

WSTĘP

- historia elektrostatyki → Tales, Gilbert (elektroskop), Benjamin Franklin (butelka lejkowa), Charles Coulomb, Michael Faraday, Maxwell, Heaviside
- prawo Coulomba: $F = k \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 r^2}$
 - pierze się w wodzie → luźny E → zmienia oddziaływanie międzycząsteczkowe
- ELEKTRYZACJA STATYCZNA → wszelkie procesy prowadzące do segregacji ładunków dodatnich i ujemnych występujące między różnymi ciałami na skutek różnych procesów
- ELEKTROSTATYKA STOSOWANA — dział elektrotechniki: elektrostatyka, w ujęciu praktycznym
 - przykłady: wartości energii przy wyładowaniu np. przy diodekspresie



ZASTOSOWANIA

- czujniki i przetworniki do przetwarzania dźwięku — mikrofony, głośniki
- poligrafia polizacyjna materiałów ciekłych i stałych
- automatyzacja piecy, elektro-wyciąganie — produkcja nanotekstiliów, np. tkanek i rozbijanie piecy na cząsteczki
- poligrafia — drukarki laserowe, drukarki atramentowe — pomiar strumienia masy
- pomiar wielkości nieelektrycznych — strumień przepływu, np. dla automatycznej dozometryj — jak zmierzyć promieniowanie
- przetwarzanie energii — wykorzystanie napędu stałego wykorzystanego — dlaczego jest trudno?
- optoelektronika — silniki (laserowy) ultra-małej mocy
- oprysk elektrostatyczny — cząstki trzymają się również dolnej części liscia
- elektrofiltry — oczyszczanie spalin na blokach elektroenergetycznych

ZAGROŻENIA

- uszkodzenia elementów czynnych i biorących elektrownię (ESD)
- eksplozje i pożary, wyustane przez niekontrolowane ESD, które mogą np. pojawić się w transporcie paliw
- * zatknięcie elektrostatyczne — np. czysta elektronika do diagnostyki medycznej, informatyka — im szersza i bardziej zminiaturyzowana elektronika, tym bardziej podatna na ESD
- pośrednie zagrożenia personelu — stąd np. podkagi antystatyczne w szpitalach, głównie PCW
- ocena materiałów
- ochrona materiałów
- kiedyś staty na elektronice ugnioły bardzo dużo → proces minituryzacji doprowadził do uciech "w pewnym punkcie"
- ochrona przed ESD, EOS elementów i układów elektronicznych

DIAGNOSTYKA — metrologia

- konieczności pomiaru i odpowiednia aparatura pomiarowa dla pól elektrycznych i wielkości z nimi związanej

POZÓ WYKŁADEM: GALWANOTECHNIKA

- pozyskiwanie metali jonami innego metalu, przy stałym
- $m = k \cdot t$
- stala Faradaya
- ilosci substancji
- czytowanej na bieodzie
- czas przepływu
- prądu
- wart. prądu
- przeplyniętego

ESD — Electrostatic Discharge — wył. elektrostatyczne

LITERATURA

- * A.-S. Gajewski "Elektrostatyczność statyczna" / "Pracy i technologie elektrostatyczne"
- Simovoda / Stavoda "Elektrostatyczna"
- Hilczer "Elektryczny i piezoelektryczny"
- Szymański "Elektrofotografia"
- Lutgens / Glor "Understanding and controlling static electricity"
- * J. M. Crowley "Fundamentals of applied electrostatics"
- * H. J. White "Industrial Electrostatic Precipitation" → ponar bdb

KADUNEK ELEKTRYCZNY

- KADUNEK ELEKTRYCZNY : $1 \text{ As} = 1 \text{ C}$ (Amper·sekunda)
- podstawowy kąt kadunku $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
- możliwa ilość ładunków w cm^3 materii
- w naturze ładunek całkowity jest równy 0 (neutralny), $+/- \rightarrow$ ta sama ilość
- ładunek wytworzy wokół siebie pole elektryczne
- * ELEKTRYZACJA polega na rozdrobnieniu lub segregacji dodatnich i ujemnych ładunków elektrycznych
 - ten występuje np. na granicy faz
 - elektryzacja obiązuje się, gdy jeden z materiałów jest dielektrykiem
 - przykład: osoba chodząca po dywanie może zgromadzić 10^{-7} C ładunku na swojej pojemności
- Ziemia jest jak źródło pól, gromadzi ładunek 10^7 C ; "świeci polem", jesteśmy stale pod działaniem pola elektrycznego

PRAWO COULOMBA

$$F = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r r^2} \quad \epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \left[\frac{\text{N}}{\text{C}^2} \right]$$

- ten sam znak ładunków: siła odpychająca
- symetria sferyczna
- przesunięcie ładunku o $dr \rightarrow$ wykonanie przez pole pracy dW

POLE ELEKTRYCZNE

- POLE ELEKTRYCZNE - część przestrzeni w której na każdy ładunek działa siła Coulomba
- * $E = \frac{F}{q} \quad \left[\frac{\text{N}}{\text{C}} \right] \rightarrow \left[\frac{\text{Nm}}{\text{As}} \right] \rightarrow \left[\frac{1 \text{ VAs}}{1 \text{ As}} \right] \rightarrow \left[\frac{\text{V}}{\text{m}} \right]$ [takie urozmażnienie może być na kolosie]
- pole elektryczne charakteryzuje wektor natężenia E
- ładunki tworzą różne rodzaje pól, w zależności od rozmiaru
- linie pola zawsze stacjonują od "+" i idą w kierunku "-"
- w przewodniku nie ma statycznego pola elektrycznego, brakuje tam składowej stycznej, wyłania się normalna, czyli prostopadła do powierzchni
PRZY PRZEWODNIKU WYSTĘPUJE TAKO SKŁADOWA NORMALNA
- z prawa Coulomba można wyznaczyć natężenie pola
- $$E = \frac{q_1}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r r^2}$$
- * • gęstość strumienia linii D w odległości r od ładunku q_1

$$E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r r^2}$$

- * gęstość strumienia linii D w odległości r od ładunku q

$$D = \frac{q}{4\pi r^2} \quad D = \epsilon_r \epsilon_0 E$$

ta zależność obowiązuje dla materiału liniowego i izotropowego (w każdej stronie odpowiadają pole jest taka sama)

- PRZYKŁAD: fajerki z tworzyw sztucznych wykazują się buforową, zarasta do prania dodatków sol

- wartości natężen pola spotykane w praktyce:

- $10^2 \frac{V}{m}$ → przy powierzchni ziemi
- $10^4 \frac{V}{m}$ → wyłapywanie pyłu z powietrza, pole w czasie burzy, obolice linii WN
↑ pojawia się problem z kurem np. na telewizorach kineskopowych
- $10^5 \frac{V}{m}$ → „klejenie się tań” ← fotograficznych
↑ przy przewijaniu tań pojawiają się wyładowania, które te tańmy naciąkają. Pojawiają się plamy
- $10^6 \frac{V}{m}$ → wyładowanie ziemia-objekt, stanowisko wiosenne na górze”, np. gdy przy stacjach TV przewinie się reka, który nie prostuje
- $3 \cdot 10^6 \frac{V}{m}$ → elektrostatyczna wyładowość powietrza w polu jednorodnym

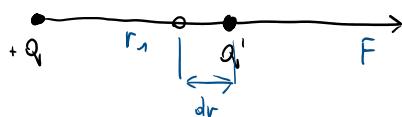
- PRZYKŁAD: mały arkany spakowane (np. na jogurty) majązą narzucone wymagania dotyczące zbrojenia — dopuszczane są tylko niektóre materiały (np. polistyren) — tworzące te bardziej dobrze trzymają ładunek elektryczny, stąd przy pdw $10^6 \frac{V}{m}$ kurz się nie rozpraszają jak „cholerka”, wille robi się laminaty polimerowe, które nie trzymają ładunku elektrycznego
- stosuje się materiały antystatyczne

POTENCJAŁ

- Na ładunek umieszczony w polu elektrycznym działa siła. Jeśli ładunek zuniesie potoczenie, musi zostać wykonała praca. Różnica energii (praca wykonana przez pole

$$dW = -\vec{F} dr \xrightarrow{\text{F}_c} dW = \left(\frac{q}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r r^2} \right) dr$$

Ciąg dalszy przedstawia siłę



$$dV = \left(\frac{1}{r'} \right) dW$$

- * potencjał w odległości r będzie określony pracą wykonaną przez przeniesienie jednostkowego ładunku dodatniego z nieskończoności do odległości r

„uwaga energia potencjalna”

$$V = \int_{\infty}^r dV = \int_{\infty}^r -\frac{q}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r r^2} dr \rightarrow V = \frac{q}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r r}$$

$$E = -\frac{dV}{dr} \quad (\text{gradient } V)$$

$$W = q' V$$

- POTENCJAŁ mierzy jaką energię może w danym polu zgromadzić ładunki, znajdujące się w określonym punkcie w przestrzeni z tym polem

- * PRZYKŁAD: Ladunek punktowy o wartości $10^{-6} C$ ($1 \mu C$) posiada w punkcie o potencjale $V = 10^4 V$ ($10 kV$) energię potencjalną o wartości $10^{-2} J$ ($10 mJ$).

Jeżeli pole elektryczne w tym punkcie będzie równe $10^6 [V/m]$, wówczas na ładunek będzie działało siła $1N$.

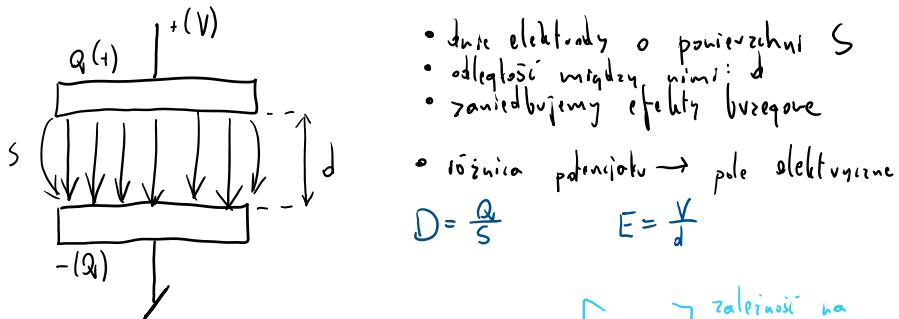
POJEMNOŚĆ

- POJEMNOŚĆ – wielkość statyczna charakteryzująca mocyliwość gromadzenia ładunków w układzie dwóch przewodników ładunku i energii

$$C = \frac{Q}{V}$$

- jednostka pojemności jest Farad $1 \frac{C}{V} = 1 F$

KONDENSATOR PŁASKI

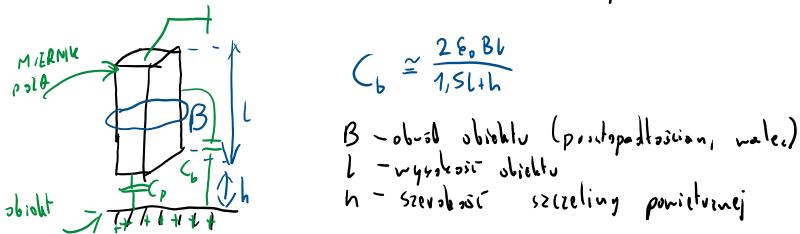


- korzystając z definicji: $C = \frac{DS}{V} = \frac{\epsilon_0 \cdot ES}{V} = \left[\frac{\epsilon_0 \cdot S}{d} \right]$ zależność na pojemność kondensatora płaskiego

- ten prosty wzór prowadzi do wniosków ogólnych:

- większa powierzchnia elektrody \rightarrow większa pojemność
- elektrycy bliżej siebie \rightarrow pojemność większa
- większa przewodność $\epsilon_r \rightarrow$ większa pojemność
- zależności prawidłowe dla wszystkich kondensatorów, nie tylko płaskich

- wzór szacunkowy na pojemność bocznej prostopadłoszczynu C_b (miernika pola)



C_p – pojemność badanego obiektu

C_b – pojemność biegowa

- dla małych h : $C_b = 12B$ $C_b [\text{pF}] \quad B [\text{m}]$

- PRZYKŁAD: Dla miernika pola o wymiarach $100 \times 100 \text{ mm}$ (powierzchnia izotorna) i 200 mm długości, umieszczonego na wyrówniku płaskim o wymiarach... X

- TYPOWE POJEMNOŚCI:

- kropelka w aerosolu: $0,0001 \text{ pF}$ (uzglądem utraty)
- projektory śruby $1-3 \text{ pF}$
- osoba na dywanie: czołek (jedna elektroda) vs. ziemialicznik (druga elektroda): $100-200 \text{ pF}$
- normalne pomieszczenie, przeciwna osoba: $200-300 \text{ pF}$
- niewielka cysterna: 1000 pF

- osoba na dystansie ~1m (jedna elektroda) vs. ziemiającym ludogą skutka da: 1000-2000 pF
 - normalne pomieszczenia, przeciętna osoba: 200-300 pF
 - niewielka cysterna: 1000 pF
 - mierzonych wielkości względem pF jest problematyczny; jeśli znam pojemność danego obiektu mogę jąło taką „sprawdzić” miernik
- $$\epsilon_0 \approx 10^{-11} \frac{F}{m} \quad \epsilon_r = 1 \quad (\text{powietrze})$$
- dure stanie na odległość 1 cm: $C = 10 \text{ pF}$

- jest możliwość przeniesienia uładowu z $31 \cdot 10^{-10}$

KONDENSATORY

- energia w kondensatorze: $dW = VdQ = \frac{Q}{C} dQ$
 - jeśli przeniesiemy ładunek, robimy to kosztem jakiejś pracy (dW)
 - z definicji pojemności $V = \frac{Q}{C}$
 - jeżeli występuje różnicą potencjału i chcemy przenieść dQ , wykonujemy dW

- całkowita praca wykonana nad dodatkiem dQ :

$$W = \int_0^Q \frac{Q}{C} dQ = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C}$$

- jeśli znowu skorzystamy z definicji pojemności:

$$W = \frac{1}{2} CU^2 \quad U - \text{różnica potencjałów na obłokach}$$

- mówiąc o elektrostatyczce zwracamy uwagę na szczególną rzecz: 90% przypadków to ułady, w których ładunek jest stały w czasie badania zjawiska

- zmiana pojemności uładowu przy tym samym ładunku \rightarrow zmiana energii

- zwrócić uwagę na dwie zależności W zuktasza w warunkach re. stałym ładunkiem

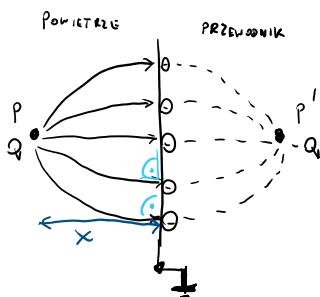
- PRZYKŁAD: Osoba poruszająca się po izolacyjnej wykładzinie; napięcie między chodnikiem a podłogą po przełożeniu $10kV$ może doprowadzić (pr. Paschena) do zapłonu

- PRZYKŁAD NA KOLOKWIUM: Wyładowanie iskrowe
 $U = 4kV \quad C = 200 \text{ pF}$

$$W = \frac{1}{2} CU^2 = \frac{1}{2} \cdot 200 \cdot 10^{-12} \cdot (4 \cdot 10^3)^2 = 1600 \cdot 10^{-6} J = 1,6 \text{ mJ}$$

ŁADUNKI ZWIERCIADLANE

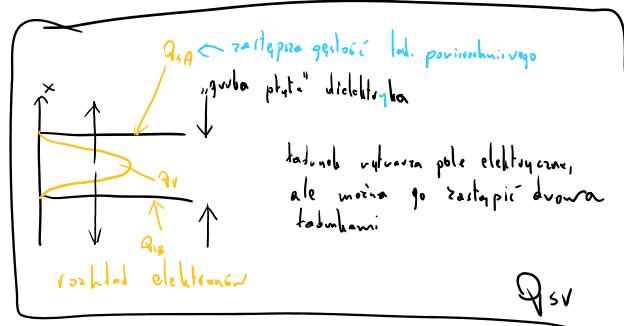
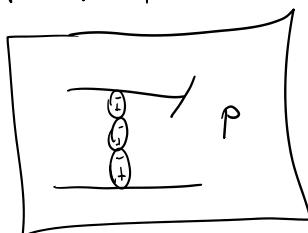
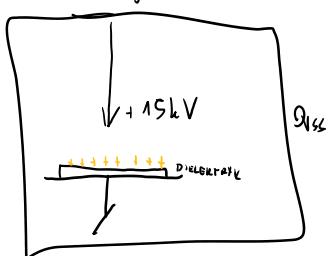
- istnieją na wszelkich obiektach przenoszących



- występuje tylko składowa normalna pola
- rozkład pola jest taki, jak dla dipola \rightarrow jak gdyby po drugiej stronie "granic" znajdował się drugi taki sam ładunek o przeciwnym znaku
- sila od ładunku zwierciadlanego jest równe sile przyciągającej
- ładunek zwierciadlity: odległość $X \rightarrow$ stąd $r = 2x$
- ładunek $+Q$ "mitra" ładunek zwierciadlany $-Q$ na przewodzącej płytce

ŁADUNEK POWIERZCHNIOWY

- ładunek zgromadzony na powierzchni
- istotna jest gęstość ładunku powierzchniowego; wyraczały ją na podstawie rozkładu pola
- gęstość ładunku: $\frac{C}{m^2}$ (efektywna)
- na efektywną gęstość ładunku powierzchniowego składają się:
 - gęstość rzeczywistej ładunku powierzchniowego Q_{cs}
 - polaryzująca wolno-relaksacyjna P
 - moment od ładunku przestrzennego Q_{sv}
- efektywna gęstość ładunku: $Q_s = Q_{cs} - P + Q_{sv}$



- to, co mówimy, nie jest rzeczywistym ładunkiem powierzchniowym, tylko sumą trzech uw. składowych
- Q_s nie jest stałe

ŁADUNEK PRZESTRZENNY

- ilość C na m^3
- w wielu przypadkach (ładowanie) ładunek jest formowany po pierwnej objętości
- w silosie oparte masę gromadzi się pierw ładunek

TWIERDZENIE GAUSSA

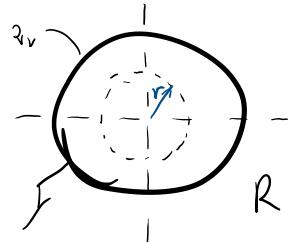
- prawo Gaussa mówi ładunki zamkniętej \Rightarrow objętości z ładunkiem punktowym

$$\oint D_n dS = Q$$

\nwarrow skl. normalna wektor indukcji

- PRZYKŁAD: na płyce jest ładunek Q_1 , staczany ją metalowa powierzchnia (objętość jest równa, co nie) jak przedstawię D_s po tej powierzchni, mamy ładunek Q_2 całkowity, zgromadzony na płyce
- zastosowanie: klatki Faradaya: wyrzucam do uświetnia metalowego ładunek i bez względów na rozkład ładunku, ładunek wyindukowany na powierzchni uświetnia jest równy ładunkowi zgromadzonemu w klatce
- PRZYKŁAD: obliczenie wartości pola i potencjału w jednorodnie nabłosowanej chmurze pyłu, hemisfer sferycznego pojedyncza
- kula: największy stosunek objętości do powierzchni \rightarrow przez powierzchnię dochodzi do nieskończoności

- kula: największy stosunek objętości do powierzchni \rightarrow przez powierzchnię dochodzi do rozprowadzania

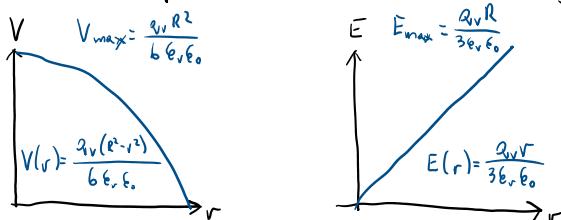


- z prawem Gaußa: $D_n = \frac{1}{3} \pi r^3 q_v$

$$\left. \begin{aligned} E(r) &= \frac{q_v r}{3 \epsilon_0} \\ E_{\max} &= \frac{q_v R}{3 \epsilon_0} \end{aligned} \right\} \text{rozkład pola w objętości zbiornika}$$

- rozkład potencjalu: $V(r) = - \int_r^R \frac{q_v r b r}{3 \epsilon_0} = q_v \frac{R^2 - r^2}{6 \epsilon_0}$

- maksymalny potencjał: środek ($r=0$) chmury



- konkluzje: zbiornik o $r=1\text{m}$ i $r=10\text{m}$, większy promień \rightarrow większe E_{\max} oraz V_{\max}

wraz ze wzrostem rozmiaru rośnie ryzyko wyładowania

RÓWNAŃIE POISSONE'A

- w przypadku medium z zadaną gęstością ładunku, rozkład wyznaczamy z równania Poissone'a

$$\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial z^2} = \frac{q_v}{\epsilon_r \epsilon_0}$$

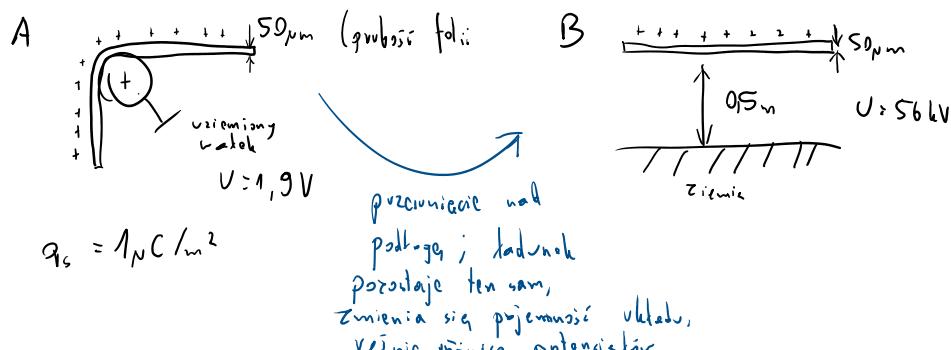
wykorzystanie tego równania przynosi swój renesans

UKŁAD ZE STĄSYM ŁADUNKIEM

- w typowych układach elektrostatycznych i elektronicznych istotnym przygotowaniem do prawa Ohma - dla danego R, U, I mamy wyznaczyć funkcję rozkładu potencjalu $U(r)$ \rightarrow fak. jest dla $R \ll \infty$ z koniecznością. Jak zrobić, gdy $R \rightarrow \infty$?

- napięcie jat i natężenie pola są funkcjami geometrii układu elektrostatycznego

PRZYKŁAD:



porusza się ten sam,
 zmienia się pojemność układu,
 wojniczność potencjalów
 oraz energia

- układ mechaniczny, który odwraca falią tym samym produkuje energię mechaniczną na elektryczną

MATERIAŁY NIEPRZEWODZĄCE W POLU ELEKTRYCZNYM

- w rzeczywistości nie ma pól stałych i nie możemy ich wprowadzić w pole elektryczne w chwili $t=0$
- jeśli medium z ładunkiem wprowadzimy do naczynia dielektrycznego, utworząs z ładunkiem wytwarzającym pole elektryczne wynikające na zewnątrz przez naczynie
 - * jeśli rezystancja dielektryka będzie w mierze niska, natężenie pola będzie maleać na zewnątrz naczynia → Maxwellowska stała czasu dla tego naczynia

$$Q(t) = Q_0 \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right)$$

- maxwellowska stała czasu: $\tau = \epsilon_r \epsilon_0 P_v$
 \downarrow
 \uparrow
 odnosi się do materiału, z którego zbudowany jest pojemnik

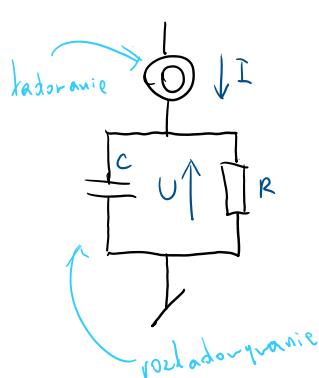
- jeśli stała czasu będzie krytyczna, pole zamknie i nastąpi okrewanie pola wytwarzanego przez ładunek w medium
- ϵ_r materiału określa zdolność do okrewania pola
- istnieje też stała czasu dla zamknięcia ładunku (czyli ładunku) i ma ona zasadniczy wpływ na zamknięcie pola
- dielektryk → pole „myślnik” na zewnątrz; metal → stała czasu, pole zamknięte, okrewanie

Zjawisko ekranowania

- właściwością dielektryków jest "uprzewodzoność" dla pola elektrycznego; pole elektryczne wytworzane przez punkt zgromadzony w silosie z dielektrykiem przenika przez jego ścianki
- półprzewodnik: $t=0 \rightarrow$ nazywamy skutkiem przewodniczącego: "świeci polem"; $t=100s \rightarrow$ naptknięty ładunku elektrostatycznego

MODEL UKŁADU ELEKTROSTATYCZNEGO

- analiza różnych procesów technologicznych, w których mogą pojawiać się zjawiska elektrostatyczne, możliwe przedstawienie w postaci modelu układu elektrostatycznego



- ten układ możemy stworzyć taki układ
 - max. energia zgromadzona w silosie, który ma częstotliwość upływu:
- $$W_{MAX} = \frac{1}{2} C U_{max}^2 = \frac{1}{2} C I^2 R^2$$

- np: frakcja w buldorze, zasysana pneumatycznie do silosu: wraz z transportem masy transportuje się też ładunek; tam może pojawić się prąd wzrostu mA

- źródło prądowe: nieskończona rezystancja; silos jest jak przewód w obwodzie
- przewód w obwodzie zasysa zbiornik ładunku: ma pojмmość w stosunku do ziemi
- silos może wyłonić w powietrzu napięcie, gdy jest uziemiony \rightarrow że względem na fakt, że jeśli w środku jest coś nieprzewodzącego, może gromadzić ładunek
- PRZYKŁAD 1: Proces technologiczny generuje prąd o natężeniu $10\text{ }\mu\text{A}$. Jeżeli $R_{upf} = 10^{10}\Omega$ i z równania energii wynika, że w stanie ustalonym napięcie może osiągnąć wartość $U=100\text{ kV}$. Jeżeli $C_{pj}=100\text{ pF}$, istnieje możliwość zgromadzenia energii $0,5\text{ J}$ ($W=500\text{ mJ}$)
 - $1\text{ mJ} \rightarrow$ my wyczerpanym opuszczeniem palca
 - $1\text{ J} \rightarrow$ szok - przy wykorzystaniu tej energii, nie można kontrolować ruchu mięśni
 - $0,5\text{ J}$ wystarczy do zapalenia węglewicy mieszanki

- PRZYKŁAD 2: Do metalowej kulki o $R=3\text{ m}$ sypią się frakcje. Przenikalność frakcji $\epsilon=1,3$; gęstość ładunków: $g_{fr} = 0,2-0,3 \text{ NC/l}$. Oznaczony U_{MAX} wewnętrzny zbiornik, jeśli został wypełniony w całości kolistym nici maxwellowską stałą czasową.

$$E_{MAX} = 2,2 \cdot 10^7 \frac{\text{V}}{\text{m}} - 30 \text{ MV}$$

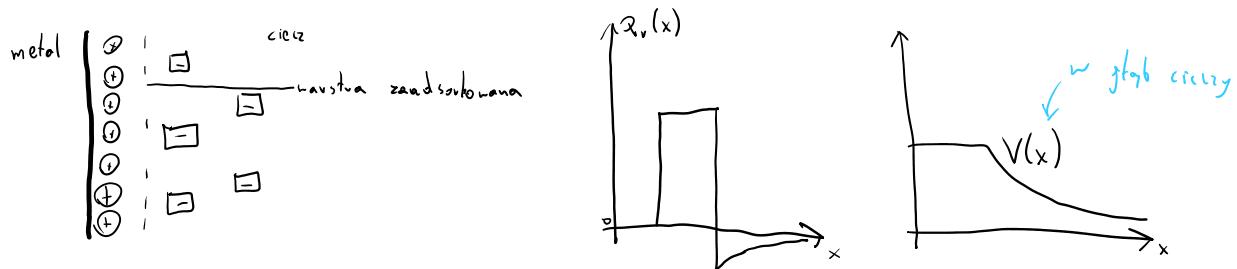
ŹRÓDŁA ELEKTRYCZNOŚCI STATYCZNEJ WSTĘP

WSTĘP

- ładunki nie można stworzyć ani zniszczyć, można ujawnić
- elekturyzacja: każdy wzątkowy kontakt między materiałami (elekturyzacja kontaktowa)
- zrywanie warstwy podwójnej
- specjalne metody: wytwarzanie obłoków
- elekturyzacja koronowa \rightarrow otwore to niciakę przed malującą katodą o znaku, jąki ma ostre $\sim 20\text{kV}$ \rightarrow malowanie ładunkiem ujemnym
- elekturyzacja fawcowa (zwane są tacy z kontaktową - tryboclektryzacja)
- elekturyzacja u lotora
- elekturyzacja indukcyjna

ELEKTRYZACJA CIECZY PODCZAS PRZEPŁYWU

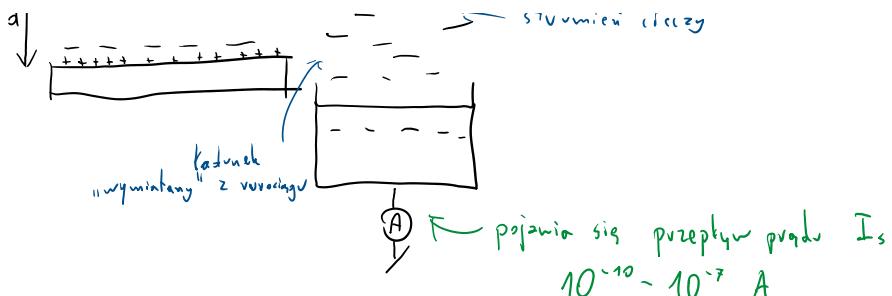
- ładunki ujawnia się podczas pojawienia się warstwy podwójnej
- WARSTWA PODWOJNA -
 - rura płynie paliwo: na prawo: paliwo



- jeśli przy metalu gromadzi się ładunki, to wówczas powstaje ładunek o przeciwnym znaku
 - między wnetrzem stруmienia a warstwą metalu pojawia się różnicą potencjalów
 - TEORIA SKĄBYCH ELEKTROLITÓW
- $$Q_v(x) = \frac{\epsilon_r \epsilon_0 V_0}{\delta^2} \exp\left(-\frac{x}{\delta}\right)$$
- $$V(x) = V_0 \exp\left(-\frac{x}{\delta}\right)$$
- $$\delta = \sqrt{\frac{\epsilon_r \epsilon_0 kT}{2 n e^2}}$$
- interfaica - obszar w którym występuje rozkład ładunku przestrzennego
 - δ - grubość warstwy podwójnej
 - n - równowagowa koncentracja par jonów w cieczy
 - dla czystych węglowodorów: $\delta \approx 10\mu\text{m}$, $V_0 \approx 100\text{mV}$
 - V_0 - potencjał jazda - całk. różnica potencjalów wyst. na szerokości interfaizy

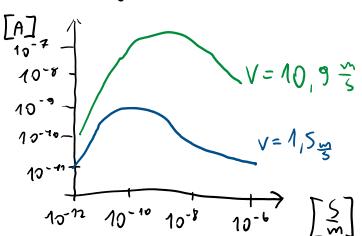
PRĄD STRUMIENIA CIECZY





- pojawia się prąd wewnętrzny,

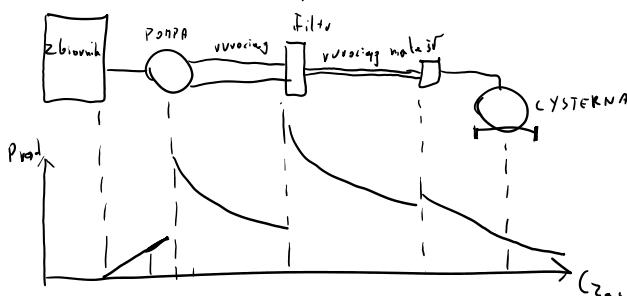
- przykład: leci F-16, podlatuje do niego cysterna i tankuje paliwo... i ładunek; aby uniknąć zagrożenia wprowadza się do paliwa dodatek obniżający jego przewodność
 - mamy układ ze stałym ładunkiem: rośnie potencjał
 - wysokość konduktwności:



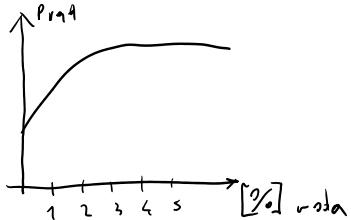
- trzeba dodać tylko antystatyczny, aby przejść na prawą stronę wykresu (poza maksimum), aby uniknąć przewodności, tym większe prąd wewnętrzny (backstream)
- chodzi w dużej mierze o zrywanie warstw podwójnej

CZYNNIKI INTENSYFIKUJĄCE PROCESY ELEKTRYZACJI CIECZY

- wszystkie elementy prowadzące do turbulencji



- DODATEK CIECZY NIEMIESZAJACEJ (dodatek wody w paliwie)



- wykładowanie podczas transporturopy naftowej: opary nad paliwem

ELEKTRYZACJA KONTAKTOWE

- jeżeli dwa różne stany cieczy w kontakt, następuje transfer elektronów z jednego do drugiego, tworzą to do osiągnięcia równowagi termodynamicznej → jedna stawa jest zubożona, druga zasobiona o elektryny i jeśli zostaną odpowiednio szybko rozdrobnione, ładunki te zostaną rozmieszczone



- Fizyczny mechanizm: poziomy fermiego, praca wyjścia



- Fizyczny mechanizm: poziomy fermiego, praca wyjścia
- gęstość ładunku na wodzieniach ładunkach zależy od pracy wyjścia

$$Q = K e (\Phi_B - \Phi_A)$$

↑
 stała rekina
 od natury kontaktu

- w praktyce: gęstość zależy od sybilności wodzienia, rezystancji, ilości kontaktów, powierzchni kontaktujących się, otoczenia

• SZEREG TRYBOELEKTRYCZNY

↗ (+) ASBEST, SZKŁO, POLIAMID (NYLON, jidyny polimer)

(-) TEFILON, POLIMERY

także
także

↑ zakładają się ujemny

- mówią o tym, jak natakuje się jeden materiał w kontakcie z innym

• REGUŁA COEHNA

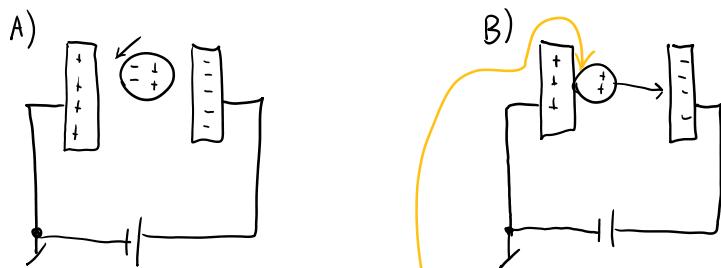
$$Q_{SL} = K_2 (\epsilon_1 - \epsilon_2)$$

- gęstość ładunku pozostałoego na materiale ϵ_1 po kontakcie z materiałem ϵ_2

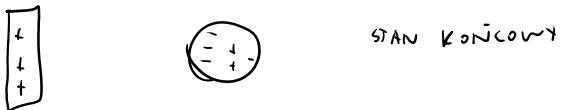
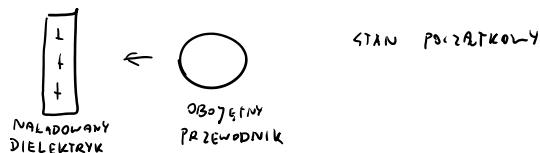
ELEKTRYZACJA KONTAKTOWA

ELEKTRYZACJA PRZEZ INDUKCJĘ

- elektryzacja przez indukcję zachodzi praktycznie wyłącznie dla medium przewodzących i półprzewodzących, $\rho < 10^8 \Omega \cdot m$



- wizujący metalowa kuleczka bez fabułku
- w wyniku wymuszonego ruchu kuleczki, dotykuje ona do elektrody dodatniej
- kadunek ujemny przechodzi do elektrody
- elektroda dodatnia odpiera kuleczkę natłukując ją dalej do elektrody ujemnej
- elektroda ujemna odpiera kuleczkę..
- i tak dalej, chyba że wypadnie gravitacyjnie
- to zjawisko to elektryzacja kontaktowa



• polaryzacja

• plisy „spływażą” do ziemi
• pozostaje natłok ładunku ujemnego

• nastąpiło natłokowanie ładunkiem netto różnym od 0

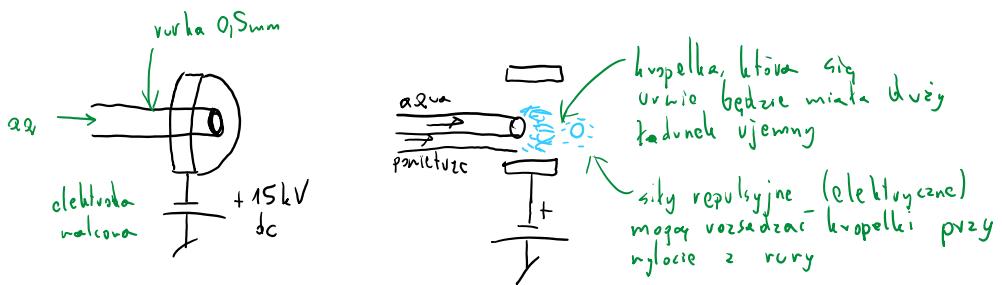
- w elektronice (diagnostyka) : płytka drukowana PCB jest diagozowana ;

- zródło pola : np. skrzynka na narzędzia, oscylloskop
- w fazie inspekcji płytka znajduje się pod wpływem działania silnego pola elektrycznego
- płytki leżą na izolowanym stole → polaryzacja → elektryzacja przez indukcję
- uziemienie płytka → ładunek dodatni spływa / ładunek ujemny spływa do płytka
- układ elektryczny dostaje „ostrego kopą” → krótkie impulsy, rzadko ms, o prędkości względnej kilku A

vyska 0,5mm
 $\sqrt{17}$

area

• gily napięcia powierzchniowego
w tym zaniesionego powierzchni

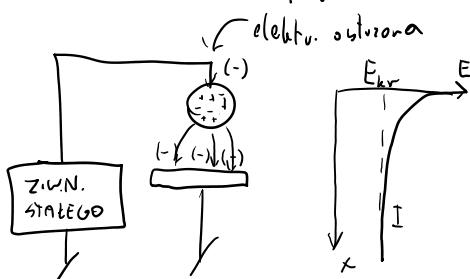


- sily napierające powierzchniowe
wibrują zmiennie; powierzchniowe
dla tego kruszelki mają kąt
kuli — najmniej stosunku
powierzchni do objętości

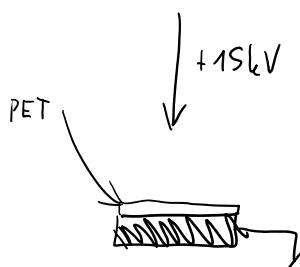
zastosowanie: grawitacja

ELEKTRYZACJA ULOTOWA

- ponyzochnie stosowana, ale wymaga związek WN
- ulot \rightarrow układ ostrze-płyta



- takie ostrze, jeśli jest podłączone do bieguna ujemnego, jest jak pusznic, który wprawdzie kadunek ujemny, analogicznie dla plusa
- przeróżen między ostrzem a ptaszkiem jest wykorzystywana np. do wytrawiania elektretów



- ostrze na plusie „smarzy” problem PET labunkiem dodatnim
- w ten sposób można nialekturyzować folię i zrobić z niej elektret (neutralne pole wokół siebie caky, czas)
- korzysta się z mikrofonów elektretowych w telefonach

- Zależność, która mówi jaki kadunek ujemka cząsteczka, która znajdzie się w obszarze lotu i będzie bo kadunek sygnowany na cząsteczce, gdy spadzi ona czas t w obszarze nialekturyzowanym polem E

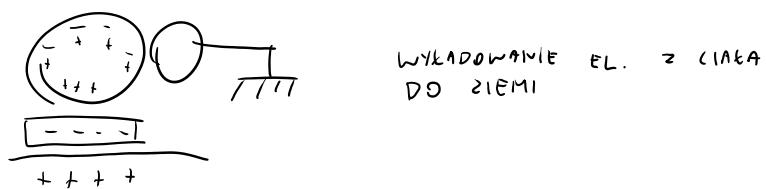
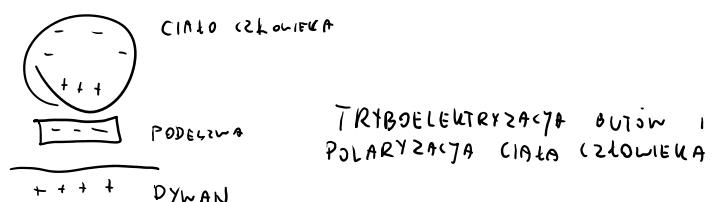
$$Q(t) = 12 \pi \epsilon_0 \frac{\epsilon}{\epsilon + 2} r^2 \frac{E}{t + \tau}$$

- r - promień cząstki
- τ - stała czasu kadowania związana z gestością prądu ulotu
 - im mniejsze τ , tym lepsze
 - im intensywniejsze wykadunianie, tym większa gestość jąder i mniejsze τ
- współczynnik ϵ w liczniku i mianowniku \rightarrow pomijalny wpływ tego parametru
- Przykład zastosowania: elektrofiltry — cząsteczki w obszarze wykadowanym są poddawane działaniu jąder w polu elektrycznym

ZŁOŻONE PROCESY ELEKTRYZACJI

ZŁOŻONE PROCESY ELEKTRYZACJI

- warstwa podwonna / kontaktora / szeregi / indukcyjna / ulotowa
- w praktyce występuje kilka różnych procesów elektryzacji mazaz i trudno jednoznacznie wazysyfikować, co konkretne ma wpływ na elektryzację
- Przykład: leżąc idzie po dywanie u izolowanym obciu
 - gdy kontaktuje się dywan z podłogą



- mamy możliwości kilku wykładowaní

ELEKTRYZACJA PYŁÓW

- W przypadku pyłów - występuje silnie rosnąca powierzchnia, zaznacza się silny wpływ zabrudzeń, ziemiezek (wprawdżonych, zaadsorbowanych). Drganie pokazuje, że wymienione czynniki mają największy wpływ na ryniącą ładunku niż sam materiał
- Wielkość pyłów technologicznych ma wysoką rozstawnosć: ponad 50% ma $\rho > 10^{12} \Omega \text{m}$
- Typowe wartości rezystwności pyłów:

$$\rho_v = 10^{14} - 10^{16} \Omega \text{m} \quad \rho_s = 10^{16} - 10^{19} \Omega \text{m}$$

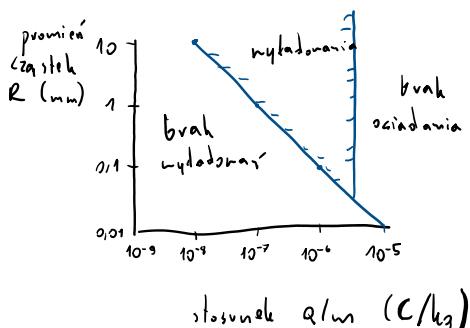
- Pozion natłokowania pylu: dodatek nasypowy $\frac{Q}{m}$. Zgodnie z normą PN-92-E 05201 ustalono następujące poziomy elektrostatyczne:

• mały	$\frac{Q}{m} < 1 \times 10^{-7} \frac{\text{C}}{\text{kg}}$
• średni	$1 \times 10^{-7} \frac{\text{C}}{\text{kg}} < \frac{Q}{m} < 1 \times 10^{-6} \frac{\text{C}}{\text{kg}}$
• duży	$1 \times 10^{-6} \frac{\text{C}}{\text{kg}} < \frac{Q}{m} < 5 \times 10^{-6} \frac{\text{C}}{\text{kg}}$
• bardzo duży	$5 \times 10^{-6} \frac{\text{C}}{\text{kg}} < \frac{Q}{m}$

- Proces a ładunek nasypowy:

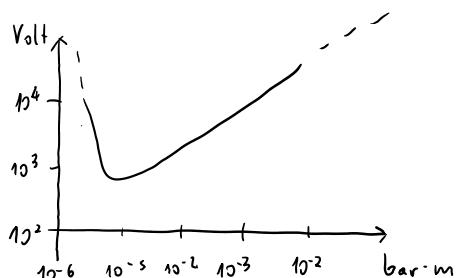
- przesiewanie
- zsypanie
- cyklon (wprawdżanie do oborników)
- mielenie
- atomizacja

- Technologie związane z transportem pyłów zwiększają się z powiększeniem procesu:
- Kaduncy zgromadzony podczas napelniania silosu może spowodować:
 - wyładowania elektrostatyczne w zbiorniku, zwykłe na powierzchni stożka szypowego"
 - pojawienie się znaczących sił odpychających promadzających do tzw. "dkanienia przepływu"
 - brak możliwości osiągania rząstek, tzw. "mgła elektryczna"
- Warunki graniczne dla wystąpienia wyładowań na stożku szypowym granulatu

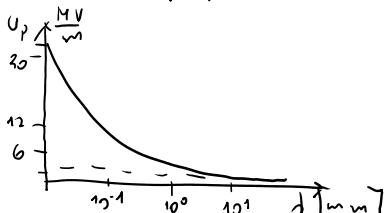


WYŁADOWANIA ELEKTRYCZNE

- Wyładowanie spowodowane ładunkiem elektrostatycznym nie są groźne dla człowieka, mogą być groźne dla układów elektronicznych, itp.
- PRAWO PASCHENA: wyładowanie w gazie występuje, gdy natężenie pola zbliża się do wytrzymałości elektrycznej
 - skuteczne tylko dla pola jednowodnego
 - $U_p = 6,72 \sqrt{p} + 24,36 \text{ } \mu\text{V}$ p - ciśnienie [bar] d - grubość szczebelu gazownic [cm]
 - obliczenia poparte doświadczeniami mówią, że to ma zastosowanie dla d mniejszych od 1 mm



- dla mniejszej niż 300 V nie da się doprowadzić do przebicia
- zależność wytrzymałości elektrycznej powtarza przy normalnym ciśnieniu



RODZAJE WYŁADOWAŃ ELEKTRYCZNYCH

- iskowe
- miotekowe (snopiące)

- iskrowe
- miotekowe (snopiące)
- miotekowe wądrujące (ślizgowe)
- koronowe
- oprócz w/w. wyładowania w pyłach i chmurach burzowych

ENERGIA WYŁADÓWAŃ

- znajomość energii wyładowania jest istotna bo pozwala na ocenę możliwości wystąpienia zaplonu \rightarrow MIE

WYŁADÓWANIA ISKROWE

- między dwiema przewodzącymi elektrodami
 - pojedynczy zjonizowany kanal
 - szybko przemiana energii
 - nazywane czasami wyładowaniami pojemnościowymi - **najgroźniejsze**
 - zachodzą:
 - samoistnie - potencjał równoważny przebrzegu poziom niezależny do nat. przelotu
 - obiekt uziemiony zbliża się do elem. napiadowanego gdy potencjał tego elem. jest odpowiednio wysoki
 - nie wystąpi jeśli nie będzie szerszy powierzchni i odpowiednio wysokiego napięcia
 - ocenia się, że przy R układu rozbudowanego jest $> 1M\Omega$, wyładowanie może nie wystąpić
 - energia wyładowania iskrowego jest praktycznie równa energii zagraniicznej na pojemności układu
- $W = \frac{1}{2} C U_p^2$
- podczas wyładowania energia ta rozbudowuje się praktycznie do 0
 - tuk gaśnic przy napięciu 30-40 V
- bądź układ odizolowanych przewodników
-

Wykład 6

sobota, 7 grudnia 2019 15:52

Autor: Paweł Sobczak

Energia wyładowania

Przez przewód się przejdzie

Wyładowania istotne (pojawniane)

Występuje, gdy w przewodzącym dielektryku (metalowe elektrody) są bardzo małe $E_{\text{w}} \sim 3 \text{ MV/m}$

Pojawnianie - najgroźniejsze

- zawodzi do zasilaczy dalekich ujemnych
- jeśli daleki ujemny zbliża się do końca zanurzonego lub odnoszącego do dalekiego w tym zakresie

Nie wystąpi jeśli nie będzie szerszych powierzchni i odpowiednio wysokiego poziomu dalekiego w tym zakresie

Jeśli wyl. istnieje nie wystąpi jeśli R rozładowania układu. Oznacza się, że wyl. istotne może mieć miejsce dla całkowitego $R < 1 \text{ M}\Omega$

E_{w} jest proporcjonalny do poziomu wyładowania

$$W = \frac{1}{2} C U_p^2$$

Wynika to z tego, że C podczas wyładowania rozładowuje się do 0

Luk gąsienicowy napięcie $30-40 \text{ V}$

Wyładowania miotkowe

mogą wystąpić pomiędzy naładowanym dielektrykiem a przewodnikiem kilku m.

Wył. ślimakowe intensywne wyładowania miotkowe. Wyładowania te unieważniają duzo energii, są zatem niebezpieczne

Volt
105

Wyładowania koronowe

Obyjmując niewielką przestrzeń silne niesymetryczne pole
 ostre - płyta (w miejscu nieprzypadkowym) ponieważ mała energia wyładowania
 wykorzystywane * do ładowania częścią aerozolu itd pyły, śmierci
 * malowania powierzchni dielektryka ładunkiem

103

Wyładowania w silosach

107

kiedy gęst nosyppowa (przestrzenia) (g/m^3)
 $q_m > 3 \cdot 10^{-8} \text{ C/kg}$

W czasie wyładowań uwalniana jest energia W , której wartość określona jest wzorem empirycznym

MV/10

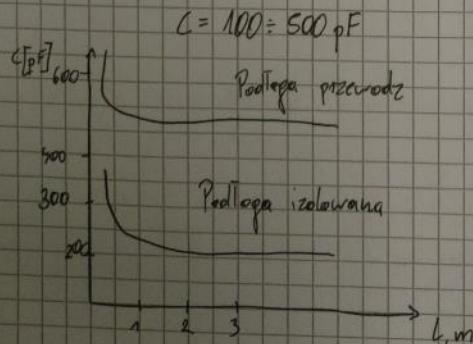
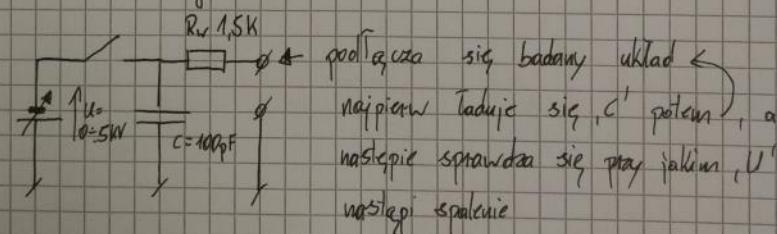
$$W = 5,22 D^{3,36} dz^{1,62} [J]$$

D - dr. silosu [m] dz - dr. ziarna [mm]

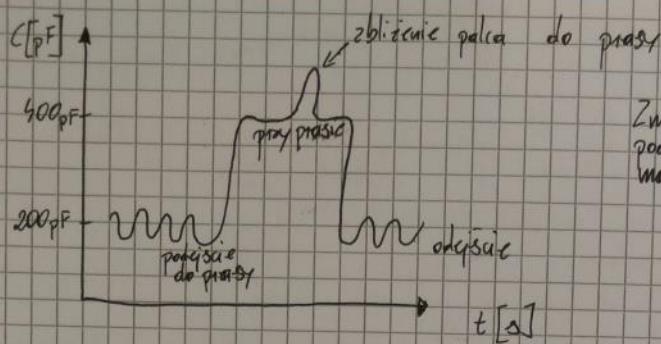
Wył. z ciała ludzkiego

rezyt. nasionka kalka [Ω^{-1}] 1-2 [μm] średnia warstwa

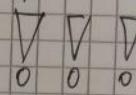
Model ciała ludzkiego HBM



Pojemność ciał od ziemi w zakresie do jego odległości do ściany



Zmiana C ożlowicka
podczas manipulacji pras
maszynic



Prąd ujemny 1 mJ

Szok fizjologiczny 1 J

Wyl. z dem. nieprzewodzących

- wykad do powierzchni metalowych
- izolowanie dem przewodzących
- magazynowanie Tad dok w nieprzewodzących pojazdach

transfuzja

W przypadku dem diadek umieszczono w przestrzeni daleko od dem przewodzących $Q_B > 2.7 \cdot 10^{-5} \text{ [C/m]}^2$ (nie może przekroczyć)

Wyl z powierzchni cieczy

Po właniu cieczy

$$Q = Q_0 \exp\left(-\frac{t}{T}\right) \text{ zanik ładunku}$$

Dla alkoholi, oleów i esterów stała czas T przyjmując małe wartości, dla węglowodorów duża stała czasowa T. Największe niebezpieczenstwo występuje gdy do powierzchni płynu przylegają się elektrydy.

Wyładowania z pow. pow. natładowanych do poziomu 50-60 kV powinny wywoływać energię 1-6 mJ (wyładowanie o 200 J, 2 mJ)

Wytładowania z obiektów pyłków i mgieł

$$Q = 3 \cdot 10^{-5} [C]$$

s - zewnętrzna powierzchnia pyłu [m^2]

Wytładowania a zaplon mieszania

Wymagania zapłonu:

- palne opary lub chmury pyłkowe muszą być właściwa koncentracja w mieszaninie z powietrzem (utleniaczem) Mieszaniny zbyt ubogie lub bogate nie ulegają zapłonowi
- Mieszanina może dla zapłonu jedzi energię w niej rozpraszana w czasie wytładowania jest wyż. od min. zapłonu (MEZ, MIE) lub dany mieszaniny

Rozpraszanie lad. detek.

- uziemienie obiektów pręcami
- podwyższenie przedrostku detektu obiektu i umożliwienie odpływu ładunku przez uziemienie
- zmniejszenie poziomu gęsi ładunku
- neutralizacja gęsi ład.

Uziemienie

Max dopuszczalna rez. upływu obiektu pręc. nie powinna przekraczać

$$R_u \leq 10^6 \Omega \quad (1M\Omega)$$

Jednak R_u jest $\leq 10^6$ nie występują zagrożenia wył. det. statycz.

na ogół gęsi prąd nie przekracza $10^{-6} A$ z transportu materiału (granulat) mimo napięcia 300 V

wówczas $R_u < 3 \cdot 10^6$ biurowe współczesne zapobieganie n=3 złożone użycie dop. went. nmp odrzynajemy

W praktyce

Ciągła sieć uziemiającej musi być

$$R_s \leq 100 \Omega$$

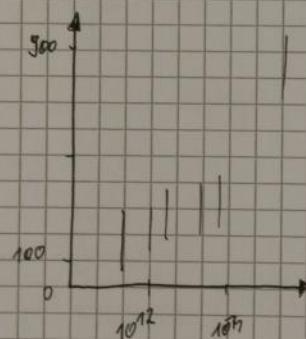
W szczególnych przypadkach

$$R_s \leq 10 \Omega$$

Zaleca się aby uziemienia były wykonane przedkiem o przekroju co najmniej $2,5 \text{ mm}^2$ ze względu na wytrzymałość materiału uziemienia tycząco tylko dławicy przewodzącej

Antystatyka - rozprzestrzenianie ładunków

Należenie p. elektrycznego nad okresem dektyzowaniem baterii od jego rezyst. powierzchni



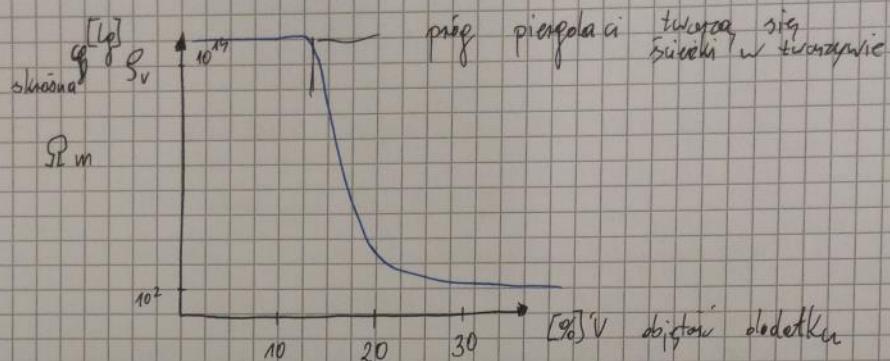
Antystatyka polega na przeprowadzaniu wewnętrz lub powierzchni polimera w celu ograniczenia jego reaktywności i wpływów

Antystatyki dodatkowo obniżają reaktywność

Potencjal antystatyków

Antystatyki obiąstosująco są one przewodzące ujemnie dodawany do tworzywa bazowego (zwiększa obniża reaktywności wpływów) jeśli doda się odpowiednią wartość

Wydawania z obłoków pyłów i mgieł



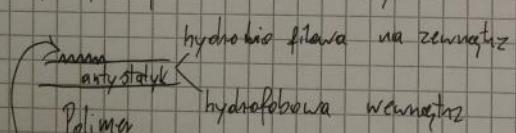
Pry dodaaniu dodatku pogarsza się właściwość np: mechaniczne

- ograniczenie właściwości pierwotnych
- rezimy technologiczne
- ograniczenia kolorystyczne
- droga

A zady

- M. właści. addit. nie zależy od wilgotności
- trwała

Anitystatyk powierzchniowo czynne



- ① antystatyk dodaje się do polimeru podczas mieszania
- ② wypaca się na zewnątrz

na rogach opuszcza się woda co prowadzi do powstania śliczek które odprz. zmniejsza się rezyst upływu

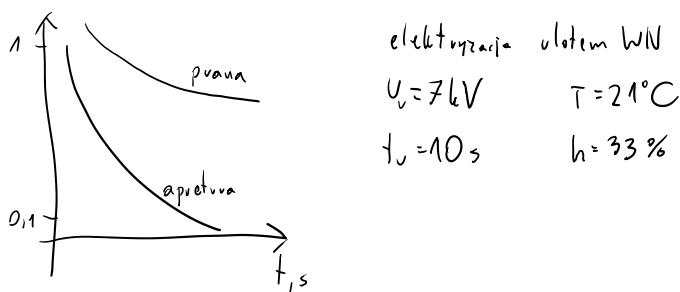
ciąża dodana

0,05 ± 3 %

- Zwiększa poprawiając właściwości (smarne) pierwotne
- nie wprowadzając ograniczeń kolorystycznych
- Wady
 - selektywność działania (preferująca warstwę) dobrze do tworzyw
 - warunki przetwarzania
 - toksyczność
 - cena
- wpływ na inne właściwości tworzywa

ANTYSTATYKI

- selektyjne - trzeba je dodać do danego polimeru
- istotne mady: fiksyczność, koszty, warstwka powierzchniowa
- antystatyki przejmują działań dla niższych wilgotności: w nas na ogół kontroluje się tylko temperaturę
- wraz ze wzrostem wilgotności znacząco maleje rezystancja
- praktyczne znaczenie: w lecie wszystko może być w porządku, zimą - przy ujemionych temperaturach mogą zacząć się działać jaja
- fizyczny rodzaj: elektrostatyki powierzchniowa czynne
- na ogół jeśli rozprzykadunków zachodzi po powierzchni, czas pół-zaniku kadunku: $t_{1/2} \leq 1s$ dla $\rho_s \leq 10^{11} \Omega$
- charakterystyki zaniku potencjału dlaثنing PP-PA oczyszczane przed: po procesie prania



- poliestry (wkłókna syntetyczne) wkłókienka mikrofalowe nie dają się skucić, pokazują się je spejalnym laborem — apreturem.

ZASTOSOWANIE ZWIĄZKÓW ANTYSTATYCZNYCH

- budownictwo — wykładziny podłogowe elastyczne, np. PCW
- przemysł włókienniczy — apretury
- osprzęt antystatyczny — ubior, obuwie, rurociąg, elementy, osprzęt
- antystatyzacja: wprowadzanie włókien przewodzących — robi się to po to, aby ograniczyć ilość energii w czasie uyladowania
- stanowisko do montażu elektroniki — uziemienie przez dużą rezystancję iebż ograniczyć wykłodowania itp. ($10^6 \Omega$)

WYMAGANIA STAWIANE MATERIAŁOM ANTYSTATYCZNYM:

- na ogół jeśli: $\rho_v \leq 10^9 \frac{\Omega}{m}$ $\rho_s \leq 10^{10} \Omega$ → można to znać za materiały antystatyczne
- warto mieć na uwadze że "antystatyczne" nie jest stanem uniwersalnym, np. często normy nie pokrywają się z wymaganiami zleceń — rzeczy mogą być "mniej" lub "bardziej" antystatyczne
- materiały uznawane za przewodzące: $\rho_v \leq 10^4 \Omega m$ $\rho_s \leq 10^7 \Omega$
- dla materiałów $\rho_v \leq 10^6 \Omega m$ → maxwellowska stała czasu w warunkach statycznych jest bardzo mała szybko rozładowuje się zgromadzony ładunek

NEUTRALIZACJA I NEUTRALIZATORY

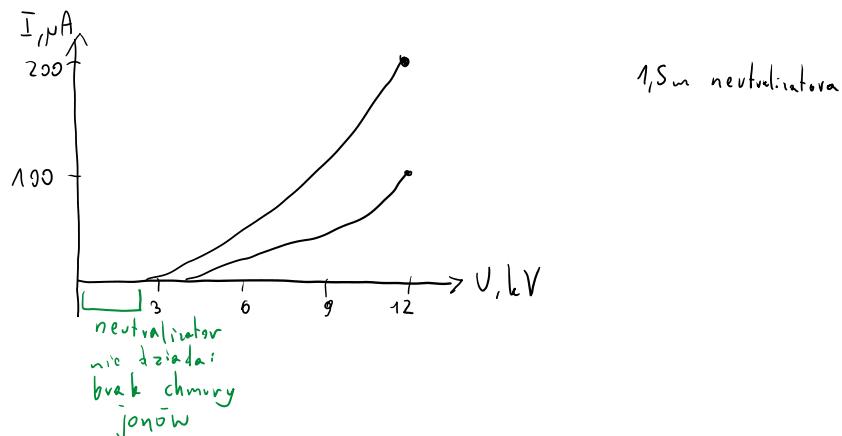
- Neutralizacja — konfrontacja na elektryzowanego obiektu ze zjonizowaną warstwą powietrza
- Rozróżnia się (z względu na zasady działania)
 - neutralizatory indukcyjne (pasywne)
 - neutralizatory wysokonapięciowe
 - neutralizatory radioizotopowe

- neutralizatory indukcyjne (pasywne)
- neutralizatory wysokonapięciowe
- neutralizatory radioizotopowe
- Ionizatory : wypełniają powietrze dużą liczbą jonów

NEUTRALIZATORY INDUKCYJNE

- nie wymagają zasilania
- Zasada działania:

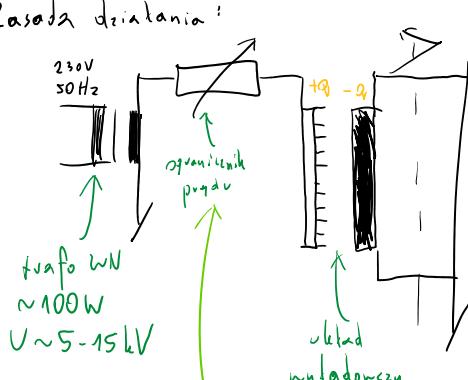
- działają dobrze dla dużych gęstości ładunku : kiepski ułot, gęstość mala - skore działanie



- Zalety neutralizatorów indukcyjnych są: prosta budowa, ^{i cena,} bezpieczne w użyciu w przypadku palnej atmosfery
- Wady: silny wpływ obiektów uziemionych w sąsiedztwie, poza teksem, gęstość ładunku musi przekroczyć $1 \frac{N}{m^2}$

NEUTRALIZATORY WYSOKONAPIĘCIOWE

- wykorzystują wyładowania niezupelne powstające w otoczeniu elektrod o ostrzych krawędziach
- z każdym neutralizatorem trzeba unikać części uziemionych, bo traci on swoje skuteczności
- Podział ze względu na zasilanie:
 - napięcie stałe
 - napięcie przemiennne
 - napięcie przemienne wyrobione częstotliwości
- Zasada działania:



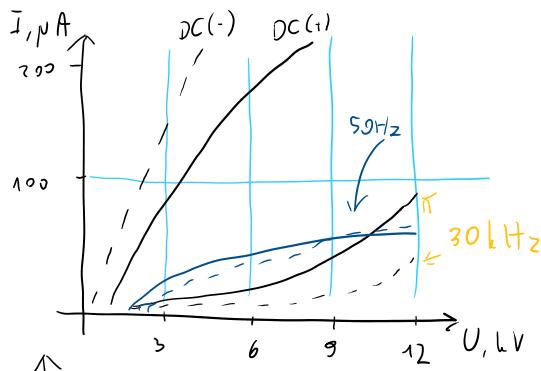
$\sim 100W$
 $U \sim 5-15kV$

układ
 nyladowczy
 na ogólny impedancki
 o charakterze pojednacjowym,
 przy regule mA

- Stosuje się też neutralizatory kryte
- Dwa generatory ładunków - trzeba je sprzągać w stosowany sposób, nie wystarczy kupić dwóch neutralizatorów i podłączyć jednego do + drugiego do -
- Ruchliwość jonów ujemnych jest inna od jonów dodatnich

NEUTRALIZATORY WN WYSOKIEJ CZĘSTOTLINOŚCI

- Zwykle symetria cylindryczna, na ogół praca przy $10kHz$
- Neutralizatory na napięcie stałe wykorzystują najwięcej rąsiny: do $0,6m$
- Czasem trzeba neutralizatory WN zabezpieczać, w razie gdyby doszło do wykłodzenia
 - ograniczenie: rezystor $\sim 1M\Omega$
- Charakterystiki neutralizatorów WN na napięcie stałe, przemienne i w-cz.



bieg ości: $l = 400mm$
 obj. płyta-otrz: $a = 25mm$

- ostura w neutralizatorach na ogół typu igiel

NEUTRALIZATORY RADIOAKTYWNE

- silnie zjonizowana atmosfera może prowadzić do reakcji chemicznych występujących w środowisku chemicznym, tam trzeba stosować neutralizatory radioaktywne
- wykorzystują zwykłe cząsteczki α , zdarza się też β
- Neutralizator to zwykły pasek metalu w cewniku (na dnie), np. folia z ameryku lub innego metalu tego typu \rightarrow energia kinetyczna cząstek prowadzi do jonizacji powietrza, powiększenie to staje się czynnikiem neutralizującym
- Cząsteczki α mają mały zasięg, są więc stosunkowo bezpieczne i wystarczy kartka papieru, aby ograniczyć promieniowanie
- W pobliżu osłony prowadzi się kurz, który może zmienić promień ostrza — neutralizatory radioaktywne są "czyste", stąd stosowane mogłyby być stosowane np. w medycynie



- Maksymalna wartość prądu zależy od jonizacji

DOBÓR NEUTRALIZATORÓW

ANALIZA UPROSZCZONA

- Sprawność neutralizacji zależy od:
 - pozycji danej części ładunku
 - szybkości przepływu obiektu (taśmy) v
 - odległości neutralizator-taśma a
 - sąsiedztwa obiektów uziemionych
- Pozylek: jedzie taśma z ładunkiem q_s , w stanie ustalonym (stałe warunki technologiczne) taśma przemieszcza się z prędkością v
Ladunek jest prądem, który wpływa do pewnego obszaru b , jego szerokość zależy od wysokości:
- rych. taśmy z ładunkiem pow. q_s z prędkością v tworzy krótko prądowe
 - wydajności
$$I_g = q_s v s$$

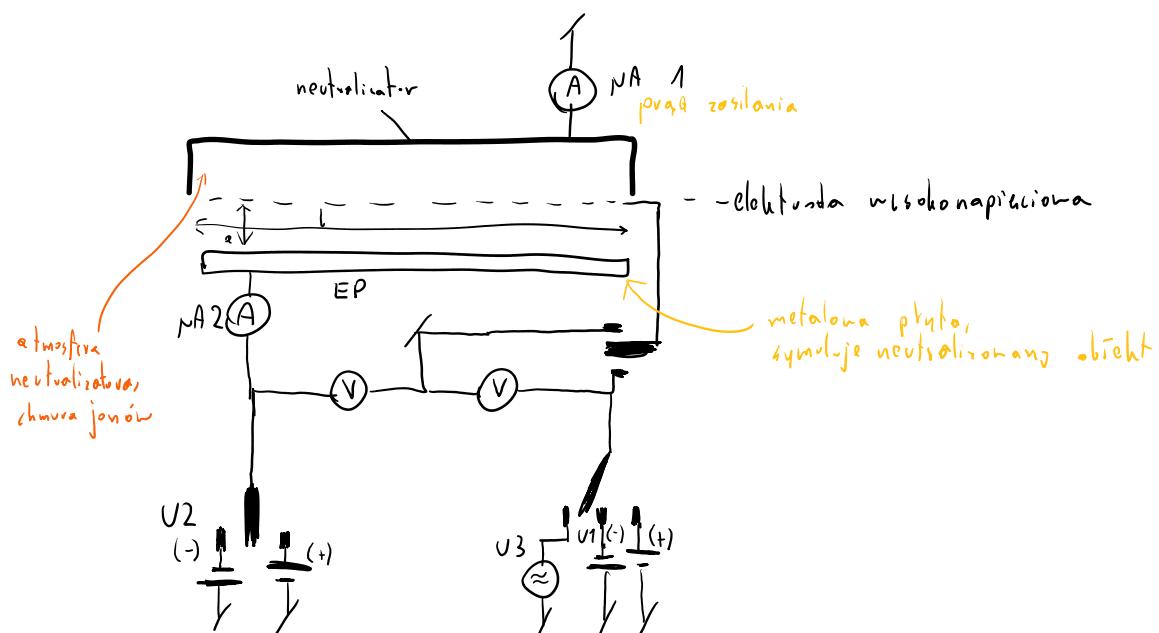
\nwarrow szerokość taśmy
- aby zneutralizować ładunek q_s należy dostarczyć prąd I_n nośnikom monopłaszczyznym
 - wartości:
$$I_n = j_n b s$$

\nwarrow szerokość obszaru zjonizowanego pod neutralizatorem (patrz: charakterystyki, $\frac{A}{m^2}$)

- dla dwóch pól wszystkie jony mutuowane przez jonizator docierają do pow. tańczy stąd:
$$j_n = \frac{q_s V}{b}$$
- poniżej tylko część jonów dociera na ogólnie do taśmy:
$$j_n > \frac{q_s V}{b}$$
- gestość prądu neutralizatora można oszacować z przybliżonego wzoru:
$$j \approx \frac{I_n}{at}$$

zalecana długość
obiekt - neutralizator
(przyjata $a=b$)
długość neutralizatora, dla której
zmierzono prąd I_n
- Wszystkie neutralizatory muszą być montowane daleko od obiektów uziemionych i wtedy rośnie V i pole neutralizatora "wyrywa" jony

BADANIE NEUTRALIZATORÓW



- poprzednio podane charakterystyki: prąd płynący przez powietrze zjonizowane

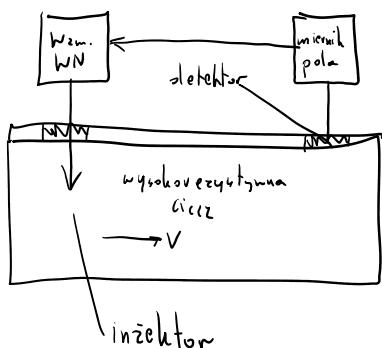
JONIZATORY

- Gazem nie ma możliwości npronakolenia neutralizacji
- Zasada działania jonizatorów jest zbliżona do neutralizatorów
- Stosuje się je tam, gdzie jest zagrożenie ESD (w elektrowniach)
- W wyniku przekształcania joniowani przestruzeni
- W czasie, $\leq 20s$, powinno spaść napięcie do 0,1 wartości początkowej (wymaganie

- W wyniku przerzucenia jonizowanej przestrzeni
 - W czasie $\leq 20s$ powinno spaść napięcie do 0,1 wartości początkowej (wymaganie normowe dla ionizatorów)
 - Zadanie: Obliczyć gęstość jąder w powietrzu wytworzonym przez ionizator spełniający wymagania normy
- $$Q_s = Q_{so} \exp\left(-\frac{t_{o1}}{\tau}\right)$$
- t_{o1} - czas, po którym Q_s spadnie do 0,1 Q_{so}
- $$\tau = \frac{t_{o1}}{2,303} \quad (\text{konsekwencja wykładniczego kontaktu kruszyci})$$
- przyjmując, że statek latający jest sferą maxwellowskąj statej czasowej dla powietrza:
- $$\tau = \frac{66_0}{\sigma}$$
- σ konduktynosć $\sigma = \frac{1}{\rho_s}$
 $\epsilon = 1$ dla powietrza
- $$\sigma = e \cdot n \cdot \nu$$
- ↑ vydchnięci jąder o zalożonym ładunku e
 koncentracja
- kierując równaniem: $n = \frac{\epsilon_0}{\tau \mu e} = \frac{2,303 \epsilon_0}{t_{o1} \mu e}$
 - po podstawieniu danych: $\mu = 2 \frac{cm^3}{Vs} \quad \epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{F}{m} \quad t_{o1} = 20 s$
 $n = 3,2 \cdot 10^{10} m^{-3}$

NEUTRALIZACJA ŁADUNKU W CIECZACH

- Chodzi głównie o paliwa



ZAGROŻENIA ZWIĄZANE Z ELEKTROSTATYKĄ

- Najistotniejsze: zapłon mieszanych paliw

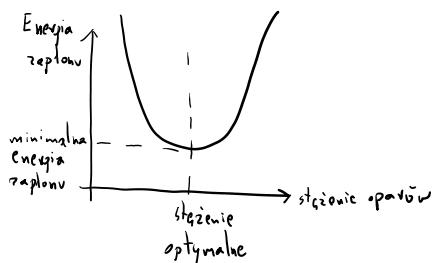
PODST. POJĘCIA Z TECHNIKI SPALANIA I EKSPLÓZJI

- Zapłon: eksplozja mogą wystąpić przy jednoczesnym zaistnieniu następujących elementów:
 - Paliwa (gazowe, ciekłe, stałe)
 - Utleniacza (zwłaszcza tlen w powietrzu)
 - Źródła zapłonu (plomień, iskra, gorąca powierzchnia)
- P. II L. 1. 1.

- Utleniacza i żątkle tlen w powietrzu
- Źródła zapłonu (plomień, iskra, gorąca powierzchnia)
- Ponadto muszą być spełnione warunki:
 - Proporcja utleniacza i paliwa musi być w obszarze eksplozji
 - Energia dostarczana ze źródła zapłonu musi być równa lub większa od tzw. minimalnej energii zapłonu

MINIMALNA ENERGIA ZAPŁONU

- Energia niezbędną do wywołania zapłonu mieszania w najbardziej korzystnej proporcji stężenia paliwa i utleniacza



- Przykładowe dane:

PALIWO	MIE
Benzyna	0,15 mJ
Wodór	0,01 mJ
Acetylen	0,02 mJ
Proch strzelniczy	30 mJ
Bawolina (puch)	10 mJ

[1 mJ - granica czułości czujnika]

- Minimalna energia zapłonu zależy od wielkości cząstek (mowa o materiałach palnych)

WYMIAR CZĄSTKI	MIE, mJ
700 - 1700	> 5000
100 - 180	< 10

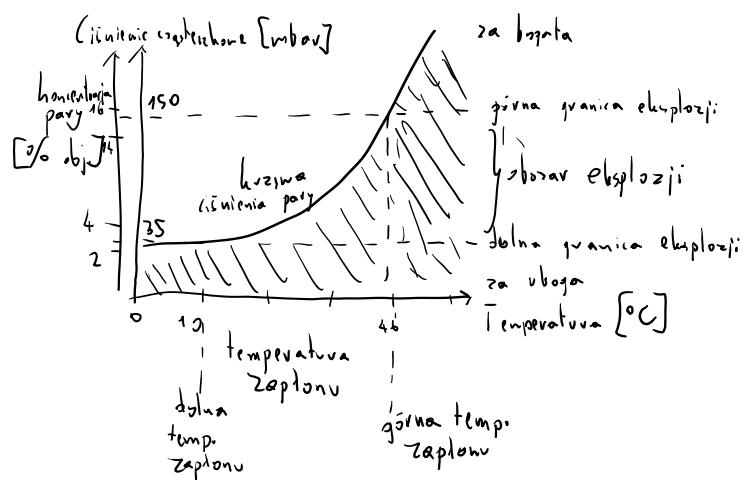
SPALANIE

- Reakcja paliwa z utleniaczem zachodzi na poziomie molekularnym. Uwalniana energia prowadzi do rozszerzania się gazu, wzrostu ciśnienia, szybkości spalania (deflagracji) i w konsekwencji do eksplozji lub detonacji.
 - Proces spalania może zachodzić z różnychmi przykazaniami:
 - Spalanie spokojne $\sim \frac{cm}{s}$, małe przyspieszenie, małe efekty dinamikowe
 - Eksplozja - szybk. spalania $\sim \frac{cm}{s}$ przyspieszony wzrost ciśnienia $\sim 1 \text{ MPa}$
 - Detonacja - $\sim \frac{km}{s}$ $\sim 10 \text{ MPa}$ Wybuch
- ↑ silnie zdyspergowane paliwa w powietrzu

PUNKT ZAPŁONU

- Wraz ze wzrostem temperatury koncentracja oparów nad powierzchnią cieczy rośnie
- Ciągłe spalanie zachodzi jedynie w obszarze eksplozji który jest ograniczony granicą i gęstością koncentracji granicznej (ciążąco zwiększone tempo), za limita

Jedna z poniższych koncentracji gazów w powietrzu wywołuje gwałtowną i niekontrolowaną reakcję chemiczną.



ELEMENTY OCHRONY PRZED

- Uziemienie i bieżącego przewodzących elementów, które występują w układzie elektrostatycznym
 - uziemienie – odprowadzenie ład. el. o niebezp. w autostrach
 - elem. przew. – wykonane z materiałów o $R_{skrośn} < 10^6 \Omega m$
- Ochrona przed elektrycznością statyczną
 - Normy: PN 92-ES201... S
 - Zagrożenie nie występuje, jeśli:
 - $q_s < 2,7 \cdot 10^{-6} \frac{C}{m^2}$ (gęstość ładunku, dane z normy)

ANALIZA PRZYPADKÓW WYBUCHU

- Algorytm analizy:
 - ① Opis incydentu
 - ② Atmosfera wybuchowa – typ
 - ③ Dodatkowe dane elektrostatyczne (R_{rupt} , pojemność)
 - ④ Analiza elektrostatycznej natury danego przypadku
 - Generacja ładunku
 - Możliwość gromadzenia się ładunku
 - Możliwość nulad. w gazie
 - ⑤ Miejsce zapłonu
 - ⑥ Wnioski z uzasadnieniem czy elektrostatyka, czy nie?
 - ⑦ Proponowane środki ochrony

ZA TYDZIEN: KOLOKWIUM

- Test + zadania \rightarrow więcej zadań
- Zaliczenie: 2 kolokwia

POMIARY WŁAŚCIWOŚCI ELEKTROSTATYCZNYCH

- Właściwości elektrostatyczne: opis możliwości gromadzenia i transportu ładunku przez dielektryk
- Główne parametry dielektryków:

- Właściwości elektrostatyczne: opis właściwości gromadzenia i transportu ładunku przez dielektryk

- Stan nabitowania dielektryku:

- ładunek całkowity

- efektywna gęstość ładunku powierzchniowego / napięcie zastępcze

- rokład ładunku powierzchniowego (gęstości)

- położenie "środka ciężkości" ładunku (tzw. centroid)

- rokład ładunku przestrzennego

- Pojęcie „elektrostatyczne” odnosi się do sytuacji, gdy warstwy nie zmieniają się w czasie
 - w rozległości, że wartości się zmieniają

- Szybkość zaniku ładunku

- czas pot-zaniku czas po którym α zanika do $\frac{1}{e}$ wartości przykładowych

- ładunek całkowity:

- $\oint D ds = Q$

- pomiar: klatka Faradaya

- Gęstość powierzchniowa ładunku efektywnego

- $Q_s = \sigma_{ss} - P + Q_{SV}$
 - ↑ ↓ rzut ładunku przestrzennego wzgl. danej powierzchni
 - gęstość ładunku polaryzującego
 - gęstość rozległego ładunku powierzchniowego

- efektywny ład. pow. wykazuje w obszarze problemu takie samo pole elektryczne, w sensie rozkładu i wartości, jak wszystkie wymienione skutkowe fazyne

- ef. ład. pow. to ładunek zastępujący → wykazuje takie same pory, jak rozległy ładunek powierzchniowy na obiekcie

- efekt. gęst. ład. charakteryzuje „zernikowy” obraz stanu nabitowania i jest bez ograniczania jego rozmiarów

- Napięcie zastępcze U_2

- napięcie, jakie wytworzy ładunek o gęstości Q_s na jednostkowej pojedynkości problemu



$$U = \frac{Q}{C}$$

$$C_{ps} = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r}{d}$$

$$U_2 = \frac{Q_s d}{\epsilon_0 \epsilon_r}$$

$$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{F}{m}$$

- Charakterystyka zaniku

- w dielektrykach rzeczywistych ładunek zanika z czasem

$\alpha \propto t^{-1/2}$

- w dielektrykach rezystywistycznych ładunki zmieniają się z czasem

