

# ELEKTRYCZNOŚĆ STATYCZNA

Powstawanie zagrożeń elektrostatycznych

**Źródło zagrożeń elektrostatycznych –  
wyładowanie elektrostatyczne (ESD) -  
wyładowanie elektryczne w powietrzu,  
neutralizujące skumulowany nadmierny ładunek  
elektrostatyczny**

**Ładunek może być zgromadzony na powierzchni  
materiału nieprzewodzącego stałego  
(litego, sypkiego, pyłu, lodu, śniegu) lub  
ciekłego (ciecz w naczyniu, ciecz rozpylona)**

# Rodzaje zagrożeń elektrostatycznych – zagrożenia wypadkowe:

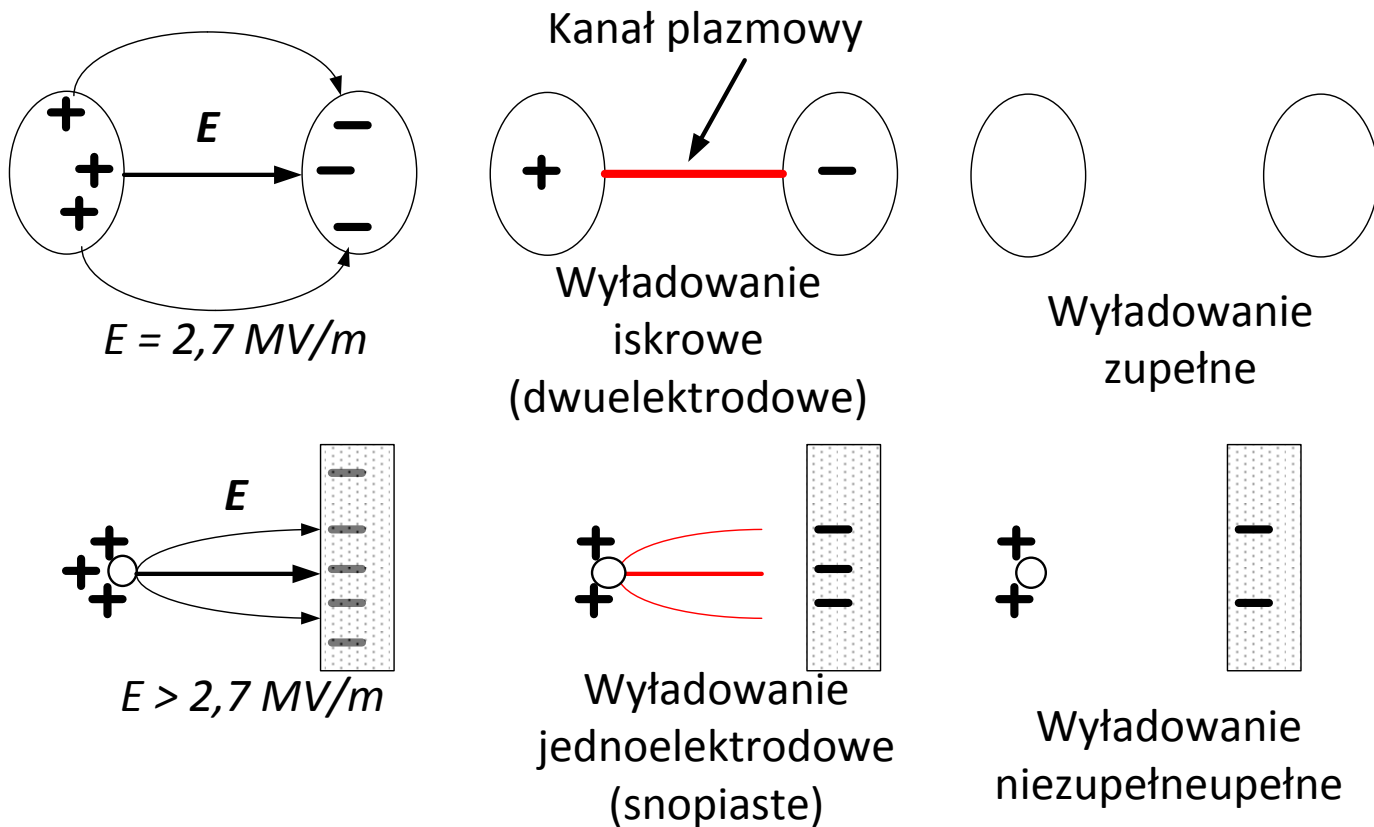
## 1. Rażenia elektrostatyczne

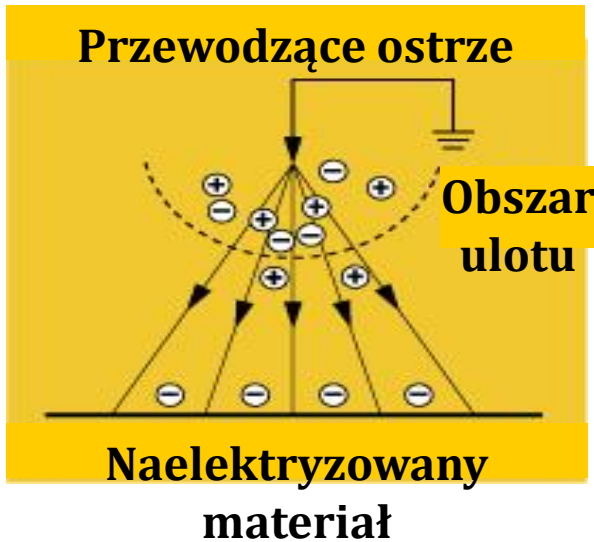


## 2. Inicjacja zapłonu atmosfer wybuchowych

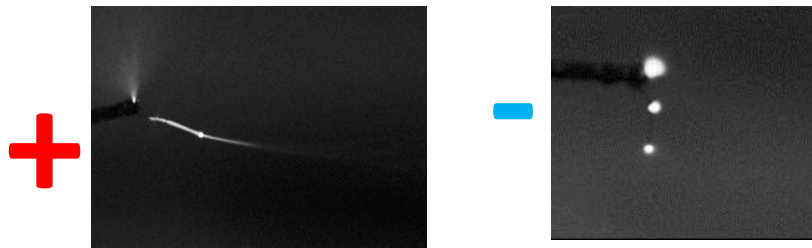


**Warunek powstania wyładowania elektrostatycznego:  
natężenie pola elektrycznego  $E$ , lokalnie przekracza  
wytrzymałość dielektryczną powietrza (ok. 2,7 kV/m)**





## Wyładowania ulotowe (koronowe)

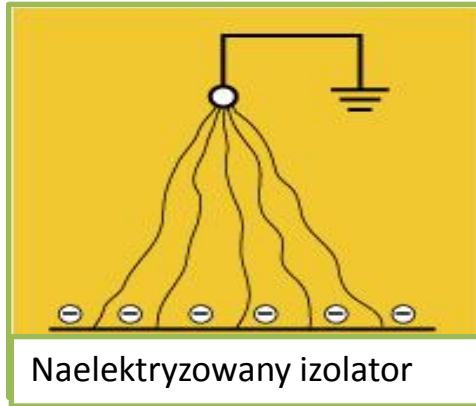


Między ostrzem lub krawędzią przewodnika (o średnicy krzywizny  $d < 5 \text{ mm}$ ), a naelektryzowanym izolatorem

( $U$ - od kilku kV wzwyż) Podejrzane o możliwość zapalenia tylko najczulszych mediów ( $MEZ < 0,01 \text{ mJ}$ ), np. mieszaniny wodoru z powietrzem, zapala atmosfery ze zwiększonym stężeniem tlenu

Stosowane do neutralizacji ładunku elektrostatycznego na powierzchni dielektryków

## Wyładowanie snopiaste

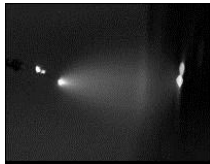


Zachodzi między przewodnikiem (o średnicy krzywizny od 5 mm do 5 cm) a naelektryzowanym izolatorem.  
( $U_{\min}$  rzędu kilkunastu kV)

Energia wyładowania **do 4 mJ**

zapalają **tylko** atmosfery wybuchowe **gazowe** i zawierające **pary ciecchy palnych** np. węglowodory,

**Nie zapalają atmosfer pyłowych, pod warunkiem braku w nich par i gazów palnych!!!!!!.**



Izolatorem naelektryzowanym może być także powierzchnia cieczy palnej, np. benzyna w cysternie lub zbiorniku

Wyładowania niezupełne, jednoelektrodowe, nie rozładowują całej powierzchni naelektryzowanej

## Wyładowania stożkowe



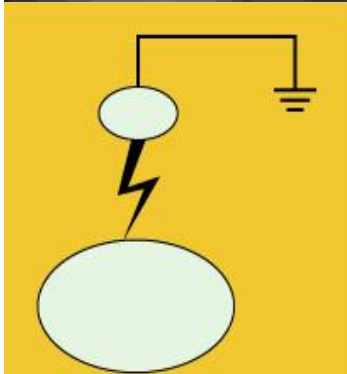
Wyładowanie między powierzchnią pryzmy **dielektryka sypkiego** w metalowym zbiorniku a ścianami zbiornika, po powierzchni pryzmy, w trakcie napełniania

Rozładowuje niewielką część powierzchni

Maksymalna energia wyładowania **do kilkunastu mJ**

**Zapalają gazy, pary palne i niektóre pyły**

## Wyładowanie iskrowe (pojemnościowe)



Naelektryzowany  
przewodnik

Jedną z elektrod może  
być ciało pracownika

Zachodzi między przewodnikami o różnych potencjałach ( $U > 300 \text{ V}$ ,  $E > 3 \text{ MV/m}$ ), o średnicach krzywizn większych od 5 cm (2 cm)

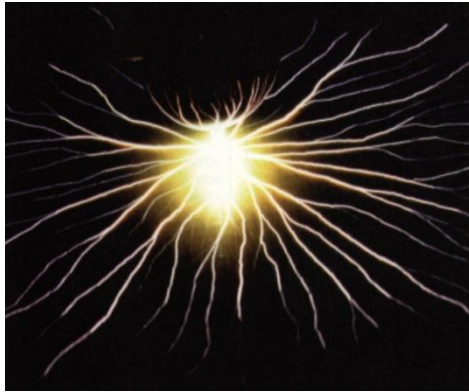
Duże energie (do 1 J i większe), **zapalają wszystkie rodzaje mediów**. (90% zapłonów pyłów powodowanych przez ESD wywołują wyładowania iskrowe)

$$W = CU^2/2$$

Wyładowania zupełne, dwuelektrodowe, rozładowuje obiekt naelektryzowany



## Wyładowanie snopiaste rozprzestrzeniające się



0,5 m

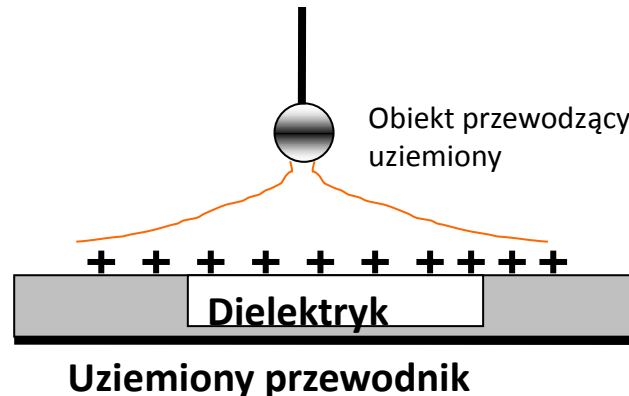
Przebite 100  $\mu\text{m}$   
warstwy poliwęglanu,  
G. Lüttgens'a

- między dwoma przeciwległymi powierzchniami naelektryzowanego cienkiego dielektryka (poniżej 10 mm), o wytrzymałości na przebicie powyżej 4 kV, przy gęstości ładunku  $>250 \mu\text{C}/\text{m}^2$

Występuje przy przebiciu dielektryka lub zbliżeniu do jego powierzchni obiektu przewodzącego

**Bardzo niebezpieczne,**

**zapalają wszystkie rodzaje mediów, niebezpieczne dla człowieka, energia może znacznie przekraczać 10 J.**



**1. Wyładowania iskrowe -**

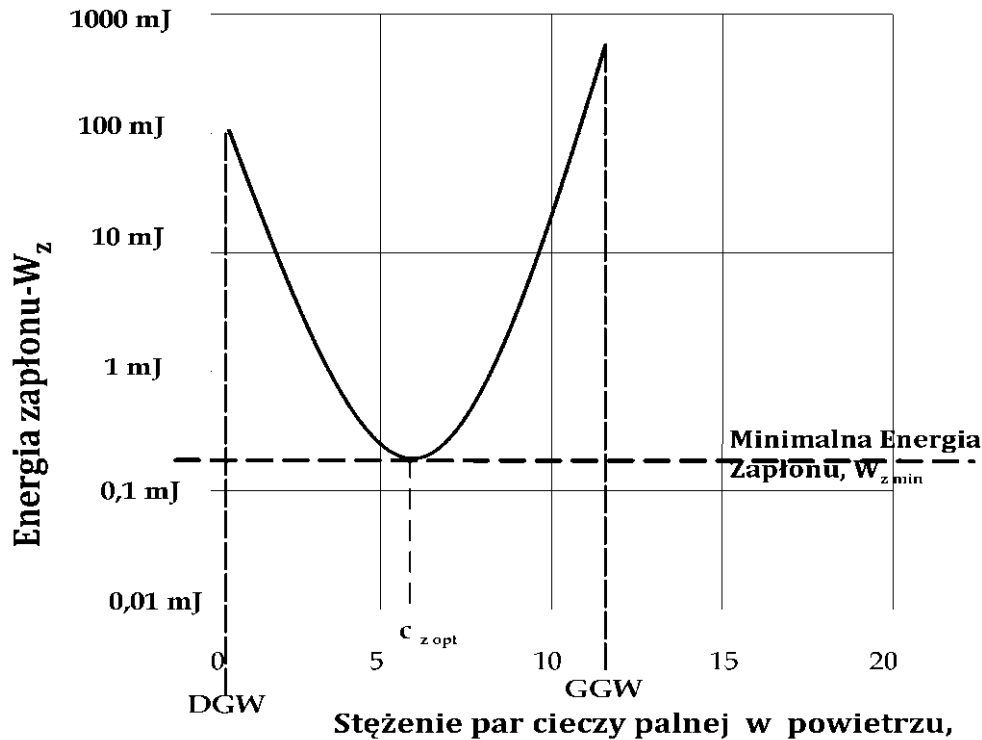
- **zmostkowanie i uziemienie** wszystkich obiektów przewodzących
- stosowanie uziemionych podłóg przewodzących
- stosowanie przez pracowników obuwia i odzieży antystatycznej
- **nie** stosowanie FIBC typu A

**2. Wyładowania snopiaste rozprzestrzeniające się –**

- unikania pokrywania powierzchni przewodzących pokryciami dielektrycznymi, zwłaszcza cieńszymi niż 10 mm,
- cienkie pokrycia muszą mieć wytrzymałość dielektryczną mniejszą od 4 kV
- **nie** stosowanie FIBC typu A

**3. Wyładowania snopiaste**

- unikanie stosowania materiałów dielektrycznych lub ograniczenie ich pola powierzchni
- ograniczanie szybkości procesów i transportu
- stosowanie relaksatorów i czasów uspokojenia
- środki jak w p. 1.
- zapobieganie zbliżaniu do naelektryzowanych dielektryków obiektów przewodzących
- zwiększanie przewodności materiałów dielektrycznych, zapewnienie uziemienia zbiornikom wszelkich wielkości, w których przechowuje się materiały dielektryczne.....



## Atmosfera wybuchowa:

mieszanina substancji palnych w postaci gazów, par, mgieł lub pyłów z powietrzem w warunkach atmosferycznych, w której po zapaleniu spalanie rozprzestrzenia się na całą nie spaloną mieszaninę

- atmosfera pyłowa: substancją palną jest mieszanina łatwopalnego pyłu lub włókien z powietrzem,
- atmosfera gazowa: substancją palną jest palny gaz, lub pary.

Wysokoczułe materiały detonacyjne	0,001 – 0,1 mJ
Mieszanki par/gazów z tlenem	0,002 – 0,1 mJ
Mieszanki par z powietrzem	0,1 – 1.0 mJ
Chmury pyłowe	1,0 – 5 000 mJ

## Ocena własności zapłonowych atmosfer wybuchowych

- **Minimalna Energia Zapłonu (MEZ), (ang. MIE)**
- **Minimalny Ładunek zapalający (ang. MIQ)**



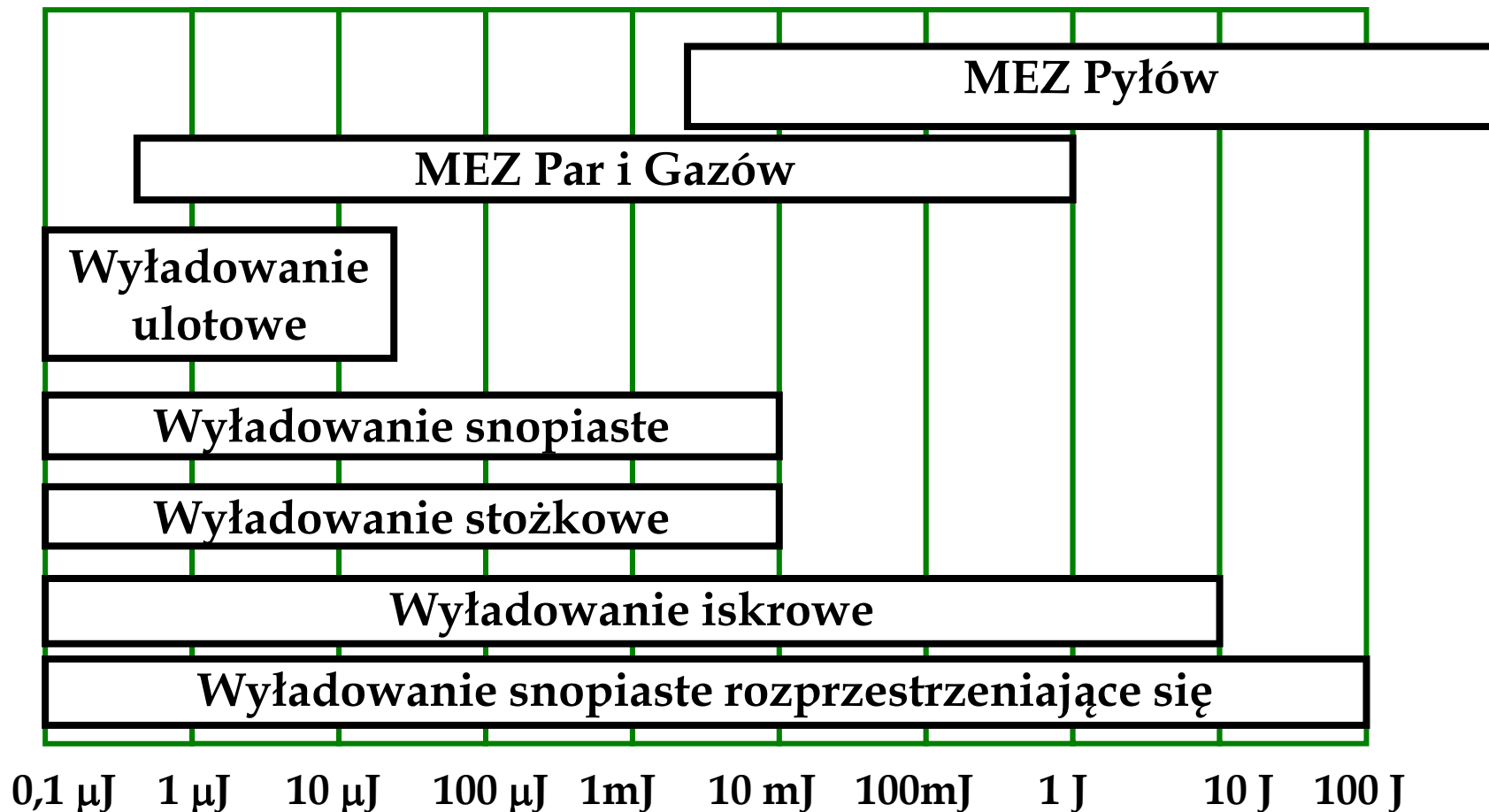
**MEZ** – najmniejsza energia zgromadzona w pojemności kondensatora elektrycznego, wystarczająca do wywołania zapłonu atmosfery wybuchowej o optymalnym składzie, w czasie wyładowania iskrowego między elektrodami zasilanymi z tego kondensatora.

**MIQ** – najmniejsza wartość ładunku elektrycznego transferowanego w czasie wyładowania ES kondensatora elektrycznego, wystarczająca do wywołania zapłonu atmosfery wybuchowej o optymalnym składzie, w czasie wyładowania elektrostatycznego

Iskra jest wytwarzana przez elektrostatyczne wyładowanie iskrowe:

dla gazów i par cieczy palnych – pojemnościowe, dla pyłów – pojemnościowe i pojemnościowo - indukcyjne

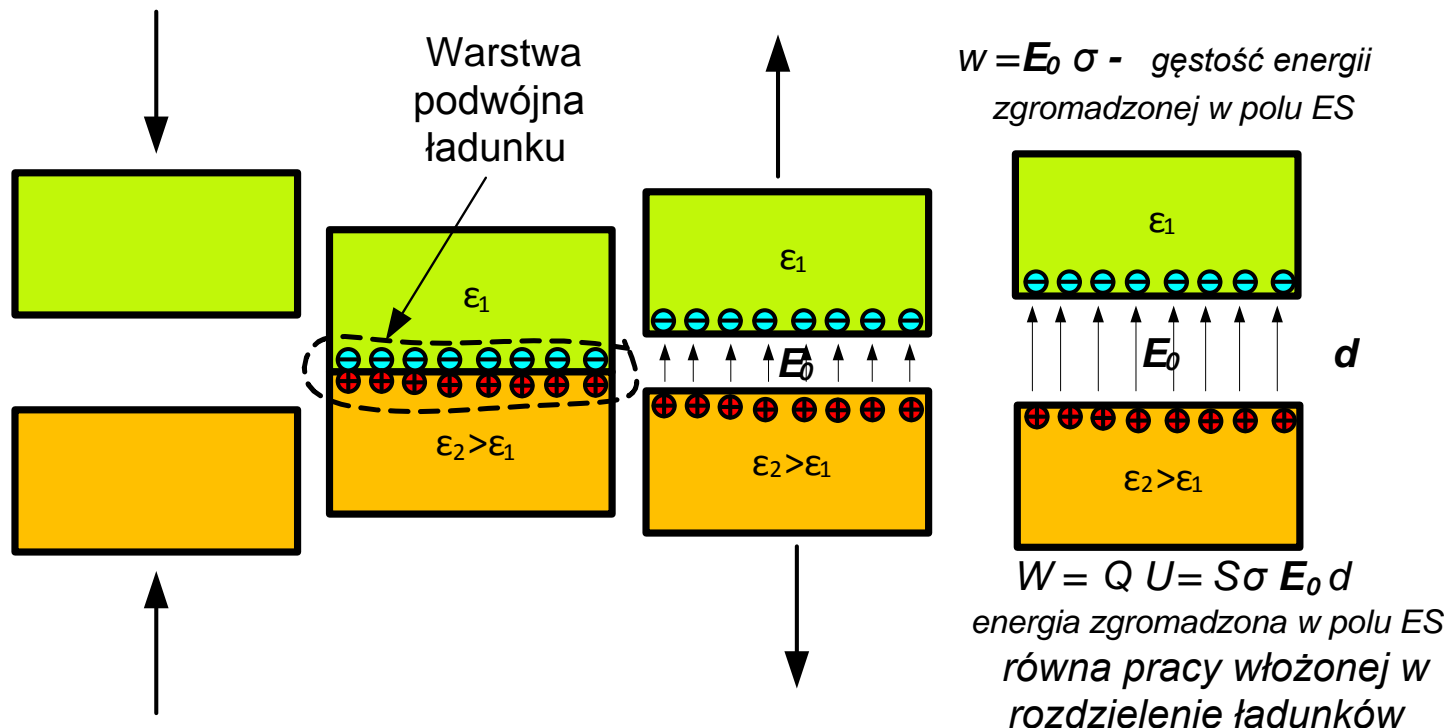
## Porównanie energii wyładowań i MEZ



Najistotniejsze mechanizmy elektryzacji:

- Przez kontakt i tarcie
- Przez indukcję
- Przez przewodzenie (przy zetknięciu obiektów przewodzących lub częściowo przewodzących)

**Elektryzowanie przez kontakt**



Do naelektryzowania **obiekту konieczne jest dostarczenie energii do układu** – w układzie pozostającym w bezruchu, nie eksponowanym na działanie zewnętrznego pola ES, elektryzacja nie zachodzi.

### Typowe procesy technologiczne silnie elektryzujące:

1. Transport pneumatyczny w metalowych rurociągach rozdrobnionych dielektryków
2. Transport cieczy rurociągami
3. Rozdrabnianie i przesiewanie materiałów stałych i ciekłych
4. Transport taśmociągami
5. Rozbryzgiwanie i rozchlapywanie cieczy
6. Przesypywanie, przelewanie, mieszanie materiałów ciekłych i stałych sypkich, filtracja
7. Poruszanie się pracowników i transportu zakładowego po syntetycznych nawierzchniach
8. Wstawanie pracowników z syntetycznych siedzisk, przebieranie się
9. Wszelkie inne procesy w których dochodzi do kontaktu i tarcia wzajemnego dielektryków lub dielektryków i przewodników

## Zdolności elektryzacyjne niektórych procesów technologicznych

Proces technologiczny	Gęstość ładunku na jednostkę masy, $\mu\text{C}/\text{kg}$
przesiewanie	$10^{-3}$ do $10^{-5}$
przesypywanie	$10^{-1}$ do $10^{-3}$
transportowanie przez obracający się ślimak	1 do $10^{-2}$
mielenie	1 do $10^{-1}$
rozdrabnianie mikrocząsteczkowe	$10^2$ do $10^{-1}$
transport pneumatyczny	$10^3$ do $10^{-1}$

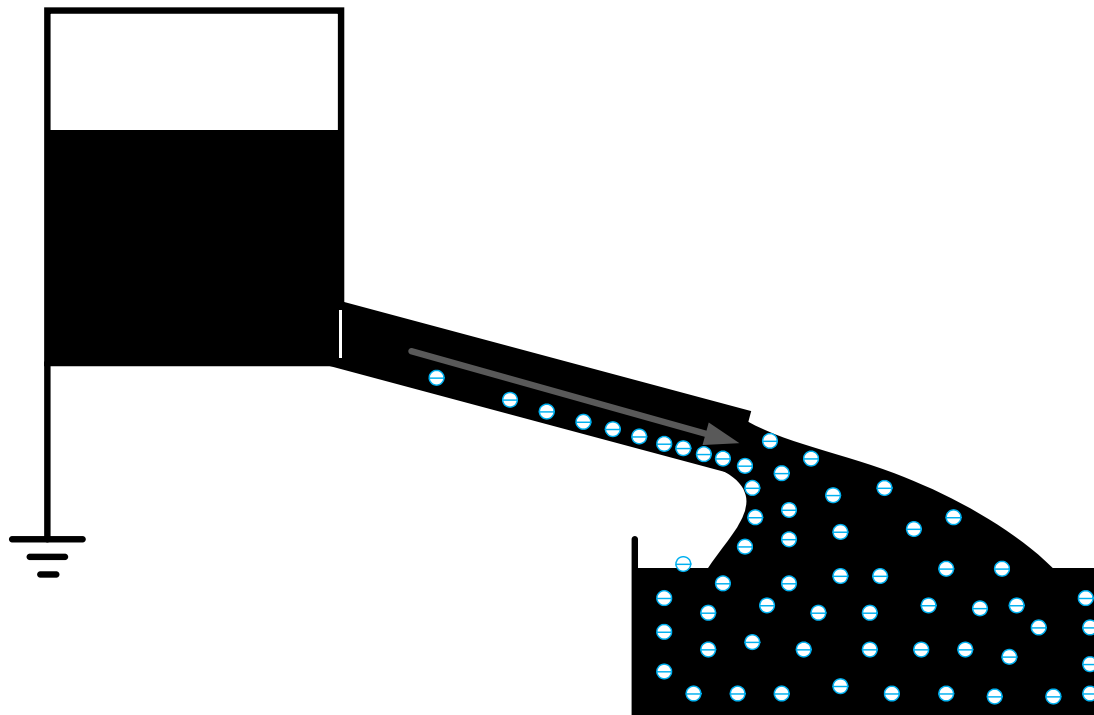
## Szereg tryboelektryczny

Szereg tryboelektryczny dla wybranych materiałów wg (3)

1.	Skóra (++)	8.	Jedwab	15.	Twarda guma	22.	Polietylen
2.	Futro królicze	9.	Aluminium	16.	Nikiel, Miedź	23.	Polipropylen
3.	Szkło	10.	Papier	17.	Brąz, Srebro	24.	PCW
4.	Ludzkie włosy	11.	<b>Bawelna(0)</b>	19.	Złoto, Platyna	25.	Krzem
5.	Nylon	12.	<b>Stal (0)</b>	19.	Poliester	26.	Teflon (- -)
6.	Wełna	13.	<b>Drewno (0)</b>	20.	Styren		
7.	Ołów	14.	Bursztyn	21.	Poliuretan		

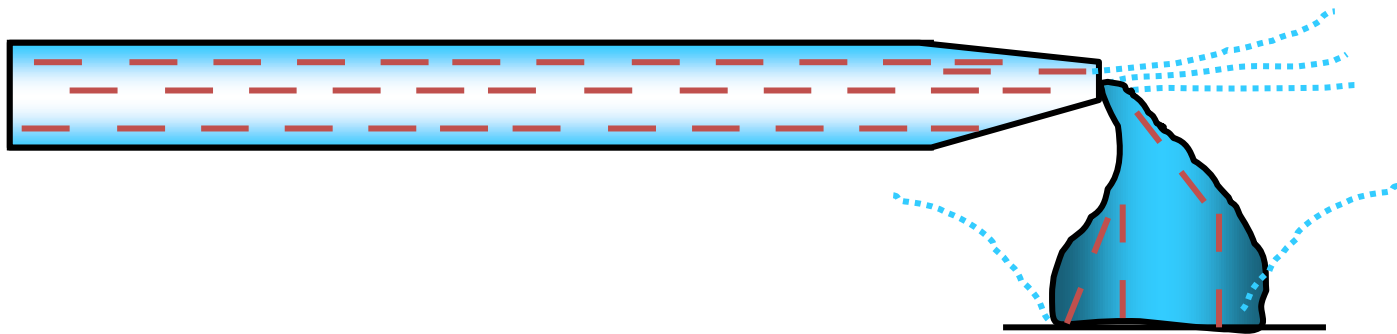


## Silna elektryzacja przy tarciu materiałów sypkich lub cieczy o metalowe rury i zsypy



## Elektryzacja cieczy

Przepływ w przewodach,  
rozpylanie, rozbryzgiwania, mieszanie

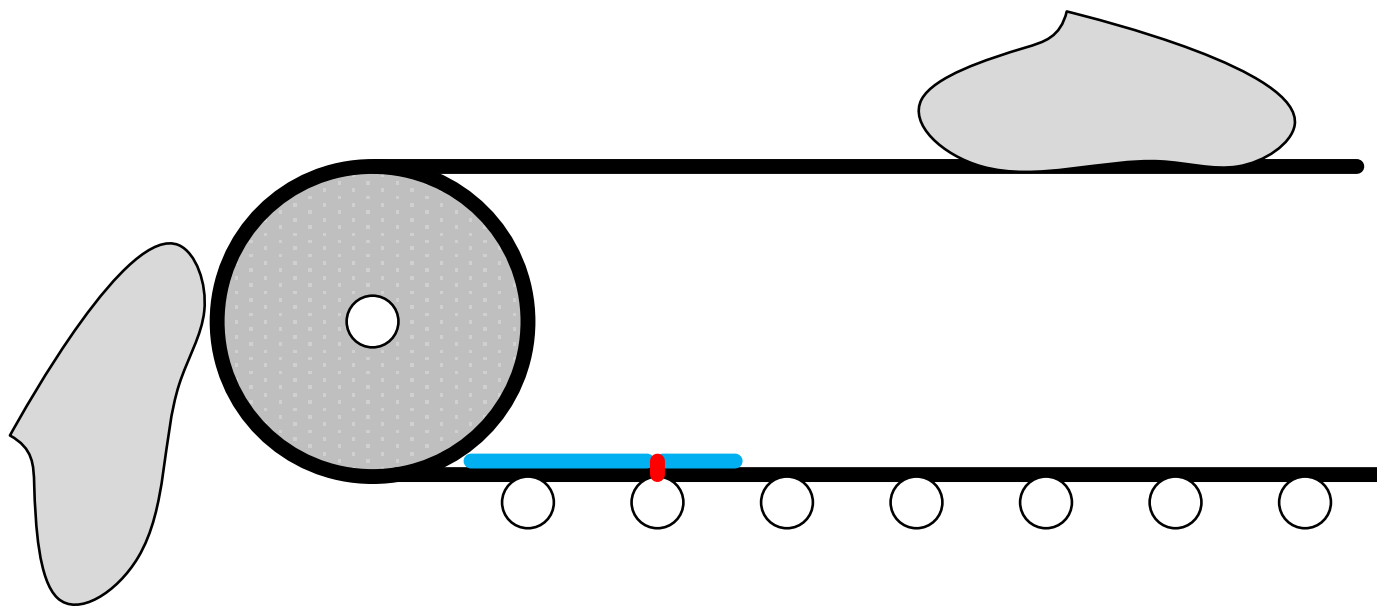


Ciecz płynąca w rurach przy przepływie laminarnym  
Wartość uzyskiwanego ładunku =  $5 \text{ v [m/s] , } \mu\text{C/m}^3$

**Elektryzowanie i wyładowania przy gromadzeniu masowym materiałów sypkich**



## Wyładowania snopiaste rozprzestrzeniające się na taśmociągach



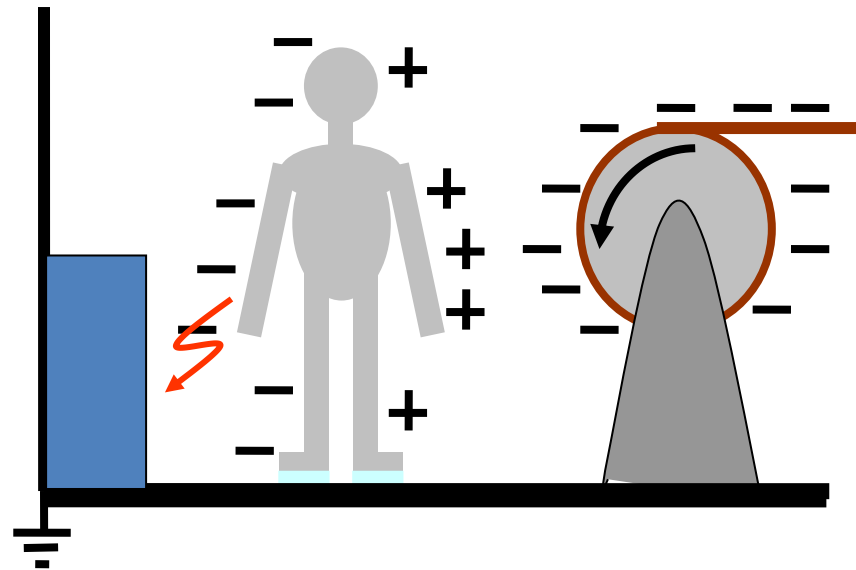
## Elektryzacja przy przepływie gazów (gaz sam nie elektryzuje się) elektryzują się cząstki pyłu, lodu lub ciecży w nim zawieszone



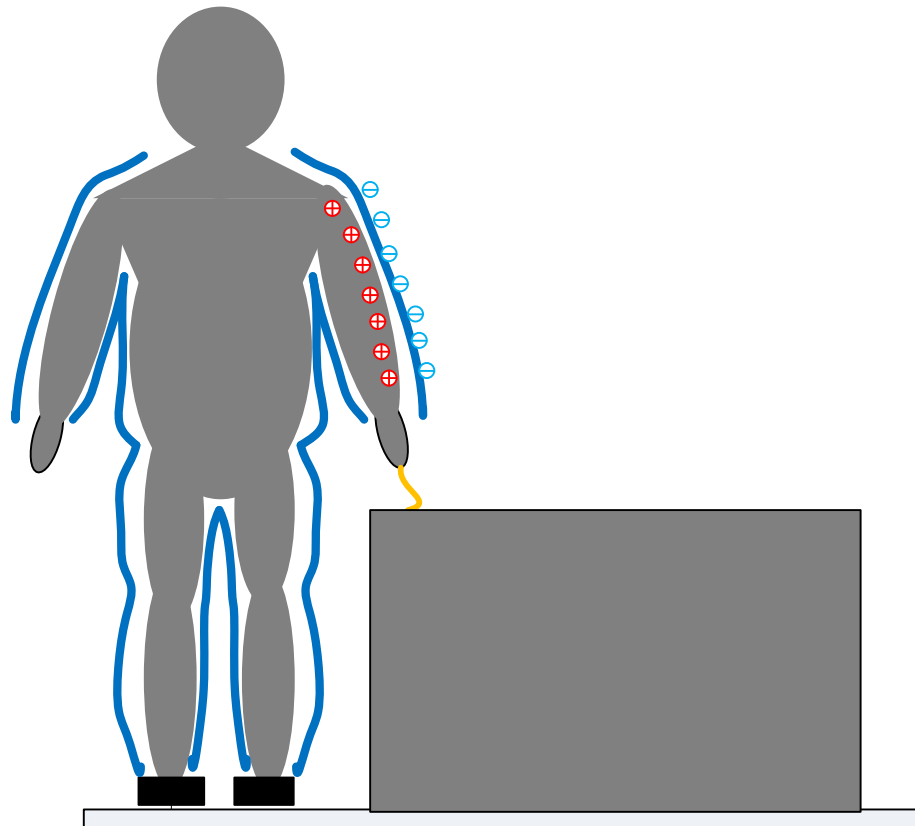
Gaz płynący w przewodach zawierający  
cząstki fazy dyspersyjnej

1. Cząstki przy zderzeniach z przewodem, między sobą, elektryzują się
2. Gaz gwałtownie rozprężany ochładza się i zamraża pary, tworząc krople i lód, silnie elektryzujące się

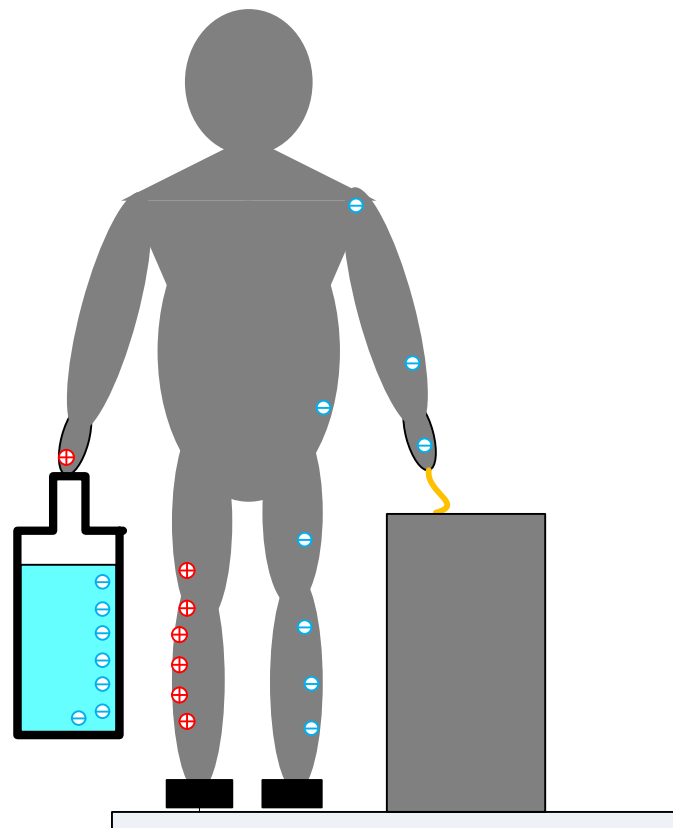
## Elektryzacja przez indukcję – elektryzowanie się obiektów przewodzących w polu elektrostatycznym – rozsunięcie ładunków na powierzchni obiektu naelektryzowanego



Wyładowanie iskrowe z ciała człowieka (odizolowanego od podłoża),  
naelektryzowanego przez indukcję od ładunku zebranego na powierzchni  
nieprzewodzącej odzieży

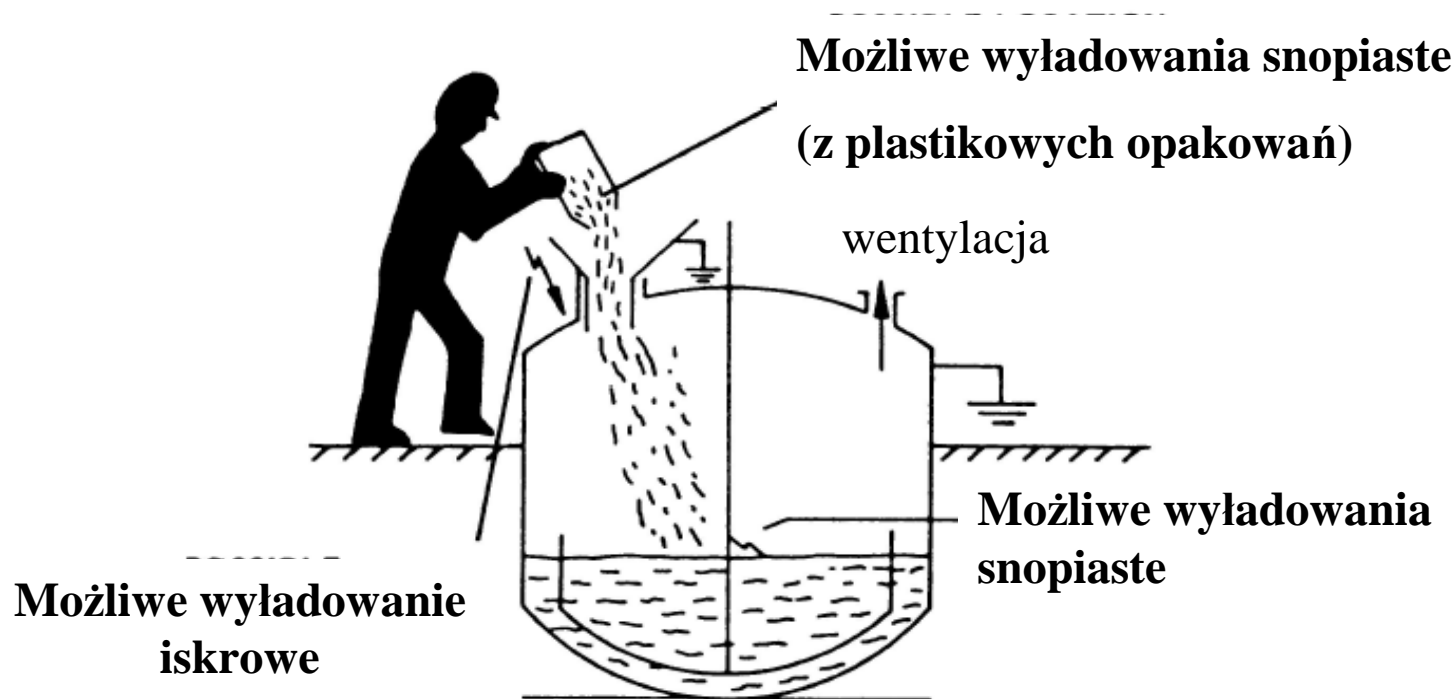


Wyładowanie iskrowe z ciała człowieka (odizolowanego od podłoża),  
naelektryzowanego przez indukcję od ładunku zebranego w  
nieprzewodzącej kanistrze z naelektryzowaną cieczą





# Zagrożenie przy dosypywaniu materiału sypkiego do reaktora



Zbliżanie metalowych czerpaków, łat, sond do powierzchni naelektryzowanej cieczy palnej na skutek ruchu (transportu, mieszania, itp. grozi wyładowaniem snopiastym i zapłonem par cieczy. Należy odczekać przez tzw. czas uspokojenia, zależny od

