

ELEKTRYCZNOŚĆ STATYCZNA W PROCESACH TECHNOLOGICZNYCH



Zasady

prognozowania, identyfikacji, oceny i likwidacji zagrożeń

dr Jan Maria Kowalski

b. Kierownik Pracowni Badań Elektryczności Statycznej

Zakład Bezpieczeństwa Chemicznego i Elektryczności Statycznej

INSTYTUT PRZEMYSŁU ORGANICZNEGO

ul. Annopol 6; 03-236 Warszawa

e-mail: kowalski@ipo.waw.pl; jmkowalski@onet.eu

1. WSTĘP



Zjawisko elektryczności statycznej

stwarza niebezpieczeństwo powstawania pożarów lub wybuchów,
wywołuje zakłócenia w procesie produkcji i w sferze użytkowania wyrobów
stanowi przyczynę licznych zdarzeń wypadkowych

Konsekwencją powstawania silnych pól elektrostatycznych i towarzyszących im wysokoenergetycznych wyładowań, zwłaszcza – iskrowych, jest:

bezpośrednie zagrożenie dla życia, zdrowia i mienia człowieka,
a zarazem:

pośrednie zagrożenie dla środowiska (ekologiczne skutki awarii)

Wielu pożarów i wybuchów

oraz

towarzyszących im zakłóceń i zdarzeń wypadkowych

można uniknąć przez zastosowanie skutecznej ochrony antyelektrostatycznej

Do realizacji tego celu niezbędna jest

świadomość genezy i warunków powstawania określonych zagrożeń



Obowiązek

realizacji ochrony przed elektrycznością statyczną
w przestrzeniach zagrożonych wybuchem
(atmosfery wybuchowe)

nakładają wymagania zawarte w Dyrektywach Unii Europejskiej **ATEX** :

ATEX 114 (2014/34/UE)

(oznaczenia pierwotne: ATEX 94/9/WE, ATEX 100a, ATEX 95);

ATEX USERS (199/92/WE)

(oznaczenie pierwotne: ATEX 137)

ATEX = ATMOSPHERE EXPLOSIBLE = ATMOSFERA WYBUCHOWA

oraz w odpowiednich rozporządzeniach organów krajowych i Polskich Normach

2. INFORMACJE PODSTAWOWE



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

Definiuje się jako:

**Nadmiarowy ładunek elektryczny, dodatni lub ujemny,
wytworzony na:**

➤ materiale o małej przewodności elektrycznej

lub na:

➤ obiekcie przewodzącym, odizolowanym od ziemi

(np. – na ciele człowieka noszącego obuwie na nieprzewodzących spodach)

w efekcie oddziaływań energetycznych,

na przykład – pod wpływem energii mechanicznej dostarczonej w czasie kontaktu tego materiału lub obiektu z innym materiałem / obiektem i towarzyszącego temu kontaktowi tarcia (wg PN-E-05200:1992).

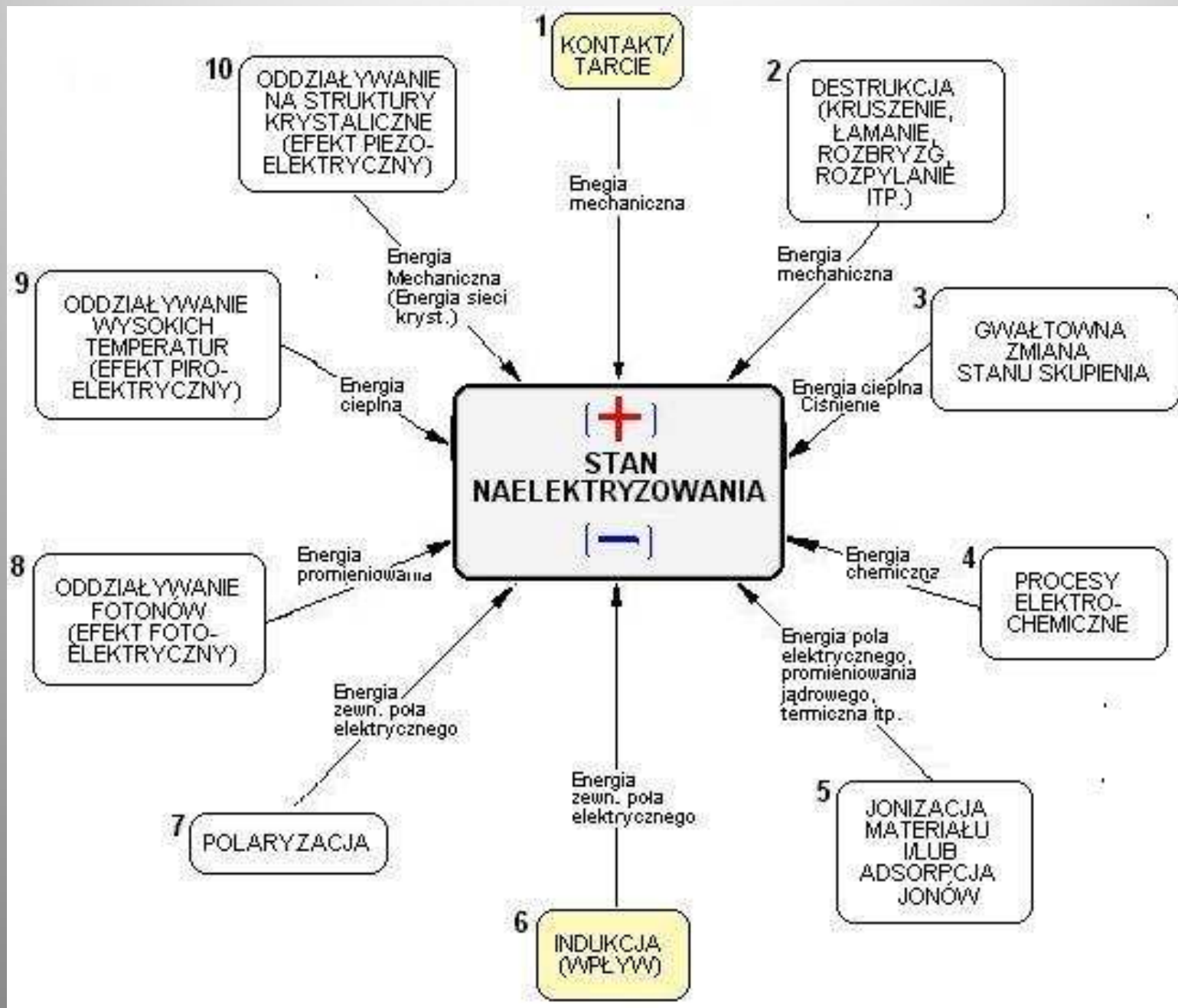
Przez ładunek „nadmiarowy” należy rozumieć ładunek elektryczny o określonej biegunowości, nie zrównoważony (nie skompensowany) ładunkiem przeciwnego znaku.

Termin: ładunek elektryczny „statyczny” wskazuje na ograniczoną jego ruchliwość, uwarunkowaną niewielką przewodnością elektryczną materiału lub dużą rezystancją upływu rozpatrywanego obiektu

ELEKTRYZACJA MATERIAŁÓW / WYROBÓW / OBIEKTÓW



Czynniki wywołujące stan naelektryzowania materiału





Mechanizm powstawania stanu naelektryzowania

A		$Q = CU$ $U = Q/C$ $C = \epsilon_0 \epsilon_r S/d$
B		$Q_k = Q_0 = C_k U_k$ $U_k = Q_0 / C_k$ $C_k = \epsilon_0 \epsilon_r S / d_k$ $U_k = d_k Q_0 / \epsilon_0 \epsilon_r S$ <p>Przy $Q = \text{const.}$, $S = \text{const.}$ i $\epsilon_r = \text{const.}$:</p> $U_k \sim d_k$
C		$Q = Q_0 = CU$ $C = \epsilon_0 \epsilon_r S/d$ <p>Przy $S = \text{const.}$ i $\epsilon_r = \text{const.}$:</p> $C \sim 1/d$ $U = Q_0 / C$ <p>Przy $Q_0 = \text{const.}$:</p> $U \sim d \rightarrow d > d_k \rightarrow U > U_k$

Oznaczenia:

- Q – ładunek elektrostatyczny
- U – napięcie elektrostatyczne
- C – pojemność elektryczna
- ϵ_r – przenikalność elektryczna względna

S – pole powierzchni

d – odległość

$$\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ F/m}$$

ELEKTRYZACJA KONTAKTOWA

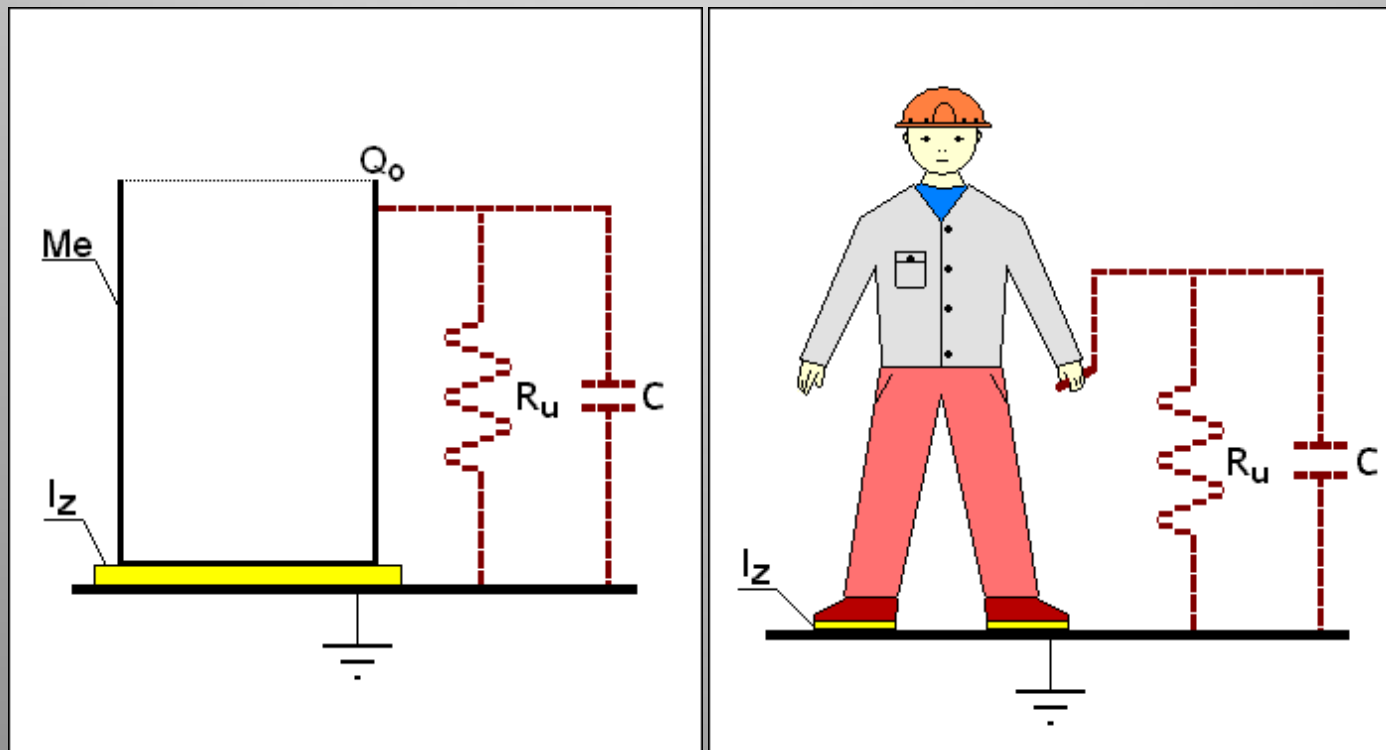


Stan naelektryzowania

$$Q = CU; \quad U = Q/C$$

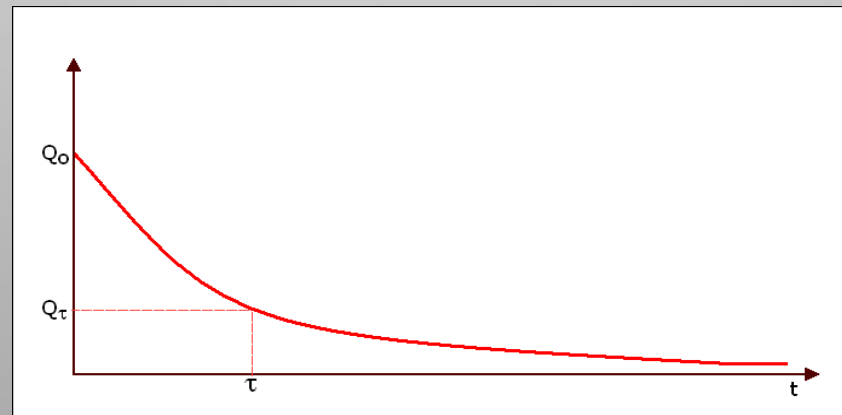
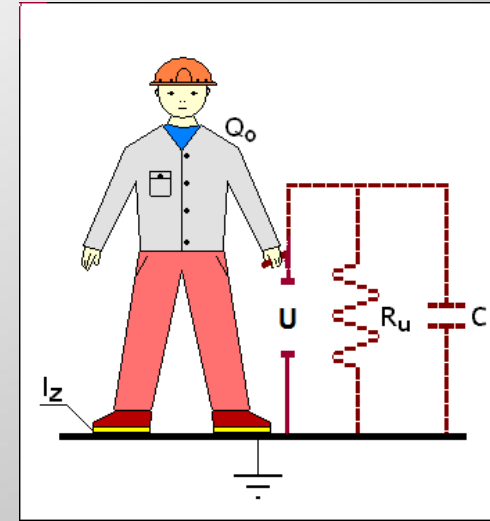
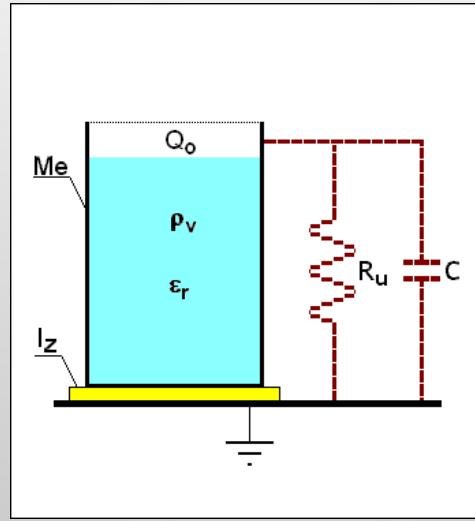
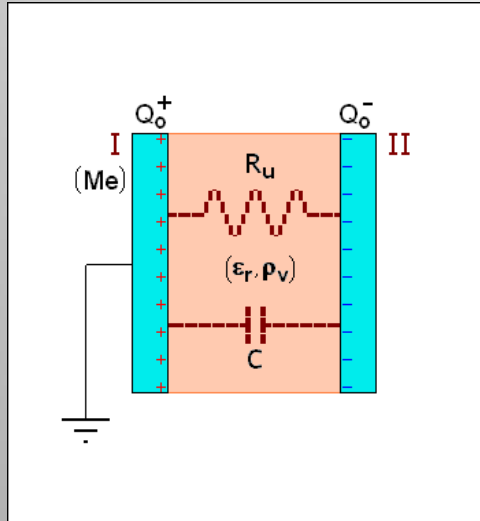
Energia układu:

$$W = \frac{1}{2} CU^2 = \frac{1}{2} Q_0 U = \frac{1}{2} Q_0^2 / C$$



ELEKTRYZACJA KONTAKTOWA

Zanik stanu naelektryzowania



$$\tau = R_u C = \epsilon_0 \epsilon_r \rho_v \quad [S]$$

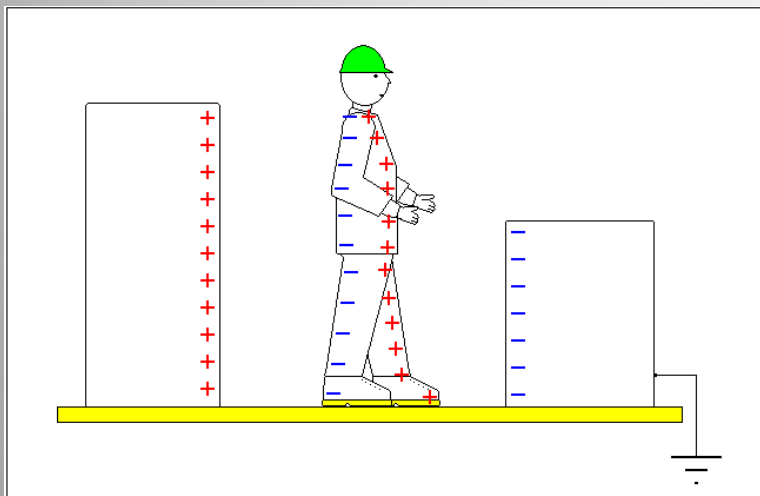
$$Q_t = Q_0 e^{-t/\tau} = Q_0 e^{-t/R_u C} = Q_0 e^{-t/\epsilon_0 \epsilon_r \rho_v} \quad [C]$$

przy $t = \tau$: $Q_\tau = Q_0 / e \approx 0,37 Q_0$

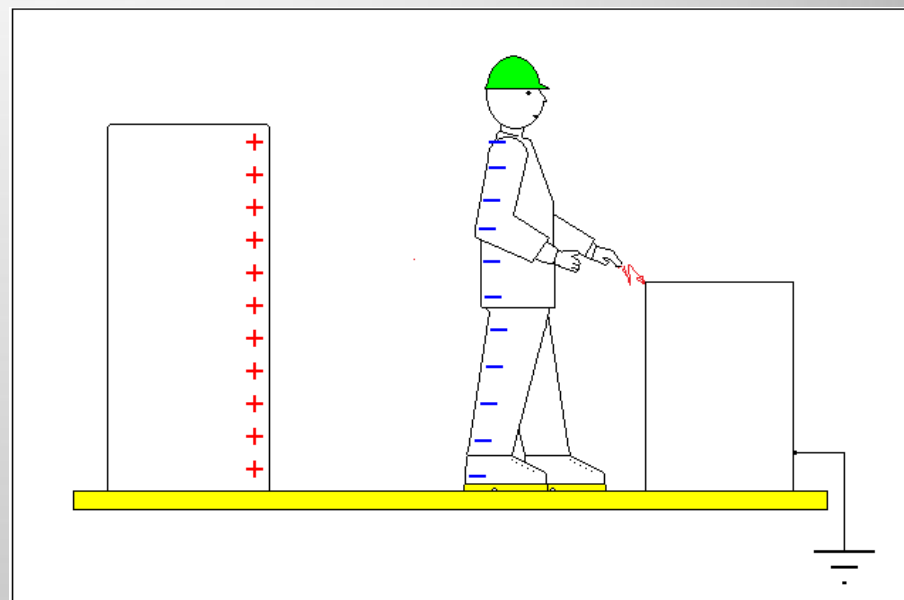
INDUKCJA ELEKTROSTATYCZNA



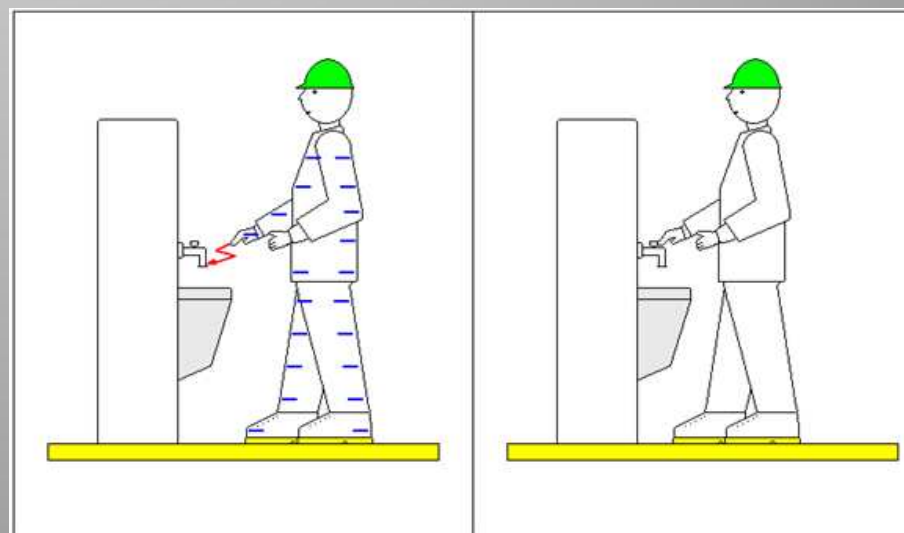
A



B



C



A: Naładowanie ciała człowieka w stałym polu elektrycznym

B: Odprowadzenie z ciała człowieka ładunku jednego znaku, w obecności pola

C: Odprowadzenie ładunku drugiego znaku, poza zasięgiem pola

POWSTAWANIE ŁADUNKU ELEKTROSTATYCZNEGO



Ciało człowieka

Ciało człowieka ulega naelektryzowaniu w wyniku:

- ✓ Chodzenia w nie przewodzącym obuwiu i/lub chodzenia po nieprzewodzących 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 zewnętrznej powierzchni noszonej odzieży lub innych środków ochrony osobistej, zachodzącego w wyniku wymuszonego bądź przypadkowego ich kontaktu z materiałem przedmiotów albo obiektów znajdujących się w otoczeniu człowieka (np. pędzel lub szczotka użyta do oczyszczenia albo odkurzenia powierzchni ubrania, odzież innego pracownika, sprzęt znajdujący się w wyposażeniu pomieszczenia);
- ✓ Kontaktu z naelektryzowanym materiałem lub wyrobem, np. folią z tworzywa sztucznego, materiałem sypkim i in.;
- ✓ Przebywania w stałym polu elektrycznym (indukcja)



PRZYKŁADY POWSTAWANIA ŁADUNKU ELEKTROSTATYCZNEGO

Materiały stałe o płaskiej powierzchni

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

- ✓ **Prasowania** i następnego rozładowania wsadów usuniętych z prasy;
- ✓ **Rozwijania** rulonów;
- ✓ **Przesuwania formatów** (płyt, arkuszy) w czasie ich mechanicznego lub ręcznego układania i/lub zdejmowania ze stosów;
- ✓ **Przemieszczania wyrobów 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.



PRZYKŁADY POWSTAWANIA ŁADUNKU ELEKTROSTATYCZNEGO

Materiały stałe w postaci sypkiej i materiały włókniste

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

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

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

- ✓ **Wytwarzania i przerobu** na przędzarkach, snowarkach, zgrzeblarkach, krosnach tkackich i podobnych urządzeniach technologicznych;
- ✓ **Użytkowania** odpowiednich wyrobów



PRZYKŁADY POWSTAWANIA ŁADUNKU ELEKTROSTATYCZNEGO

Ciecze i gazy

Ciecze i gazy (płyny) elektryzują się podczas:

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

Uwaga: Elektryzacja przy przepływach gazów zachodzi tylko wtedy, gdy zawierają one zanieczyszczenia w postaci fazy stałej lub ciekłej, co praktycznie zawsze jednak ma miejsce



PRZYKŁADY POWSTAWANIA ŁADUNKU ELEKTROSTATYCZNEGO

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.) elektryzacja zachodzi w efekcie wzajemnych oddziaływań komponentów oraz ich oddziaływań z materiałem urządzeń lub obiektów.

Przykładem podobnych oddziaływań są zjawiska atmosferyczne zachodzące 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

W praktyce szczególnie intensywną elektryzację wywołują wzajemne oddziaływania cząstek oraz ich oddziaływania z materiałem konstrukcyjnym urządzeń technologicznych, co ma miejsce m. in. podczas:

- ✓ Rozpylania lub napylania materiałów stałych;
- ✓ Rozbryzgiwania ("atomizacji") i natrysku cieczy;
- ✓ Wyptywu pary wodnej, zwłaszcza pod ciśnieniem;
- ✓ Wyptywu gazu zawierającego zanieczyszczenia w postaci cząstek fazy stałej lub ciekłej



POWSTAWANIE ŁADUNKU ELEKTROSTATYCZNEGO

Obiekty przewodzące, odizolowane od ziemi

Odizolowane od ziemi obiekty, wykonane z materiału przewodzącego, jak np. wózki na ogumionych kołach, pojemniki metalowe ustawione na izolacyjnym podłożu, 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 lub walca;
- ✓ Kontakt z dowolnym naelektryzowanym materiałem, np. w czasie napełniania pojemnika metalowego naładowaną cieczą lub materiałem sypkim;
- ✓ Indukcji w polu elektrostatycznym, zachodzącej przy usytuowaniu takiego obiektu w zasięgu działania pola



3. NEGATYWNE SKUTKI

WYSTĘPOWANIA ZJAWISKA ELEKTRYCZNOŚCI STATYCZNEJ W PROCESACH I OPERACJACH TECHNOLOGICZNYCH

Zagrożenia / zakłócenia

uwarunkowane są oddziaływaniem :

- **sił pola elektrostatycznego,**
określonych prawem *Coulomba*

oraz

- **wysokoenergetycznych wyładowań,**
powstających w polu elektrostatycznym o odpowiednio dużym natężeniu



SKUTKI

WYSTĘPOWANIA ZJAWISKA ELEKTRYCZNOŚCI STATYCZNEJ

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

ZAGROŻENIE POŻAREM / WYBUCHEM



Zagrożenie pożarem i/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.

Minimalna energia zapłonu (ozn. $W_{z\ min}$ lub **MEZ**) - 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 (aerozole). Substancją taką może być materiał stały, zwłaszcza w postaci pylistej, ciecz lub gaz. Mieszaniny gazów lub par z powietrzem wykazują na ogół niższą energię zapłonu (większą zdolność zapłonową) w porównaniu z mieszaninami pyłów z powietrzem, bądź osadami pyłowymi

Szczególnie niebezpieczne są wyładowania elektrostatyczne, pochodzące z obiektów przewodzących, odizolowanych od ziemi, 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 najmniej kilkakrotnie przekracza wartość minimalnej energii zapłonu mieszanin wybuchowych, tworzonych przez pary większości cieczy organicznych, gazy palne i niektóre pyły przemysłowe z powietrzem lub tlenem.

Minimalna energia zapłonu mieszanin wybuchowych par lub gazów z powietrzem jest na ogół rzędu wielkości 10^{-4} J, a niekiedy o jeden do dwóch rzędów wielkości niższa. Minimalna energia zapłonu mieszanin pyłów z powietrzem jest natomiast przeważnie rzędu 10^{-2} J, czasem – rzędu 10^{-3} J, a w niektórych przypadkach (np. – materiały wybuchowe inicjujące) osiąga ekstremalnie niskie wartości – rzędu mikrodżuli.

ZDOLNOŚĆ ZAPŁONOWA WYŁADOWAŃ ELEKTROSTATYCZNYCH



Zdolność zapłonowa wyładowania zależy od jego postaci,

a postać wyładowania – zależy od rodzaju, kształtu i stopnia naelektryzowania materiału lub obiektu, z którego zostaje uwolniony ładunek

Podstawowe typy wyładowań

- **Wyładowanie niepełne, wyładowanie ulotowe, ulot, świetlenie, wyładowanie „koronowe” lub „korona”** mające postać poświaty. Wyładowanie takie ma na ogół niewielką energię (W) i praktycznie nie jest zdolne do wywoływania zapłonów.
- **Wyładowanie iskrowe** z towarzyszącym efektem świetlnym, zachodzące między przedmiotami przewodzącymi w atmosferze, innym gazie lub cieczy. Energia tego rodzaju wyładowań określona jest zależnością $W = 0,5 CU^2$ i osiąga wartość do kilkuset milidżuli (mJ);
- **Wyładowanie snopiaste (lub – snopiące)** z towarzyszącym efektem świetlnym, pochodzące z powierzchni naelektryzowanego przedmiotu nie przewodzącego lub pojawiające się w pobliżu elektrody – jako efekt jonizacji udarowej. Wyładowanie takie zachodzi w polu o dużej niejednorodności. Jest postacią pośrednią między wyładowaniem ulotowym a wyładowaniem iskrowym. Energia wyładowań snopiastych osiąga wartość do ok. 4 mJ;
- **Wyładowanie snopiaste (snopiące) – rozprzestrzeniające się (propagacyjne)** przejawia się jako jasno świecący kanał wyładowania na powierzchni materiału nie przewodzącego (izolacyjnego, dielektrycznego), jeżeli warstwa takiego materiału o grubości do ok. 8 mm, znajdująca się np. na powierzchni uziemionego podłoża metalowego, ulega silnemu naelektryzowaniu, przy czym na obydwóch stronach tej warstwy powstaje ładunek przeciwnego znaku. W praktyce układ taki tworzy m.in. wewnętrzna powierzchnia ścianek aparatu technologicznego – emaliowana lub powleczona tworzywem sztucznym). Energia tego typu wyładowań jest ekstremalnie duża i osiąga rząd wielkości dżuli (!);
- **Wyładowanie typu „burzowego”** - powstające z chmur ładunku przestrzennego, np. naelektryzowanych aerozoli, zawierających fazę stałą i/lub ciekłą, gdy natężenie pola elektrostatycznego, wytworzonego przy krawędzi chmury o średnicy powyżej 1 m, osiąga wartość co najmniej $5 \cdot 10^5$ V/m. Podobny układ występuje w praktyce np. podczas mycia zbiorników po produktach naftowych za pomocą urządzeń rozpylających pod znacznym ciśnieniem używane do tego celu ciekłe środki czyszczące. Analogiczne niebezpieczeństwo powstaje także podczas pneumatycznego piaskowania powierzchni zbiorników



ZDOLNOŚĆ ZAPŁONOWA WYŁADOWAŃ ELEKTROSTATYCZNYCH

Podstawowe typy wyładowań (c.d.):

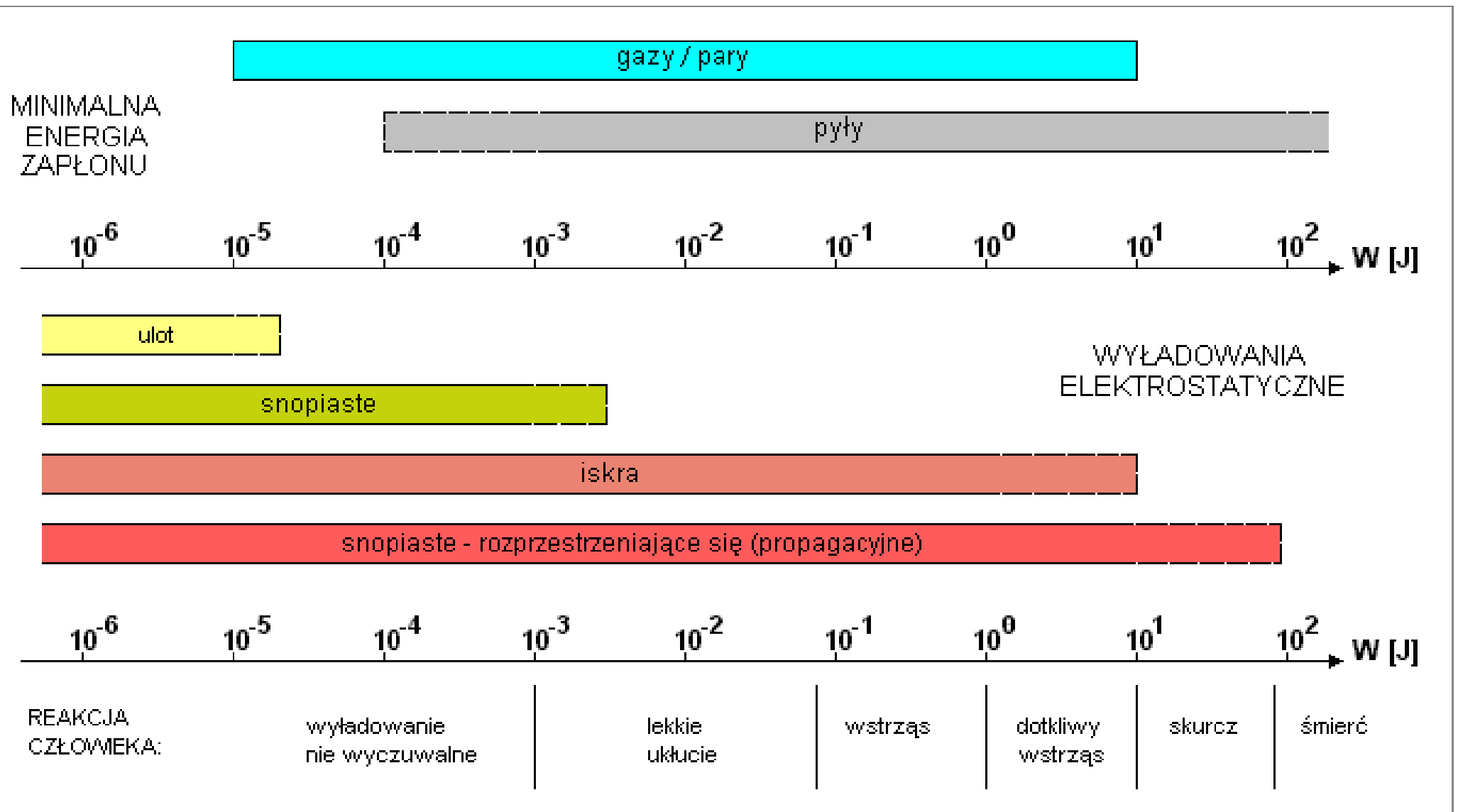
- **Wyładowanie „stożkowe”** - wyładowanie snopiaste pochodzące ze stożka materiału sypkiego o rezystywności powierzchniowej powyżej $10^{10} \Omega$, zazwyczaj skierowane ku metalowej ściance zasobnika lub innego aparatu technologicznego.

Wyładowania „stożkowe” powstają np. podczas napełniania silosów granulataми - z reguły przy objętości materiału powyżej 1 m^3 .

Energia wyładowań „stożkowych” zależy od uziarnienia proszku i wzrasta z objętością materiału.

Wartość energii wyładowania stożkowego wynosi do ok. 25 mJ,
czyli osiąga rząd minimalnej energii zapłonu wielu pyłów przemysłowych

ZDOLNOŚĆ ZAPŁONOWA WYŁADOWAŃ ELEKTROSTATYCZNYCH



Niebezpieczeństwo zapłonu, wywoływane przez wyładowania elektrostatyczne

(wg I. Berta – Static Electricity Hazards ; Hanbook of Electrostatic Processes - red. J.S. Chang; New York, Basel, Hong Kong 1995)



4. OCHRONA PRZED ELEKTRYCZNOŚCIĄ STATYCZNĄ (OCHRONA ANTYELEKTROSTATYCZNA)

METODY

Środki podstawowe

- UZIEMIANIE PRZEWODZĄCYCH ELEMENTÓW INSTALACJI TECHNOLOGICZNEJ
- OCHRONA ANTYELEKTROSTATYCZNA PERSONELU

Środki ogólne

- UNIKANIE STOSOWANIA W URZĄDZENIACH TECHNOLOGICZNYCH NIEPRZEWODZĄCYCH MATERIAŁÓW KONSTRUKCYJNYCH
- ZMNIEJSZANIE DYNAMIKI PROCESÓW
- ZAPOBIEGANIE ZANIECZYSZCZENIOM CIECZY I GAZÓW
- ZWIĘKSZANIE WILGOTNOŚCI POWIETRZA

OCHRONA PRZED ELEKTRYCZNOŚCIĄ STATYCZNA (OCHRONA ANTYELEKTROSTATYCZNA)



METODY

Środki szczególne

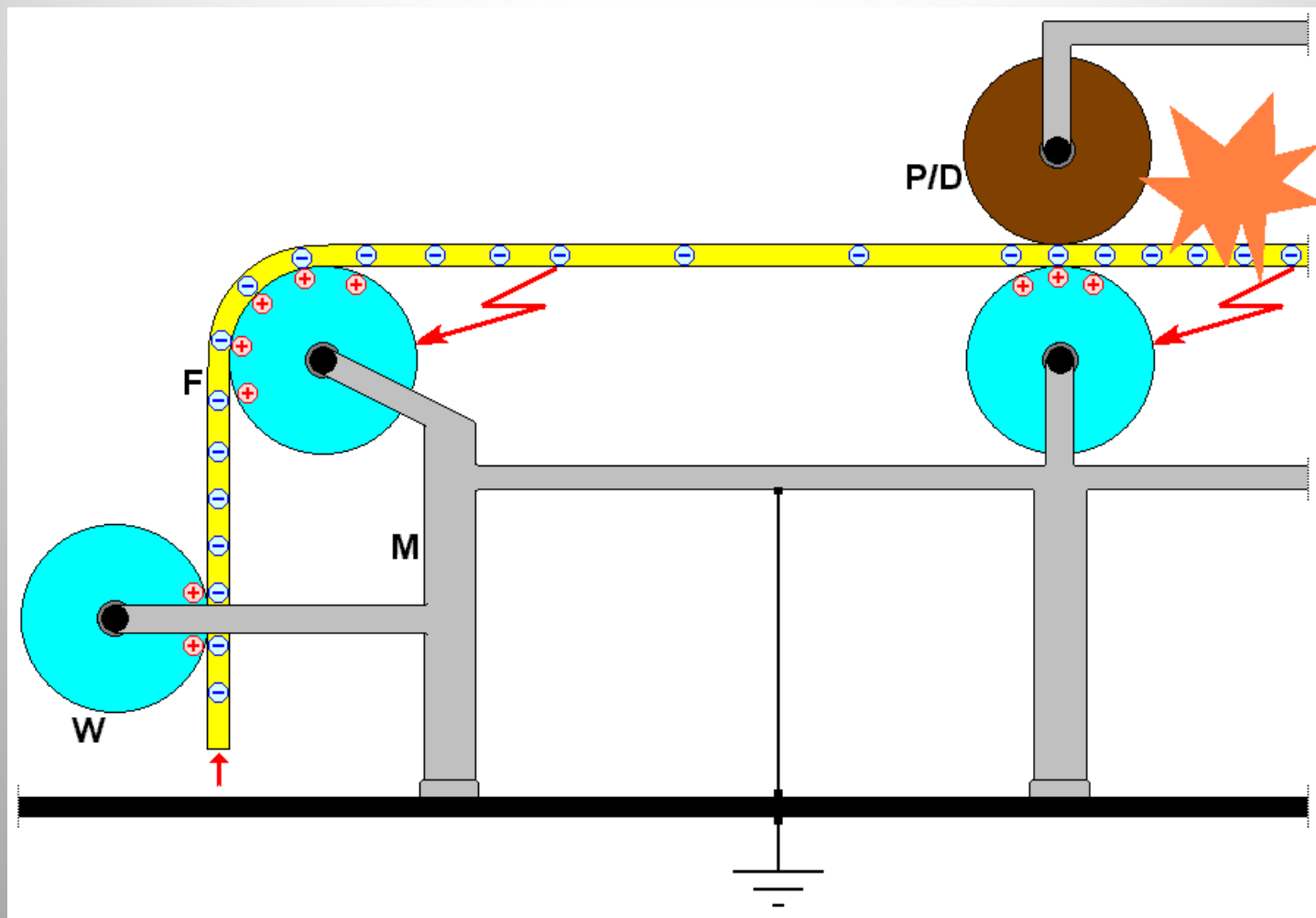
- EKRANOWANIE PÓL ELEKTROSTATYCZNYCH
- ODPOWIEDNIE PROJEKTOWANIE INSTALACJI TECHNOLOGICZNYCH
- OGRANICZANIE GABARYTÓW ELEMENTÓW WYKONANYCH Z TWORZYW NIEPRZEWODZĄCYCH W APARATURZE TECHNOLOGICZNEJ I W WYROBACH
- OPTIMALIZACJA PARAMETRÓW TECHNOLOGICZNYCH I WARUNKÓW PRZEBIEGU PROCESU PRODUKCJI
- OPTIMALIZACJA PROCEDUR TECHNOLOGICZNYCH
- ZWIĘKSZANIE POJEMNOŚCI ELEKTRYCZNEJ, TWORZONEJ PRZEZ OBIEKTY PRZEWODZĄCE, IZOLOWANE WZGLĘDEM ZIEMI
- ZAPEWNIENIE RELAKSACJI ŁADUNKU
- DOBÓR DO URZĄDZEŃ TECHNOLOGICZNYCH MATERIAŁÓW KONSTRUKCYJNYCH O MAŁEJ ZDOLNOŚCI DO ELEKTRYZACJI
- MODYFIKACJA SKŁADU I/LUB STRUKTURY MATERIAŁÓW
- STOSOWANIE MATERIAŁÓW I WYROBÓW ANTY(ELEKTRO)STATYCZNYCH
- NEUTRALIZACJA ŁADUNKU ELEKTROSTATYCZNEGO ZA POMOCĄ ZJONIZOWANEGO POWIETRZA



5. Analiza przyczynowo – skutkowa wybranych zdarzeń wypadkowych

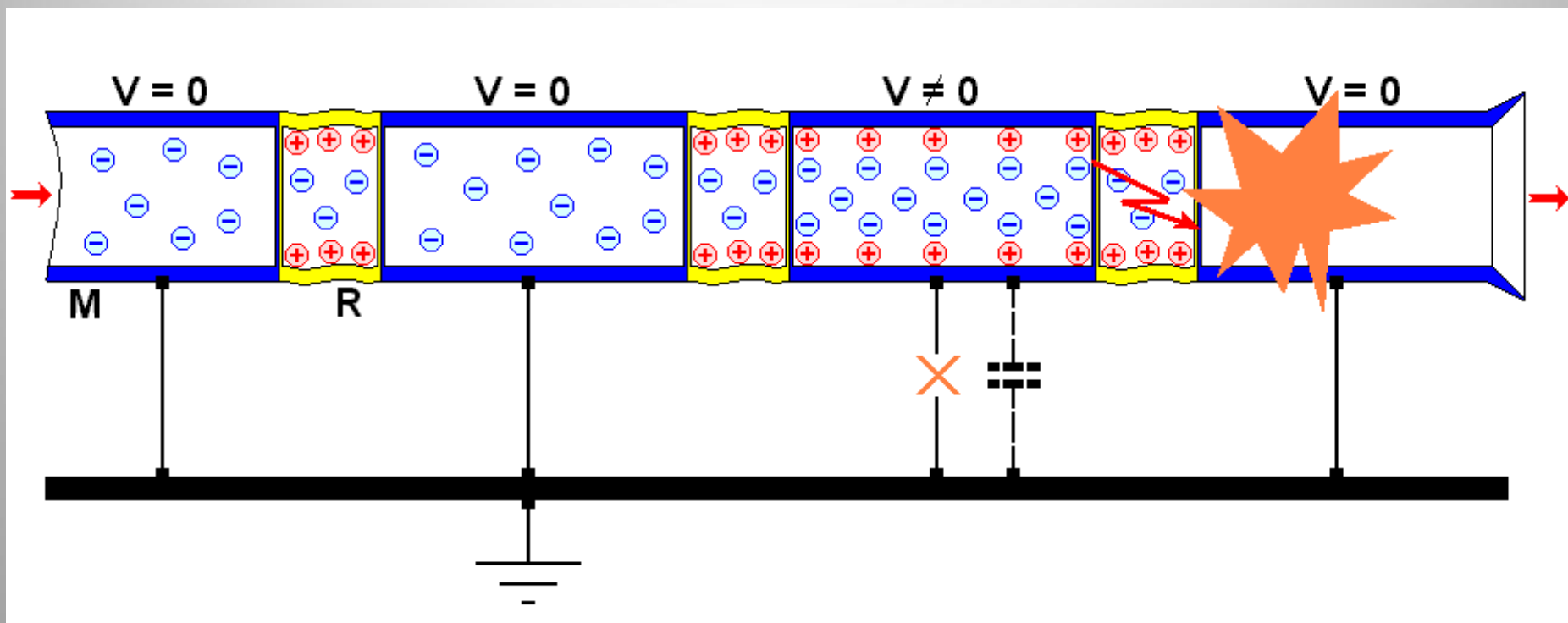
**OKOLICZNOŚCI POŻARÓW / WYBUCHÓW
WYWOŁYWANYCH W PRAKTYCE
WYŁADOWANIAM I ELEKTRYCZNOŚCI STATYCZNEJ**

(wybrane przykłady)



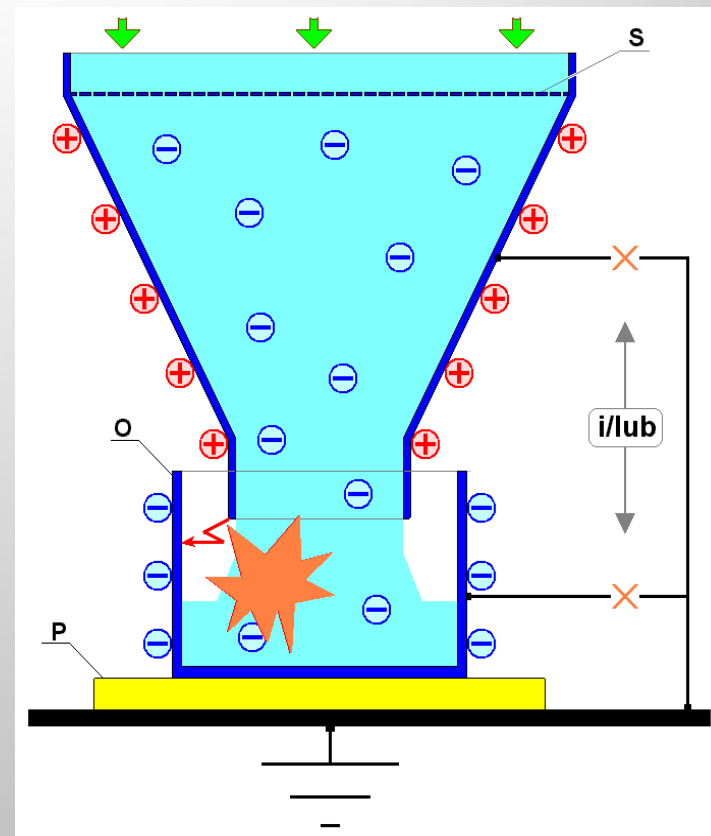
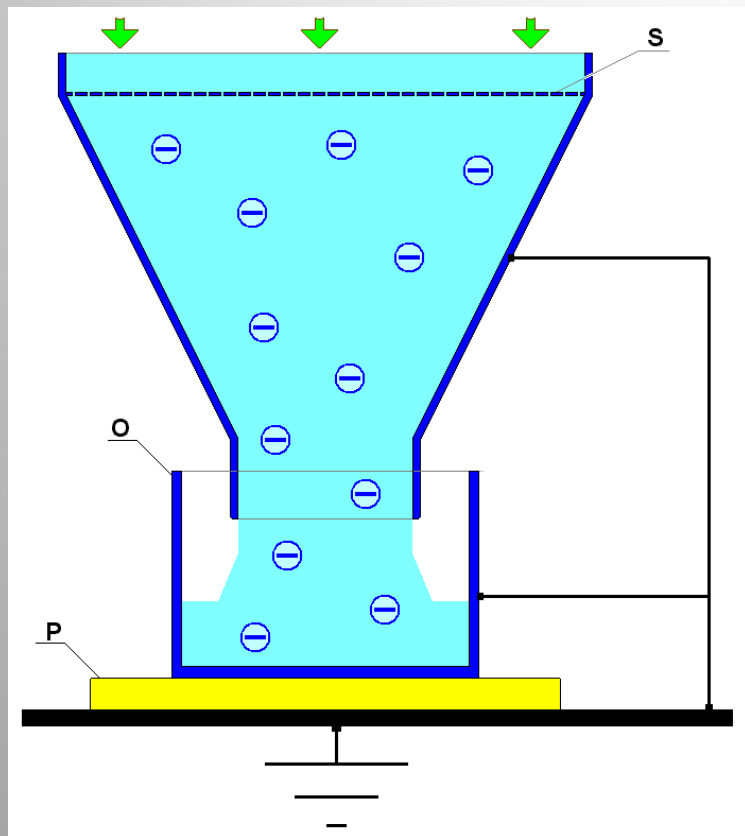
**WYŁADOWANIE ELEKTROSTATYCZNE POWSTAJĄCE W CZASIE PRZEMIESZCZANIA
TAŚMY Z MATERIAŁU NIE PRZEWODZĄCEGO ZA POMOCĄ METALOWYCH WALCÓW PROWADZĄCYCH
(POWLEKARKI, DRUKARKI itp.);**

F – folia, tkanina, papier itp., **W** – metalowe walce prowadzące, **M** – korpus maszyny,
P/ D – strefa powlekania / druku



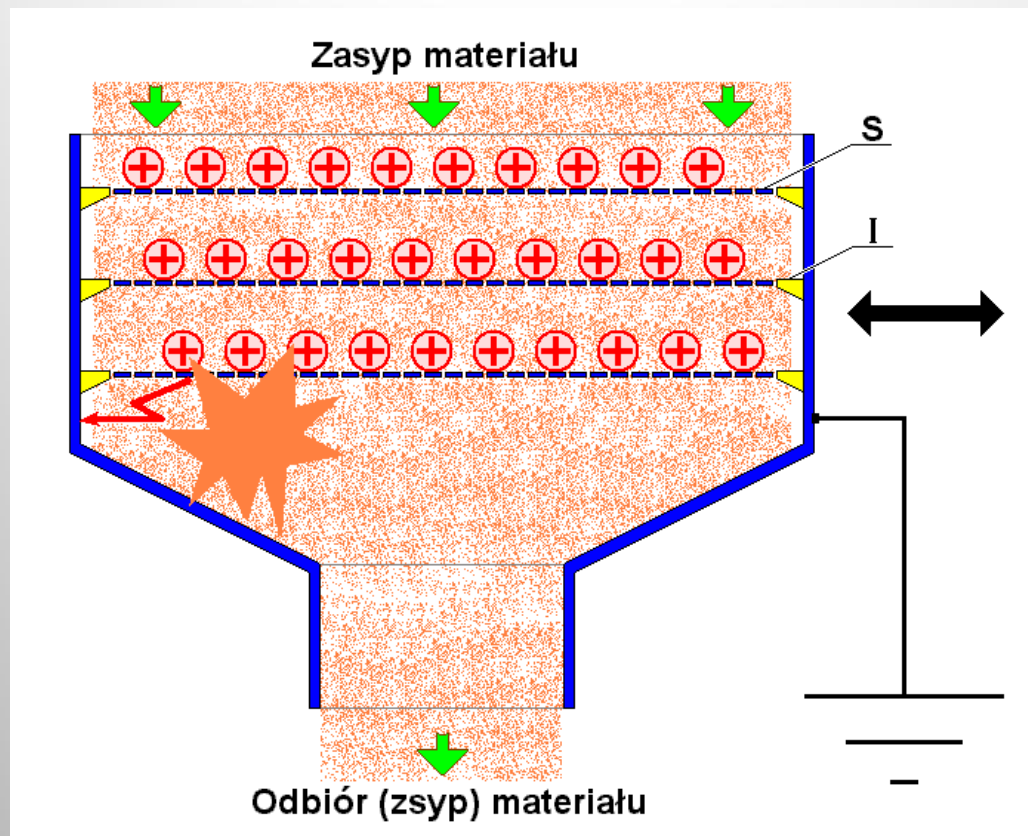
WYŁADOWANIE ELEKTROSTATYCZNE W INSTALACJI TRANSPORTU PNEUMATYCZNEGO Z SYPKIM MATERIAŁEM PALNYM;

Przewód rurowy (**M**) z naprzemiennie usytuowanymi odcinkami metalowymi oraz łącznikami rękawowymi (**R**) z elastycznego tworzywa sztucznego



WYŁADOWANIA ELEKTROSTATYCZNE POWSTAJĄCE PRZY NIENALEŻYCIĘ UZIEMIONYCH URZĄDZENIACH DO PRZESIEWANIA MATERIAŁÓW PALNYCH / WYBUCHOWYCH;

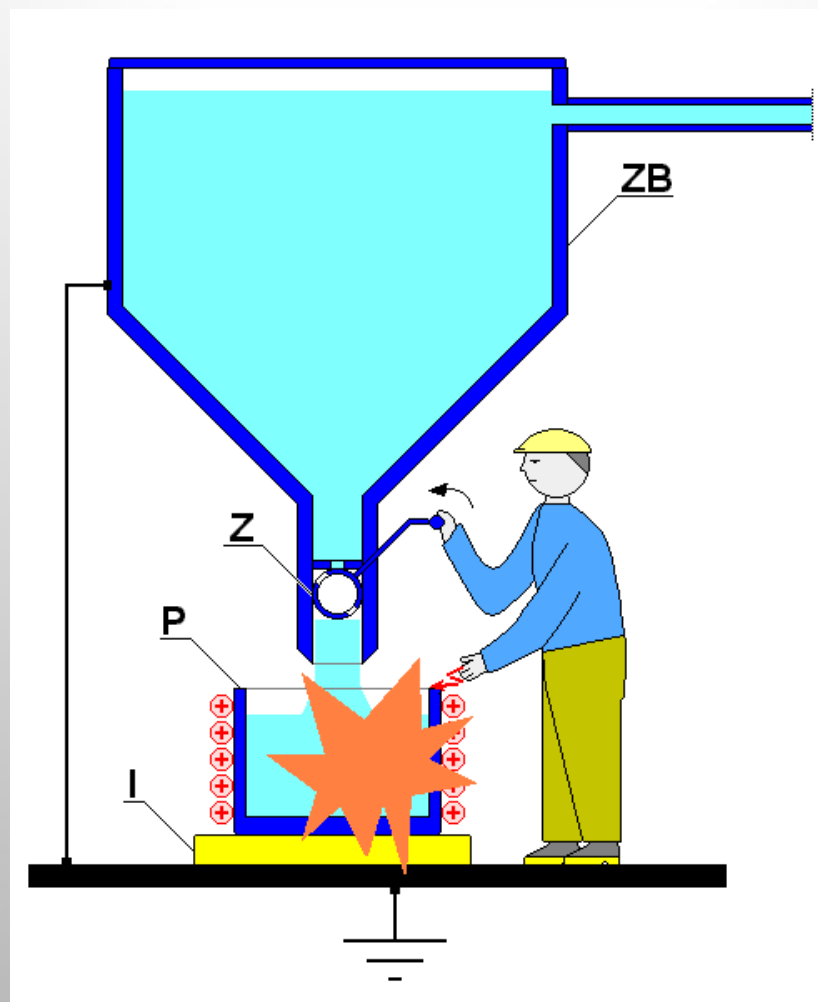
S – sito, O – odbieralnik materiału, P – podkład z materiału izolacyjnego



**WYŁADOWANIE ELEKTROSTATYCZNE
POWSTAJĄCE MIĘDZY IZOLOWANĄ SIATKĄ SITA A JEGO UZIEMIONĄ OBUDOWĄ;**

(Przesiewanie substancji organicznej o dużym stopniu rozdrobnienia);

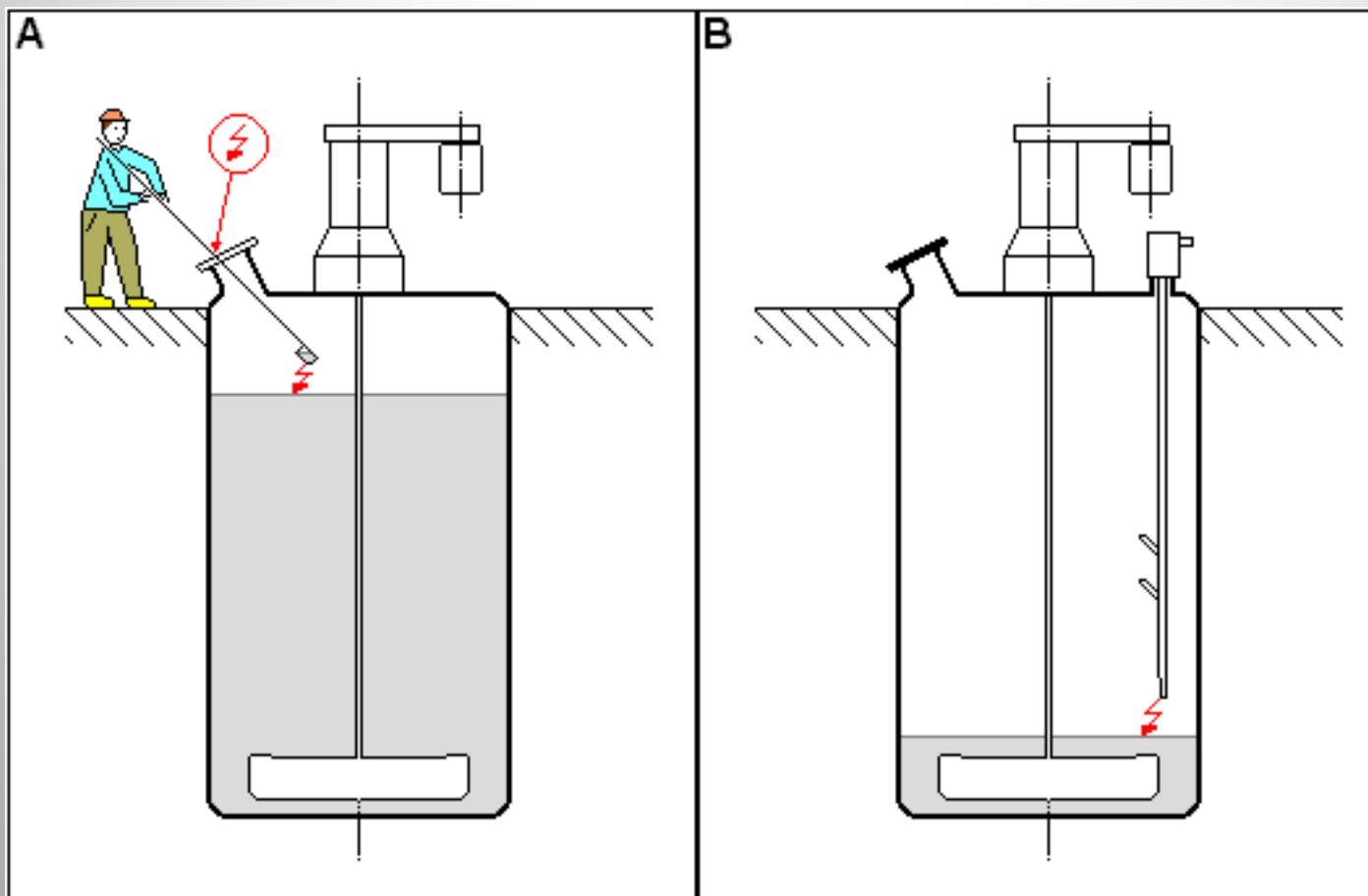
S – sito trzęsakowe (zespół), I – tworzywo izolacyjne, w którym osadzono metalową siatkę sita



**WYŁADOWANIE ELEKTROSTATYCZNE
MIĘDZY IZOLOWANYM POJEMNIKIEM Z NAELEKTRYZOWANĄ CIECZĄ PALNĄ
A CIAŁEM OPERATORA „UZIEMIONYM” PRZEZ KONTAKT Z APARATEM TECHNOLOGICZNYM;**

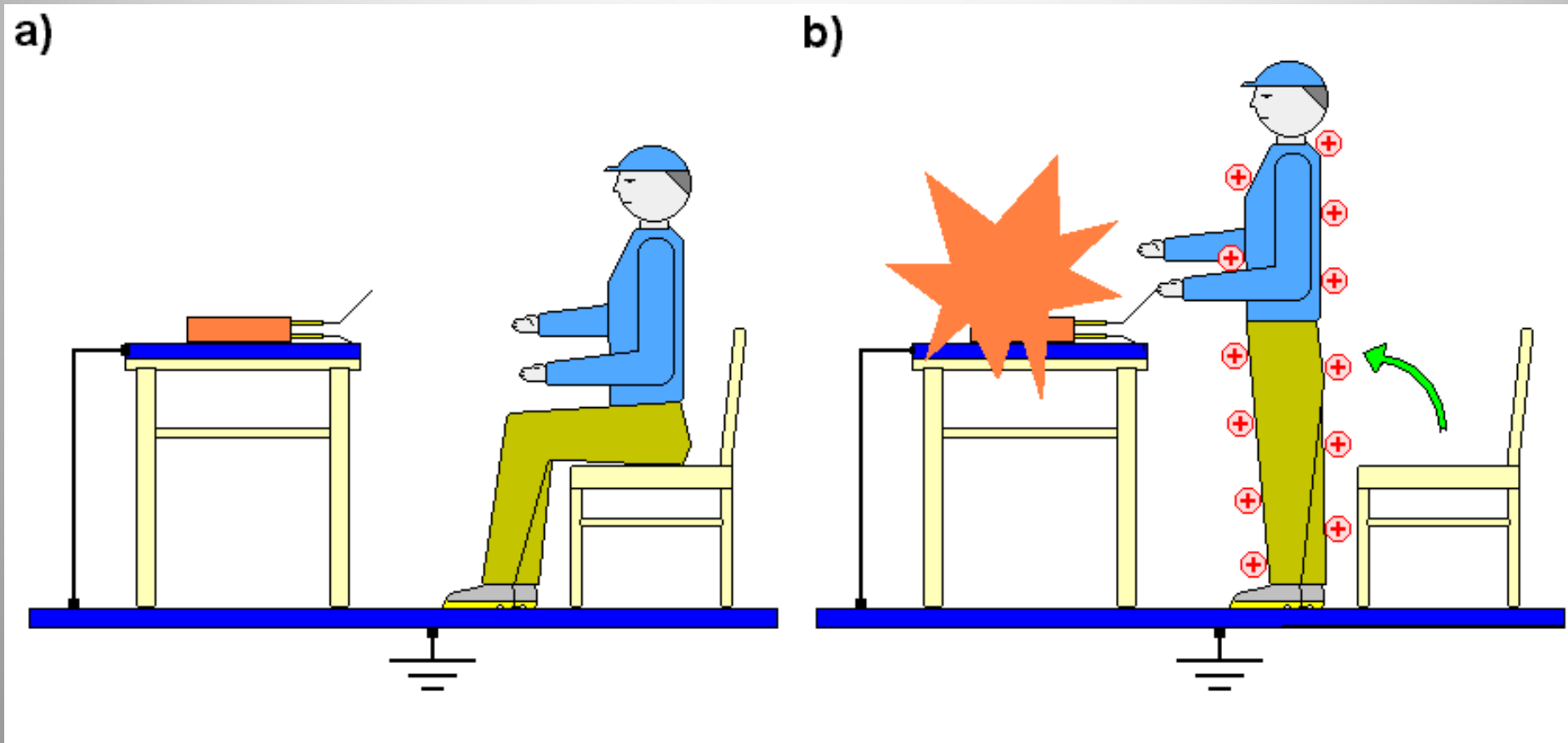
Napełnianie cieczą pojemnika metalowego ustawionego na palecie drewnianej (ciecz spływa grawitacyjnie z zawieszzonego zbiornika międzyoperacyjnego);

ZB – zbiornik metalowy, **P** – pojemnik metalowy, **I** – podest z materiału izolacyjnego



MOŻLIWOŚĆ POWSTAWANIA WYŁADOWAŃ ELEKTROSTATYCZNYCH W ZBIORNIKACH ZAWIERAJĄCYCH NAELEKTRYZOWANĄ CIECZ;

- A** – między uziemionym próbnikiem a lustrem cieczy lub między izolowanym próbnikiem (naładowanym przez indukcję) a krawędzią króćca uziemionego zbiornika;
- B** – między krawędzią uziemionego przewodu rurowego (przepust do pomiaru poziom), a lustrem naelektryzowanej cieczy, znajdującej się poniżej wylotu tego przewodu

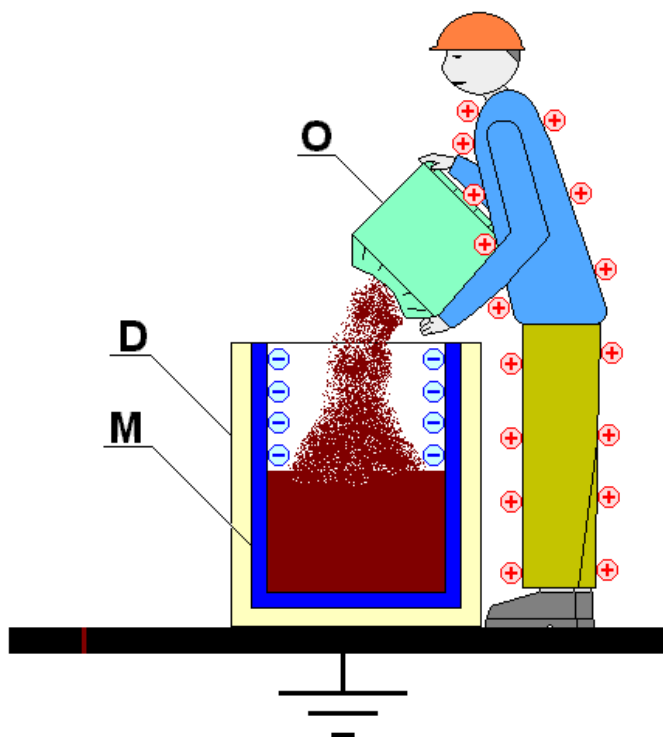


NIEKONTROLOWANE POBUDZENIE ZAPALNIKA ELEKTRYCZNEGO W EFEKcie PRZEPLYWU PRĄDU PRZEZ MOSTEK ŻAROWY, SPOWODOWANEGO RÓŻNICĄ POTENCJAŁÓW MIĘDZY CIAŁEM CZŁOWIEKA NAELEKTRYZOWANYM W KONTAKCIE Z SIEDZENIEM KRZESŁA, A KOŃCÓWKĄ PRZEWODU ZETKNIĘTĄ Z UZIEMIONYM BLATEM METALOWYM STOŁU MONTAŻOWEGO;

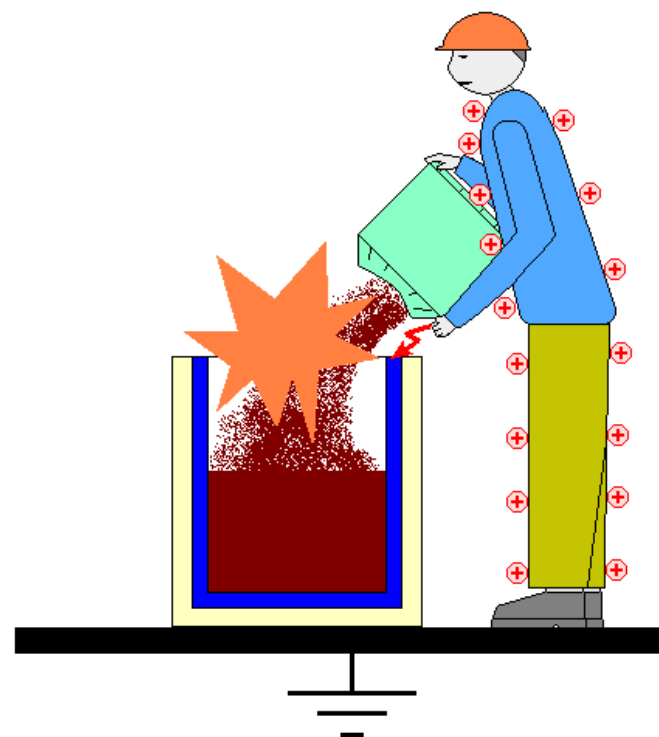
MONTAŻ ZAPALNIKÓW ELEKTRYCZNYCH (ELEKTRODETONATORÓW)



a)



b)

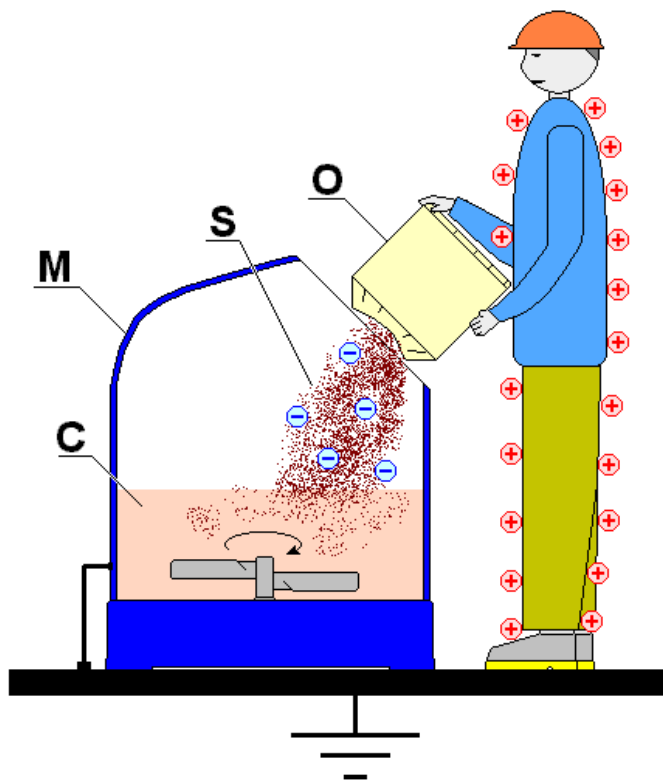


**WYŁADOWANIE ELEKTROSTATYCZNE MIĘDZY WYKŁADZINĄ METALOWĄ (M) SKRZYNI DREWNIANEJ (D)
A CIAŁEM CZŁOWIEKA OPRÓŻNIAJĄCEGO OPAKOWANIE (O)
WYKONANE Z TWORZYWA SZTUCZNEGO**

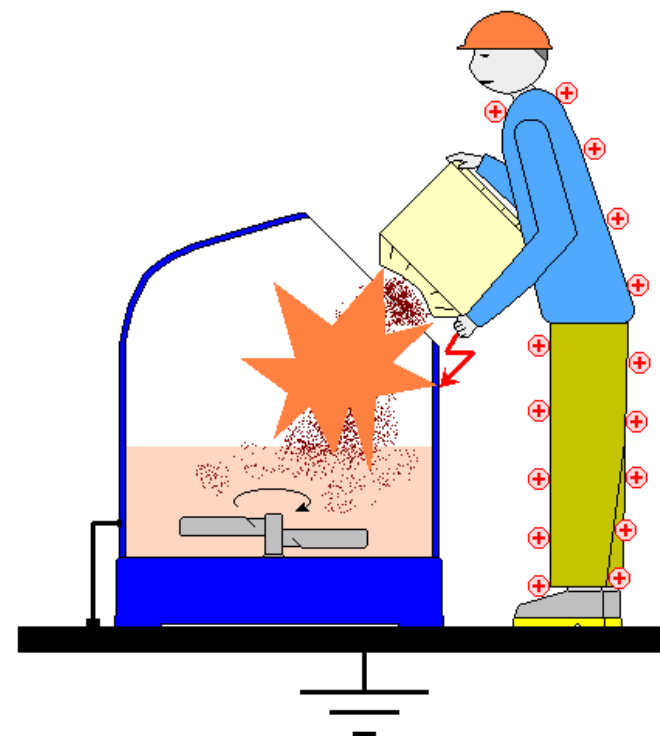
NAPEŁNIANIE MIESZANINĄ PIROTECHNICZNĄ (PRZEZ ZASYP) SKRZYŃ DREWNIANYCH,
WYŁOŻONYCH BLACHĄ



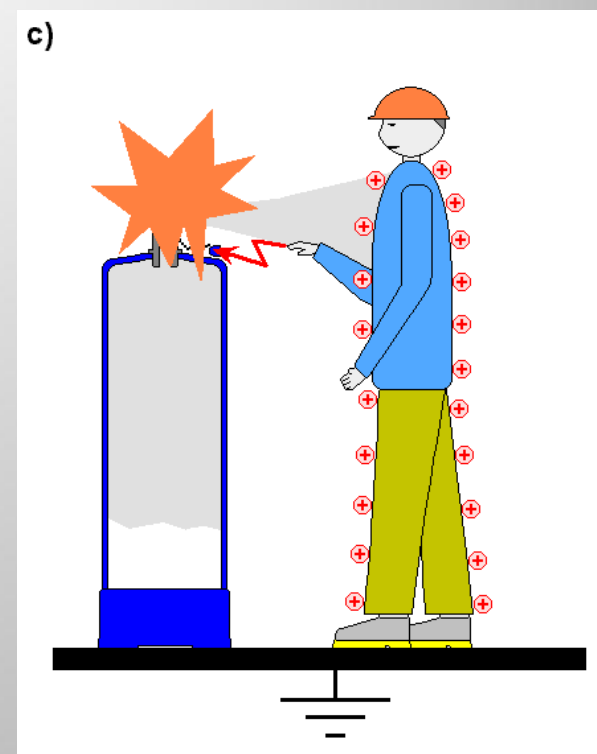
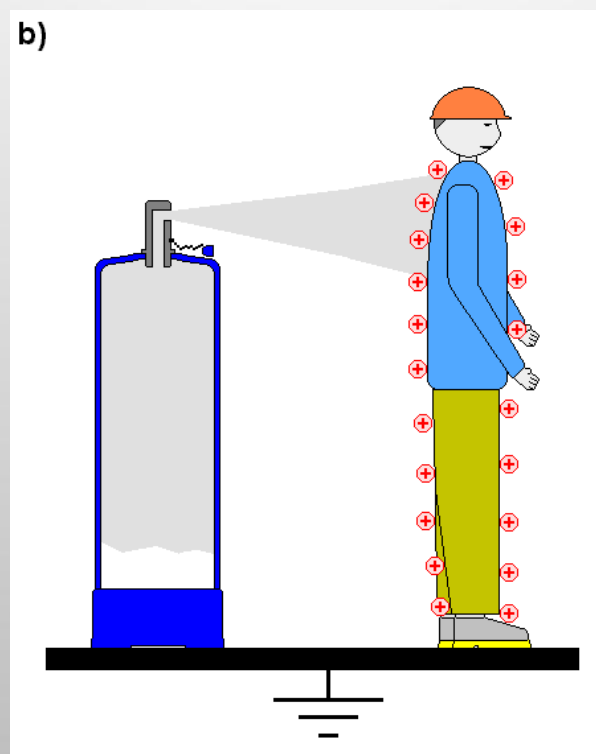
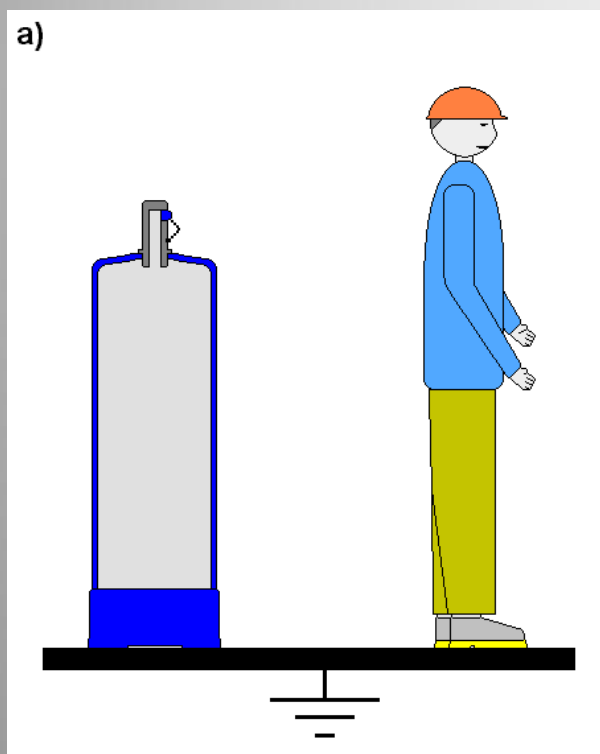
a)



b)

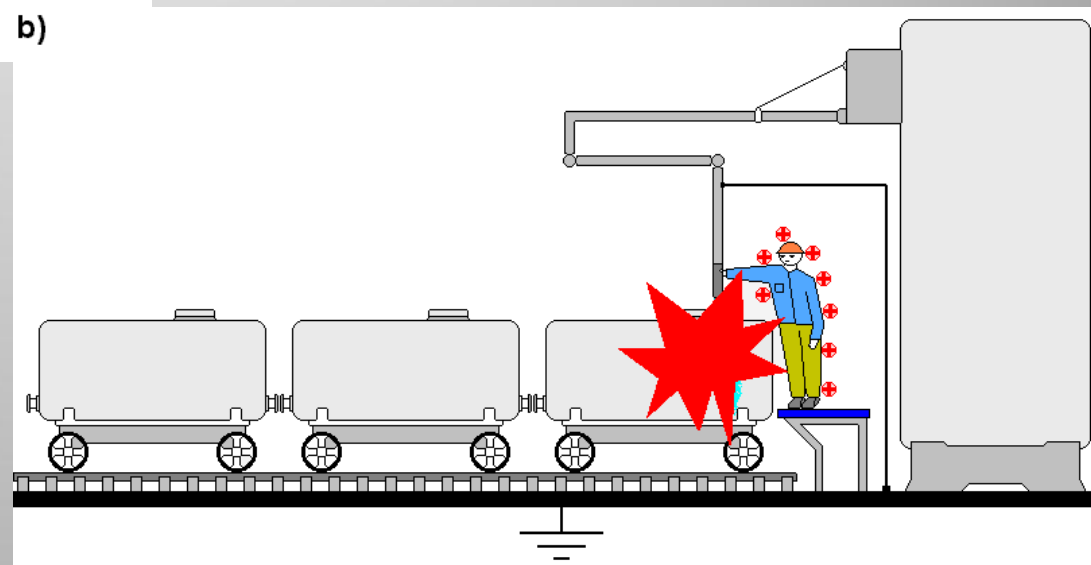
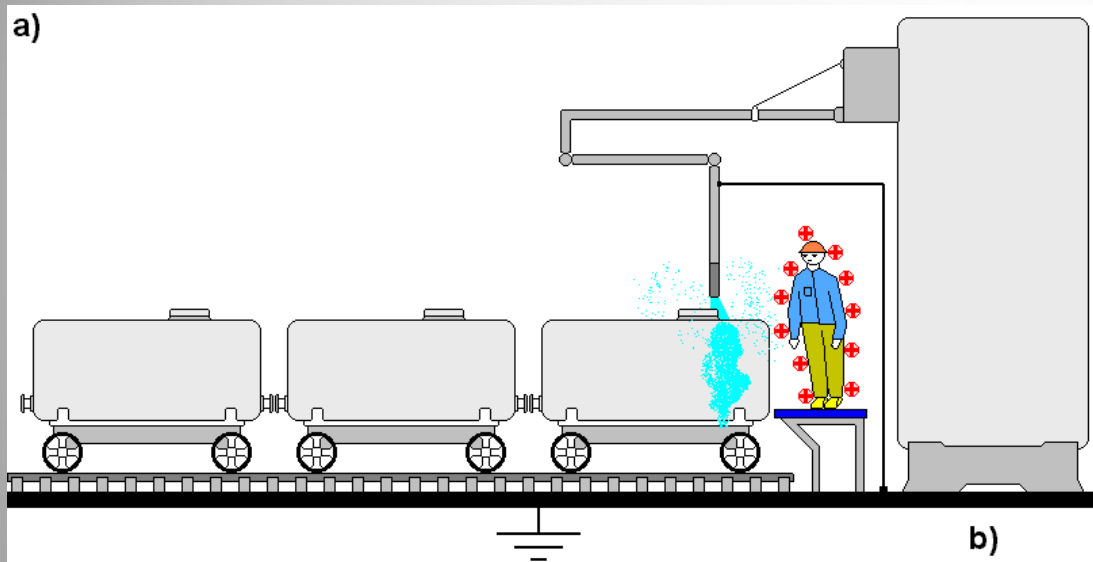


WYŁADOWANIE ELEKTROSTATYCZNE Z CIAŁA OPERATORA,
OPRÓŻNIAJĄCEGO OPAKOWANIE Z MATERIAŁEM SYPKIM (S)
DO MIESZALNIKA (M), ZAWIERAJĄCEGO CIECZ ŁATWOZAPALNĄ (C);



**EKSPLOZJA SPOWODOWANA WYŁADOWANIEM Z CIAŁA CZŁOWIEKA NAELEKTRYZOWANEGO W
EFEKCIE GWAŁTOWNEGO WYPŁYWU STRUMIENIA GAZU PALNEGO POD CIŚNIENIEM**

(USZKODZENIE ZAWORU BUTLI)

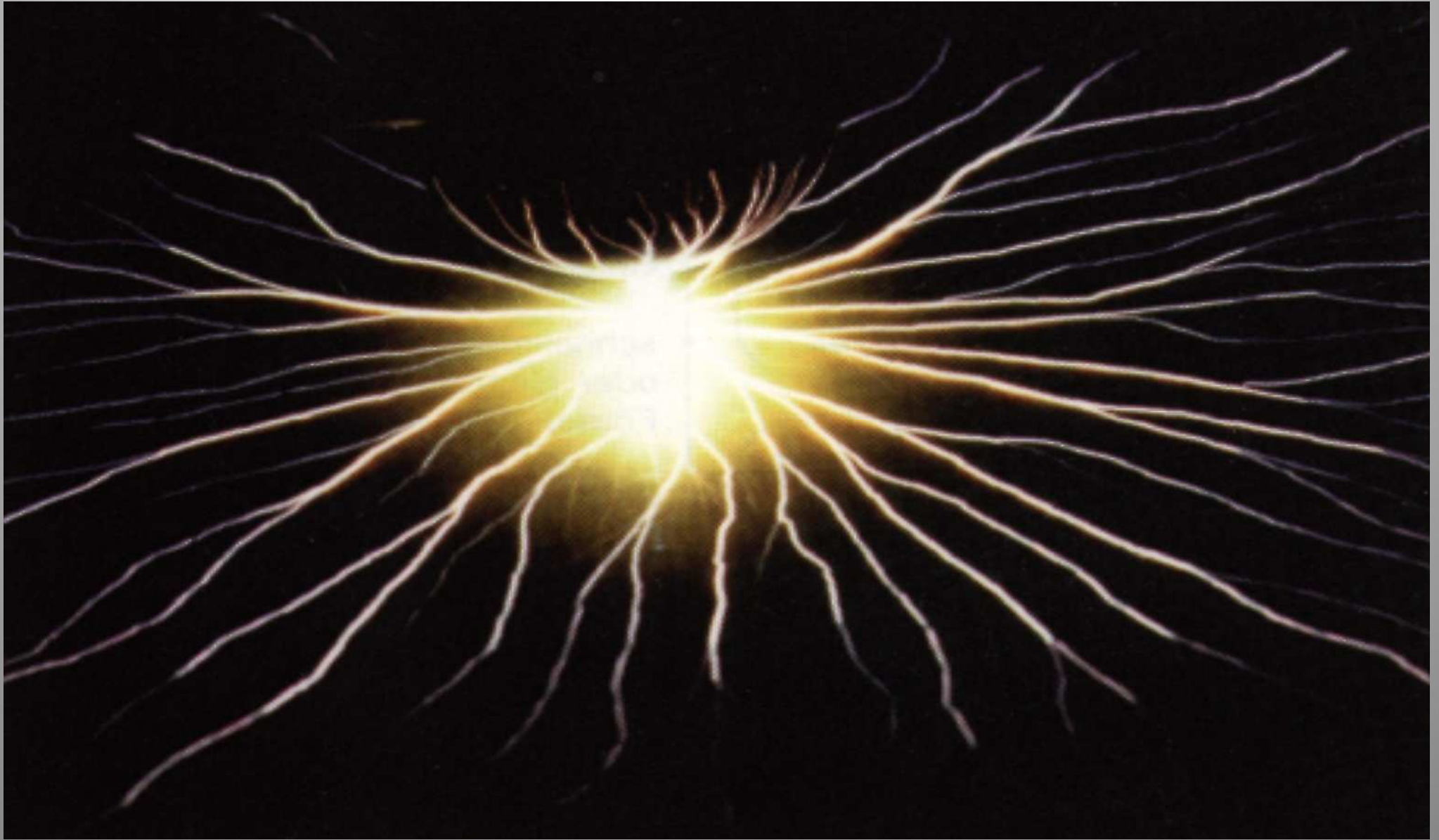


**ZAPŁON PAR BENZYNY W WYNIKU WYŁADOWANIA ELEKTROSTATYCZNEGO
MIĘDZY NAELEKTRYZOWANYM CIAŁEM OPERATORA (INDUKCJA, ROZBRYZG CIECZY)
A UZIEMIONYM ELEMENTEM URZĄDZENIA NALEWOWEGO
W CZASIE NAPEŁNIANIA CYSTERN KOLEJOWYCH**

6. LITERATURA MONOGRAFICZNA W JĘZYKU POLSKIM



- [1] **Šimorda J., Staroba J.:** *Elektryczność statyczna w przemyśle;*
(Tłumaczenie z j. czeskiego oraz uzupełnienia: **Kowalski J.M., Wielgus Z.**);
WNT, Warszawa 1970
- [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. **Synoradzkiego L. i Wisiańskiego J.**);
Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej; wyd. 2.,
Warszawa 2012, s. 144 – 170
- [6] **Kowalski J.M.:** *Ochrona przed elektrycznością statyczną - Zasady prognozowania, oceny i likwidacji zagrożeń. P o r a d n i k;*
(Bibl. Bezpieczeństwa Magazynu EX, wyd. ASE, Gdańsk 2014)
- [7] **Grabarczyk Z. J., Kurczewska A.:** *Zagrożenia elektrostatyczne w strefach zagrożonych wybuchem;* Wyd. CIOP PIB, Warszawa 2008



Dziękuję za uwagę