

## 14. Základy elektrostatiky

**Elektrostatické pole** je silové pole, které existuje kolem všech elektricky nabitých těles. Tato tělesa na sebe vzájemně jeho prostřednictvím působí.

**Elektrický náboj** má dva významy:

- a) vyjadřuje stav elektricky nabitých částic nebo těles
  - **Aniont (Kationt)** je záporně (kladně) nabitý atom. Z elektricky neutrálního atomu vznikne přijetím (odevzdáním) alespoň jednoho elektronu.
  - **Záporně (kladně) nabité těleso** obsahuje více (méně) elektronů než protonů. Při elektrování těles se přemísťují volné elektrony z jednoho tělesa na druhé, čímž se jedno nabíjí kladně a druhé záporně.
- b) je skalární fyzikální veličinou, značí se  $Q$ ,  $[Q] = C$  (coulomb)

Vlastnosti elektrického náboje:

- 1) Existují dva druhy náboje – kladný a záporný.
- 2) Lze jej přemístit v tělese i z jednoho tělesa na druhé.
- 3) Základními nosiči elektrického náboje jsou protony a elektrony.
- 4) Elektrický náboj je kvantován tzn., že náboj jakéhokoliv tělesa je celočíselným násobkem elementárního náboje  $e$ :  $Q = k \cdot e$ ,  $k \in \mathbb{Z}$ ,  $e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ .  
Poznámka. Elementární náboj je náboj jednoho protonu. Stejnou velikost, ale záporné znaménko má náboj elektronu. Elementární náboj nelze rozdělit.
- 5) Atomy jsou navenek neutrální částice, v nichž je počet protonů v atomovém jádru shodný s počtem elektronů v elektronovém obalu.

**Coulombův zákon:** Dva bodové náboje v klidu na sebe vzájemně působí stejně velkými opačně orientovanými elektrickými silami, jejichž velikost je přímo úměrná součinu obou nábojů  $Q_1$ ,  $Q_2$  a nepřímo úměrná druhé mocnině jejich vzdálenosti.

$$F_e = k \frac{Q_1 Q_2}{r^2} \quad k = \frac{1}{4\pi\epsilon} \quad \epsilon = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \quad k, \epsilon \text{ a } \epsilon_r \text{ jsou konstanty, charakterizující prostředí mezi náboji, } \epsilon \text{ je permitivita prostředí, } \epsilon_r \text{ je relativní permitivita}$$

prostředí,  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2 \text{ m}^{-2} \text{ N}^{-1}$  je permitivita vakua. Pro vakuum a vzduch je  $\epsilon_r = 1$ , pro všechna ostatní prostředí  $\epsilon_r > 1$ . Pro vakuum platí  $k = 9 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2 \text{ C}^{-2}$ .

Poznámka: Tělesa souhlasně nabitá se vzájemně odpuzují, tělesa nesouhlasně nabitá se přitahují, elektricky nabitě těleso a těleso elektricky neutrální se přitahují (elektrostatická indukce a polarizace izolantu).

### Veličiny charakterizující elektrické pole

1. **Intenzita elektrického pole** elektrického náboje  $Q_0$  je vektorová veličina definovaná jako podíl elektrické síly  $F_e$ , působící v daném místě pole na kladný bodový náboj  $Q$  a velikosti tohoto náboje  $Q$ :

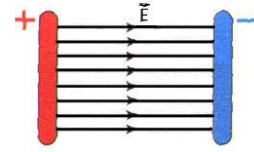
$$\vec{E} = \frac{\vec{F}_e}{Q} \quad \text{Intenzita má v daném místě elektrického pole stejný směr jako elektrická síla, která by v tomto místě působila na kladně nabitou částici.} \quad [E_e] = \text{NC}^{-1} = \text{Vm}^{-1}$$

Poznámka 1: V okolí bodového náboje  $Q_0$  je radiální elektrické pole, jehož intenzita v lib. místě je určena vztahem:  $E_e = k \cdot \frac{Q_0}{r^2}$  Tento vztah platí i pro intenzitu elektrického pole vně kulového vodiče, na jehož povrchu je rovnoměrně rozmístěn elektrický náboj  $Q_0$ . Uvnitř kulového vodiče je intenzita elektrického pole nulová.

Poznámka 2: Graficky znázorňujeme elektrické pole pomocí siločar. Siločára je myšlená čára, jejíž tečna určuje směr vektoru intenzity v daném bodě.

Podle intenzity elektrického pole dělíme elektrická pole na:

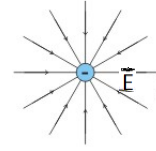
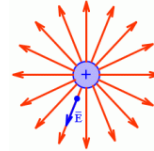
a) **Homogenní** – intenzita má v každém bodě stejný směr i velikost, za homogenní pole lze s dobrou přesností považovat pole mezi deskami kondenzátoru nebo velmi malou část pole radiálního.



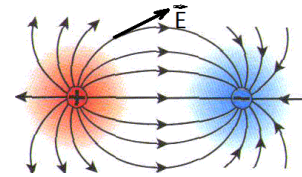
b) **Radiální** – vytváří se kolem bodového náboje,

velikost intenzity je dána vztahem  $E_e = k \cdot \frac{Q_0}{r^2}$ ,

siločáry míří v případě kladného náboje do středu, v případě záporného náboje od středu, jak je znázorněno na obrázcích.



c) **Ostatní pole** – naprostá většina polí nepatří mezi pole homogenní ani radiální.



2. **Elektrický potenciál** je skalární veličina definovaná jako podíl potenciální energie  $E_p$  bodového náboje  $Q$  v daném místě elektrického pole a tohoto náboje:

$$\varphi_e = \frac{E_p}{Q} \quad [\varphi_e] = \frac{J}{C} = V$$

Poznámka 1: Potenciální energie  $E_p$  náboje  $Q$  je určena prací  $W$ , kterou vykoná elektrická síla při přemístění náboje  $Q$  z daného místa elektrického pole na povrch Země (uzemněného tělesa).

Poznámka 2: Kladně nabitá částice volně padá v elektrickém poli vždy z míst o vyšším potenciálu do míst o potenciálu nižším. Záporně nabitá částice se chová naopak.

Takže pro potenciál např. kladně nabitě desky umístěné rovnoběžně a ve vzdálenosti  $d$  vzhledem k desce uzemněné

platí:

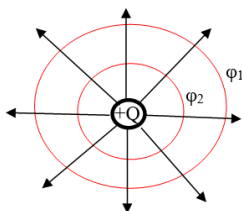
$$\varphi_e = \frac{E_p}{Q} = \frac{W}{Q} = \frac{F \cdot d}{Q} = \frac{E \cdot Q \cdot d}{Q} = \mathbf{E} \cdot \mathbf{d}, \text{ kde } E \text{ je intenzita homogenního el. pole mezi}$$

deskami.

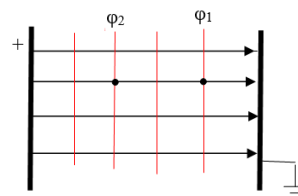
Poznámka: Ze vztahu  $\varphi_e = \mathbf{E} \cdot \mathbf{d}$  plyne pro  $E$  jednotka  $Vm^{-1}$ .

Grafické znázornění elektrického pole pomocí ekvipotenciálních ploch

a) radiální pole



b) homogenní pole



Ekvipotenciální plochy spojují místa o stejném potenciálu.

Pro potenciály na obou obrázcích platí:  $\varphi_2 > \varphi_1$ .

**Elektrické napětí** mezi body A, B definujeme jako absolutní hodnotu z rozdílu potenciálů v těchto bodech.

$$U = |\varphi_A - \varphi_B| \quad [U] = V$$

### Rozmístění el. náboje ve vodiči:

1. plný vodič – pouze na povrchu
2. dutý vodič – pouze na vnějším povrchu

Plošná hustota náboje:  $\sigma = \frac{Q}{S}$   $[\sigma] = C \cdot m^2$

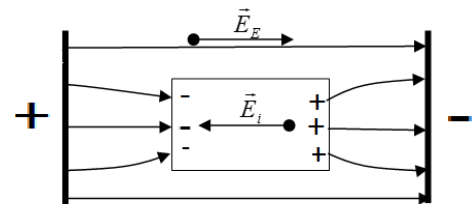
Pozn. Na povrchu koule poloměru R platí  $\sigma = \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot R^2}$ , což znamená, že čím je menší R, tím je větší  $\sigma$ . Proto je největší hustota náboje na hrotech a hranách.

### Vodič a ne vodič v elektrickém poli

- Vložíme-li vodič do elektrického pole, nastane tzv. **elektrostatická indukce**.

Platí:  $E_E = E_i$ , takže  $E_v = 0 \text{ V} \cdot \text{m}^{-1}$

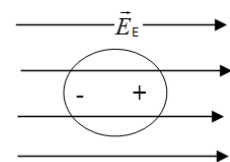
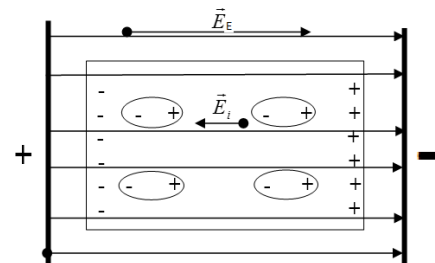
Vodiče obsahují volné nosiče elektrického náboje. Proto po vložení vodiče do vnějšího elektrického pole s intenzitou  $\vec{E}_E$  dojde působením přitažlivých a odpuzivých elektrických sil k přemístění těchto volných nosičů náboje uvnitř vodiče a k vytvoření vnitřního elektrického pole s intenzitou  $\vec{E}_i$ . Obě intenzity jsou stejně velké, ale opačně orientované. Uvnitř vodiče je proto jejich vektorový součet nulový a výsledné elektrické pole má nulovou intenzitu  $E_v = 0$ .



- Vložíme-li izolant (dielektrikum) do elektrického pole, nastane tzv. **polarizace dielektrika**.

Platí: vždy  $E_v < E_E$   $E_v = E_E - E_i$

Vysvětlení: Nevodiče neobsahují volné nosiče elektrického náboje. Proto po vložení nevodíče do vnějšího elektrického pole s intenzitou  $\vec{E}_E$  dojde působením přitažlivých a odpuzivých elektrických sil pouze k polarizaci, tj. k natočení (nikoliv přemístění!) elektrických dipólů („protažené“ atomy nebo molekuly) uvnitř nevodíče. Tím se uvnitř nevodíče vytvoří slabé elektrické pole s intenzitou  $\vec{E}_i$ .



Vektor intenzity výsledného pole uvnitř nevodíče  $\vec{E}_v$  je pak souhlasně orientován s vektorem silnějšího vnějšího pole  $\vec{E}_E$ . Velikost vektoru výsledné intenzity je pak vzhledem k opačné orientaci skládaných intenzit  $\vec{E}_E$  a  $\vec{E}_i$  rovna  $E_v = E_E - E_i$

Poměr  $\frac{E_E}{E_v}$  je relativní permitivita prostředí  $\epsilon_r$  (udává, kolikrát je intenzita výsledného pole menší než intenzita pole vnějšího).

## Kapacita vodiče, kondenzátory a jejich spojování

**Kapacita vodiče**  $C$  je veličina vyjadřující schopnost vodiče při dané hodnotě potenciálu  $\varphi$  přijmout určitý náboj  $Q$ . Je definována vztahem:

$$C = \frac{Q}{\varphi}, \text{ resp. } C = \frac{Q}{U}, [C] = F$$

Kapacita vodiče závisí na jeho tvaru (např. kulový vodič poloměru  $R$  má kapacitu  $C=4\pi\cdot\epsilon_0\cdot R$ ), na prostředí, které jej obklopuje a na tom, zda se v blízkosti nachází další vodič (kapacita osamocených vodičů je velmi malá).

**Kondenzátor** je soustava vodičů s velkou kapacitou.

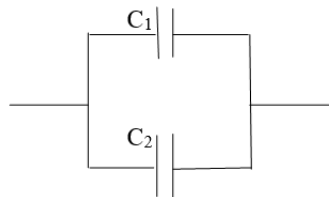
Deskový kondenzátor se skládá ze dvou vodivých desek, oddělených izolantem. Pro

jeho kapacitu platí:  $C = \epsilon \frac{S}{d}$ , kde  $S$  je účinná plocha desek,  $d$  je vzdálenost desek kondenzátoru a  $\epsilon$  je permitivita izolantu mezi deskami.

Poznámka: Existují různé druhy kondenzátorů: deskový (otočný), svitkový, keramický, elektrolytický

### Spojování kondenzátorů:

a) paralelně



$$C = C_1 + C_2$$

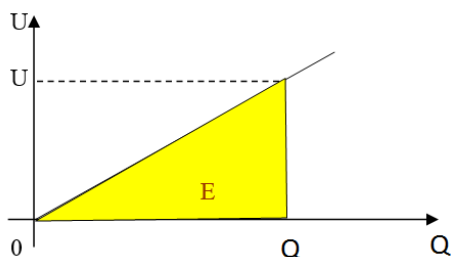
b) sériově



$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

**Energie nabitého kondenzátoru:**

$$E = \frac{Q \cdot U}{2} = \frac{Q^2}{2 \cdot C} = \frac{C \cdot U^2}{2}$$



Číselně je energie nabitého kondenzátoru rovna obsahu vybarvené plochy na obrázku.