

dr JAN MARIA KOWALSKI  
mgr inż. MAŁGORZATA WRÓBLEWSKA  
mgr inż. ANNA MAZIK  
Instytut Przemysłu Organicznego  
Zakład Bezpieczeństwa Chemicznego i Elektryczności Statycznej, Warszawa  
Kontakt: kowalski@ipo.waw.pl

# Kryteria oceny stanu zagrożenia wywoływanego elektryzacją środków ochrony indywidualnej pracowników

Fot. Cherkas/Bigstockphoto



W artykule omówiono warunki bezpiecznego użytkowania środków ochrony osobistej personelu w aspekcie zagrożeń wywoływanych występowaniem zjawiska elektryczności statycznej w środowisku pracy. Przytoczono kryteria umożliwiające prognozowanie, identyfikację i ocenę powstających zagrożeń, ze szczególnym uwzględnieniem metod oceny stopnia zagrożenia pożarem i/lub wybuchem, w świetle wymagań dyrektyw UE ATEX i innych dokumentów normatywnych. Określono także zasady klasyfikacji jakościowej i kwalifikacji użytkowej środków ochrony osobistej pracowników, w aspekcie wymagań ochrony przed elektrycznością statyczną.

*Słowa kluczowe: elektryczność statyczna, elektryzacja SOI, pola elektrostatyczne*

## Criteria for assessment of the hazard caused by electrification personal protective equipment in range of requirements of normative documents

The conditions of safe usage of personal protective equipment in terms of the hazards posed by the occurrence of the static electricity in the workplace were discussed.

The criteria enabling for forecasting, identification and assessment of emerging risks, with emphasis on the methods for assessing the level of fire and / or explosion hazard, according to the requirements of EU Directives ATEX and other normative documents were quoted.

The rules of qualitative classification and usage qualification of the personal protective equipment by staff requirements in terms of protection against static electricity were drawn.

*Keywords: static electricity, PPE electrification, electrostatic fields*

## Wstęp

Występowanie w środowisku pracy pól elektrostatycznych o dużym natężeniu oraz towarzyszących im wysokoenergetycznych wyładowań, zwłaszcza iskrowych, stanowi źródło potencjalnego zagrożenia dla życia, zdrowia i mienia człowieka.

Silne wyładowania elektrostatyczne mogą powodować pożary i wybuchy oraz być przyczy-

ną wielu wypadków, uwarunkowanych nagłą, niekontrolowaną reakcją pracownika (odruch bezwarunkowy) pod wpływem nieoczekiwanego rażenia prądem elektrycznym. Skutkiem pożarów i wybuchów, będących konsekwencją elektryczności statycznej, są z reguły straty materialne, nierzadko wypadki śmiertelne, a niekiedy także – mniej lub bardziej rozległe skażenia środowiska naturalnego,

jeżeli np. w wyniku eksplozji zawartości zbiornika przemysłowego dochodzi do erupcji środków szkodliwych i do zanieczyszczenia nimi otoczenia.

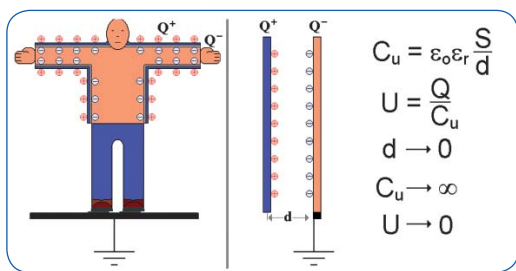
Zarówno siły pola elektrostatycznego, działające w przestrzeni otaczającej naelektryzowany obiekt, jak też wyładowania powodują różnorodne zakłócenia w procesie produkcji. W wielu przypadkach mają one destrukcyjny wpływ na wyroby, obniżając ich jakość. Stan taki wywołuje na ogół potrzebę podejmowania dodatkowych interwencji przez personel produkcyjny, co również wpływa na wzrost liczby wypadków i zwiększa poziom ryzyka.

Niektóre doniesienia literaturowe świadczą o tym, że pola elektrostatyczne nie są też obojętne dla człowieka, ponieważ mogą naruszać przebieg naturalnych procesów bio-elektrochemicznych, zachodzących w jego organizmie. Kwestia ta co prawda nie została dotychczas jednoznacznie rozstrzygnięta i wymaga dalszych, gruntownych badań. Wnioski wynikające z dotychczasowych obserwacji są jednak wystarczająco niepokojące, aby unikanie długotrwałej ekspozycji pracowników na działanie takich pól uznać za w pełni uzasadnione [1-3, 4, 5, 6-8].

W artykule podjęto zatem temat oceny występowania ryzyka elektryzowania się środków ochrony indywidualnej używanych w środowisku pracy, sposobów identyfikacji i oceny tego zjawiska, a także możliwości chronienia się przed nim.

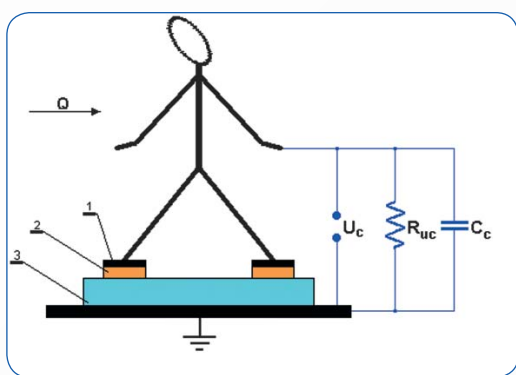
## Stan zagrożenia wywołany elektryzowaniem się środków ochrony indywidualnej

Stan zagrożenia w znacznej mierze uwarunkowany jest powstawaniem ładunku elektrostatycznego na ciele człowieka [9-10]. Poza szczególnymi przypadkami, gdy następuje to w wyniku indukcji od naelektryzowanego obiektu (np. przebywanie pracownika w pobliżu maszyny wytwarzającej lub przetwarzającej tworzywa sztuczne), kontaktu z naelektryzowanym przedmiotem lub ręcznego wykonywania niektórych czynności technologicznych (przesypywanie materiału, przelewanie cieczy itp.), do naelektryzowania człowieka dochodzi przeważnie



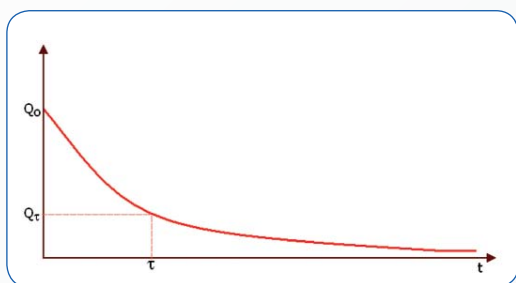
Rys. 1. Różnica potencjałów ( $U$ ) wytwarzana w układzie: ubranie-ciało człowieka przy ustalonym stopniu naelektryzowania (ładunek  $Q$ ), pojemności elektrycznej układu ( $C_u$ ), ustalonym polu ( $S$ ) powierzchni styku zewnętrznego ubrania z ciałem człowieka lub bielizną oraz zmiennej odległości ( $d$ ) między nimi (zależności opisują stan istniejący w czasie noszenia ubrania)

Fig. 1. Potential difference ( $U$ ) created in the configuration: clothing-human body with the set level of electrification ( $Q$  charge), electric quantity of the structure ( $C_u$ ), set area ( $S$ ) of external contact between the clothing and the body or underwear and the variable length ( $d$ ) in between (dependences describe existing state of wearing the clothing)



Rys. 2. Schemat ideowy układu elektrycznego człowiek – ziemia; 1 – stopa człowieka; 2 – spód obuwia (podeszwa); 3 – posadzka (wierzchnia warstwa podłogi)

Fig. 2. Idea of the electric structure schematics human being-ground; 1 – human foot; 2 – boot's sole; 3 – floor (top layer)



Rys. 3. Zanik ładunku elektrostatycznego, wytworzonego na ciele człowieka; lz – materiał izolacyjny (nieprzewodzące spody obuwia)

Fig. 3. Fade-in of the electrostatic charge created on the human body; lz – insulating material (unconductive boot soles)

w związku z używaną przezeń odzieżą, zwłaszcza – ubraniami, obuwiami, bądź nakryciem głowy.

Za swoisty paradoks należy uznać fakt, że środki ochrony indywidualnej pracowników oraz sprzęt ratowniczy i ewakuacyjny, funkcjonalnie przeznaczone do zapewnienia personelowi bezpieczeństwa w środowisku pracy, mogą w pewnych warunkach stać się jednocześnie źródłem zagrożenia [11]. W przypadku bowiem, gdy środki takie albo sprzęt są wykonane z niewłaściwie dobranych materiałów, są wadliwie skonstruowane i/lub są stosowane w nieodpowiedni

sposób albo niezgodnie z ich przeznaczeniem, to pomimo spełniania przez nie zadanych, podstawowych funkcji ochronnych, może dochodzić do ich niebezpiecznego naelektryzowania, a zarazem – do naelektryzowania ciała użytkownika. Grozi to opisanymi na wstępie konsekwencjami.

Szczególnie niebezpieczne jest naelektryzowanie pracownika przebywającego w strefie zagrożenia wybuchem, ze względu na możliwość powstawania wyładowań elektrostatycznych, zwłaszcza – iskrowych, o ekstremalnie dużej energii, znacznie większej w porównaniu z energią wyładowań pochodzących z materiałów nieprzewodzących. Ciało człowieka noszącego nieprzewodzące obuwie może być bowiem traktowane jako „okładka” kondensatora zdolnego do magazynowania ładunku elektrycznego i utrzymywania stanu naelektryzowania. W ocenie stopnia zagrożenia przyjmuje się [9], że wyładowanie pochodzące z izolowanego obiektu przewodzącego (w tym – z ciała człowieka) uwalnia praktycznie biorąc cały wytworzony na nim ładunek elektrostatyczny. Jeżeli więc w strefie zagrożenia wybuchem (EX) pojawia się ładunek elektrostatyczny na nienależycie uziemionych obiektach lub przedmiotach przewodzących, na przykład na pracowniku noszącym obuwie na spodach o zbyt dużej rezystancji elektrycznej, wówczas istnieje szczególnie duże ryzyko powstawania wyładowań zdolnych do wywołania wybuchu mieszanin z powietrzem lub tlenem tworzonych przez palne środki lotne (gazy, pary, mgły), oraz przez niektóre pyły przemysłowe.

Przytoczone konstatacje, wynikające z bezspornego faktu, że w efekcie wadliwego wykonania oraz niewłaściwego użytkowania środków ochrony osobistej i sprzętu ratowniczego może zostać wytworzony stan zagrożenia w obecności atmosfery wybuchowych (przemysł chemiczny, wydobywczy, energetyka i inne), w wystarczającej mierze uzasadniają potrzebę kontrolowania antyelektrostatycznych właściwości tego typu wyrobów.

Możliwości powstawania stanu zagrożenia w związku ze stosowaniem danego typu środków ochrony osobistej pracowników oraz miarodajna ocena stopnia tego zagrożenia zostały omówione w załączniku.

### Kryteria oceny stopnia zagrożenia

Jak to wielokrotnie podkreślano, największe niebezpieczeństwo stwarza elektryzacja ciała człowieka. Pracownik noszący nieprzewodzące obuwie jest traktowany jako okładka kondensatora o pojemności zmieniającej się w trakcie jego przemieszczania się [9]. Gwałtowne uwalnianie się ładunku elektrycznego w postaci wyładowania z utworzonej w ten sposób pojemności ( $C$ ) dowodzi dużej zdolności przewodzenia prądu przez ludzkie ciało. Fakt odczuwania wyładowania przez człowieka świadczy natomiast, że ma ono energię nie mniejszą niż ok. 1 mJ, a więc co najmniej kilkakrotnie przekraczającą wartość energii wystarczającej do wywołania eksplozji mieszanin wybuchowych tworzonych np. przez pary większości palnych mediów organicznych. Warto w związku z tym nieco uszczegółwić odpowiednie informacje.

Noszenie ubrania ochronnego powoduje rozkład ładunku elektrycznego na ciele człowieka i ubraniu w sposób pokazany na rys. 1. [12]. Układ taki charakteryzuje pojemność elektryczna  $C_u$ , zależna od pola

$S$  powierzchni styku ubrania z ciałem człowieka lub bielizną oraz ich wzajemna odległość  $d$ . W czasie noszenia ubrania ładunki elektryczne dodatnie i ujemne wzajemnie się kompensują. Między obydwoma warstwami ładunku istnieje niewielka różnica potencjałów kontaktowych  $U$ , uwarunkowana dużą pojemnością  $C_u$  przy bardzo małej odległości  $d$ . Jeżeli nie zachodzą żadne oddziaływania zewnętrzne na dany układ, to nie stwierdza się stanu jego naelektryzowania. Po zdjęciu ubrania następuje wzajemne rozdzielenie ładunku dodatniego, utworzonego na powierzchni ubrania i równoważnego mu pod względem wartości ładunku ujemnego, pozostającego w danym przypadku na ciele człowieka (koszuli). Gwałtowny wzrost odległości  $d$  skutkuje zmniejszeniem pojemności układu  $C_u$  i odpowiednim zwiększeniem różnicy potencjałów  $U$ .

Niezależnie od sposobu wytworzenia ładunku na ciele człowieka, powstaje układ elektryczny, przedstawiony schematycznie na rys. 2. Układ ten charakteryzuje rezystancja upływu  $R_u$  (opór elektryczny: ciało człowieka – obuwie – podłoga – ziemia) oraz pojemność elektryczna  $C_c$ , tworzona przez ciało człowieka względem ziemi. Decydująca o stopniu zagrożenia wartość napięcia elektrostatycznego  $U$ , przy danym stopniu naelektryzowania (ładunek  $Q$ ) jest zależna od pojemności  $C_c$ .

Zanik ładunku elektrostatycznego powstałego na ciele człowieka wg rys. 2., a zarazem zanik wytworzonego napięcia następuje zgodnie z zależnością wykładniczą przedstawioną na rys. 3.

Energię układu wg rys. 3., a zarazem – energię spodziewanych wyładowań, opisują trzy równoważne wzory:  $W = \frac{1}{2} C_u U_c^2 = \frac{1}{2} Q_0 U_c = \frac{1}{2} Q_0^2 / C_c$ . Zanik określonego stanu naelektryzowania następuje natomiast zgodnie z następującymi zależnościami:  $Q_t = Q_0 e^{-t/\tau} = Q_0 e^{-t/R_{uc}C_c}$  lub – w przybliżeniu –  $Q_t = Q_0 e^{-t/\epsilon_0 \epsilon_r \rho_v}$  [C], gdzie:  $\tau = R_{uc} C_c$  albo – w przybliżeniu –  $\tau = \epsilon_0 \epsilon_r \rho_v$  [s], jeżeli założymy, że w układzie wg rys. 2. zdecydowanie dominuje mechanizm rozładowania ciała człowieka poprzez obuwie i podłogę, a udział zaniku ładunku inną drogą jest znikomy i można go zaniedbać. Przy  $t = \tau$   $Q_t = Q_0 / e \approx 0,37 Q_0$ . W zależnościach tych  $\tau$  jest tzw. czasem relaksacji ładunku elektrostatycznego [13] (PN-E-05200:1992), określającym czas zaniku ok. 63% wytworzonego ładunku  $Q_0$  w czasie  $t = 0$ .  $\epsilon_0$  to stała dielektryczna próżni, a  $\epsilon_r$  – względna przenikalność elektryczna środowiska rozdzielającego „okładki” tworzonego w ten sposób kondensatora. Czas  $\tau$  jest jedną z ważnych wielkości kryterialnych.

O możliwości powstawania stanu zagrożenia decyduje stan naelektryzowania materiału, wyrobu lub obiektu rozpatrywanego w odniesieniu do najwyższych lub najniższych dopuszczalnych parametrów (wielkości fizycznych), określających m.in.: właściwości materiałów (przewodność i przenikalność elektryczna, kształt, wymiary itp.), warunki wykonywania czynności technologicznych, a zwłaszcza – właściwości otaczającego środowiska (wilgotność i temperatura powietrza, minimalna energia zapłonu gazów, par lub pyłów tworzących mieszaninę z powietrzem), stopień naelektryzowania, czas utrzymywania się stanu naelektryzowania, energię wyładowań elektrostatycznych. Odpowiednie wartości „krytyczne” określonych parametrów przytoczone są w serii PN-E-05200÷PN-E-05205, PN-EN 1149 oraz PN-EN 61340, a także w przedmiotowej literaturze.

Wg PN-E-05200:1992 stopień zagrożenia określony jest wskaźnikiem  $\alpha$ , wyrażającym stosunek maksymalnej wartości zmierzony lub wyznaczonej w danych warunkach ( $N_{max}$ ) do odpowiedniej wartości najwyższej dopuszczalnej ( $N_k$ ) danego parametru, przekroczenie której (wskaźnik  $\alpha > 1$ ) warunkuje stan zagrożenia. Zagrożenie uważa się za „stosunkowo duże”, jeżeli  $\alpha > 10$ , co wynika z braku „zapasu” bezpieczeństwa, wynikającego z warunku określonego w PN-E-05202:1992.

Zgodnie z podanymi powyżej normami, stan zagrożenia wybuchem wywołanego naelektryzowaniem ciała człowieka w strefie EX powstaje np. w przypadkach, jeżeli:

- Rezystancja upływu  $R_{uc}$  zmierzona w układzie: ciało człowieka – obuwie – podłoga – ziemia wynosi:  $R_{uc} > 1 M\Omega$

- Potencjał  $V_c$  ładunku elektrostatycznego, wytworzonego na ciele człowieka o pojemności  $C_c$  w środowisku mediów o minimalnej energii zapłonu  $W_{zmin}$  ma wartość:

$$V_c > \sqrt{\frac{W_{zmin}}{5C_c}}$$

- Energia wyładowań elektrostatycznych  $W_w$  przekracza  $0,1W_{zmin} \cdot W_w > 0,1W_{zmin}$  ( $0,1 = k$  – współczynnik bezpieczeństwa wg PN-E-05202:1992)

- Czas relaksacji ładunku  $\tau$ , określony iloczynem  $R_{uc}C_c$  przy  $C_c = 150$  pF, wynosi:  $\tau > 1$  ms.

Ochrona antyelektrostatyczna jest skuteczna, jeżeli stan określony przytoczonymi warunkami nie jest osiągnięty.

## Ochrona antyelektrostatyczna

Właściwości „anty(elektro)statyczne”, jako specyficzna cecha ochronna wyrobu odzieżowego, są bezwarunkowo wymagane w przypadku jego przeznaczenia do stosowania w strefie zagrożonej wybuchem (EX) [11]. Zgodnie z normą terminologiczną PN-E-05200:1992, „wyrób anty(elektro)statyczny” (człon danego określenia ujęty w nawias może być pominięty) jest to taki wyrób, który w miejscu jego użytkowania (stosowania) nie ulega naelektryzowaniu w stopniu, który w danych warunkach uznaje się za niebezpieczny. Bardzo ważne jest odniesienie obserwowanego stanu do konkretnych warunków eksploatacyjnych, np. – do środowiska, w którym są obecne media o ściśle określonej zdolności zapłonowej. W innych bowiem warunkach taki sam stopień naelektryzowania danego wyrobu może być uważany za całkowicie bezpieczny (np. w obecności mediów o znacznie mniejszej zdolności zapłonowej).

W określonym kontekście istotną rolę odgrywa właściwa identyfikacja zagrożenia (lub zagrożeń) związanego z użytkowaniem danego wyrobu, wybór odpowiednich kryteriów oceny stopnia zagrożenia oraz określenie warunków bezpiecznego stosowania wyrobu w świetle wymagań ochrony.

Aby uniknąć wspomnianych wcześniej nieporozumień, należy ponadto wyraźnie określić oczekiwane funkcje ochronne wyrobów antyelektrostatycznych (np. odzieży) oraz procedury ich kontrolowania.

W świetle przytoczonych rozważań funkcją ochronną wyrobu odzieżowego są jego właściwości „anty(elektro)statyczne”. Rozpatrywany wyrób

spełnia taki warunek, jeżeli jego używanie w strefie EX nie grozi powstawaniem wyładowań elektrostatycznych, zdolnych do wywołania wybuchu występujących w niej mieszanin mediów palnych z powietrzem lub tlenem.

Właściwości antystatyczne każdego wyrobu powinny być badane z uwzględnieniem jego rodzaju, przeznaczenia oraz sposobu i warunków użytkowania. Od tych bowiem czynników zależy możliwość wytworzenia się i utrzymania stanu naelektryzowania, a w konsekwencji – ryzyko powstawania stanu zagrożenia. Określona funkcja ochronna rozpatrywanego wyrobu odzieżowego powinna być więc kontrolowana zawsze w odniesieniu do rzeczywistych warunków eksploatacyjnych. Z tego względu konieczna jest możliwie dokładna symulacja takich warunków na stanowiskach doświadczalnych przeznaczonych do oceny antystatycznych właściwości ochron osobistych.

Szczegółowe wymagania ochrony przed elektrycznością statyczną, odnoszące się do wyrobów będących przedmiotem niniejszej publikacji zawarte są w przywołanych seriach Polskich Norm. Kontrola skuteczności ochrony przed elektrycznością statyczną, sprowadza się do stwierdzenia, czy i w jakim zakresie dany wyrób spełnia odpowiednie wymagania. Podstawowe kryterium oceny skuteczności ochrony antyelektrostatycznej w obecności atmosfery wybuchowych stanowi relacja istniejąca między zdolnością zapłonową, wyrażoną minimalną energią zapłonu (MEZ) mediów występujących w danej strefie, a energią spodziewanych w tych warunkach wyładowań elektrostatycznych. Związek ten określa PN-E-05202:1992 [14].

Spełnienie przez rozpatrywany wyrób wymagań ochrony przed elektrycznością statyczną upoważnia do nadania mu cechy wyrobu anty(elektro)statycznego – przewodzącego lub częściowo przewodzącego [13] albo „rozpraszającego ładunek elektrostatyczny” (wg przyjętych norm ISO, IEC, EN). Niekiedy jest też używany termin: „o małej zdolności do elektryzacji” (ang. *low charging*). Kryteria stanowiące podstawę odpowiedniej klasyfikacji jakościowej stanowią: osiągnięty przez dany wyrób maksymalny stopień naelektryzowania, wywołany za jego sprawą maksymalny stopień naelektryzowania ciała użytkownika wyrobu oraz rezystywność i przenikalność elektryczna materiału tego wyrobu, określająca trwałość stanu naelektryzowania. Kwalifikacja użytkowa określonego typu wyrobów polega na wskazaniu obszarów i/lub warunków bezpiecznego ich użytkowania. Należy zwrócić np. uwagę, że spełnienie przez dany wyrób najostrożniejszych wymagań ochrony – odnoszonych do stref zagrożenia wybuchem, zapewnia zarazem skuteczną ochronę antyelektrostatyczną realizowaną we wszelkich innych aspektach. Wymagania ochrony związane np. z likwidacją uszkodzeń systemów mikroelektronicznych, zakłóceń w procesach technologicznych lub rażenia personelu prądem w efekcie wyładowań są na ogół znacznie łagodniejsze.

## Podsumowanie

Środki ochrony indywidualnej pracowników, zatrudnionych zwłaszcza w strefach zagrożenia wybuchem (EX), mogą osiągać niebezpieczny stopień naelektryzowania oraz wywoływać niebezpieczne naelektryzowanie ciała ich użytkowników.

W świetle przepisów wynikających z implementacji Dyrektyw UE ATEX 94/9/WE (ATEX 100a) i ATEX 137/92/WE (ATEX 137) wyładowania elektrostatyczne mogące powstawać w danych warunkach należy traktować jako potencjalne źródło zapłonu atmosfer wybuchowych. Stan ten obciąża do podejmowania działań w zakresie identyfikacji i skutecznej likwidacji określonego źródła zagrożenia zgodnie z odpowiednimi wymaganiami Polskich Norm.

W kolejnej publikacji zostaną omówione metody badań stosowane do oceny zagrożeń oraz oceny skuteczności ochrony antyelektrostatycznej.

## PIŚMIENNICTWO

[1] Kowalski J.M. *Elektryczność statyczna w procesach technologicznych; Projektowanie procesów technologicznych – Bezpieczeństwo procesów chemicznych*. Praca zb. pod red. L. Synoradzkiego i J. Wisiańskiego wyd. 2. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2012

[2] Kowalski J.M. *Elektryczność statyczna w procesach technologicznych. Wyładowanie elektrostatyczne jako potencjalne źródło zapłonu w świetle Dyrektyw UE ATEX. „Magazyn Ex – Bezpieczeństwo w strefach zagrożonych wybuchem”* 2011, 21, 1: 22-23

[3] Kowalski J.M. *Identyfikacja i eliminowanie zagrożeń wywołanych zjawiskiem elektryczności statycznej; „Organika” – Prace Naukowe Instytutu Przemysłu Organicznego 2001-2002*. Warszawa 2003

[4] Kowalski J.M., Wróblewska M., Mazik A. *Środki ochrony indywidualnej pracowników a ochrona przed elektrycznością statyczną. Cz. 1. Niektóre aspekty kontroli funkcji ochronnych antyelektrostatycznych wyrobów odzieżowych. „Magazyn Ex – Bezpieczeństwo w strefach zagrożonych wybuchem”* 2013, 29, 1: 34-43

[5] Kowalski J.M., Wróblewska M. *Premises for Practical Evaluation of the Anti-Static Properties of Protective Garments. “Fibres & Textiles in Eastern Europe”* 2006, Vol. 14, No. 5 (59): 23-28

[6] Korniewicz H., Kowalski J.M., Michnowski S. *Wpływ rozwiązań materiałowo-konstrukcyjnych na zagrożenie zdrowia przez elektryczność statyczną*. Prace Naukowe Instytutu Techniki Budowlanej t. XXXV, str. 186-194, Warszawa 1980

[7] Kowalski J.M. *Zaburzenia wywołane elektryzacją tworzyw sztucznych, stosowanych we wnętrzach mieszkalnych*. Praca niepublikowana, wykonana na zlecenie Instytutu Kształtowania Środowiska; sygn. IKS-6/01/03/00/0, Warszawa 1976

[8] Kowalski J.M., Szatkowski K. *Elektryzacja tworzyw sztucznych stosowanych w budownictwie. „Biuletyn Informacyjny o Budownictwie. Budownictwo Ogólne”* 1983, 5, Z 4: 16-19.

[9] Kowalski J.M., Wróblewska M. *Opracowanie danych wyjściowych do modeli zdarzeń wypadkowych powodowanych przez elektryczność statyczną*. Sprawozdanie IPO nr EMC 330200014-1, Warszawa 2002

[10] Kowalski J.M., Wróblewska M. *Określenie parametrów krytycznych niezbędnych do oceny zagrożenia wypadkowego przez elektryczność statyczną w środowisku pracy*. Sprawozdanie IPO nr EMC 330200014-2, Warszawa 2002

[11] Kowalski J.M. *Zagrożenia wywołane elektryzacją ciała człowieka. „Magazyn Ex – Bezpieczeństwo w strefach zagrożonych wybuchem”*. 2009, 13, 1: 11-17

[12] Kowalski J.M., Wróblewska M. *Ochrona przed elektrycznością statyczną w środowisku pracy. „Bezpieczeństwo Pracy”* 2004, 9, 398: 12-16

[13] PN-E-05200:1992 Ochrona przed elektrycznością statyczną – Terminologia

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

## ZAŁĄCZNIK

### Zasady identyfikacji i oceny zagrożeń

Stwierdzenie możliwości powstawania stanu zagrożenia w związku ze stosowaniem danego typu środków ochrony osobistej pracowników oraz miarodajna ocena stopnia tego zagrożenia są możliwe tylko w przypadku dokładnej znajomości warunków lokalnych oraz wszelkich, nawet stosunkowo mało prawdopodobnych oddziaływań, mogących spowodować wytworzenie ładunku elektrostatycznego na wyrobie i/lub na ciele pracownika.

Asortyment środków przeznaczonych do indywidualnej ochrony pracowników jest bardzo szeroki. Oprócz odzieży ochronnej, obejmującej typowe wyroby chroniące bezpośrednio różne części ciała człowieka przed szkodliwym lub niebezpiecznym wpływem czynników zewnętrznych, podobne funkcje spełnia także różnego rodzaju sprzęt asekuracyjny, stosowany na ogół doraźnie na stanowiskach pracy (np. gogle i okulary, maski i półmaski, nauszники, nakolanniki i nagolenniki, różnorodne ekrany/ostony, szelki bezpieczeństwa i inne środki chroniące przed upadkiem). Ponieważ ogólne zasady postępowania, niezależnie od rodzaju rozpatrywanego wyrobu są analogiczne, odpowiednie rozważania ograniczymy do typowej odzieży ochronnej, a więc: bielizny i ubrań zewnętrznych, nakryć głowy (czapki, berety, hełmy ochronne), ochron dłoni (rękawice) oraz obuwia a ponadto innych ochron kończyn dolnych – rajstopy, pończochy, skarpet, onuc, nakolanników, nagolenników itp.

Zasadą podstawową jest zapewnienie bezpiecznego użytkowania danego wyrobu w środowisku pracy. Aby ten warunek został spełniony, należy wykluczyć możliwość powstawania zagrożenia spowodowanego zarówno elektryzacją samego wyrobu, jak też wywoływanym przezeń naelektryzowaniem ciała jego użytkownika.

Rozpatrując określony wyrób trzeba przede wszystkim mieć na względzie to, w jakich warunkach i w jaki sposób będzie on użytkowany, biorąc zarazem pod uwagę wszelkie możliwe do przewidzenia okoliczności. Jeżeli jest to na przykład zewnętrzna część ubrania ochronnego (kurtka, bluza, kamizelka, kitel itp.), to jej naelektryzowanie, a zarazem naelektryzowanie ciała pracownika następuje w wyniku świadomie lub nieświadomie wykonywanych przezeń czynności takich, jak: czyszczenie powierzchni ubrania przez jego strzepywanie omiatanie, przecieranie albo nadmuch sprężonego powietrza, kontakt i tarcie ze sprzętem znajdującym się na stanowisku pracy (np. siedzenia krzesła lub foteli, blaty stołów), ocieranie się o odzież innego, np. przechodzącego obok pracownika oraz – zdjęcie danej części ubrania. W określonym przypadku rzeczą istotną jest ustalenie z jakiego rodzaju materiałami może się zetknąć rozpatrywana część odzieży podczas jej noszenia. Pozwoli to bowiem na odtworzenie (symulację) warunków elektryzacji kontaktowo-tarciowej danego wyrobu oraz ocenę możliwości powstawania stanu zagrożenia. Podobnie należy traktować też inne części wszelkie części ubrań, osłaniające tułów człowieka.

Szczególną rolę odgrywa obuwie ochronne. Z jednej strony może ono wywołać niebezpieczne naelektryzowanie pracownika w czasie chodzenia, z drugiej zaś – uniemożliwia dostatecznie szybkie rozładowanie jego ciała (odpływ ładunku), jeżeli spody (podeszwa) obuwia są wykonane z nieprzewodzącego materiału. W tym kontekście ważna jest informacja o rodzaju podłóg/posadzek istniejących na stanowiskach pracy. Rezystancja elektryczna systemu obuwie – podłoga decyduje bowiem tak o stopniu naelektryzowania ciała pracownika, jak i o szybkości zaniku ładunku, co określa stan zagrożenia.

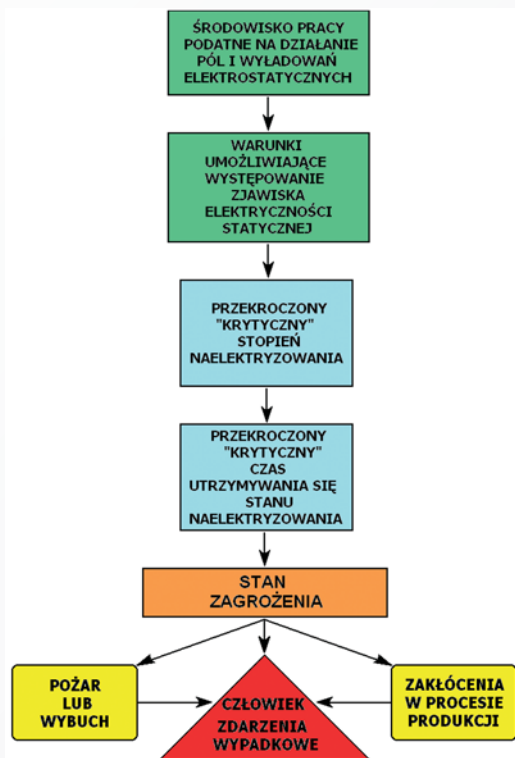
Rajstopy, pończochy lub skarpety nie wpływają na ogół na zwiększenie rezystancji między stopą człowieka a spodem obuwia. Nawet śladowa ilość potu powoduje bowiem wystarczające zwiększenie przewodności elektrycznej materiału takich wyrobów. W strefach zagrożenia wybuchem zaleca się jednak stosowanie wyrobów przewodzących.

Rękawice, ze względu na sposób ich używania nie powinny się elektryzować, ani też wywołać naelektryzowania ciała noszącej je osoby. Jedyny, raczej hipotetyczny, mogący doprowadzić do tego przypadek, to energiczne, długotrwałe pocieranie dłonią w suchej rękawicy, wykonanej z izolacyjnego materiału, nieprzewodzącej powierzchni sprzętu, np. lakierowanego blatu stołu lub biurka. W zasadzie rękawice powinny być rozpatrywane podobnie jak obuwie, ponieważ stanowią one alternatywną drogę odprowadzenia ładunku z naelektryzowanego ciała pracownika.

Czapka lub beret, przy szybkim, energicznym zdejmowaniu, zwłaszcza z obfitej owłosionej głowy, może spowodować naelektryzowanie ciała człowieka. Mniej prawdopodobne jest to w przypadku hełmu ochronnego. Realne jest natomiast w przypadku czyszczenia lub odkurzania takiego typu wyrobów

(zwłaszcza hełmu, ze względu na gładką powierzchnię skorupy), zarówno w czasie ich noszenia, jak też – po zdjęciu z głowy (wyrób trzymany w ręku).

Należy mieć świadomość, że sam fakt powstawania ładunku elektrostatycznego nie świadczy jeszcze o istnieniu rzeczywistego zagrożenia. Jest to jeden z czynników potencjalnie warunkujących możliwość pojawienia się takiego stanu. Realne zagrożenie wywołane zjawiskiem elektryczności statycznej w środowisku pracy powstaje tylko wtedy, jeżeli **jednocześnie** są spełnione warunki przytoczone na rys. 4. [10]. W rozważanym przypadku należy je odnieść do okoliczności użytkowania środków ochrony osobistej i możliwych konsekwencji ich elektryzacji.



Rys. 4. Uwarunkowania stanu zagrożenia w środowisku pracy, wywołanego elektryzacją środków ochrony indywidualnej osobistej [10]

Rezultaty badań klasyfikacyjno-kwalifikacyjnych środków ochrony osobistej powinny umożliwić jednoznaczne stwierdzenie, czy dany wyrób oraz ciało jego użytkownika mogą osiągać stopień naelektryzowania przekraczający wartość uznaną w rozpatrywanych warunkach (np. – w strefie zagrożenia wybuchem) za najwyższą dopuszczalną oraz czy stan ten może utrzymywać się w czasie dłuższym niż dopuszczalny. Jeżeli wartości te są przekraczane, powstaje stan zagrożenia.

Istotne są jednak przesłanki merytoryczne [12], które w racjonalny sposób uzasadniają proponowaną „filozofię” i tryb praktycznego postępowania w zakresie oceny zagrożeń wywołanych elektryzacją odzieży i innych środków ochrony pracowników. Niektóre procedury badawcze zawarte w przedmiotowych normach są bowiem, zdaniem autorów, niedostatecznie merytorycznie uzasadnione, a często też – niespójne. Stwarza to pewien chaos przy realizacji badań kwalifikacyjnych, stanowiących podstawę odpowiedniej certyfikacji wyrobów i nierzadko prowadzi do nieporozumień. Kontrowersje takie powstają m.in. w związku z realizacją i oceną wyników badań wg serii norm dotyczących oceny elektrostatycznych właściwości odzieży ochronnej, a zwłaszcza – PN-EN 1149-3:2007.