposal of the method to assess employee exposure to the electrostatic field

Exposure of workers to the electrostatic field can cause electrification of the body. It can cause electrostatic spark discharges resulting in electrostatic shocks. Those shocks can result in involuntary body movements and possibly in accidents. Polish occupational safety regulations consider exposure limits to a static field but it is not technically possible to measure field intensity at the workstation. Directive 2013/35/EU does not consider the electrostatic field. This article shows that measurements of the electrostatic field and of the charge induced on the worker's body can be equivalent. In this case, a meter of the charge transferred during an electrostatic discharge, developed in CIOP-PIB, can be used. The evaluation of the risk of spark discharges based on charge measurements is consistent with Directive 2013/35/EU. Perceptible shocks cannot appear at field intensity under 40 kV/m (i.e., lower than the dangerous zone defined in Polish occupational safety regulations).

Keywords: assessment of exposure to electrostatic field, electrostatic charge, electrostatic discharge, electrostatic field, electrostatic shock

Wstęp

Pole elektrostatyczne w środowisku pracy zalicza się do zagrożeń elektromagnetycznych (pole elektryczne niezmiennie w czasie), a także elektrostatycznych, jako skutek elektryzacji i źró-

dło wyładowań elektrostatycznych (ang. ESD). Pole elektrostatyczne tylko nieznacznie wnika do wnętrza ciała i w międzynarodowych przepisach ograniczających ekspozycję elektromagnetyczną jest niemal pomijane. W artykule wykazano, że eks-

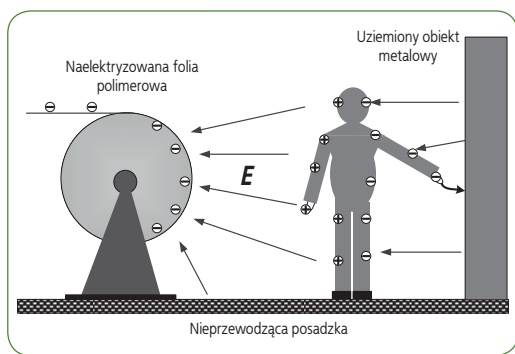
pozycja na pole elektrostatyczne może powodować zdarzenia wypadkowe i wymaga nadzoru.

Zagrożenia elektrostatyczne są skutkiem ESD. Nadmierna kumulacja ładunku elektrostatycznego na powierzchni obiektów nieprzewodzących lub przewodzących odizolowanych od ziemi powoduje, że natężenie pola elektrostatycznego może przekroczyć wytrzymałość dielektryczną powietrza, prowadząc do wyładowania. ESD jest impulsem prądowym trwającym od kilkudziesięciu nanosekund do kilkuset mikrosekund, o chwilowym natężeniu do kilkunastu amperów. Wyróżnia się trzy rodzaje zagrożeń elektrostatycznych:

- 1) zapłon atmosfer wybuchowych,
- 2) rażenia elektrostatyczne,
- 3) uszkodzenia aparatury elektronicznej istotnej dla bezpieczeństwa technologicznego lub medycznego.

Przedmiotem artykułu jest rodzaj 1. i 2. Źródłem zagrożeń są ESD spowodowane nadmierną elektryzacją. W przemyśle najważniejszymi przyczynami elektryzacji są procesy rozdzielania i tarcia stykających się materiałów i urządzeń. Stopień naelektryzowania zależy od rodzaju materiałów, intensywności procesów technologicznych i szybkości odprowadzania ładunku elektrostatycznego do ziemi. Drugą istotną przyczyną jest indukcja, czyli rozsuniecie ładunków dodatnich i ujemnych na powierzchni obiektu przewodzącego, przez zewnętrzne pole elektrostatyczne. Ilość ładunku zależy od natężenia pola elektrostatycznego i wielkości obiektu.

ESD zachodzą tylko, gdy natężenie pola elektrostatycznego lokalnie osiąga wartość ok. 2,7 MV/m. Jednak nie można oprzeć ochrony antystatycznej na pomiarze natężenia pola elektrostatycznego, gdyż nie jest technicznie możliwy na stanowiskach pracy. Przy zagrożeniu wybuchowym mierzy się wielkości związane – potencjał elektrostatyczny, ładunek zgromadzony lub przenoszony w czasie ESD, wyznacza się wartość energii zgromadzonej w polu elektrostatycznym, mierzona jest szybkość zaniku ładunku i rezystancja upływu. W przypadku rażeń z naelektryzowanych przewodników odizolowanych od ziemi wystarcza pomiar potencjału elektrostatycznego i pojemności obiektu, w przypadku elektryzacji przez indukcję brak jest metod oceny zagrożenia.



Rys. 1. Wyładowanie iskrowe z ciała osoby naelektryzowanej przez indukcję

Fig. 1. Electrostatic spark discharges from the body of a person electrified by electrostatic induction



Fot. Miernik ładunku ES, z ekranowaną elektrodą, o rozdzielczości 0,1 nC i zakresie 0 – 10 µC, opracowany w CIOP-PIB (zadanie 05.B.1, II etapu programu wieloletniego „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”)

Photo. A meter of electrostatic charge with a screened electrode with the resolution 0.1 nC and range 0-10 µC, developed in CIOP-PIB (task 05.B.1. of the second stage of the National Programme “Improvement of safety and working conditions”)

Stopień zagrożenia elektrostatycznego zależy od rodzaju wyładowania. Wyróżnia się kilka ich rodzajów [1]: ulotowe, snopiaste, stożkowe, iskrowe, snopiaste rozprzestrzeniające się (charakterystykę poszczególnych rodzajów wyładowań przedstawiono w załączniku).

Zapobieganie zapłonowi atmosfer wybuchowych przez wyładowania elektrostatyczne

ESD powodują ok. 8,5-10% wybuchów. W zakładach, w których może wystąpić atmosfera wybuchowa, ochrona antyelektrostatyczna jest obowiązkowa, a dyrektywa 1999/92/WE i jej krajowa implementacja [2] nakazują ocenę ryzyka wystąpienia źródła zapłonu, w tym ESD. Można ją przeprowadzić w oparciu o normy [3] i [4]. Zasady organizacji ochrony antystatycznej podano w normie [5]. Międzynarodowa Komisja Elektrotechniczna IEC przygotowuje wydanie Specyfikacji Technicznych [6, 7], stanowiących szczegółowy poradnik ochrony antyelektrostatycznej w przestrzeniach zagrożonych wybuchem. Zasady przechowywania cieczy palnych w budynkach są ujęte w rozporządzeniu Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji [8]. Dużo uwagi poświęca się odzieży i obuwiu antystatycznemu

oraz przewodzącym podłogom, w celu zapobieżenia elektryzowaniu się pracowników.

Ochrona antystatyczna jest konieczna, gdy nie można uniknąć atmosfery wybuchowej. Obejmującej działania techniczne i organizacyjne, zapobiegające powstawaniu ESD w strefach zagrożonych wybuchem [1, 5, 6].

Rażenia elektrostatyczne a ekspozycja na pole elektrostatyczne

„Rażenie elektrostatyczne” jest to patofizjologiczny skutek przepływu przez ciało człowieka impulsu wyładowania elektrostatycznego. Charakteryzują je wrażenia zmysłowe – odczucie ukłucia, ból, uderzenie, skurcze mięśni. Brakuje publikowanych wyników badań skutków rażeń oraz przepisów ograniczających je. Wyjątkiem są badania Guderskiej [9]. Próg percepcji iskrowego ESD znalazła na poziomie 0,05 – 0,8 mJ, przy napięciu ok. 2,4 kV. Badała nasilające się wrażenia klucia, bólu, skurczów mięśni i reakcji uniku, dla energii do 108 mJ i napięcia do 50 kV. Britton [10] wymienia (bez podania źródła) następujące wartości energetycznych progów reakcji na ESD:

- 0,5 – 2 mJ – próg percepcji
 - 1 – 10 mJ – różne poziomy uciążliwości
 - 15 – 25 mJ – rażenie nieprzyjemne
 - 250 mJ – rażenie „poważne”
 - 1 – 10 J – możliwa utrata przytomności powyżej 10 J – możliwe zatrzymanie akcji serca.
- ESD o energii poniżej progu percepcji może także zapalać palne atmosfery gazowe.

Najczęściej rażenia są skutkiem wyładowania ładunku z powierzchni ciała, przy dotykaniu przedmiotów przewodzących i innych osób. Nie zagrażają ono bezpośrednio zdrowiu, gdyż ich energia nie przekracza 135 mJ. W zależności od osobniczej reaktywności i wrażliwości, reakcją mogą być odruchy grożące wypadkiem. Obecnie nie ma statystyk wypadków spowodowanych rażeniami, choć eksperci potwierdzają ich występowanie.

Ekspozycji na pola elektrostatyczne nie uważa się za szkodliwą, gdyż wnikając do ciała jest ono tłumione 10^{12} razy [11]. Przy maksymalnym możliwym w powietrzu natężeniu (ok. 3 MV/m), natężenie wewnątrz ciała nie przekroczyłoby 3 µV/m. Brak jest doniesień o biologicznych skutkach powodowanych przez indukowane w organizmie pole o tak małym natężeniu. Wartość ta jest ok. 10^6 razy mniejsza od dopuszczalnych wartości natężenia pola indukowanego w ciele osoby ekspozowanej, określonych w dyrektywie 2013/35/UE [12] dla pasma 1 – 400 Hz. Uznany skutkiem ekspozycji przy natężeniu pola oddziałującego na człowieka o natężeniu powyżej ok. 40 kV/m jest odczuwalne poruszenie włosów. Należy zatem ocenić celowość kontroli ekspozycji na pola elektrostatyczne poza strefami zagrożenia wybuchem. W tym celu trzeba także rozważyć wpływ pola elektrostatycznego na depozycję zanieczyszczeń aerozolowych i rażenia elektrostatyczne.

Cząstki fazy rozproszonej aerozolu są naelektryzowane i w polu elektrostatycznym dryfują wzdłuż linii pola w kierunku zależnym od polaryzacji, z szybkością zależną od natężenia pola elektrostatycznego, wielkości cząstki i jej ładunku. W powietrzu najliczniejsze są cząstki o średnicy ok. 100 nm. Przy natężeniu 10 kV/m dryfują z prędkością

ok. 1 mm/s. Większe cząstki zanieczyszczeń przemysłowych dryfują wolniej. Dlatego strącanie aerozolu na powierzchnię ciała nie jest intensywne i może być pominięte. Pole elektrostatyczne zmniejsza też ilość wdechanych cząstek aerozolu.

Osoba ekspozowana na pole elektrostatyczne, dotykając przedmiotów metalowych lub ciała innego pracownika może powodować wyładowania iskrowe i doznawać rażeń elektrostatycznych.

O potrzebie uwzględnienia pola elektrostatycznego w przepisach bezpieczeństwa pracy

Jak wspomniano, w przepisach dotyczących ochrony pracowników przed ekspozycją elektromagnetyczną nie uwzględnia się na ogół pól elektrostatycznych. W dyrektywie 2013/35/UE [12] nie uwzględniono pola elektrycznego o częstotliwości mniejszej od 1 Hz w jej części stanowiącej limity narażenia, chociaż pole elektrostatyczne wymienione jest w zakresie, jakiego dotyczy obowiązkowa ochrona pracowników przed zagrożeniami elektromagnetycznymi. Jedyne przepisy polskie [13] wymagają ograniczenia ekspozycji na pole elektrostatyczne, ustanawiając górną granicę strefy bezpiecznej na poziomie 10 kV/m, strefy pośredniej – 20 kV/, a strefy zagrożenia – 40 kV/m. Oceny narażenia nie wykonuje się tu z powodu braku metod pomiaru natężenia pola elektrostatycznego.

Polские normy dotyczące ochrony przeciwwybuchowej ograniczają dopuszczalne natężenie pola elektrostatycznego dla niektórych przypadków. Zagrożenie wybuchowe w otoczeniu płaskiego naelektryzowanego dielektryka nie występuje, jeżeli natężenie pola elektrostatycznego nie przekracza 100 kV/m [4]. Obuwie przewodzące w strefach 1 i 20¹ zagrożonych wybuchem jest obowiązkowe, gdy natężenie pola elektrostatycznego przekracza 20 kV/m [5]. W strefach 1 i 20, jeżeli brak jest posadzki przewodzącej, maksymalne dopuszczalne natężenie pola wynosi 20 kV/m [5], jednak dla atmosfer o $MIE^2 < 0,1$ mJ przewodzące obuwie i podłoga są obowiązkowe [5].

Poza strefami zagrożenia wybuchowego, norma [5] zaleca ograniczać do niezbędnego minimum ekspozycję na pole elektrostatyczne o natężeniu większym od 20 kV/m (czyli w polach strefy zagrożenia, zgodnie ze wspomnianymi wymaganiami, które również wymagają ograniczenia czasu narażenia pracownika na pola tej strefy).

Ryzyko rażenia lub zapłonu przez ESD z obiektu naelektryzowanego zależy od energii wyładowania, której pomiar w środowisku pracy nie jest możliwy.

¹ Zgodnie z rozporządzeniem Ministra Gospodarki [2] przestrzenie zagrożone wybuchem dzieli się, w zależności od rodzaju atmosfery wybuchowej oraz czasu i prawdopodobieństwa jej występowania na strefy. Strefa 0 dotyczy atmosfer gazowych, a strefa 20 atmosfery pyłowej. Są to strefy, w których atmosfera wybuchowa występuje stale, często lub przez długie okresy. W strefie 1 i 21 atmosfera wybuchowa może czasami występować w trakcie normalnego działania, a w strefach 2 i 22 nie występuje w trakcie normalnego działania, a jeżeli nawet wystąpi, to utrzymuje się przez krótki czas.

² MIE jest skrótem angielskiego terminu *Minimum Ignition Energy*, oznaczającego najmniejszą wartość energii zgromadzonej w pojemności elektrycznej, która przy wyładowaniu iskrowym z tej pojemności jest w stanie spowodować zapłon określonej mieszaniny substancji palnej z powietrzem, przy optymalnym, bliskim stechiometrycznemu stężeniu substancji palnej.

Jej maksymalna wartość jest ograniczona od góry wartością energii W zgromadzonej w pojemności C obiektu naelektryzowanego do potencjału U :

$$W = \frac{CU^2}{2} = \frac{QU}{2C} = \frac{Q^2}{2C} \quad (1)$$

gdzie: Q – ładunek elektrostatyczny zgromadzony na powierzchni obiektu naelektryzowanego.

Pojemność elektryczna człowieka zależy od rozmiarów jego ciała, grubości i rodzaju materiału podszewy obuwia oraz otaczających obiektów przewodzących i wynosi od 70 do 300 pF. Jako wartość typową przyjmuje się 120 pF. Mierząc pojemność danej osoby i potencjał elektrostatyczny (bezkontaktowo), można wyznaczyć wartość zgromadzonej energii i porównać ją z podanymi progami percepcji. Wynik ten można też użyć do oceny ryzyka zapłonu, porównując z MIE. W tym przypadku wyznaczanie natężenia pola elektrostatycznego nie jest konieczne.

Ocena narażenia pracownika naelektryzowanego przez indukcję wymaga innego podejścia. Ciało człowieka jest obiektem przewodzącym, a w zależności od przewodności podszewy obuwia i posadzki może być obiektem uziomionym lub odizolowanym. Elektryzacji przez indukcję ulega odizolowany obiekt przewodzący umieszczony w polu elektrostatycznym (rys. 1.). Osoba ekspozycja, dotykając przedmiotów przewodzących, może powodować ESD iskrowe, doznając rażeń lub inicjując zapłon.

Pomiar potencjału elektrostatycznego ciała w obecności zewnętrznego pola elektrostatycznego jest niemiernodajny, natomiast można wyznaczyć energię na podstawie pomiaru ładunku zgromadzonego na powierzchni ciała, stosując miernik ładunku przeniesionego w czasie ESD, np. pokazany na fot.

Przy pojemności ciała C_b i progowej wartości energii wyładowania W_{th} , z zależności (1) wynika progowa wartość ładunku:

$$Q_{th} = \sqrt{2C_b W_{th}} \quad (2)$$

Ładunek Q zaindukowany na ciele pracownika przez pole elektrostatyczne wynosi:

$$|Q_i| = \frac{\epsilon_0}{2} \iint E_s ds \quad (3)$$

gdzie: E_s – natężenie pola elektrostatycznego przy powierzchni ciała, ds wersor elementu powierzchni, ϵ_0 – przenikalność elektryczna powietrza, 8,85 pF/m.

Zakładając jednorodne pole elektrostatyczne o natężeniu E_0 , prostopadłe do czołowego przekroju ciała, o powierzchni S_b , zależność (3) uproszczono do postaci:

$$Q_i = \epsilon_0 E_0 \cdot S_b \quad (4)$$

Natężenie pola E_{th} odpowiadające progowej wartości energii wyładowania iskrowego W_{th} (np. próg percepcji), pokazane na rys. 2., wynosi:

$$E_{th} = \frac{\sqrt{2W_{th}C_b}}{\epsilon_0 S_b} \quad (5)$$

Bezpośredni pomiar natężenia pola elektrostatycznego na stanowisku pracy można zastąpić równoważnym pomiarem ładunku elektrostatycznego zaindukowanego na powierzchni ciała. Równoważne natężenie pola (E_{th}) można wyznaczyć ze wzoru (4).

Najniższy próg percepcji (0,05 mJ wg [9]) nie zostanie przekroczony, jeśli natężenie pola

elektrostatycznego jest mniejsze od 9,5 kV/m (strefa bezpieczna – poziom zbliżony do granicy strefy bezpiecznej i pośredniej wg [13]), a najwyższy (0,8 mJ wg [9]), gdy natężenie jest mniejsze od 38 kV/m (strefa zagrożenia – poziom zbliżony do granicy strefy zagrożenia i niebezpiecznej wg [13]). Zatem przestrzeganie przepisów krajowych [13] gwarantuje, że osoby ekspozycja nie odczują rażeń spowodowanych zjawiskiem indukcji.

Pojawienie się ulotu ogranicza maksymalną wartość potencjału osoby naelektryzowanej do 30 kV, zatem wartość energii ESD z ciała nie przekracza 135 mJ. Jest to wystarczająco dużo, by dochodziło do bolesnych rażeń, skurczu mięśni i reakcji obronno-ucieczkowych, grożących wypadkiem. Tak duża energia wyładowania może wystąpić przy mało prawdopodobnym natężeniu pola ok. 500 kV/m, kwalifikowanym jako pole strefy niebezpiecznej wg [13].

Podsumowanie

Ekspozycja na pole elektrostatyczne może powodować wyładowania iskrowe z ciała pracownika, powodujące rażenia zdolne do wyzwolenia odruchów groźących różnymi formami wypadków. Dlatego należy objąć ją nadzorem w środowisku pracy i ustalić jej dopuszczalne poziomy.

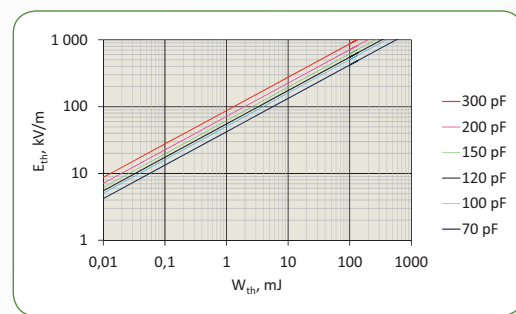
Przyjmując próg percepcji ESD na poziomie 1 mJ, rażenia nie będą odczuwalne lub uciążliwe przy natężeniu pola elektrostatycznego mniejszym od 40 kV/m (poniżej granicy strefy niebezpiecznej wg rozporządzenia Ministra Gospodarki, Pracy i Polityki Społecznej [13]). Ocena ekspozycji jest możliwa na podstawie pomiaru ładunku indukowanego na ciele człowieka. Zaproponowana ocena jest zgodna z koncepcją dyrektywy 2013/35/UE zawartą w załączniku I, by do oceny narażenia na wyładowania iskrowe stosować ładunek elektrostatyczny. Dyrektywa nie określa, czy należy oceniać ładunek zgromadzony na obiekcie naelektryzowanym (także na ciele człowieka), czy też ładunek przepływający w czasie wyładowania przez ciało pracownika.

W przypadku wyładowań iskrowych, będących wyładowaniami całkowitymi, ładunek zgromadzony na obiekcie przewodzącym jest równy ładunkowi odprowadzonemu w czasie wyładowania iskrowego z tego obiektu. Zaproponowany miernik wykonany w CIOP-PIB nadaje się do wykonywania pomiarów obu rodzajów ładunków. Dyrektywa nie zawiera żadnych kryteriów oceny ładunku, pozostawiając w domyśle swobodę w ich określeniu ustawodawcom poszczególnych krajów członkowskich. Wydaje się, że mogą być tu zastosowane dotychczasowe przepisy polskie [13].

Alternatywną metodą zapobiegania rażeniom osób ekspozowanych na pole elektrostatyczne jest zastosowanie przewodzącej, uziomionej posadzki i wyposażenie pracowników w obuwie antystatyczne.

PIŚMIENNICTWO

- [1] Grabarczyk Z.J., Kurczewska A. *Zagrożenia elektrostatyczne w strefach zagrożonych wybuchem*. CIOP, Warszawa 2008
- [2] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 8 lipca 2010 roku w sprawie minimalnych wymagań dotyczących bezpieczeństwa i higieny pracy, związanych z możliwością



Rys. 2. Dopuszczalne natężenie PES, E_{th} , przy wartościach progowych energii wyładowania W_{th} , dla pracownika o pojemności i powierzchni czołowego przekroju ciała $S_b = 1 \text{ m}^2$

Fig. 2. Permissible intensity of electrostatic field, E_{th} , for threshold values of the discharge energy, W_{th} , for the worker capacitance C_b and the surface of the body $S_b = 1 \text{ m}^2$

wystąpienia atmosfery wybuchowej w miejscu pracy. DzU z 2010 r., nr 138, poz. 931

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

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

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

[6] IEC 60079-32-1/TS/Ed1: Explosive atmospheres – Part 32-1: Electrostatic hazards, Guidance (w opracowaniu)

[7] IEC 60079-32-2/Ed1: Explosive atmospheres – Part 32-2: Electrostatic hazards – Tests (w opracowaniu)

[8] Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 7 czerwca 2010 r. w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków, innych obiektów budowlanych i terenów. DzU z 2010 r., nr 109, poz. 719

[9] Strojny J. *Bezpieczeństwo przy obsłudze kondensatorów*. „Atest”, 2007, 3: 13-15

[10] Britton, L. G. *Avoiding static hazards in chemical operations*. Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers, New York 1999

[11] *Handbook of Biological Effects of Electromagnetic Fields*. Polk Ch., Postow E., Second Edition. CRC Press, Boca Raton 1996

[12] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2013/35/UE z dnia 26 czerwca 2013 r. w sprawie minimalnych wymagań w zakresie ochrony pracowników na zagrożenia spowodowane czynnikami fizycznymi (polami elektromagnetycznymi) (dwudziesta dyrektywa szczegółowa w rozumieniu art. 16 ust. 1 dyrektywy 89/391/EWG) i uchylająca dyrektywę 2004/40/WE

[13] Rozporządzenie Ministra Gospodarki, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 29 listopada 2002 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowiskach pracy, Część E. „Pola i promieniowanie elektromagnetyczne z zakresu częstotliwości 0 Hz-300 GHz”. DzU z 2002 r. nr 217, poz. 1833

Publikacja opracowana na podstawie wyników II etapu programu wieloletniego pn. „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, finansowanego w latach 2011-2013 w zakresie badań naukowych i prac rozwojowych ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego/Narodowego Centrum Badań i Rozwoju. Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.

Załącznik

Rodzaje wyładowań elektrostatycznych (ESD)

Stopień zagrożenia elektrostatycznego zależy od rodzaju wyładowania. W specyficznej nomenklaturze ochrony antystatycznej wyróżnia się następujące rodzaje wyładowań [1]:

- **ulotowe** (ang. *corona discharge*), zachodzące z cienkich przewodów i ostrzy w polu elektrostatycznym obiektów naelektryzowanych. Ich energia jest rzędu mikrodżuli i panuje pogląd, że nie zapalają atmosfer wybuchowych, za wyjątkiem być może atmosfer o minimalnej energii zapłonu (ang. MIE – *Minimum Ignition Energy*) mniejszej od 0,1 mJ [2]. Ulot z powierzchni ciała ludzkiego poprzez włosy, ogranicza poziom jego naelektryzowania do 30 kV.

- **snopiaste** (ang. *brush discharge*), zachodzące z uziemionych przedmiotów przewodzących o średnicy krzywizny większej od ok. 3 mm, w polu elektrostatycznym obiektów naelektryzowanych. Ich energia nie przekracza 4 mJ [2]. Mogą zapalić tylko atmosfery gazowe (palne gazy, pary cieczy palnych). Zapobiega im zwiększanie przewodności elektrycznej elektryzujących się materiałów, zmniejszanie szybkość procesów technologicznych, unikanie rozpryskiwania cieczy palnych, neutralizacja ładunku elektrostatycznego i inertyzacja atmosfery. Metody zapobiegania tym wyładowaniom zawarto m.in. w [1, 2, 3].

- **stożkowe** (ang. *cone discharge*), występujące między powierzchnią naelektryzowanej przyzmy nieprzewodzącego materiału sypkiego a ścianami napełnianego silosu, energii do 20 mJ. Z powodu miejsca występowania nie stwarzają zagrożenia rażeniem.

- **iskrowe** (ang. *spark, capacitive spark discharge*), zachodzące między obiektami przewodzącymi (także z/do ciała człowieka) o różnicy potencjałów większej od 330 V. Zapalają większość mediów palnych. Ich energia może dochodzić do kilku dżuli. Mogą być odczuwalne przez ludzi, powodować niekontrolowane ruchy a w skrajnych przypadkach utratę przytomności. Zapobiega się im łącząc i uziemiacz wszystkie obiekty przewodzące. Pracowników uziemia się poprzez przewodzące obuwie i przewodzącą, uziemioną posadzkę.

- **snopiaste rozprzestrzeniające** (ang. *propagating brush discharge*), o energii do kilkunastu dżuli. Zapalają wszystkie atmosfery wybuchowe. Mogą zachodzić z naelektryzowanych powierzchni dielektryków o grubości do 8 mm, naelektryzowanych dwustronnie różnoimiennie albo przylegających do metalowego podłoża. Wyzwała je elektryczne przebiecie dielektryka lub zbliżanie przewodnika (też ciała człowieka). Zapobiega im unikanie pokrywania powierzchni metalowych materiałem izolacyjnym cieńszym niż 10 mm lub stosowanie dielektryka o napięciu przebiecia mniejszym od 4 kV. Są odczuwalne przez człowieka jako bolesne, powodujące niekontrolowane ruchy, mogą spowodować utratę przytomności i zatrzymanie akcji serca.