

doc. dr inż. Krzysztof CYBULSKI

dr inż. Bronisław M. WIECHUŁA

## **Elektryzacja nieprzewodzącego materiału niemetalowego przeznaczonego do eksploatacji w atmosferach potencjalnie wybuchowych**

### **Streszczenie**

Cechą charakterystyczną nieprzewodzących materiałów niemetalowych jest ich podatność na elektryzację, która może spowodować tworzenie się nadmiarowych ładunków elektrostatycznych w sposób kontaktowo-tarciowy lub przez indukcję.

1.1.1 W artykule opisano rodzaje wyładowań elektrostatycznych, jakie mogą się wytwarzać w wyniku rozładowania naelektryzowanych nieprzewodzących materiałów niemetalowych. Przedstawiono kilka typów wyładowań elektrostatycznych, zarejestrowanych na fotografiach i ich charakterystyczne właściwości.

### **Wprowadzenie**

Elektryczność statyczna występuje powszechnie w przemyśle i życiu codziennym. Większość skutków jej występowania albo mija zupełnie niezauważona, albo stanowi po prostu nieszkodliwą niedogodność. Elektryczność statyczna może być jednak źródłem poważnych zagrożeń. Zagrożenia powodowane przez nadmiarowy ładunek elektrostatyczny obejmują:

- zapalenie i/lub wybuch;
- szok elektryczny w połączeniu z innym zagrożeniem (np. upadek, potknięcie);
- szok elektryczny mający udział w zranieniu lub śmierci.

Elektryczność statyczna powoduje również problemy operacyjne podczas procesów wytwarzania i manipulowania przedmiotami, np. powodując przyleganie materiałów jeden do drugiego lub poprzez przyciąganie kurzu. Dobrą praktyką jest minimalizowanie stosowania nieprzewodzących materiałów w atmosferach potencjalnie wybuchowych, a istnieje wiele materiałów, które są zwykle całkowicie nieprzewodzące, np. tworzywa sztuczne lub gumy. Dostępne są obecnie odmiany materiałów niemetalowych, o elektrostatycznych właściwościach rozpraszających. Materiały te zawierają jednakże zwykle dodatki antystatyczne w postaci sadzy. Wysoka zawartość sadzy może zepsuć własności fizyczne materiału a jednocześnie wykluczona jest możliwość uzyskiwania innych kolorów.

W niektórych przypadkach powłoki przewodzące o rezystancji powierzchniowej  $R_s < 10^6 \Omega$  lub rozpraszające o rezystancji powierzchniowej  $R_s < 10^9 \Omega$  stosowane są dla uczynienia nieprzewodzącego materiału materiałem nieulegającym naelektryzowaniu. Jednakże trwałość takich zastosowań i ich przydatność do wykorzystania w atmosferach potencjalnie wybuchowych powinna zostać udowodniona. W każdym razie, ważne jest, aby taka powłoka była niezawodnie uziemiona.

### **Nieprzewodzące materiały niemetalowe**

Nieprzewodzące materiały niemetalowe to materiały, które nie są ani przewodzące ani rozpraszające, na których są akumulowane ładunki elektrostatyczne i nie chętnie je rozpraszają nawet, kiedy mają kontakt z ziemią (np. wiele tworzyw sztucznych). Są to materiały, których rezystancja powierzchniowa i skrośna przekraczają wartości  $10^9 \Omega$ . Nieprzewodzące materiały stałe są coraz szerzej wykorzystywane w urządzeniach i konstrukcjach w wielu postaciach wliczając w to rury, kontenery, arkusze, powłoki i wyłożenia. Eksploatacja nieprzewodzących elementów niemetalowych w atmosferach potencjalnie wybuchowych może spowodować wzrost następujących zagrożeń elektrostatycznych poprzez powstawanie:

- wyładowań elektrostatycznych na powierzchni naelektryzowanego przewodzącego elementu odizolowanego od ziemi;
- wyładowań snopiastych na powierzchni naelektryzowanego materiału;
- rozprzestrzeniających wyładowań snopiastych w miejscu intensywnej elektryzacji kombinacji w postaci warstw materiału przewodzącego i nieprzewodzącego (np. pneumatyczny transport pyłów, natryskiwanie i napyłanie naelektryzowanych cząstek farb proszkowych).

## **Eksploatacja nieprzewodzących materiałów niemetalowych w atmosferach potencjalnie wybuchowych**

Użycie nieprzewodzących materiałów niemetalowych wymaga ograniczeń w strefach zagrożonych wybuchem gazu:

- w strefie 0 gdzie gazowa atmosfera wybuchowa występuje stale, przez długie okresy lub często, stałe materiały nieprzewodzące powinny być używane jedynie wówczas, gdy mechanizmy elektryzowania zdolne do generowania niebezpiecznego nadmiarowego ładunku nie będą występowały czy to podczas normalnego działania (wliczając w to konserwację i czyszczenie) czy też w przypadkach rzadkich awarii;
- w strefie 1 gdzie gazowa atmosfera wybuchowa występuje w trakcie normalnego działania stałe materiały nieprzewodzące powinny być używane jedynie wówczas, gdy mechanizmy elektryzowania zdolne do generowania niebezpiecznego nadmiarowego ładunku nie będą występowały czy to podczas normalnego działania (wliczając w to konserwację i czyszczenie) czy też w przypadkach prawdopodobnych awarii;
- w strefie 2 gdzie gazowa atmosfera wybuchowa występuje krótkotrwale stałe materiały nieprzewodzące mogą być używane, gdy mechanizmy elektryzowania zdolne do generowania niebezpiecznego nadmiarowego ładunku są nieprawdopodobne podczas normalnego działania (wliczając w to konserwację i czyszczenie);

W pyłowej atmosferze wybuchowej rozważane powinny być wyładowania elektrostatyczne w tym stożkowe, snopiaste oraz rozprzestrzeniające wyładowania snopiaste. Tym niemniej, praktyczne doświadczenie i nieobecność wynikająca ze wskazania, że wyładowania snopiaste mogą być niebezpieczne w miejscach pojawienia się obłoków pyłowych.

Nieprzewodzący materiał niemetalowy może zostać naelektryzowany metodą kontaktowo-tarciową (np. na skutek uderzenia powietrza zanieczyszczonego pyłem) lub przez indukcję (np. przypadkowa lokalizacja w bezpośrednim sąsiedztwie źródła pola elektrycznego). Jeżeli nieprzewodzący materiał niemetalowy jest przeznaczony do stosowania w strefie zagrożonej wybuchem, to niezbędna jest ocena ryzyka dotycząca zasad jego bezpiecznego użytkowania w atmosferze potencjalnie wybuchowej. Naelektryzowany nieprzewodzący element niemetalowy może spowodować w wyniku dotknięcia (kontaktu) również ciężki szok elektryczny.

Wskutek długotrwałej elektryzacji w trakcie użytkowania nieprzewodzącego elementu niemetalowego może gromadzić się na nim nadmiarowy niebezpieczny ładunek elektrostatyczny. Jedną z bezpiecznych zasad użytkowania nieprzewodzącego elementu niemetalowego w atmosferze potencjalnie wybuchowej jest ograniczenie jego wymiarów gabarytowych. Przykładowe ograniczenia wymiarów gabarytowych elementów narażonych na elektryzację przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1

Lp.	Rodzaj wyrobu	Przykładowy wygląd	Wymiar gabarytowy	Rodzaj atmosfery wybuchowej
1	Wkładka do uszu		$S < 10 \text{ cm}^2$	metan etylen wodór
2	Wąż do transportu gazu		$D < 30 \text{ mm}$	metan etylen wodór

Ogólnie można zaryzykować stwierdzenie, że nieprzewodzące elementy niemetalowe nie powinny być użytkowane w atmosferach potencjalnie wybuchowych.

### Zagrożenie wybuchem od nadmiarowego ładunku elektrostatycznego

*Zgodnie z obecnym stanem wiedzy nie można wykluczyć w przestrzeniach zagrożonych wybuchem zapalenia od elektryczności statycznej. Czynnikiem wpływającym na prawidłowość i powtarzalność wyników jest zapewnienie w trakcie wykonywania badań w stałych warunków temperaturowo-wilgotnościowych.*

Do gromadzenia nadmiarowego ładunku i występowania wyładowań elektrostatycznych przyczynia się przede wszystkim człowiek. Uzyskane doświadczalnie wartości ładunku elektrostatycznego przy wykonywaniu przez człowieka różnych czynności wynoszą od kilkudziesięciu nanokulombów do kilkuset lub nawet kilku mikrokulombów. Warto podać, jako przykład, że wzajemne pocieranie części odzieży używanej przez człowieka może wywoływać na ciele ludzkim zgromadzenie ładunku 77 nC, wstanie z krzesła 265 nC, a wykonanie jednego kroku, zwłaszcza po podłodze pokrytej nieprzewodzącą wykładziną do 750 nC. Gdy dodatkowo weźmie się pod uwagę, że pojemność człowieka w pozycji pionowej wynosi około 300 pF to wiadomo, że energia, jaka towarzyszy rozładowaniu takiego ładunku może wynieść 0, 94 mJ.

### Elektryzacja

Najskuteczniejszym środkiem zapobiegającym wyładowaniom elektrostatycznym jest niedopuszczenie do gromadzenia nadmiarowego ładunku elektrycznego na nieprzewodzących

materiałach niemetalowych. Metody elektryzacji umożliwiające doświadczalne sprawdzenie podatności na elektryzację są określone - przed rozpoczęciem elektryzacji próbkę materiału poddaje się kondycjonowaniu przez 24 h, w określonych warunkach klimatycznych tj. w temperaturze  $t = (23 \pm 2) \text{ }^\circ\text{C}$  i wilgotności względnej powietrza  $\varphi \leq 30\%$ . Po zakończeniu kondycjonowania materiał w takich samych warunkach temperaturowo-wilgotnościowych, jak w trakcie kondycjonowania, jest poddany elektryzacji.

## Elektryzacja kontaktowo-tarciowa

Elektryzacja kontaktowo-tarciowa jest jedną z metod naelektryzowania nieprzewodzącego materiału niemetalowego. Elektryzacja ta zachodzi w miejscu „elementarnej strefy oddziaływania tarciovego”. Naelektryzowanie w układzie dwóch trących materiałów nie zależy od tego, który z materiałów jest trącym, a który pocieranym. Skutkiem elektryzowania kontaktowo-tarciowego zachodzącego między dwoma nieprzewodzącymi materiałami niemetalowymi jest naelektryzowanie nieprzewodzącego materiału niemetalowego. Bogactwo i różnorodność nieprzewodzących materiałów niemetalowych utrudnia stawianie jednej tezy o przyczynach naelektryzowania i intensywności wyładowań elektrostatycznych.

Elektryzacja kontaktowo-tarciowa jest następstwem wzajemnego oddziaływania molekularnego powierzchni materiału trącego podczas wymuszonego przemieszczania się po powierzchni pocieranego materiału. W miejscu stykania się i rozdzielania materiału trącego z powierzchnią zewnętrzną pocieranego materiału następuje wytwarzanie podwójnych warstw elektrycznych. Nawet jednokrotne zetknięcie ze sobą dwu różnych materiałów niemetalowych powoduje powstawanie jednakowych ilości ładunku elektrycznego o przeciwnej polaryzacji na ich powierzchniach. Zanik styku materiałów wywołuje separację różnoimiennych ładunków elektrostatycznych w wyniku, czego obydwie materiały są naelektryzowane.

Wartość ładunku charakteryzująca naelektryzowanie na powierzchni pocieranej materiału, zależy od rodzaju materiału oraz od położenia stykających się materiałów niemetalowych w tzw. szeregu tryboelektrycznym. Różne ładunki wywołują różnicę potencjałów między materiałem trącym i pocieranym. Jeżeli materiał trący ma większą stałą dielektryczną  $[\epsilon_t]$  niż stała dielektryczna  $[\epsilon]$  pocieranej materiału, to na pocieranym materiale jest zgromadzony ujemny ładunek elektrostatyczny. Równocześnie na powierzchni materiału trącego zgromadzony jest dodatni ładunek elektrostatyczny. Jest to reguła uznawana za prawie zawsze obowiązującą.



Fot. 1: Elektryzacja kontaktowo-tarciowa.

## Elektryzacja przez indukcję

Elektryzacja przez indukcję występuje w wyniku obecności pola elektrycznego wokół elektryzowanego materiału. Od momentu pojawienia się pola elektrycznego, materiał zachowuje się jak grupa dipoli quasi-sprężystych, w którym długość ramienia (odstęp między ładunkami) jest proporcjonalna do natężenia pola elektrycznego  $[K]$ . Naelektryzowanie powierzchni materiału jest wynikiem porządkującego, kierunkowego działania pola elektrycznego, wywołującego quasi-trwałe przemieszczenie lub reorientację struktury atomowej różnych składników materiału. W materiale wytwarza się pole o kierunku przeciwnym do kierunku pola wywołującego polaryzację. Wprowadzenie przewodzącego albo rozpraszającego materiału niemetalowego do pola elektrycznego zmienia jego rozkład w sąsiedztwie i w tym samym czasie następuje rozdzielanie ładunku w materiale. Jeżeli antystatyczny materiał jest izolowany od ziemi, to wzrasta jego ładunek, zależnie od jego położenia względem źródła pola. Naelektryzowany materiał jest zdolny do wytworzenia wyładowania elektrostatycznego o mocy zależnej od wartości ładunku.

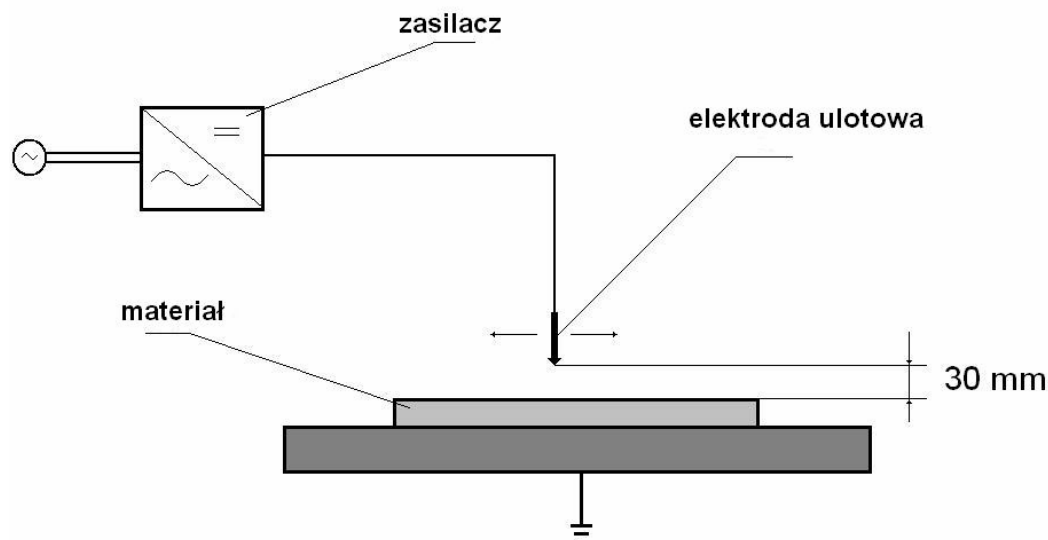
Stanowisko do elektryzacji przez indukcję jest przedstawione na [fot. 2]. Materiał chwyta się szczypcami z końcówkami izolacyjnymi umieszcza się na uziemionej płycie metalowej. Nad materiałem zlokalizowana jest elektroda ulotowa połączona z zasilaczem prądu stałego na wysokie napięcie, mogącym wytworzyć napięcie, co najmniej 30 kV.





Fot. 2: Stanowisko do elektryzacji przez indukcję.

Zasadę elektryzacji przez indukcję napięciem, co najmniej 30 kV przyłożonym z zasilacza na elektrodę ulotową materiału zaprezentowano na [rys. 1]. Elektroda ulotowa umieszczona jest w odległości  $l = 30$  mm nad materiałem w jej środkowej części.

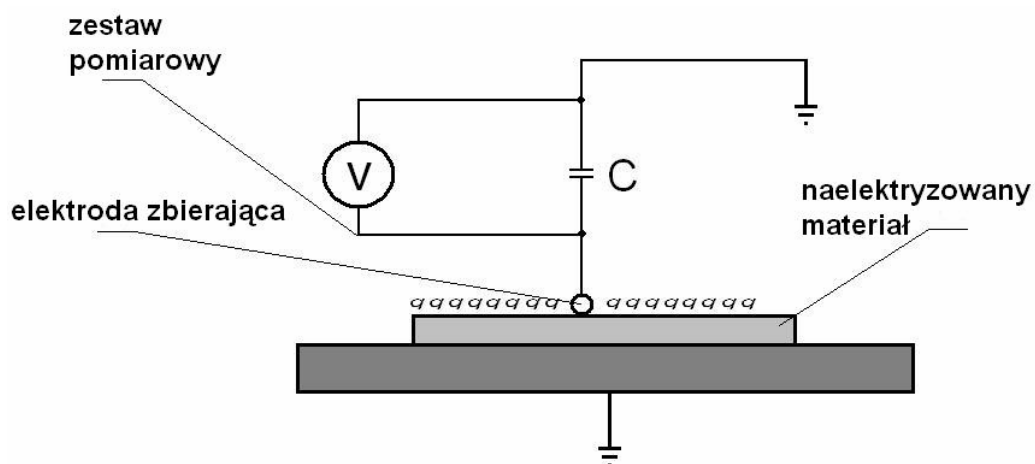


rys. 1: Schemat elektryzacji przez indukcję.

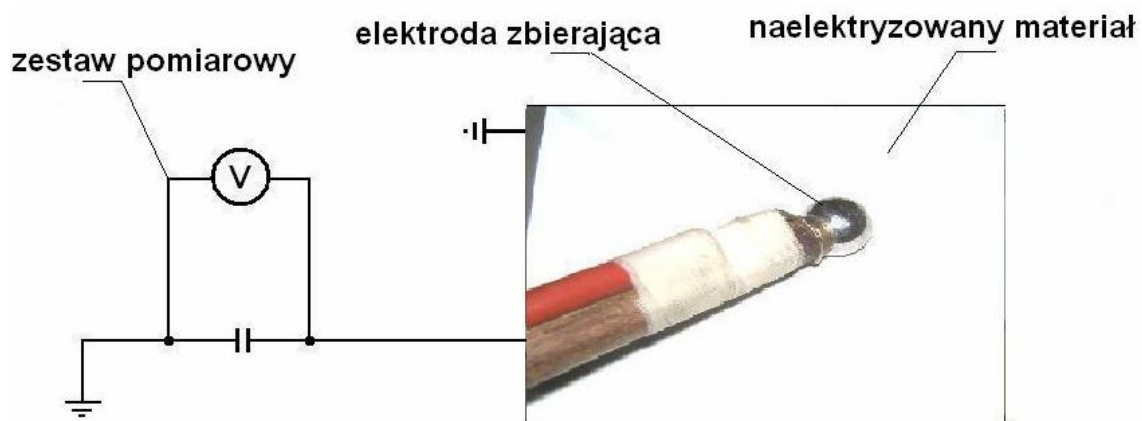
Przed wykonaniem kolejnej elektryzacji powierzchnię naelektryzowanego materiału poddaje się de elektryzacji.

## Ocena rozładowania

Po zakończeniu elektryzacji w skończonym przedziale czasu, naelektryzowany materiał staje się wtórnym źródłem emisji pola elektrycznego. Rozładowanie naelektryzowanego materiału polega na zbieraniu z jej powierzchni ładunku elektrostatycznego o przez przewodnik do uziemionego zestawu pomiarowego [rys. 2] i [rys. 3].



Rys. 2: Schemat pomiaru ładunku [Q] na materiale naelektryzowanym przez indukcję.



Fot. 2: Pomiar ładunku [Q] na materiale naelektryzowanym przez indukcję.

Zagrożenie pożarowe lub wybuchowe wywołane możliwością wystąpienia wyładowań elektrostatycznych na skutek rozładowywania naelektryzowanego materiału uzależnione jest bezpośrednio od:

- właściwości fizyko-chemicznych i budowy atomowej materiału, zwłaszcza wpływających na możliwość osiągnięcia naelektryzowania,
- geometrii elementu oraz od wynikającego stąd powierzchniowego i przestrzennego rozkładu ładunku,
- prędkości przemieszczania się materiału trącego,
- parametrów środowiska otaczającego dany obiekt, zwłaszcza temperatury, ciśnienia i wilgotności względnej powietrza.

### Ocena wyników

W procedurze oceny naelektryzowania uwzględnia się najwyższą wartość ładunku [Q] zgromadzonego na naelektryzowanej powierzchni nieprzewodzącego materiału niemetalowego. Wynik elektryzowania nieprzewodzącego materiału niemetalowego przeznaczonego do użytkowania w atmosferze potencjalnie wybuchowej uważa się za pozytywny, jeżeli maksymalna wartość przeniesionego ładunku [Q] jest mniejsza niż podana w poniższej tabeli:

Substancja palna	Ładunek Q (nC)
pył	200
metan, polipropylen	60
etylen	30
wodór	10

Jeżeli wartość ładunku zebranego z naelektryzowanego niemetalowego materiału nieprzewodzącego nie przekracza [Q], to niemetalowy materiał nieprzewodzący nie stwarza zagrożenia wybuchu atmosfery potencjalnie wybuchowej od elektryczności statycznej i nadaje się do użytkowania w miejscach zaklasyfikowanych, jako strefy zagrożone wybuchem. W przypadku, jeżeli zmierzona wartość przekracza wartość ładunku [Q], to niemetalowy materiał nieprzewodzący może w warunkach użytkowania stać się źródłem wyładowań elektrostatycznych. Wówczas zestaw: naelektryzowany materiał i elektrycznie uziemiony przewodnik mogą stwarzać zagrożenie wybuchem w atmosferze wybuchowej.



## Wyładowania elektrostatyczne

Procedura oceny zdolności zapalającej jest wykorzystywana do znalezienia ekstremalnie najniekorzystniejszej metody powodującej gromadzenie największego ładunku [Q] w trakcie elektryzowania. Charakterystykę kilku typów wyładowań elektrostatycznych opisano poniżej.

### Wyładowanie koronowe

Wyładowanie koronowe jak na zdarza się na ostrych punktach albo krawędziach przewodników tj. powierzchniach o małym promieniu krzywizny. Może ono wystąpić, kiedy taki przewodnik jest uziemiony i przesuwany w stronę wysoko naelektryzowanego obiektu lub alternatywnie, jeżeli przewodnik uzyskuje wysoki potencjał. Wyładowanie koronowe powstaje w miejscu przy ostrej powierzchni metalowej występowania pola elektrycznego powyżej 3 MV/m. Ponieważ pole z dala od powierzchni naelektryzowanej gwałtownie maleje, obszar jonizacji nie rozciąga się daleko od niej. Wyładowanie może być skierowane ku naelektryzowanemu materiałowi lub, w przypadku przewodnika na wysokim potencjale, może być po prostu skierowane od przewodnika.



$Q > 600 \text{ nC}$

Fot. 4: Wyładowanie koronowe między naelektryzowanym materiałem a uziemionym przewodnikiem.

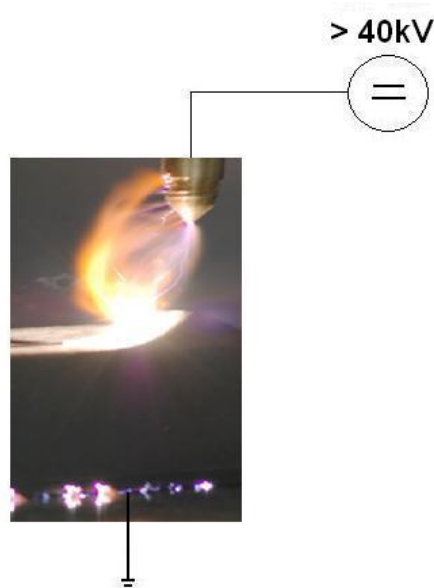
Wyładowania koronowe są trudne do zobaczenia, ale przy przyćmionym oświetleniu może być widoczne jarzenie przyległe do punktu. Na zewnątrz tej zjonizowanej strefy jony mogą dryfować na zewnątrz, przy czym ich biegunowość jest zależna od kierunku pola. Energia w wyładowaniu koronowym jest dużo mniejsza niż w wyładowaniu elektrostatycznym i z tej przyczyny wyładowania koronowe normalnie nie są zapalające. Jakkolwiek, w pewnych okolicznościach, na przykład, jeżeli ma miejsce przyrost potencjału na punktowym przewodniku, to wyładowanie koronowe może rozwinąć się

Strona 9 z 14

w wyładowanie elektrostatyczne pomiędzy tym i innym obiektem. Wyładowanie koronowe nie może zapalić palnych pyłów. W przypadku występowania transportu dużych ilości rozpraszających lub nieprzewodzących pyłów, wyładowań koronowych nie można uniknąć.

### Wyładowanie iskrowe

Wyładowanie iskrowe występuje między dwoma przewodnikami, cieczą lub ciałem stałym. Charakteryzuje się wyraźnym świecącym kanałem wyładowania iskrowego [fot. 5] przenoszącym prąd o dużej gęstości. Jonizacja gazu w wyładowaniu iskrowym jest zupełna na całej jego długości. Wyładowanie to jest bardzo szybkie i wywołuje ostry trzask.

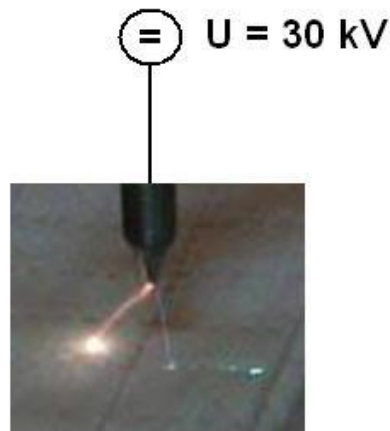


Fot. 5: Wyładowanie iskrowe między przewodem pod napięciem zbliżonym do osłony obudowy urządzenia.

Wyładowanie iskrowe występuje między przewodem pod napięciem około 40 kV, kiedy natężenie pola między końcówką przewodu a odizolowaną osłoną obudowy przewyższa wytrzymałość elektryczną otaczającej atmosfery. Różnica potencjału między przewodnikami konieczna dla spowodowania przebicia zależy zarówno od kształtu jak i odległości między przewodnikami.

### Wyładowanie snopiaste

Wyładowanie snopiaste rozpoczyna się na końcu przewodnika pod napięciem i ma postać wąskiego lub postrzępionego kanału plazmowego o dość dużej przewodności. Są to zdarzenia krótkotrwałe, które, w odpowiednich okolicznościach, mogą być słyszane i widziane [fot. 6].



Fot. 6: Wyładowanie snopiaste od końca przewodnika pod napięciem.

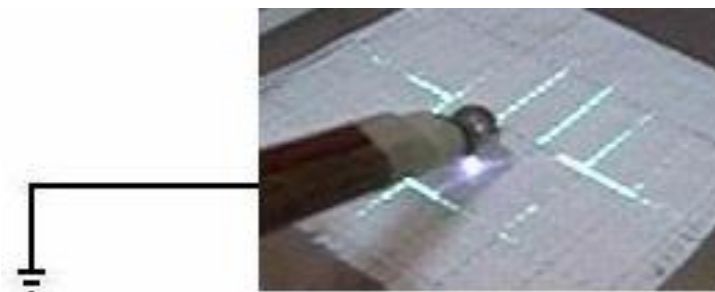
Wyładowanie snopiaste może wystąpić, gdy uziemione przewodzące elementy niemetalowe np. występ urządzenia, sonda pomiarowa, narzędzia robocze, końce palców personelu, lub między uziemionym metalem a powierzchnią cieczy w zbiorniku itd. zbliżają się do wysoko naelektryzowanych materiałów nieprzewodzących. W odróżnieniu od wyładowań iskrowych mają one tendencję do pociągania za sobą tylko małego ułamka ładunku związanego z systemem i wyładowanie nie łączy elementu metalowego pod napięciem i elektryzowanego materiału. Doświadczenie wynikające z praktyki i brak wypadków wskazuje, że, wyładowania snopiaste nie stwarzają zagrożeń, co do obłoków większości pyłów palnych.

### Rozprzestrzeniające wyładowanie snopiaste

Rozprzestrzeniające wyładowanie snopiaste może występować na powierzchni nieprzewodzących elementów niemetalowych. Duża gęstość powierzchniowa ładunku może być generowana w miejscach intensywnej elektryzacji, np. cząstki pyłu uderzają w powierzchnię wywołując naelektryzowanie. Bardzo wysokie pole elektryczne na naelektryzowanym elemencie wskutek przypadkowego zbliżania się do uziemionego przewodzącego elementu może wytworzyć rozprzestrzeniające wyładowanie snopiaste. Rozprzestrzeniające wyładowanie snopiaste tworzy się równoległe do powierzchni naelektryzowanego materiału niemetalowego.

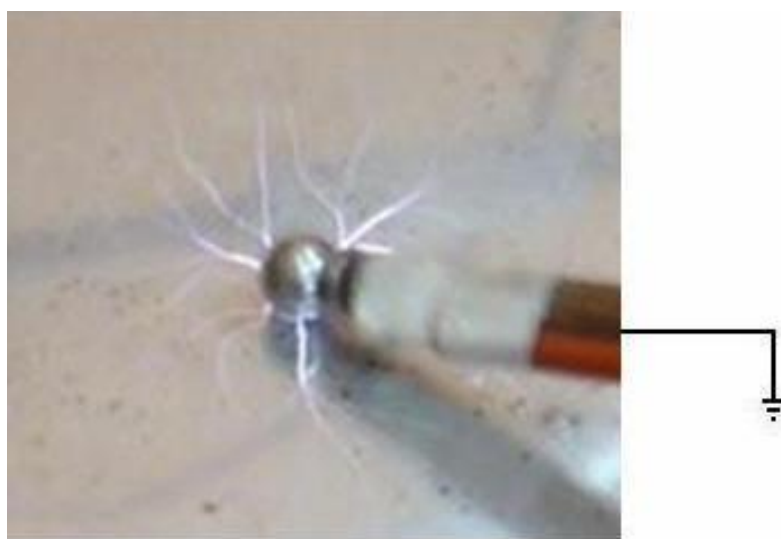
Wyładowanie zapoczątkowywane jest na wskutek rozładowania między dwoma powierzchniami. Często ma ono wyraźną drzewiastą strukturę i towarzyszy mu głośny trzask. Dwubiegunowo naelektryzowany materiał może być zawieszony w powietrzu lub, co jest bardziej normalne, ma jedną powierzchnię w bliskim kontakcie z materiałem przewodzącym (normalnie uziemionym). Rozładowanie może zostać osiągnięte przez:

- przebicie powierzchni (mechanicznie lub przez przebicie elektryczne);
- zbliżanie do naelektryzowanego materiału położonej na uziemionym podłożu metalowym elektrody metalowej uziemionej [fot. 7];



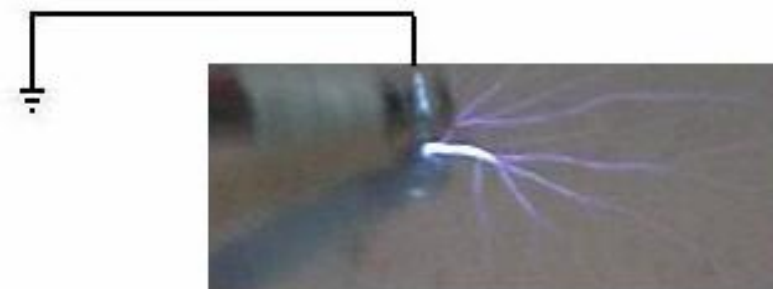
*Fot. 7: Rozładowanie naelektryzowanego materiału położonego na uziemionym podłożu metalowym na skutek zbliżenia uziemionej powierzchni przewodnika.*

- rozprzestrzeniające wyładowanie snopiaste wskutek dotknięcia naelektryzowanego nieprzewodzącego materiału niemetalowego uziemionym przewodnikiem [fot. 8]



*Fot. 8: Naelektryzowany nieprzewodzący kompozyt powłokowy o grubości ca 300  $\mu\text{m}$  na odizolowanym podłożu metalowym.*

Wyładowanie zbiera ładunki rozłożone na nieprzewodzącej powierzchni i kanalizuje je tam, gdzie rozładowanie ma miejsce. Dla nieprzewodzących materiałów cieńszych od wartości 300  $\mu\text{m}$ , wymagana jest powierzchniowa gęstość ładunku, co najmniej  $2,5 \times 10^{-4} \text{ C/m}^2$ .



*Fot. 9: Rozprzestaniające wyładowanie snopiaste w wyniku zbliżenia uziemionego przewodu metalowego do naelektryzowanego materiału.*

Naelektryzowany materiał położony na uziemionej płycie metalowej jest to model ekwiwalentu kondensatora, który tworzą: 1 elektroda płaska płyta metalowa + warstwa dielektryka (naelektryzowany nieprzewodzący materiał niemetalowy) + 2 elektroda kula metalowa (uziemiona) [fot. 9]. Jednym z warunków zapobiegania rozprzestrzeniającym wyładowaniom snopiastym jest, aby napięcie przebicia przez nieprzewodzący materiał niemetalowy było mniejsze niż 4 kV nawet powierzchni takich jak folie, taśmy, płyty i 6 kV dla płaskich wyrobów włókienniczych. Wartość energii rozładowania [ $W_r$ ] uwalnianej w rozprzestrzeniającym wyładowaniu snopiastym może zostać oceniona przy użyciu iskiernika.

### **Wyładowanie stożkowe**

W trakcie napełniania wysoko naelektryzowanym nieprzewodzącym pyłem silosów lub wielkich kontenerów, generowana jest przestrzeń o bardzo dużej gęstości ładunku w granicach nagromadzonej masy pyłu. Prowadzi to do wysokich pól elektrycznych przy szczycie stosu. W tych okolicznościach były obserwowane wielkie wyładowania biegnące (promieniowo, w przypadku cylindrycznych kontenerów) wzdłuż powierzchni.

### **Podsumowanie**

Źródłem ładunku elektrostatycznego jest elektryzacja metodą kontaktowo-tarciową lub przez indukcję. Wyładowania elektrostatyczne różnią się bardzo co do rodzaju. Identyfikacja zagrożeń od elektryczności statycznej oraz ocena ryzyka zapłonu przez nią spowodowane są niezbędne poprawnego funkcjonowania wielu procesów technologicznych z udziałem nieprzewodzących wyrobów niemetalowych.

### **Literatura:**

Pr EN 1127-1: 2009 „Explosive atmospheres – Explosion prevention and protection – Part 1: Basic concepts and methodology”

---

IEC TR 60079-32: 2010 „Explosive atmospheres – Part 32: Electrostatics”

ASTM D 257 Standard Test Methods for DC Resistance or Conductance of Insulating Materials May 15, 2007

ASTM D4496 - 04e1 Standard Test Method for D-C Resistance or Conductance of Moderately Conductive Materials

B. Wiechuła, C. Latocha: „Bezpieczny kompozyt powłokowy na odizolowanym podłożu metalowym do potencjalnej atmosfery wybuchowej”, czasopismo: Ochrona przed korozją, 12/2009 s. 601, 602.

B. Wiechuła: Rozprawa doktorska Zagrożenie wybuchem od elektryczności statycznej w lakierniach proszkowych BIAŁYSTOK 2007