

dr JAN MARIA KOWALSKI  
mgr inż. MAŁGORZATA WRÓBLEWSKA  
Instytut Przemysłu Organicznego

# Ochrona przed elektrycznością statyczną w środowisku pracy

W artykule opisano oddziaływania elektryczności statycznej obserwowane w środowisku pracy. Podano kryteria oceny zagrożeń, wymagania ochrony oraz wskazano podstawowe środki zaradcze.

## Protection against static electricity in the working environment

The effects of static electricity observed in the working environment are described. The criteria of hazard assessment as well as the protection requirements and basic protective means are indicated.

### Wstęp

Elektryczność statyczna wywołuje zagrożenie dla życia, zdrowia i mienia człowieka w różnych sferach jego działalności, a zwłaszcza – w środowisku pracy. Zagrożenie to jest uwarunkowane przede wszystkim oddziaływaniem sił pola elektrostatycznego oraz wysokoenergetycznych wyładowań iskrowych, pojawiających się przy odpowiednio dużym natężeniu tego pola [1].

W wyniku elektryzacji materiałów i wyrobów, która ma miejsce w obiektach mieszkalnych lub komunalnych, w zakładach przemysłowych i w środkach transportu, obserwuje się m.in.:

- powstawanie zagrożenia pożarem lub wybuchem
- zakłócenia w przebiegu procesu produkcji
- pogorszenie jakości i zmniejszenie trwałości (skrócenie żywotności) wielu wyrobów
- nieszczęśliwe wypadki
- szkodliwe oddziaływanie pól elektrostatycznych na organizm człowieka
- dyskomfort odczuwany przez osoby przebywające wewnątrz pomieszczeń lub korzystające ze środków transportu, zwłaszcza przy niskiej wilgotności powietrza, np. w sezonie grzewczym (rażenie prądem w wyniku wyładowań)
- zaburzenia w funkcjonowaniu urządzeń elektronicznych.

### Mechanizm powstawania i skutki elektryzacji

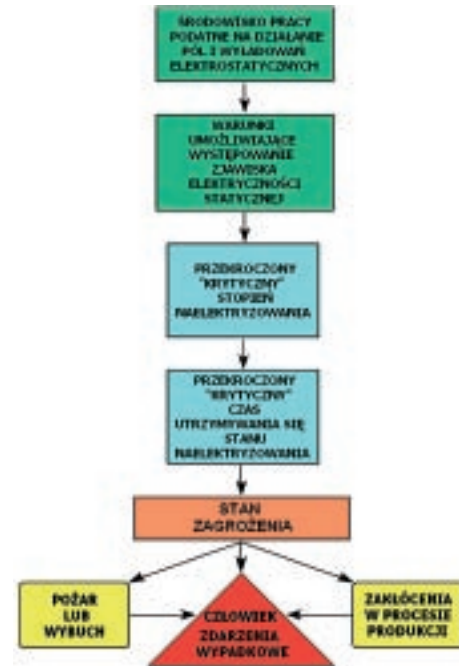
W praktyce dominuje kontaktowo-tarciowy mechanizm elektryzacji, co ma miejsce zwłaszcza w czasie wykonywania czynności technologicznych o charakterze

dynamicznym, tzn. w warunkach, w których występują oddziaływania między materiałami/mediami oraz ich wzajemne przemieszczanie się. Stosunkowo często stan naelektryzowania powstaje też na skutek indukcji w polu elektrostatycznym.

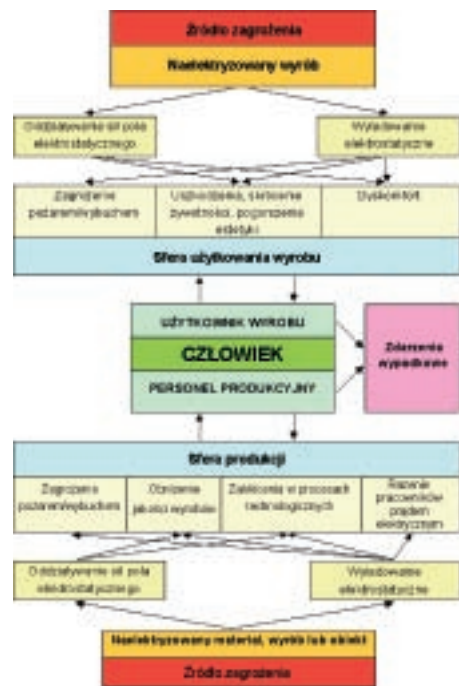
Skutki elektryzacji są szczególnie dotkliwie odczuwane zimą, w nieklimatyzowanych, ogrzewanych centralnie pomieszczeniach, gdy wilgotność względna powietrza, w ekstremalnych warunkach, spada nawet do kilkunastu procent. Warunki takie, na skutek znacznego wzrostu rezystancji (oporu elektrycznego) materiałów, sprzyjają powstawaniu ładunku elektrostatycznego oraz utrzymywaniu stanu naelektryzowania przez rozpatrywany materiał lub obiekt.

Możliwość szkodliwego oddziaływania elektryczności statycznej na człowieka i środowisko, w którym on przebywa (w szczególności – środowisko pracy) oraz na przebieg procesu technologicznego zależy od stopnia naelektryzowania osiąganego przez rozpatrywany materiał/wyrób/obiekt oraz od czasu, w którym ten stan materiału/wyrobu/obiektu się utrzymuje.

Stan „potencjalnego” zagrożenia powstaje, jeżeli materiał, wyrób, obiekt lub ciało człowieka osiąga „krytyczny” (najwyższy dopuszczalny) stopień naelektryzowania, przy którym należy się liczyć z możliwością występowania niebezpiecznych wyładowań lub możliwością szkodliwych oddziaływań pola elektrostatycznego. Realne zagrożenie powstaje natomiast dopiero wówczas, gdy określony stan utrzymuje się nie krócej, niż w czasie, niezbędnym np. do formowania się wyładowań iskrowych oraz – gdy takie wyładowania osiągają odpowiednio dużą energię. Destrukcyjne oddziaływanie sił pola elektrostatycznego



Rys. 1. Uwarunkowania stanu zagrożenia wypadkowego w środowisku pracy, w którym występuje elektryczność statyczna



Rys. 2. Mechanizm oddziaływania na człowieka zagrożeń/zakłóceń wywołanych występowaniem zjawiska elektryczności statycznej

jest możliwe również tylko wtedy, gdy „krytyczne” natężenie tego pola utrzymuje się dostatecznie długo.

Możliwość zaistnienia szeroko rozumianego zdarzenia wypadkowego [2, 3] jest uzależniona w związku z tym od wszystkich wymienionych uwarunkowań, co ilustruje uogólniony schemat blokowy (rys. 1.).

Właściwości środowiska pracy, warunkujące powstawanie stanu zagrożenia dla człowieka, mogą być przedstawione w sposób opisowy (logiczny) lub parametryczny, wyrażony wartościami liczbowymi odpowiednich wielkości fizycznych, charakteryzujących dane środowisko, proces technologiczny i uczestniczące w nim media/materiały oraz stan naelektryzowania i jego skutki.

Typowe zagrożenia lub zakłócenia, wywoływane występowaniem zjawiska elektryczności statycznej w sferach działalności człowieka przedstawiono na schemacie (rys. 2.) Wskazano na nim istniejące swoiste sprzężenie zwrotne między zagrożeniem dla człowieka, wynikającym ze sfery produkcji oraz sfery użytkowania wyrobów, a niebezpieczeństwem, jakie może stwarzać dla tych sfer nieprzewidywalne i niekontrolowane działanie człowieka, będącego pod wpływem silnego pola elektrostatycznego i/lub wysokoenergetycznych wyładowań. Może to z kolei powodować dalszy wzrost narażenia człowieka na działanie czynników wywołujących zdarzenia wypadkowe.

Na przykład, naelektryzowanie człowieka powoduje silne wstrząsy, towarzyszące wyładowaniom, przy zetknięciu jego dłoni z uziemionym przedmiotem metalowym (pojemnik z wrzątkiem, kwasem itp.), skutkiem czego może być upuszczenie tego przedmiotu i oparzenie lub uraz ciała, uszkodzenie wykładziny podłogowej itp. To z kolei wywołuje potrzebę wykonania dalszych czynności w celu usunięcia tych skutków, co również wiąże się z pewnym, dodatkowym ryzykiem. Podobnie silne naelektryzowanie folii z tworzywa sztucznego, przemieszczanej na maszynie za pomocą walca (np. drukarce) na skutek indukcji wywołuje naładowanie ciała pracownika obsługującego maszynę. Konsekwencją tego są wyładowania iskrowe, zdolne do spowodowania zapłonu/wybuchu mieszaniny par organicznych rozcieńczalnika farby. Mogą one spowodować także uraz ciała człowieka lub uszkodzenie układów elektronicznych, sterujących procesem

technologicznym. Ponadto w organizmie człowieka, będącego pod wpływem pola elektrostatycznego o dużym natężeniu, mogą zachodzić procesy wywołujące zmęczenie i rozkojarzenie pracownika mogącego w tym stanie popełniać błędy przy obsłudze urządzenia. Wszystko to potęguje ryzyko powstawania zdarzeń wypadkowych.

Duży wpływ na poziom zagrożenia powstającego w środowisku pracy mają m.in. niewłaściwie dobrane środki ochrony indywidualnej człowieka. Z jednej strony, mogą one bowiem zapewniać niewystarczającą skuteczną ochronę człowieka przed zewnętrznym oddziaływaniem elektryczności statycznej, z drugiej zaś – mogą powodować niebezpieczne naelektryzowanie jego ciała. Dotyczy to przede wszystkim odzieży ochronnej, aczkolwiek nie tylko!

Wynika stąd, że zagadnienie powstawania zdarzeń wypadkowych, związanych z występowaniem elektryczności statycznej w środowisku pracy, należy rozpatrywać w dwóch aspektach:

- człowiek jako czynnik wywołujący zdarzenie wypadkowe, będący jego bezpośrednią przyczyną, a zarazem – uczestnikiem wypadku
- człowiek jako uczestnik zdarzenia wypadkowego, powstałego pod wpływem innych czynników.

W pierwszym przypadku zdarzenie wypadkowe jest konsekwencją niebezpiecznego naelektryzowania ciała człowieka i/lub jego działań (zachowań) prowadzących do wypadku. Należy podkreślić, że w tej sytuacji człowiek stanowi jakby przemieszczającą się elektrodę, na której przenoszony jest ładunek elektryczny o zmiennym potencjale, zależnym od przestrzennej lokalizacji i ułożenia ciała, warunkujących jego pojemność elektryczną względem ziemi. Stwarza to zagrożenie zarówno dla samego człowieka, jak i dla jego otoczenia. W drugim przypadku zdarzenie wypadkowe, z udziałem lub narażeniem człowieka, jest skutkiem naelektryzowania obiektów znajdujących się w jego otoczeniu i powstania w związku z tym sytuacji awaryjnej.

Z przytoczonych zjawisk wynika, że oddziaływania elektryczności statycznej mogą być bezpośrednią lub pośrednią przyczyną zdarzeń wypadkowych. Źródłem zagrożenia może być przy tym zarówno naelektryzowanie samego człowieka (jego ciała), jak też – przedmiotów znajdujących się w jego otoczeniu.

## Przyczyny zdarzeń wypadkowych

**Bezpośrednią przyczyną zdarzeń wypadkowych są np.:**

- wyładowania elektrostatyczne, zwłaszcza iskrowe, wywołujące:
  - pożary i/lub wybuchy
  - wypadki, na skutek niekontrolowanych odruchów bezwarunkowych u pracowników obsługujących maszyny z częściami ruchomymi (walce, noże, koła zębate, napędy itp.) lub inne niebezpieczne urządzenia, z którymi przypadkowy kontakt może doprowadzić do cięższego lub lżejszego urazu ciała; zagrożenie takie powstaje nie tylko w przedsiębiorstwach przemysłowych, lecz także w pomieszczeniach biurowych oraz mieszkalnych
- uszkodzenia przez pola lub wyładowania elektrostatyczne podstawowych, elektronicznych układów sterowania procesem technologicznym, zwłaszcza urządzeń decydujących o bezpieczeństwie jego przebiegu (ograniczniki temperatury i ciśnienia, systemy kontroli stężeń substancji szkodliwych, wentylacja i in.).

**Pośrednią przyczyną zdarzeń wypadkowych stanowią m.in.:**

- wszelkie zakłócenia w procesie produkcji, wymagające dodatkowej interwencji człowieka, a więc powodujące zwiększone jego narażenie na działanie czynników warunkujących zdarzenia wypadkowe (dotyczy to zwłaszcza procesu produkcji i przetwarzania materiałów wybuchowych oraz innych materiałów niebezpiecznych, procesów technologicznych realizowanych na urządzeniach z elementami ruchomymi itp.)
- różnorodne zakłócenia wywoływane zjawiskiem elektryczności statycznej w sferze użytkowania wyrobów, a wynikające ze zwiększonej ich awaryjności lub obniżonej jakości, na skutek destrukcyjnego oddziaływania pól i wyładowań elektrostatycznych.

## Kryteria oceny zagrożeń

Kryteria oceny zagrożeń są determinantami możliwości powstawania warunków, sprzyjających powstawaniu zdarzeń wypadkowych [3]. Bazują one z reguły na granicznych, tzn. najwyższych lub najniższych dopuszczalnych wartościach parametrów, określających na przykład:

- właściwości materiałów, przykładowo mediów reakcyjnych i tworzywa

konstrukcyjnego aparatury technologicznej (przewodność i przenikalność elektryczna, kształt, wymiary i in.)

- właściwości otaczającego środowiska (wilgotność i temperatura powietrza, minimalna energia zapłonu gazów, par lub pyłów, tworzących mieszaninę wybuchową z powietrzem)

- warunki przebiegu procesu technologicznego (np. temperatura i ciśnienie, prędkości przepływów cieczy, gazów lub aerozoli, prędkości przemieszczania materiałów na maszynach za pomocą walców)

- stopień naelektryzowania materiału/wyrobu/obiektu

- czas utrzymywania się stanu naelektryzowania

- energię wyładowań elektrostatycznych.

Kryteria oceny zagrożeń mogą być zarazem stosowane do oceny skuteczności ochrony anty(elektro)statycznej. Najostrożniejsze są wymagania ochrony, odnoszone do *stref zagrożenia wybuchem*, klasyfikowanych zgodnie z rozporządzeniem ministra spraw wewnętrznych i administracji z dnia 16 czerwca 2003 r. [4]. Spełnienie tych wymagań zapewnienia z reguły efektywną ochronę przed elektrycznością statyczną we wszelkiego typu obiektach komunalnych i przemysłowych oraz we wszelkich warunkach eksploatacyjnych. Jeżeli zachodzi potrzeba wyeliminowania innych szkodliwych oddziaływań elektryczności statycznej, poza obszarami zagrożenia wybuchem, to dla zapewnienia skutecznej ochrony antyelektrostatycznej na ogół jest wystarczające spełnienie znacznie łagodniejszych wymagań.

### Ochrona przed elektrycznością statyczną

Ważniejsze dokumenty normatywne, odnoszące się do ochrony przed elektrycznością statyczną w środowisku pracy, podano w tabeli 1., zaś niektóre, ważniejsze wymagania ochrony, wynikające z przyjętych w Polsce norm zestawiono w tabeli 2.

Przekroczenie podanych w tabeli 2. wartości „krytycznych” (najwyższych dopuszczalnych)  $N_{kr}$  świadczy o istnieniu stanu zagrożenia. Należy przy tym zwrócić uwagę, że realne zagrożenie powstaje, jeżeli równocześnie ma miejsce przekroczenie jednej z wartości „krytycznych” podanych w poz. 3-6 tabeli 2., określających stopień naelektryzowania materiału lub obiektu oraz jednej z wartości wg poz. 1-2, charakteryzujących czas utrzymywania się stanu jego naelektryzowania (por. rys. 1., str. 12.).

Zgodnie z PN-92/E-05200, poziom zagrożenia wywołanego występowaniem

Tabela 1  
ZESTAWIENIE PODSTAWOWYCH POLSKICH NORM, DOTYCZĄCYCH OCHRONY PRZED ELEKTRYCZNOŚCIĄ STATYCZNĄ

| Lp. | Nr normy              | Tytuł  |
|-----|-----------------------|--|
| 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 1149-1:1999     | Odzież ochronna – Właściwości elektrostatyczne – Rezystywność powierzchniowa (Metody badania i wymagania)  |
| 8.  | PN-EN 1149-2:1999     | Odzież ochronna – Właściwości elektrostatyczne – Metoda badania rezystancji skrośnej   |
| 9.  | PN-IEC 61340-4-1:2000 | Elektryczność statyczna – Znormalizowane metody badań do określonych zastosowań – Właściwości elektrostatyczne wykładzin podłogowych i gotowych podłóg                               |
| 10. | PN-EN 61340-5-1:2002  | Elektryczność statyczna – Część 5-1: Ochrona przed elektrycznością statyczną przyrządów elektronicznych – Wymagania ogólne   |
| 11. | PN-EN 61340-4-3:2002  | Elektryczność statyczna – Część 4-3: Znormalizowane metody do określonych zastosowań – Obuwie  |

Uwaga: wymagania norm wg lp. 2-5, w odniesieniu do środowisk zagrożonych wybuchem, zostały uznane za obligatoryjne, zgodnie z rozdz. 2 § 14 ust. 1 rozporządzenia ministra gospodarki, pracy i polityki społecznej z dnia 29 maja 2003 r. w sprawie minimalnych wymagań dotyczących bezpieczeństwa i higieny pracy pracowników zatrudnionych na stanowiskach pracy, na których może wystąpić atmosfera wybuchowa (DzU nr 107, poz. 1004).

Tabela 2  
WYMAGANIA OCHRONY ANTYELEKTROSTATYCZNEJ WEDŁUG POLSKICH NORM

| Lp. | Obiekty zagrożone wybuchem  | Obiekty niezagrożone wybuchem (narażone na inne zakłócenia)                     |
|-----|---|---|
| 1.  | Rezystancja upływu materiału lub obiektu:<br>$R_u \square R_{u,kr} = 1 \cdot 10^6 \square$  | $R_u \square R_{u,kr} = 1 \cdot 10^9 \square$                                   |
| 2.  | Czas relaksacji ładunku elektrostatycznego:<br>$\tau \square \tau_{kr} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ s}$   | $\tau \square \tau_{kr} = 1 \cdot 10^{-1} \text{ s}$                            |
| 3.  | Potencjał ładunku elektrostatycznego na powierzchni dielektryku:<br>– w obecności mediów o minimalnej energii zapłonu<br>$W_{z,min} \square 0,1 \text{ mJ}$<br>$V_p \square V_{p,kr} = 1 \cdot 10^3 \text{ V}$<br>– w obecności mediów o minimalnej energii zapłonu:<br>$0,1 \text{ mJ} < W_{z,min} \square 0,5 \text{ J}$<br>$V_p \square V_{p,kr} = 3 \cdot 10^3 \text{ V}$ | $V_p \square V_{p,max dop}$   |
| 4.  | Napięcie elektrostatyczne między obiektem przewodzącym a ziemią:<br>$U \square U_{kr} = \sqrt{\frac{W_{z,min}}{5C}}$  | $U \square U_{max dop}$   |
| 5.  | Natężenie pola elektrostatycznego:<br>– przy $W_{z,min} \square 0,1 \text{ mJ}$ :<br>$E \square E_{kr} = 1 \cdot 10^3 \text{ V/m}$<br>– przy $0,1 \text{ mJ} < W_{z,min} \square 0,5 \text{ J}$ :<br>$E \square E_{kr} = 3 \cdot 10^3 \text{ V/m}$  | $E \square E_{kr} = 2 \cdot 10^4 \text{ V/m}$<br>lub<br>$E \square E_{max dop}$ |
| 6.  | Energia wyładowań elektrostatycznych:<br>$W_w \square 0,1 \text{ W}_{z,min}$  | $W_w \square 1 \text{ mJ}$<br>lub<br>$W_w \square W_{w,max dop}$                |

Uwaga:  $V_{p,max dop}$ ,  $U_{max dop}$ ,  $E_{max dop}$  i  $W_{w,max dop}$  ustala się indywidualnie, w zależności od spodziewanych zakłóceń. Potrzebne informacje są zawarte w odpowiednich normach przedmiotowych lub w literaturze technicznej



elektryczności statycznej jest określony wskaźnikiem  $\alpha$ , wyrażającym stosunek maksymalnej wartości zmierzonej lub wyznaczonej w danych warunkach ( $N_{max}$ ) do odpowiedniej wartości krytycznej – najwyższej dopuszczalnej ( $N_{kr}$ ) wg tabeli 2., której przekroczenie warunkuje powstawanie stanu zagrożenia:

$$\alpha = \frac{N_{max}}{N_{kr}}$$

Wynika stąd, że stan zagrożenia występuje, gdy  $\alpha > 1$ .

Według PN-92/E-05 201, poziom zagrożenia uważa się za stosunkowo duży, jeżeli  $\alpha > 10$ .

W normie PN-92/E-05 200 został zdefiniowany również wskaźnik skuteczności ochrony antyelektrostatycznej  $\eta$ , będący odwrotnością wskaźnika  $\alpha$ :

$$\eta = \frac{1}{\alpha} = \frac{N_{kr}}{N_{max}}$$

Z przytoczonego związku wynika, że ochrona jest skuteczna, jeżeli wskaźnik  $\eta$  ma wartość równą co najmniej „1”, tj. gdy  $\eta \geq 1$ .

Wydaje się, że w modelu prognozowania zdarzeń wypadkowych, wywołanych przez elektryczność statyczną może być użyty probabilistyczny **zespolony wskaźnik stopnia zagrożenia** (ozn. np. ZE), który wyrażałby prawdopodobieństwo zajścia zdarzenia wypadkowego na skutek oddziaływania elektryczności statycznej.

Dla poszczególnych wskaźników poziomu zagrożenia  $\alpha$ , przyporządkowanych odpowiednim wielkościom kryterialnym wg przytoczonej tablicy można byłoby np. przyjąć prawdopodobieństwo zdarzenia (P) równe „1”, w przypadku gdy:

$$\alpha = \frac{N_{max}}{N_{kr}} = 10$$

Otrzymamy w ten sposób, że:

$$ZE = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3 \dots P_n$$

Wszelkie odstępstwa lub odchylenia od wymagań podanych w cyklu przedmiotowych Polskich Norm mogą wywołać stan zagrożenia, a w konsekwencji stać się przyczyną zdarzeń wypadkowych. Powodem zwiększenia ryzyka mogą być m.in. odstępstwa od tych wymagań zaistniałe już w fazie projektowania procesu technologicznego, w fazie eksploatacji oraz

w zakresie organizacji pracy i zarządzania, szkolenia, kontroli i nadzoru.

Podstawę racjonalnego postępowania w zakresie zapobiegania powstawaniu stanu zagrożenia, a tym samym – przeciwdziałania zdarzeniom wypadkowym, stanowią przede wszystkim wymagania ochrony antyelektrostatycznej, zawarte w normach wymienionych w tabeli 1. Ogólnie biorąc, takie postępowanie po-

na ciele człowieka. Jeżeli nie jest to możliwe, wówczas zaleca się ograniczenie czasu przebywania personelu w zasięgu pola elektrostatycznego. Zapobieganie powstawaniu ładunku elektrostatycznego na ciele człowieka sprowadza się natomiast do stosowania indywidualnych środków ochrony, takich zwłaszcza, jak:

- ubrania antyelektrostatyczne, wykonane z odpowiednio modyfikowanych materiałów – nie elektryzujących się lub wykazujących podwyższoną przewodność elektryczną

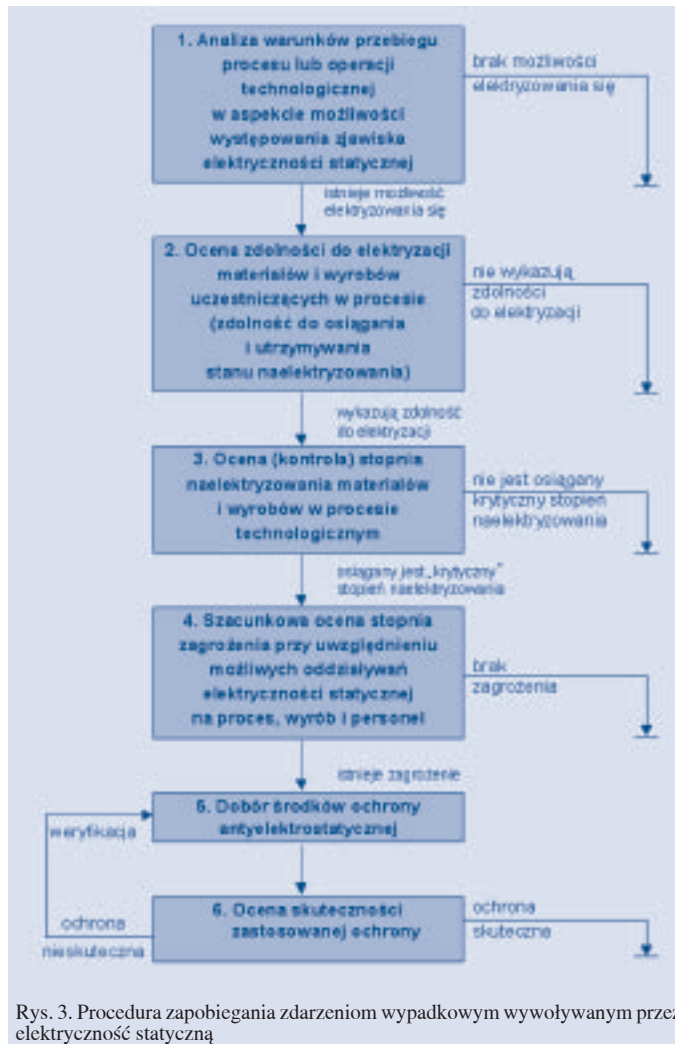
- obuwie antyelektrostatyczne na spodach o podwyższonej przewodności

- rękawice z materiałów o właściwościach elektrycznych zbliżonych do odpowiednich właściwości skóry człowieka

- przewodzące opaski nadgarstkowe lub zakładane na obuwie w celu „uziemia” ciała człowieka na stanowiskach pracy

- środki ochrony indywidualnej o innym przeznaczeniu, lecz wykonane z materiału przewodzącego lub materiału o ograniczonej zdolności do elektryzacji, ze względu na ich używanie w strefach zagrożenia wybuchem.

Oprócz „antyelektrostatycznej” odzieży ochronnej, ważną rolę odgrywają również podłogi, wykonywane zwłaszcza z materiałów o odpowiednio podwyższonej przewodności elektrycznej. Umożliwiają one bowiem spływ ładunku z ciała człowieka noszącego przewodzące obuwie, a obniżenie potencjału ładunku wytworzonego na człowieku w obuwie nie przewodzącym.



Rys. 3. Procedura zapobiegania zdarzeniom wypadkowym wywołanym przez elektryczność statyczną

winno przebiegać zgodnie z logiczną procedurą, przedstawioną schematycznie na rys. 3. Przytoczony algorytm odnosi się do wszelkich sytuacji mających miejsce w praktyce.

Ochrona człowieka w środowisku pracy może być zapewniona albo przez likwidację zewnętrznych źródeł ładunku elektrostatycznego, np. – przez zmianę technologii procesu i/lub niektórych parametrów jego przebiegu, albo przez ekranowanie pól elektrostatycznych, wywołujących indukowanie się ładunku

## Podsumowanie

Na zakończenie należy zwrócić uwagę na fakt, że niektóre z istniejących aktualnie metod oceny skuteczności środków ochrony antyelektrostatycznej człowieka są niewystarczająco miarodajne, a niekiedy nawet merytorycznie wątpliwe. Dotyczy to m.in. metody oceny materiałów podłogowych na podstawie rezultatów naelektryzowania ciała człowieka w czasie chodzenia lub pomiaru czasu zaniku ładunku elektrostatycznego na materiale ubrań ochronnych. Podobne wątpliwości budzi wyznaczanie energii wyładowań elektro-

statycznych z powierzchni takich materiałów. Są to bowiem warunki nieadekwatne do niedających się przewidzieć zmiennych warunków rzeczywistych, a więc wyniki takich badań nie mają większego praktycznego znaczenia. Nie upoważniają one naszym zdaniem do jakichkolwiek uogólnień, a zwłaszcza do wprowadzania odpowiednich, znormalizowanych procedur klasyfikacyjno-kwalifikacyjnych na podstawie tego rodzaju badań. Mając na względzie potrzebę przełamania pewnego impasu, jaki powstał m.in. w związku z brakiem racjonalnej metody oceny właściwości antyelektrostatycznych modyfikowanych materiałów odzieżowych, zawierających włókno z rdzeniem przewodzącym, w Instytucie Przemysłu Organicznego opracowano koncepcyjnie i zweryfikowano procedury, umożliwiające formalną klasyfikację jakościową oraz kwalifikację użytkową, w aspekcie wymagań ochrony przed elektrycznością statyczną, wszelkiego typu materiałów przeznaczonych na odzież ochronną oraz gotowych ubrań ochronnych [5]. Na ich podstawie powstały projekty dwóch norm międzynarodowych IEC, zgłoszonych formalnie przez Stronę Polską w 2003 r. Podobne procedury opracowano w IPO również w odniesieniu do materiałów podłogowych.

#### PIŚMIENICTWO

- [1] Kowalski J.M. *Elektryczność statyczna w procesach technologicznych; Projektowanie procesów technologicznych – cz. III Bezpieczeństwo procesów chemicznych*, Praca zbiorowa pod red. L. Synoradzkiego i J. Wisiańskiego, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2001, str. 63 – 84
- [2] Kowalski J.M., Wróblewska M. *Opracowanie danych wyjściowych do modeli wypadkowych powodowanych przez elektryczność statyczną*. Sprawozdanie IPO nr EMC 330200014-1, Warszawa 2002
- [3] 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
- [4] Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 16 czerwca 2003 r. w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków i innych obiektów budowlanych i terenów. DzU nr 121, poz. 1138
- [5] Kowalski J.M., Wróblewska M. *Opracowanie metody oceny i kryteriów kwalifikacji odzieży ochronnej do środowisk zagrożonych wybuchem w aspekcie wymagań ochrony przed elektrycznością*. Sprawozdanie IPO nr EMC 001600014, Warszawa

dr inż. WOJCIECH DOMAŃSKI  
Centralny Instytut Ochrony Pracy  
– Państwowy Instytut Badawczy

## Dianowe żywice epoksydowe – zagrożenia czynnikami chemicznymi

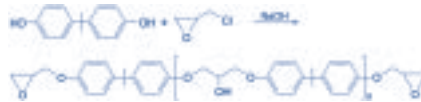
W artykule omówiono zagrożenia czynnikami chemicznymi występującymi podczas produkcji i przetwórstwa dianowych żywic epoksydowych. Same żywice epoksydowe nie stwarzają zagrożenia dla pracowników, lecz surowce stosowane do ich produkcji oraz do ich modyfikacji i utwardzania są substancjami szkodliwymi i niebezpiecznymi dla zdrowia. W artykule w formie tabel zestawiono podstawowe informacje o niebezpiecznych i szkodliwych substancjach najczęściej stosowanych przy produkcji i przetwórstwie dianowych żywic epoksydowych.

#### Diane epoxide resin – hazards posed by chemical agents

This article discusses chemical hazards present at workstations during the production and processing of diane epoxide resins. Epoxide resins do not pose hazards for workers, but the raw materials used in producing, modifying and curing them are harmful and dangerous for the workers' health. Basic information on harmful and dangerous substances which are most frequently used in producing and processing diane epoxide resins is presented in tables.

#### Wstęp

Żywice epoksydowe są to chemoutwardzalne związki, których cząsteczki zawierają co najmniej dwie grupy epoksydowe. Żywice epoksydowe są otrzymywane bezpośrednią metodą polikondensacji 1,2-epoksy-3-chloropropanu (epichlorohydryna) z dihydroksylowymi fenolami lub poliglikolami w środowisku alkalicznym. Znaczenie przemysłowe mają żywice otrzymywane z 1,2-epoksy-3-chloropropanu i 2,2-bis(p-hydroksyfenylo)propanu (dian, bisfenol A).



W Polsce żywice epoksydowe są produkowane pod nazwą Epidian. Epidiany są czystymi dianowymi żywicami epoksydowymi – nie zawierającymi rozpuszczalników, rozcieńczalników, wypełniaczy i innych dodatków. W zależności od stosunków molowych substratów (epichlorohydryny, dianu) i warunków kondensacji są otrzymywane Epidiany różniące się między sobą wielkością cząsteczki, ilością grup epoksydowych i grup hydroksylowych:

- Epidian<sup>®</sup> 3, Epidian<sup>®</sup> 4, Epidian<sup>®</sup> 5, Epidian<sup>®</sup> 6 – żywice małowielkośćkowe w postaci lepkiej cieczy
- Epidian<sup>®</sup> 1, Epidian<sup>®</sup> 2 – żywice średniocząsteczkowe w postaci stałej, o niskiej temperaturze mięknięcia

– Epidian<sup>®</sup> 010, Epidian<sup>®</sup> 011, Epidian<sup>®</sup> 011A, Epidian<sup>®</sup> 012, Epidian<sup>®</sup> 013, Epidian<sup>®</sup> 014, Epidian<sup>®</sup> 016 – żywice wysokocząsteczkowe w postaci stałej, o wysokiej temperaturze mięknięcia.

Epidiany są stosowane do produkcji lakierów, farb, klejów, syciw, szpachlówek itp. W tabeli 1. zestawiono kompozycje epoksydowe produkcji krajowej wytwarzane na bazie Epidianów [1, 2].

Żywice epoksydowe i ich kompozyty znajdują szerokie zastosowanie w przemyśle samochodowym, lotniczym, elektronicznym, budowlanym. Laminaty (tkaniny z włókna szklanego lub węglowego nasycone żywicą epoksydową) są stosowane do produkcji szybów, karoserii samochodowych, jachtów. Puszki konserwowe maluje się lakierami epoksydowymi. Są one również używane jako syciwa elektroizolujące w elektrotechnice i elektronice. W przemyśle stoczniowym i maszynowym są powszechnie stosowane epoksydowe farby proszkowe. Wykazują one również wysoką odporność na czynniki atmosferyczne. Farby proszkowe stosunkowo łatwo nakłada się na powierzchnię. Kolejną grupę wyrobów epoksydowych stanowią kleje epoksydowe. Kleje charakteryzują się wysoką przyczepnością do każdego podłoża. Skutecznie mogą zastępować lutowanie, spawanie i nitowanie. W przemyśle samochodowym, elektrotechnicznym i elektronicznym są stosowane wyroby uzyskane z tłoczy epoksydowych. Szerokie zastosowanie znajdują lane żywice epoksydowe. Są one doskonałym materiałem do izolacji i hermetyzacji