

INSTYTUT PRZEMYSŁU ORGANICZNEGO

ZAKŁAD BEZPIECZEŃSTWA CHEMICZNEGO

I ELEKTRYCZNOŚCI STATYCZNEJ

PRACOWNIA BADAŃ ELEKTRYCZNOŚCI STATYCZNEJ

Warszawa

ELEKTRYCZNOŚĆ STATYCZNA

W OBIEKTACH PRODUKCYJNYCH I MAGAZYNOWYCH

Identyfikacja, ocena i likwidacja zagrożeń w strefach EX

(Tezy prezentacji)

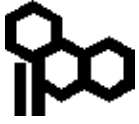
dr Jan Maria KOWALSKI

ul. Annopol 6 03-236 Warszawa

e-mail: bce@ipo.waw.pl; kowalski@ipo.waw.pl

tel. +48 22 811-12-31 w. 215

fax +48 22 811- 07-99



1. WSTĘP

Elektryczność statyczna występuje powszechnie w różnych sferach działalności człowieka, a zwłaszcza - w procesach technologicznych, obiektach komunalnych i mieszkalnych oraz w środkach transportu. Zjawisko to wywołuje bezpośrednie zagrożenie dla życia, zdrowia i mienia człowieka, a pośrednio – w następstwie awarii - stwarza także ryzyko skażenia środowiska.

Zakłócenia w procesie produkcji, niebezpieczeństwo powstawania zdarzeń wypadkowych oraz zagrożenie pożarem lub wybuchem uwarunkowane są oddziaływaniem silnych pól elektrostatycznych oraz towarzyszących im z reguły wysokoenergetycznych wyładowań, w szczególności iskrowych.

2. ELEKTRYZACJA MATERIAŁÓW / WYROBÓW / OBIEKTÓW

Definicja:

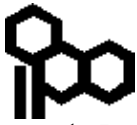
ŁADUNEK ELEKTROSTATYCZNY (ŁADUNEK ELEKTRYCZNY „W STANIE SPOCZYNKU”) - Q

- **Nadmiarowy, dodatni lub ujemny ładunek elektryczny, wytworzony w pewnej objętości materiału o małej przewodności elektrycznej lub na obiekcie przewodzącym, odizolowanym od ziemi.**

Pojęcie „ładunek nadmiarowy” rozumieć należy jako ładunek elektryczny o określonej biegunowości, nie zrównoważony (nie skompensowany) ładunkiem przeciwnego znaku. Termin: ładunek elektryczny „statyczny” wskazuje na ograniczoną ruchliwość tego ładunku, uwarunkowaną niewielką przewodnością elektryczną materiału lub dużą rezystancją upływu obiektu, na którym taki ładunek powstaje.

Powstawanie nadmiarowego ładunku elektrycznego warunkują m. in. następujące czynności i procesy:

- ✓ Wzajemny kontakt materiałów stałych i towarzyszące mu tarcie;
- ✓ Oddziaływania międzyfazowe oraz oddziaływania między cząstkami cieczy, nie tworzących jednorodnej mieszaniny;
- ✓ Kontakt nie naelektryzowanego materiału lub obiektu z materiałem lub obiektem naelektryzowanym (przejęcie części wytworzonego ładunku);
- ✓ Gwałtowna zmiana stanu skupienia;



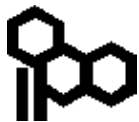
- ✓ Destrukcja materiałów;
- ✓ Indukcja w stałym polu elektrycznym (elektryzowanie przez wpływ, influencja);
- ✓ Polaryzacja cząsteczek w stałym polu elektrycznym;
- ✓ Efekt fotoelektryczny (oddziaływanie fotonów);
- ✓ Efekt piroelektryczny (oddziaływanie wysokich temperatur);
- ✓ Efekt piezoelektryczny (oddziaływanie mechaniczne na struktury krystaliczne);
- ✓ Jonizacja;
- ✓ Adsorpcja jonów;
- ✓ Procesy elektrochemiczne (elektroforeza, elektroosmoza i in).

Najczęściej spotykanymi w praktyce przemysłowej mechanizmami powstawania ładunku elektrostatycznego są: elektryzacja kontaktowa oraz indukcja.

3. SKUTKI WYSTĘPOWANIA ZJAWISKA ELEKTRYCZNOŚCI STATYCZNEJ

Dominujące następstwa powstawania ładunku elektrostatycznego, to:

- Zagrożenie pożarem lub wybuchem, powodowane przez wyładowania elektrostatyczne w pomieszczeniach bądź otwartych strefach z mediami palnymi,
- Zakłócenia w przebiegu procesu produkcji (np. plątanie się i zrywanie przędzy, zbrylanie materiałów sypkich, zlepianie cienkich folii itp.),
- Pogorszenie jakości i zmniejszenie trwałości (skrócenie żywotności) wielu wyrobów (zanieczyszczenie powierzchni przez przyciągane cząstki pyłów, destrukcyjne działanie wyładowań),
- Nieszczęśliwe wypadki jako konsekwencja niekontrolowanych przez człowieka odruchów bezwarunkowych,
- Szkodliwe oddziaływanie pól elektrostatycznych na organizm człowieka (obniżenie sprawności personelu),
- 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 przyrządów elektronicznych (komputery, aparatura teletransmisyjna i sterująca) oraz niszczenie elementów mikroelektroniki.



4. PRZYKŁADY POWSTAWANIA ŁADUNKU ELEKTROSTATYCZNEGO

4.1 Człowiek

Ciało człowieka ulega naelektryzowaniu w wyniku:

- ✓ Chodzenia w nie przewodzącym obuwiu i/lub chodzenia po nie przewodzących podłogach (następujący na przemian kontakt spodów obuwia z powierzchnią posadzki i oddalanie od niej stopy);
- ✓ Tarcia odzieży zewnętrznej o ciało lub tkaninę bielizny oraz jej kontaktu z włosami w czasie zdejmowania ubrań;
- ✓ Tarcia, zachodzącego przy kontakcie ciała lub noszonej odzieży z obiektami znajdującymi się w otoczeniu człowieka;
- ✓ Kontakt z naelektryzowanymi materiałem lub wyrobem, np. folią z tworzywa sztucznego, materiałem sypkim i in.;
- ✓ Przebywania w stałym polu elektrycznym (indukcja).

4.2 Materiały stałe o płaskiej powierzchni

Materiały o płaskiej powierzchni (płyty, pasy, taśmy, folie itp.) z tworzyw sztucznych, tkanin, gumy, papieru etc.) uzyskują ładunek elektrostatyczny m.in. w wyniku:

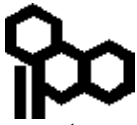
- ✓ Prasowania i następnego rozładunku wsadów;
- ✓ Rozwijania rulonów;
- ✓ Przemieszczania formatów (płyt, arkuszy) w czasie ich układania i zdejmowania ze stosów;
- ✓ Prowadzenia za pomocą walców i innych systemów transportu;
- ✓ Czyszczenia, szlifowania oraz polerowania powierzchni;
- ✓ Nawiewu powietrza, zanieczyszczonego cząstkami pyłu.

Elektryzacja materiałów o płaskiej powierzchni występuje na urządzeniach technologicznych takich, jak: walcarki, kalandry, powlekarki, szlifierki, polerki, drukarki itp.

4.3 Materiały stałe w postaci sypkiej

Materiały stałe w postaci sypkiej (w stanie rozdrobnienia) takie, jak: pyły, granulaty, płatki, włókno cięte itp. ulegają naelektryzowaniu w czasie:

- ✓ Mieszania w różnego typu mieszalnikach;



- ✓ Przesypywania (operacje wykonywane manualnie lub realizowane w urządzeniach mechanicznych. do transportu grawitacyjnego);
- ✓ Dozowania w różnorodnych urządzeniach dozujących, podających i zasilających;
- ✓ Przesiewania w urządzeniach sitowych;
- ✓ Rozpylania (np. w suszarniach rozpyłowych);
- ✓ Transportu wymuszonego w strumieniu gazu (np. w urządzeniach do transportu pneumatycznego).

4.4 Materiały włókniste

Materiały włókniste (przędza, nici itp.) elektryzują się:

- ✓ W trakcie wytwarzania i przerobu na przędzarkach, snowarkach, zgrzeblarkach, krosnach tkackich itp. Urządzeniach technologicznych;
- ✓ W trakcie użytkowania.

4.5 Ciecze i gazy

Ciecze i gazy (płyny) elektryzują się podczas:

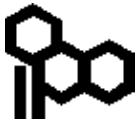
- ✓ Przepływów w rurociągach i innych urządzeniach technologicznych;
- ✓ Wyptywów z pojemników i aparatów technologicznych, zwłaszcza pod ciśnieniem;
- ✓ Opróżniania/napełniania zbiorników;
- ✓ Mieszania;
- ✓ Jonizacji i zgrupowania jonów określonego znaku ładunku.

Uwaga: elektryzacja gazów zachodzi zwłaszcza wtedy, gdy zawierają one zanieczyszczenia w fazie stałej lub ciekłej.

4.6 Układy wielokomponentowe i wielofazowe

W układach wielofazowych i wielokomponentowych, tzn. - przy jednoczesnym występowaniu znacznej liczby składników o różnym stanie skupienia (układy takie tworzą np. chmury burzowe, aerozole, zawiesiny cząstek stałych w fazie ciekłej, emulsje itp.), szczególnie intensywna elektryzacja zachodzi w wyniku wzajemnego oddziaływania cząstek oraz ewentualnego ich oddziaływania z materiałem konstrukcyjnym urządzeń technologicznych, a zwłaszcza:

- ✓ Podczas rozpylania lub napyłania materiałów stałych;
- ✓ Rozbryzgiwania ("atomizacji") i natrysku cieczy.



Przykładem podobnych oddziaływań są zjawiska atmosferyczne w chmurach burzowych, pola elektrostatyczne powstające w pobliżu wodospadów, elektryzacja kadłuba samolotu w locie (kontakt z cząstkami mgły, lodu i zanieczyszczeń), elektryzacja występująca przy malowaniu natryskowym lub podczas mycia zbiorników za pomocą ciśnieniowych agregatów natryskowych (urządzenia inżektorowe).

4.7 Obiekty przewodzące, odizolowane od ziemi

Odizolowane od ziemi obiekty, wykonane z materiału przewodzącego, jak np. wózki na ogumionych kołach, pojemniki metalowe ustawione na izolacyjnej podłodze, obracające się części maszyny (np. walce prowadzące izolowane przez smar w łożyskach itp.), mogą ulegać naelektryzowaniu na skutek:

- ✓ Kontakt z materiałem izolacyjnym w czasie przemieszczania się (np. przetaczania, przesuwania itp.) wózka, pojemnika, walca;
- ✓ Kontakt z naelektryzowanym materiałem, np. w czasie napełniania pojemnika metalowego naładowaną cieczą lub materiałem sypkim;
- ✓ Indukcji w polu elektrostatycznym, przy usytuowaniu takiego obiektu w zasięgu pola.

Powstawanie ładunku elektrostatycznego na tego typu obiektach, podobnie jak na ciele człowieka, jest szczególnie niebezpieczne.

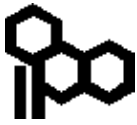
5. ZAGROŻENIA / ZAKŁÓCENIA

WYWOŁYWANE PRZEZ ELEKTRYCZNOŚĆ STATYCZNĄ

5.1 Zagrożenie pożarowo-wybuchowe

Zagrożenie pożarem lub wybuchem powstaje, gdy energia wyładowania elektrostatycznego osiąga wartość co najmniej porównywalną z tzw. minimalną energią zapłonu $W_{z\ min}$ środka palnego, jaki znajduje się lub może się znaleźć w rozpatrywanym obszarze. Wielkość ta charakteryzuje zdolność zapłonową materiału. Jest to najmniejsza wartość energii wyładowania elektrostatycznego, zdolnego wywołać zapłon danej substancji palnej lub zainicjować wybuch mieszaniny tworzonej przez tę substancję z powietrzem bądź tlenem. Substancją taką może być materiał stały, zwłaszcza w postaci pylistej, ciecz lub gaz. Niższą energię zapłonu (większą zdolność zapłonową) wykazują na ogół mieszaniny gazów, par lub pyłów z powietrzem, niż sama ciecz (pary ponad lustrem cieczy), bądź osad pyłowy.

Szczególnie niebezpieczne są wyładowania z odizolowanych od ziemi obiektów przewodzących, np. z ciała człowieka, ze względu na ich ekstremalnie dużą energię. Jeżeli takie wyładowanie jest odczuwalne, to znaczy, że jego energia wynosi co najmniej ok. 1 mJ (próg reakcji fizjologicznej organizmu ludzkiego). Energia ta jest co najmniej kilkakrotnie wyższa od minimalnej energii zapłonu par większości powszechnie stosowanych cieczy organicznych i wielu innych mediów palnych.



5.2 Zakłócenia w procesie produkcji

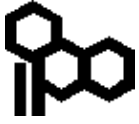
Zakłócenia w przebiegu procesu produkcji oraz w sferze użytkowania wyrobów uwarunkowane są zarówno oddziaływaniem sił pola elektrostatycznego, jak też destrukcyjnym działaniem wyładowań, zwłaszcza iskrowych. Charakterystyczne przejawy takich oddziaływań, to m.in.:

- ✓ Jeżenie" się włókna, splątywanie i zrywanie przędzy;
- ✓ Zlepianie się lub odpychanie cienkich folii z tworzyw sztucznych (trudności w przerobie, cięciu, układaniu i sortowaniu);
- ✓ Zbrylanie się (aglomerowanie cząstek) lub nadmierne kurzenie się materiałów sypkich;
- ✓ Zanieczyszczanie powierzchni wyrobów przez przyciągane z otoczenia cząstki pyłów;
- ✓ Przebicia mechaniczne materiału przez wyładowania iskrowe;
- ✓ Uszkodzanie struktury materiału i niszczenie wyrobów w efekcie silnie utleniającego działania reaktywnego tlenu „*in statu nascendi*”, z reguły towarzyszącego wyładowaniom iskrowym;
- ✓ Zaburzenia w funkcjonowaniu elektronicznych przyrządów pomiarowo-kontrolnych, aparatury diagnostycznej, systemów EPD (np. komputerów), aparatury teletransmisyjnej oraz urządzeń sterujących i regulacyjnych (niszczenie elementów mikroelektroniki, zakłócenia w odbiorze i przetwarzaniu sygnałów, błędne wskazania przyrządów).

Poza zakłóceniami wpływającymi na zmniejszenie wydajności procesu produkcji, zjawisko elektryczności statycznej wywołuje często obniżenie jakości oraz skrócenie żywotności wyrobów. Zakłócenia w procesie produkcji stwarzają dodatkowe ryzyko powstawania zdarzeń wypadkowych.

5.3 Efekty biologiczne

Szkodliwe oddziaływania biologiczne elektryczności statycznej wynikają z wpływu na organizm człowieka stałych pól elektrycznych i powstających w nich wyładowań. Nie zostały one dotychczas dostatecznie rozpoznane. Wiadomo jednak, że efekty te nie są dla organizmu człowieka obojętne. Człowiek najczęściej odczuwa tylko bezpośrednie skutki wyładowań elektrostatycznych, przejawiające się jako mniej lub bardziej dotkliwe rażenie prądem elektrycznym, od lekkiego ukłucia do dość silnego wstrząsu. Pomimo znacznych różnic potencjałów, sięgających niekiedy dziesiątek kilowoltów, wyładowania takie z reguły nie wywołują żadnych szkodliwych następstw w organizmie człowieka, ani też urazów ciała, ze względu na bardzo małe natężenia



prądu. Wyjątek stanowią sytuacje, gdy wyładowania odczuwane są w sposób ciągły, przy czym atakują one stale ten sam obszar ciała. Silne wyładowania, powstające z reguły przy obsłudze większości maszyn, przeznaczonych do przetwórstwa tworzyw sztucznych, gumy, włókien syntetycznych itp. oraz przy operowaniu takimi materiałami (np. rozwijanie rulonu folii) mogą wywołać u pracownika gwałtowny, niekontrolowany odruch, a w efekcie spowodować nieszczęśliwy wypadek, jeżeli pracownik ten wykonuje czynności przy maszynie z ruchomymi lub ostrymi elementami (walce, koła zębate, noże itp.) lub pracuje na wysokości.

Stwierdzono, że długotrwałe oddziaływanie sił pola elektrostatycznego na organizm człowieka może wywołać zmiany w układzie krążenia oraz w układzie nerwowym, a także w obrazie morfologicznym krwi. W efekcie następuje pogorszenie się stanu zdrowia oraz obniżenie sprawności i wydajności pracy. Konstatacje te wymagają jednak potwierdzenia w gruntowniejszych badaniach.

6. OCENA ZAGROZEŃ

6.1 Ogólne zasady identyfikacji i oceny zagrożeń

Stan zagrożenia elektrycznością statyczną powstaje, gdy:

- ✓ W rozpatrywanych warunkach (np. w czasie realizacji procesu technologicznego) istnieje możliwość występowania elektryczności statycznej;
- ✓ Możliwe jest osiągnięcie przez materiał, wyrób lub obiekt „krytycznego” stopnia naelektryzowania, warunkującego występowanie zagrożenia lub powstawanie zakłóceń w produkcji;
- ✓ Czas utrzymywania się stanu naelektryzowania materiału (wyrobu, obiektu) jest wystarczająco długi, aby wytworzony ładunek elektrostatyczny mógł w dostrzegalny sposób oddziaływać na otaczające środowisko.

6.2 Kryteria oceny

Kryteria oceny zagrożeń mogą być zarazem stosowane do oceny skuteczności ochrony anty(elektro)statycznej. Bazują one z reguły na granicznych, tzn. najwyższych lub najniższych dopuszczalnych wartościach parametrów, określających m. In.:

- Właściwości materiałów, np. 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 walcowych);



- Stopień naelektryzowania materiału/wyrobu/obiektu;
- Czas utrzymywania się stanu naelektryzowania;
- Energię wyładowań elektrostatycznych.

6.3 Podstawowe parametry charakteryzujące stan zagrożenia

Podstawowe parametry, stosowane do prognozowania i oceny zagrożenia oraz skuteczności ochrony, to wielkości fizyczne charakteryzujące stopień naelektryzowania materiału, wyrobu lub obiektu oraz jego zdolność do odprowadzania (zaniku) ładunku, a zwłaszcza:

Napięcie elektrostatyczne	U	[V]
Natężenie pola elektrostatycznego	E	[V/m]
Energia wyładowania	W_w	[J]
Opór elektryczny właściwy skrośny (rezystywność skrośna)	ρ_v	[Ω m]
Opór elektryczny właściwy powierzchniowy (rezystywność powierzchniowa)	ρ_s	[Ω]
Opór elektryczny upływu (rezystancja upływu)	R_u	[Ω]
Czas relaksacji ładunku elektrostatycznego	t	[s]

6.4 Wskaźnik stopnia zagrożenia

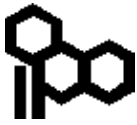
Stopień zagrożenia wywołanego występowaniem elektryczności statycznej określony jest wskaźnikiem α , wyrażającym stosunek maksymalnej wartości zmierzonej lub wyznaczonej w danych warunkach (N_{max}) do odpowiedniej wartości krytycznej najwyższej dopuszczalnej (N_{kr}), przekroczenie której warunkuje powstawanie stanu zagrożenia (PN-E-05200:1992):

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

Stan zagrożenia występuje, gdy $\alpha > 1$. Według PN-92/E-05 201, stopień zagrożenia uważa się za stosunkowo duży, jeżeli $\alpha > 10$.

Probabilistyczny zespolony wskaźnik stopnia zagrożenia ZE wyraża się iloczynem:

$ZE = P_1 P_2 P_3 \dots P_n$, w którym: $P_1, P_2 \dots$ - prawdopodobieństwa cząstkowe, wynikające z szacunkowej oceny stopnia zagrożenia od elektryczności statycznej.



7. OCHRONA PRZED ELEKTRYCZNOŚCIĄ STATYCZNĄ (OCHRONA ANTYELEKTROSTATYCZNA)

7.1 Metody podstawowe

Wśród podstawowych metod ochrony przed elektrycznością statyczną na szczególną uwagę zasługują:

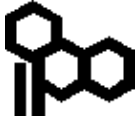
- uziemianie przewodzących elementów instalacji technologicznej,
- ekranowanie pól elektrostatycznych,
- stosowanie materiałów i wyrobów anty(elektro)statycznych,
- zwiększanie wilgotności powietrza,
- zwiększanie pojemności elektrycznej, tworzonej przez obiekty przewodzące izolowane względem ziemi,
- modyfikacja składu i/lub struktury materiałów,
- dobór do urządzeń technologicznych materiałów konstrukcyjnych o małej zdolności do elektryzacji,
- odpowiednie projektowanie instalacji technologicznych,
- optymalizacja parametrów technologicznych i warunków przebiegu procesu produkcji,
- optymalizacja procedur technologicznych,
- zapewnienie wymaganego czasu relaksacji ładunku,
- neutralizacja ładunku elektrostatycznego za pomocą zjonizowanego powietrza,
- ochrona antyelektrostatyczna personelu.

8. ŚRODKI OCHRONY ANTYELEKTROSTATYCZNEJ W STREFACH ZAGROŻENIA WYBUCEM

8.1 Uziemienia

Ochrona polega na tworzeniu układów ekwipotencjalnych przez:

- Połączenie elektryczne („zmostkowanie”) i uziemienie wszelkich elementów metalowych urządzenia technologicznego, tworzących pojemność elektryczną w stosunku do „ziemi” $C > 3 \text{ pF}$ (strefy zagrożenia wybuchem 0 i 1 oraz



Zawsze w przypadkach, gdy operuje się materiałami o minimalnej energii zapłonu $W_{z \min} \leq 0,1 \text{ mJ}$). W strefach zagrożenia wybuchem 2, 20, 21 i 22, w obecności mediów o minimalnej energii zapłonu $W_{z \min} > 0,1 \text{ mJ}$, wymagane jest mostkowanie i uziemianie elementów tworzących pojemność $C > 10 \text{ pF}$;

- Zapewnienie ciągłości obwodów elektrycznych i niezawodnych kontaktów w miejscach połączeń elementów metalowych;
- Rezystancja całkowita sieci uziemiającej powinna spełniać warunek:

$$R_{uz} \leq 1 \cdot 10^2 \Omega \quad (\text{zalecane: } R_{uz} \leq 10^1 \Omega)$$

8.2 Ekranowanie pól elektrostatycznych

W przypadku, jeżeli natężenie pola elektrostatycznego na stanowisku obsługi urządzenia technologicznego przekracza $2 \cdot 10^4 \text{ V/m}$, to w danej strefie należy stosować uziemione ekrany metalowe – ciągłe lub ażurowe (np. siatkę). Celem takiego zabiegu jest zapobieganie indukowaniu się ładunku na ciele pracownika i elementach (obiektach) przewodzących, odizolowanych od ziemi oraz zapobieganie oddziaływaniu pola elektrostatycznego na systemy elektroniczne.

8.3 Stosowanie materiałów / wyrobów anty(elektro)statycznych

- Materiały antystatyczne, to materiały o odpowiednio zmodyfikowanym składzie i/lub strukturze, w celu obniżenia ich zdolności do elektryzowania się i/lub zwiększenia ich przewodności elektrycznej (na przykład wykładziny, okładziny, posadzki, materiały odzieżowe, opakowania itp.);
- Materiał/wyrób anty(elektro)statyczny nie ulega niebezpiecznemu naelektryzowaniu w warunkach jego użytkowania;
- Rezystancja upływu (rezystancja uziemienia) elementów wykonanych z materiału przewodzącego, nie metalowego, powinna spełniać warunek:

$$R_u \leq 1 \cdot 10^6 \Omega$$

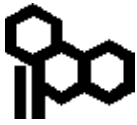
8.4 Zwiększanie pojemności elektrycznej obiektów przewodzących odizolowanych względem ziemi

Obiekty takie stanowią wózki na kołach z tworzywa izolacyjnego, ciało człowieka w nie przewodzącym obuwiu, pojemniki metalowe ustawiane na nie przewodzących podkładach i in. Realizacja ochrony oparta jest na przesłankach, że:

- Przy danym stopniu naelektryzowania obiektu (ładunek $Q = \text{const.}$) wytworzone napięcie (U) zależy od pojemności elektrycznej (C) zgodnie z zależnością

$$U = Q/C$$

•



- Wzrost pojemności uzyskuje się przez zwiększenie przewodności elektrycznej materiału oddzielającego rozpatrywany obiekt od „ziemi” (np. – posadzek, spodów obuwia, ogumienia kół, podkładek, uszczelek itp.)

8.5 Zwiększanie wilgotności powietrza

Skuteczne stosowanie danej metody wynika z następujących uwarunkowań.

- Wzrost wilgotności powietrza wpływa na zwiększenie przewodności elektrycznej materiałów i przyspiesza zanik stanu naelektryzowania;
- Każde zwiększenie wilgotności powietrza jest korzystne;
- Wilgotność powietrza należy utrzymywać możliwie najwyższą tzn. – technicznie osiągalną w danych warunkach i zarazem dopuszczalną przez technologię procesu;
- Pożądane jest utrzymanie wilgotności względnej powietrza powyżej 60%

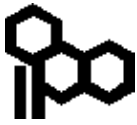
8.6 Ograniczenie gabarytów elementów z materiału nie przewodzącego

Na stopień zagrożenia związanego z elektryzacją wyrobów mają wpływ ich gabaryty. Zagrożenie zwiększa się na ogół ze wzrostem wymiarów takich, jak: pole powierzchni, grubość powłoki izolacyjnej naniesionej na powierzchnię elementu metalowego, średnica pręta lub przewodu rurowego. Idea metody polega na zmniejszeniu odpowiedniego gabarytu do takiej wielkości, aby wyładowanie elektrostatyczne z powierzchni rozpatrywanego elementu nie miało zdolności zapłonowej.

8.7 Optymalizacja konstrukcji urządzeń technologicznych i parametrów procesu w celu zmniejszenia elektryzacji

Metoda polega na:

- Doborze odpowiednich materiałów konstrukcyjnych;
- Doborze odpowiedniego ukształtowania i wielkości elementów wywołujących elektryzację (np. – średnicy przewodów rurowych lub walców prowadzących);
- Odpowiednim rozmieszczeniu elementów (optymalizacja geometrii ich układu);
- Doborze optymalnych parametrów procesu (ciśnienie, temperatura, szybkość przemieszczania mediów itp.)



8.8 Optymalizacja procedur technologicznych

Realizacja ochrony polega na wykonywaniu operacji / czynności technologicznych w sposób minimalizujący elektryzację (np. zmniejszanie ilości przelewanej jednorazowo cieczy lub przesypywanego materiału, spowolnienie czynności, unikanie rozbryzgiwania cieczy lub pylenia się materiału, ograniczenie powierzchni kontaktu materiałów oraz występującego tarcia).

8.9 Zapewnienie relaksacji ładunku

Istota metody polega na stworzeniu warunków umożliwiających zanik powstałego ładunku elektrostatycznego w efekcie odpowiedniego wydłużenia czasu przebywania naelektryzowanego materiału w aparacie technologicznym, poprzez:

- Rozszerzenie fragmentu rurociągu przesyłowego z cieczą lub materiałem sypkim w strefie poprzedzającej wprowadzenie do zbiornika;
- Stosowanie odpowiednich przerw między wykonywaniem kolejnych operacji technologicznych.

Efektywny czas relaksacji ładunku powinien wynosić: $\tau_r = 5\varepsilon_0\varepsilon_r\rho_v$

gdzie: $\varepsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12}$ F/m, ε_r – względna przenikalność elektryczna materiału,

ρ_v – rezystywność elektryczna skrośna materiału

Na ogół za wystarczający uważa się czas $\tau_r = 10$ min

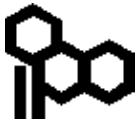
8.10 Jonizacja powietrza

Ruchliwe jony gazowe, tzn. naładowane dodatnio lub ujemnie cząsteczki gazów zawartych w powietrzu umożliwiają efektywną neutralizację ładunku elektrostatycznego przeciwnego znaku;

Jony gazowe wytwarzane są najczęściej pod wpływem emisji promieniowania jądrowego (zwłaszcza α i w mniejszej mierze – β lub w efekcie elektrycznych wyładowań niezupełnych);

Odpowiednie urządzenia, wyzyskujące do określonego celu jonizację powietrza, noszą nazwę jonizatorów, eliminatorów lub neutralizatorów ładunku elektrostatycznego;

Efekt jonizacyjny może być wywoływany w pobliżu powierzchni naelektryzowanego materiału lub zjonizowane powietrze może być kierowane do strefy powstawania ładunku elektrostatycznego z pewnej odległości, przez nadmuch.



8.11 Ochrona antyelektrostatyczna personelu

Ochrona personelu ma szczególne znaczenie ze względu na dużą energię wyładowań pochodzących z naelektryzowanego ciała człowieka.

Skuteczną ochronę zapewniają:

- podłoga i obuwie o rezystancji upływu $R_u \leq 1 \cdot 10^6 \Omega$;
- przewodząca lub nie elektryzująca się odzież oraz środki ochrony indywidualnej;
- zakaz zakładania i zdejmowania ubrań w strefach zagrożenia wybuchem;
- unikanie wykonywania czynności mogących wywołać naelektryzowanie zewnętrznych powierzchni materiału noszonych ubrań i środków ochrony osobistej (omiatanie, strzepywanie, ocieranie się o powierzchnię mebli i innych przedmiotów znajdujących się w otoczeniu człowieka)

9. NIEKTÓRE WYMAGANIA OCHRONY ANTYELEKTROSTATYCZNEJ

WEDŁUG PN-E-05200-205 (1992-1997)

**Obiekty zagrożone wybuchem
ale narażone na inne zakłócenia /***

Obiekty nie zagrożone wybuchem,

- Rezystancja uziemienia urządzeń metalowych

$$R_{uz} \leq 1 \cdot 10^2 \Omega \text{ (wymagane)}$$

$$R_{uz} \leq 1 \cdot 10^2 \Omega$$

$$R_{uz} \leq 1 \cdot 10^1 \Omega \text{ (zalecane)}$$

- Rezystancja upływu materiału lub obiektu niemetalowego:

$$R_u \leq R_{u\text{kr}} = 1 \cdot 10^6 \Omega$$

$$R_u \leq R_{u\text{kr}} = 1 \cdot 10^9 \Omega$$

- Czas relaksacji ładunku elektrostatycznego:

$$\tau \leq \tau_{kr} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ s}$$

$$\tau \leq \tau_{kr} = 1 \cdot 10^{-1} \text{ s}$$

- Potencjał ładunku elektrostatycznego na powierzchni dielektryku:

- w obecności mediów o minimalnej energii zapłonu $W_{z\text{min}} \leq 0,1 \text{ mJ}$:

$$V_p \leq V_{p\text{kr}} = 1 \cdot 10^3 \text{ V}$$

$$V_p \leq V_{p\text{max dop}}$$

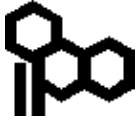
- w obecności mediów o minimalnej energii zapłonu: $0,1 \text{ mJ} < W_{z\text{min}} \leq 0,5 \text{ J}$:

$$V_p \leq V_{p\text{kr}} = 3 \cdot 10^3 \text{ V}$$

- Napięcie elektrostatyczne między obiektem przewodzącym a ziemią:

$$U \leq U_{kr} = W_{z\text{min}}/5C$$

$$U \leq U_{\text{max dop}}$$



► Natężenie pola elektrostatycznego:

- przy $W_{z\min} \leq 0,1 \text{ mJ}$:

$$E \leq E_{kr} = 1 \cdot 10^5 \text{ V/m}$$

$$E \leq E_{kr} = 2 \cdot 10^4 \text{ V/m} \text{ lub}$$

- przy $0,1 \text{ mJ} < W_{z\min} \leq 0,5 \text{ J}$:

$$E \leq E_{kr} = 3 \cdot 10^5 \text{ V/m}$$

$$E \leq E_{\max\text{ dop}}$$

► Energia wyładowań elektrostatycznych:

$$W_w \leq 0,1 W_{z\min}$$

$$W_w \leq 1 \text{ mJ} \text{ lub } W_w \leq W_{w\max\text{ dop}}$$

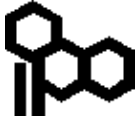
*/ Uwaga: $U_{\max\text{ dop}}$, $E_{\max\text{ dop}}$ i $W_{w\max\text{ dop}}$ ustala się indywidualnie, w zależności od spodziewanych zakłóceń

12. BIBLIOGRAFIA (ważniejsze materiały źródłowe)

- [1] **Simorda J., Staroba J.:** Elektryczność statyczna w przemyśle; WNT, Warszawa 1970; (Tłumaczenie z j. czeskiego oraz uzupełnienia: Kowalski J.M., Wielgus Z.)
- [2] **Pazdro T.:** Uwaga elektryczność statyczna; IW CRZZ, Warszawa 1972
- [3] **Strojny J.A.:** Elektryczność statyczna w pytaniach i odpowiedziach; WNT, Warszawa 1979
- [4] **Gajewski A.S.:** Elektryczność statyczna poznanie, pomiar, zapobieganie, eliminowanie; IW ZZ, Warszawa 1987
- [5] **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
- [6] **Kowalski J.M., Ptasieński L.:** The principles of identification and control of electrostatic hazards in industry; ELECTROSTATICS'87, Oxford IV 1987; Wyd.: The Institute of Physics – Static Electrification Group, London 1987
- [7] **Kowalski J.M.:** Kryteria oceny zagrożeń związanych z występowaniem elektryczności statycznej; Wiadomości Elektrotechniczne, nr 11-12, str. 245-246 (1984)
- [8] **Kowalski J.M.:** Neue Neutralisatoren zur Beseitigung elektrostatischen Aufladung; Brandschutz und Explosionbekämpfung; B. XIII, Staatsverlag, Berlin 1985



- [9] **Kowalski J.M.:** Основные принципы квалификации рабочей и спецодежды для эксплуатации во взрывоопасных средах, с точки зрения правил защиты от статического электричества; V Konf. Naukowo – Techniczna INTAB'81, Mamaia – Constanța 1981
- [10] **Kowalski J.M.:** Normalizacja metod oceny antyelektrostatycznych właściwości materiałów podłogowych; Podłoga nr 4, str. 13-18 (2004)
- [11] **Gąsowski H., Kowalski J.M.:** Wskazówki projektowania ochrony przed elektrycznością statyczną; Wyd. CO BP Budownictwa Przemysłowego BISTYP; Warszawa 1974
- [12] **WBP-84/MPChiL-04** Wytyczne w zakresie ochrony przed elektrycznością statyczną obiektów i instalacji produkcyjnych (oprac.: Kowalski J.M., Figura Z., Skibiński A.); Wyd. CHEMIL, Warszawa 1984
- [13] **Kowalski J.M.:** Zasady realizacji ochrony przed elektrycznością statyczną w strefach zagrożenia wybuchem w świetle przyjętych w Polsce dokumentów normatywnych; Magazyn Ex – Bezpieczeństwo w strefach zagrożonych wybuchem; nr 1/2008 (9)
- [14] **Kowalski J.M.:** Identyfikacja i eliminowanie zagrożeń wywołanych zjawiskiem elektryczności statycznej; „Organika” – Prace Naukowe Instytutu Przemysłu Organicznego 2001-2002; Warszawa 2003; str. 55-83
- [15] **Kowalski J.M., Wróblewska M.:** Premises for Practical Evaluation of the Anti-electrostatic Properties of Protective Garments; IBRES & TEXTILES in Eastern Europe, Vol. 14, No. 5 (59) 2006
- [16] **Kowalski J.M., Wróblewska M.:** Ochrona przed elektrycznością statyczną w środowisku pracy; *Bezpieczeństwo Pracy – Nauka i Praktyka*; CIOP-PIB (2004) Nr 9, pp. 12-16
- [17] **Kowalski J.M., Wróblewska M.:** Opracowanie danych wyjściowych do modeli zdarzeń wypadkowych powodowanych przez elektryczność statyczną; *Sprawozdanie IPO nr EMC 330200014-1 – praca nie publikowana*, Warszawa 2002
- [18] **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 – praca nie publikowana*, Warszawa 2002

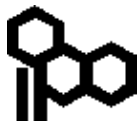


13. PODSTAWOWE NORMY

- [1] **PN-E-05200:1992** Ochrona przed elektrycznością statyczną – Terminologia
- [2] **PN-E-05201:1992** Ochrona przed elektrycznością statyczną - Metody oceny zagrożeń wywołanych elektryzacją materiałów dielektrycznych stałych - Metody oceny zagrożenia pożarowego i/lub wybuchowego
- [3] **PN-E-05202:1992** Ochrona przed elektrycznością statyczną - Bezpieczeństwo pożarowe i/lub wybuchowe - Wymagania ogólne
- [4] **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
- [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 wybuchowy
- [7] **prPN-E-05206** Elektryczność statyczna – Odzież ochronna – Ocena właściwości antyelektrostatycznych – Metody badania oraz kryteria klasyfikacji jakościowej i kwalifikacji użytkowej materiałów przeznaczonych na odzież ochronną
- [8] **prPN-E-05207** Elektryczność statyczna – Odzież ochronna – Ocena właściwości antyelektrostatycznych – Metody badania oraz kryteria klasyfikacji jakościowej i kwalifikacji użytkowej ubrań ochronnych
- [9] **PN-E-05208:2002** Elektryczność statyczna – Metody pomiaru – Pomiar zdolności do elektryzacji
- [10] **PN-EN 1149-1: 2008** Odzież ochronna - Właściwości elektrostatyczne Cz. 1 – Metoda badania rezystywności powierzchniowej
- [11] **PN-EN 1149-2:1999/Ap.1:2001** Odzież ochronna – Właściwości elektrostatyczne – Część 2 Metoda badania rezystancji skrośnej
- [12] **PN-EN 1149-3:2007** Odzież ochronna - Właściwości elektrostatyczne – Część 3 - Metody badań do pomiaru zaniku ładunku
- [13] **PN-EN 1149-5:2008** Odzież ochronna - Właściwości elektrostatyczne – Część 5 – Wymagania dotyczące materiału i konstrukcji



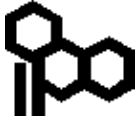
- [14] **PN-EN 61340-2-1:2004** Elektryczność statyczna – Część 2-1: Metody pomiaru – Zdolność materiałów i wyrobów do rozpraszania ładunku elektrostatycznego
- [15] **PN-EN 61340-2-3:2002** Elektryczność statyczna – Część 2-3: Metody badań stosowane do wyznaczania rezystancji i rezystywności płaskich materiałów stałych, używanych do zapobiegania gromadzeniu się ładunku elektrostatycznego
- [16] **PN-EN 61340-3-1:2007** Elektryczność statyczna – Część 3-1: Metody symulacji oddziaływań elektrostatycznych – Kształty fali probierczej wyładowania elektrostatycznego dla Modelu Ciała Człowieka (HBM) Badanie elementów
- [17] **PN-EN 61340-3-2:2007** Elektryczność statyczna – Część 3-2: Metody symulacji oddziaływań elektrostatycznych – Model Mechaniczny (MM) – Badanie elementów
- [18] **PN-EN 61340-4-1:2006** Elektryczność statyczna – Część 4-1: Znormalizowane metody badań do określonych zastosowań – Rezystancja elektryczna wykładzin podłogowych i gotowych podłóg
- [19] **PN-EN 61340-4-3:2003** Elektryczność statyczna – Część 4-3: Znormalizowane metody badań do określonych zastosowań – Obuwie
- [20] **PN-EN 61340-4-4:2006** Elektryczność statyczna – Część 4-4: Znormalizowane metody badań do określonych zastosowań – Klasyfikacja międzyoperacyjnych elastycznych kontenerów masowych (FIBC) pod względem właściwości elektrostatycznych
- [21] **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
- [22] **PN-EN 61340-5-1:2008** Elektryczność statyczna – Część 5-1: Ochrona przyrządów elektronicznych przed elektrycznością statyczną – Wymagania ogólne
- [23] **PN-EN 61340-5-2:2002** Elektryczność statyczna – Część 5-2: Ochrona przyrządów elektronicznych przed elektrycznością statyczną – Przewodnik użytkownika
- [24] **PN-EN 1815:2001** Elastyczne i włókiennicze pokrycia podłogowe – Ocena zdolności do elektryzacji



- [25] **PN-E-04405:1988** Materiały izolacyjne stałe – Pomiary rezystancji
- [26] **PN-EN 13415:2003** Kleje – Badanie klejów do wykładzin podłogowych – Wyznaczanie rezystancji elektrycznej błon klejowych
- [27] **PN-EN ISO 284:2004** Taśmy przenośnikowe – Przewodność elektryczna – Wymagania i metoda badania
- [28] **PN-ISO 2883:1994** Guma – Wyroby antystatyczne i przewodzące do użytku w przemyśle – Granice rezystancji
- [29] **PN-ISO 2882:1994** Guma – Wyroby antystatyczne i przewodzące do użytku w szpitalach – Granice rezystancji
- [30] **PN-EN ISO 3915:2002** Tworzywa Sztuczne – Pomiar rezystywności przewodzących tworzyw sztucznych
- [31] **PN-ISO 10965:2001** Włókiennicze pokrycia podłogowe – Wyznaczanie rezystancji elektrycznej
- [32] **ISO 1853:1998** Gumy przewodzące i rozpraszające ładunek elektrostatyczny, wulkanizowane lub termoplastyczne – Pomiar rezystywności
- [33] **PN-EN 1127:2007** Atmosfery wybuchowe – Zapobieganie wybuchowi i ochrona przed wybuchem – Pojęcia podstawowe i metodologia

14. WYBRANE DOKUMENTY NORMATYWNE ZAGRANICZNE

- [1] **CLC/TR 50404:2003** ELECTROSTATICS – Code of practice for the avoidance of hazards due to static electricity (Raport techniczny CENELEC; UE)
- [2] **NFPA 77 (2007)** Recommended Practice on Static Electricity (USA)
- [3] **BGR132 (2004)** Vermeidung von Zündgefahren infolge elektrostatischer Aufladungen (Berufsgenossenschaftliche Regeln für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit) Fachausschuss „Chemie“ der BGZ (RFN)
- [4] **BS 4958-1:1991** Code of practice for the control of undesirable static electricity. General Consideration (Norma Brytyjska)



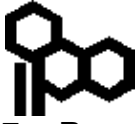
[5] **BS 4958-2:1991** Code of practice for the control of undesirable static electricity. Recommendations for particular industrial situations (Norma Brytyjska)

[6] **JNIO SH – TR – No.42 (2007)** Recommendation for requirements for avoiding electrostatic hazards in industry; Technical Recommendation of National Institute of Occupational Safety and Health (Japonia)

15. NIEKTÓRE ROZPORZĄDZENIA ZAWIERAJĄCE ODNIESIENIA

DO WYMAGAŃ OCHRONY PRZED ELEKTRYCZNOŚCIĄ STATYCZNĄ

1. Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 21 kwietnia 2006 r. w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków, innych obiektów budowlanych i terenów (Dz. U. Nr 80, poz. 563)
– wydane na podstawie ustawy o ochronie przeciwpożarowej
2. 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 (Dz. U. nr 107 z dnia 24 VI 2003 r, poz. 1004), wraz ze zmianą wg Rozporządzenia Ministra Gospodarki z dnia 9 czerwca 2006 (Dz. U. nr 121/2006, poz. 836).
3. Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Gospodarki Żywnościowej z dnia 7 października 1997 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle rolnicze i ich usytuowanie (Dz. U. Nr 132, poz. 877) – wydane na podstawie ustawy Prawo budowlane
4. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz. U. Nr 75, poz. 690, z 2003 r. Nr 33, poz. 270 oraz z 2004 r. Nr 109, poz. 1156) – wydane na podstawie ustawy Prawo budowlane
5. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 21 listopada 2005 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać bazy i stacje paliw płynnych, rurociągi przesyłowe dalekosiężne służące do transportu ropy naftowej i produktów naftowych i ich usytuowanie (Dz. U. Nr 243, poz. 2063) – wydane na podstawie ustawy Prawo budowlane, wraz ze zmianą z dnia 12 grudnia 2007 (Dz. U. Nr 240, poz. 1753)
6. Rozporządzenie Ministra Transportu z dnia 20 września 2006 r. w sprawie warunków technicznych dozoru technicznego, jakim powinny odpowiadać urządzenia do napełniania i opróżniania zbiorników transportowych (Dz. U. Nr 181, poz. 1335) – wydane na podstawie ustawy o dozorcze technicznym



7. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 15 grudnia 2005 r. w sprawie zasadniczych wymagań dla sprzętu elektrycznego (Dz. U. Nr 259, poz. 2172) – wydane na podstawie ustawy o systemie oceny zgodności
8. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 21 grudnia 2005 r. w sprawie zasadniczych wymagań dla środków ochrony indywidualnej (Dz. U. Nr 259, poz. 2173) – wydane na podstawie ustawy o systemie oceny zgodności
9. Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z dnia 26 września 1997 r. w sprawie ogólnych przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy (Dz. U. z 2003 r. nr 169, poz. 1650) – wydane na podstawie Kodeksu pracy
10. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 6 lutego 2003 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy podczas wykonywania robót budowlanych (Dz. U. Nr 47, poz. 401) – wydane na podstawie Kodeksu pracy