

Fyzika Zeme

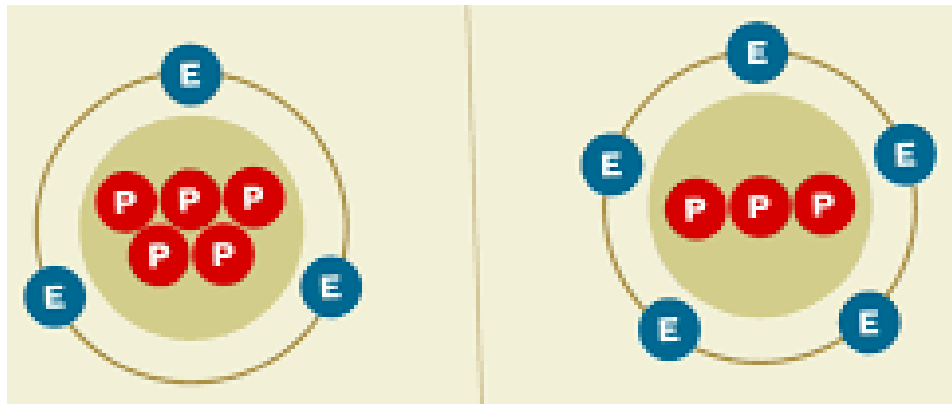
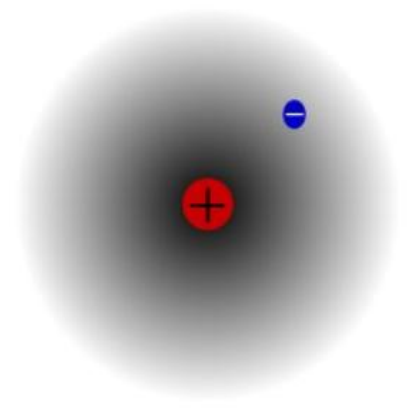
- Úvodný kurz pre poslucháčov prvého ročníka bakalárskych programov v rámci odboru geológie
- 6. téma – základy elektriny

Obsah prednášky:

- úvodné poznámky
- Coulombov zákon
- základné veličiny (napätie, prúd, odpor)
- Ohmov zákon, rezistivita, konduktivita
- praktické použitie merania rezistivity v geológii
- striedavý prúd

základy elektriny – nosiče elektrického náboja

Nosič elektrického náboja: voľná častica, prenášajúca elektrický náboj – najčastejšie sú to **elektróny** a **ióny** (anióny a katióny). Na tieto častice môže pôsobiť elektrické pole, ktoré spôsobí ich pohyb (vytvára sa elektrický prúd).



základy elektriny – nosiče elektrického náboja

V rôznych látkach nesú náboj rôzne častice:

V **kovoch** sú to voľné elektróny (môžu aj opustiť objekt – tzv. Fermiho plyn).

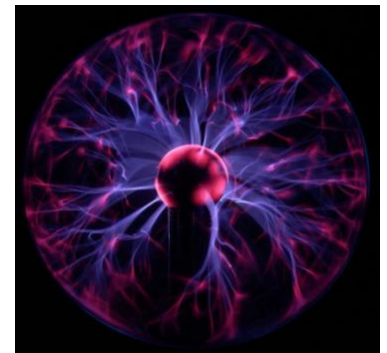
V **elektrolytoch (aj taveninách)**, ako je napr. morská voda sú nosičom náboje rozpustené **katióny (kladne nabité ióny) a anióny (záporne nabité ióny)**.

V **plazme** fungujú ako nosiče **elektróny, katióny ionizovaného plynu a odparené materiály z elektród**.

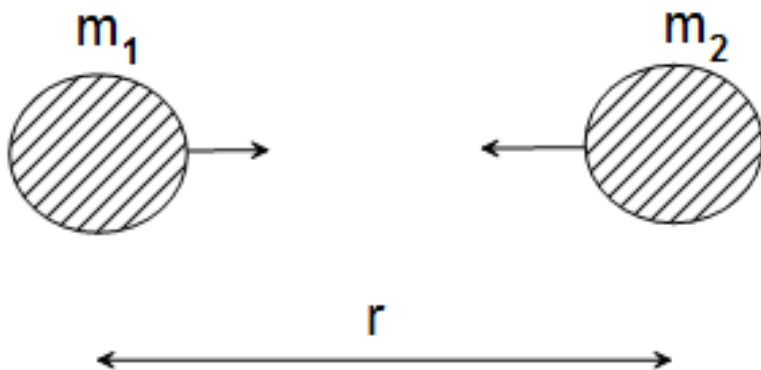
V **polovodičoch** sú uznávané dva druhy nosičov nábojov. Prvý z nich sú valenčné **elektróny**. Druhým sú nepriamo sa pohybujúce (ako keby) kladné náboje – **uvoľnené miesta po valenčných elektrónoch (tzv. diery)** sú doplňované ďalšími elektrónmi – vytvárajú dojem, ako keby sa pohyboval (niesol) kladný náboj.

Dielektrikum – obsahuje málo voľných nábojov, ale vie sa polarizovať.

Izolant - ak látka neobsahuje žiadne voľné náboje.

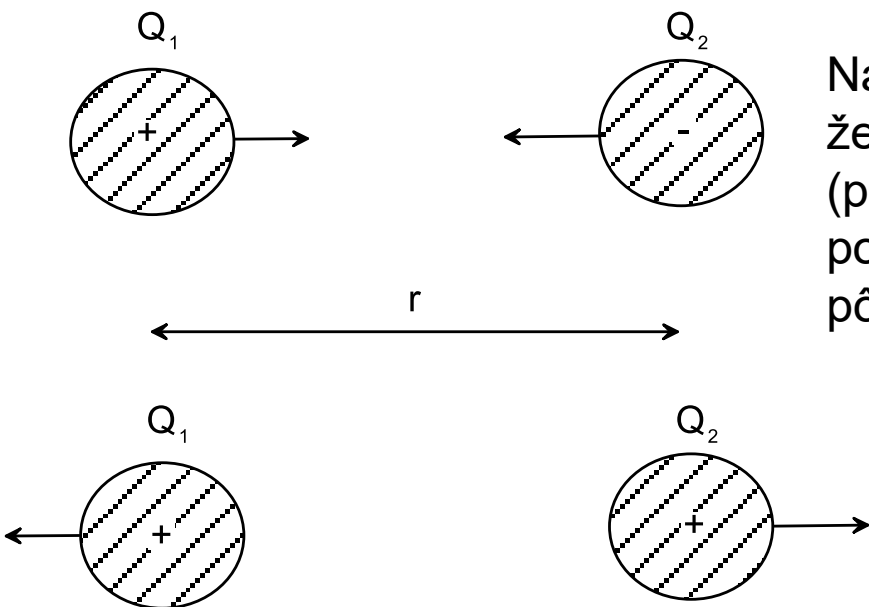


základy elektriny – Coulombov zákon



Z gravimetrie vieme, že ľubovoľné hmotné telesá sa priťahujú. Veľkosť priťahovania závisí priamoúmerne od ich hmotností a nepriamoúmerne od štvorca ich vzdialenosti.

$$|\vec{F}_g| = F_g \approx \frac{m_1 m_2}{r^2}$$



Na základe empirických poznatkov sa zistilo, že existuje aj iný druh silového pôsobenia (priťahovanie), ktoré má navyše aj druhú podobu – odpudzovanie. Ide o vzájomné pôsobenie elektricky nabitých častíc.

$$|\vec{F}_e| = F_e \approx \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$$

základy elektriny – Coulombov zákon

Plný zápis (Coulombovho zákona):

Veľkosť sily medzi dvoma bodovými nábojmi je priamo úmerná veľkostiam súčinu nábojov a nepriamo úmerná druhej mocnine vzdialenosti medzi nimi.

$$|\vec{F}_e| = F_e = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$$

kde:

Q_1, Q_2 – sú elektrické náboje, jednotka [C]

r – vzdialenosť nabitých častíc

ϵ_0 – permitivita vákua ($8.854187 \cdot 10^{-12}$ [F·m⁻¹])

Zlomok $1/4\pi\epsilon_0$ sa niekedy označuje ako

Coulombova konštanta $K_e = 8.99 \cdot 10^{-9}$ N·m⁻².

Zákon je pomenovaný podľa svojho autora:
Charlesa Augustina de Coulomb.

Častice so znamienkovo opačnými nábojmi sa **priťahujú**, s rovnakými sa **odpuďujú**.

Elektrický náboj Q : fyzikálna veličina, ktorá vyjadruje *veľkosť schopnosti pôsobiť elektrickou silou*.

Jednotka 1 C = náboj, ktorý pretečie vodičom pri stálom prúde 1 ampéra za 1 sekundu [C = A·s].

Elementárny elektrický náboj je elektrický náboj protónu ($Q_e = 1.602 \cdot 10^{-19}$ C); elektrón má náboj $-Q_e$.

základy elektriny – Coulombov zákon



Pri trení dvoch materiálov prechádzajú povrchové elektróny z povrchu jedného materiálu na druhý (skutočne tu dochádza ku presunu častíc).

základy elektriny – Coulombov zákon

Vzduch
Ľudská koža
Králičia srst'
Sklo
Ľudské vlasy
Nylon
Vlna
Hodváb
Hliník
Papier
Bavlna
Oceľ
Drevo
Tvrdá guma
Nikel, meď
Mosadz, striebro
Zlato, platina
Umelý hodváb
Polyester
Prilnavá fólia
Polyetylén
PVC
Silikón
Teflón



Pri trení dvoch materiálov môžu povrchové elektróny prechádzať z jedného materiálu do druhého. Smer v ktorom sa elektróny pohybujú závisí na postavení materiálu v tzv. **triboelektrickej rade**.

Materiál, ktorý sa nachádza na kladnej strane má tendenciu odovzdávať elektróny a nabíja sa kladne. Materiál na zápornej strane má tendenciu prijímať elektróny a nabíja sa záporne.

video s ukážkou pôsobenia síl v zmysle Coulombovho zákona:

<https://www.youtube.com/watch?v=oU8Fe6846d4>

základy elektriny – elektrický potenciál

Elektrický potenciál (φ):

skalárna fyzikálna veličina, ktorá popisuje **potenciálnu energiu jednotkového elektrického náboja v nemennom elektrickom poli**.

Ide teda o potenciál elektrického poľa, tzn. **množstvo práce potrebné na prenesenie jednotkového elektrického náboja** zo vzťažného bodu, ktorému je prisúdený nulový potenciál, do daného miesta.

Za miesto s nulovým potenciálom (vzťažný bod) sa v teoretických úlohách berie nekonečne vzdialený bod, pri praktických často povrch Zeme.

Jednotka: Volt [V], v sústave SI je to odvodená jednotka: $[V] = [kg \cdot m^2 \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}]$.

Rozdiel potenciálov je 1 Volt, ak je na prenesenie náboja 1 C z miesta nižšieho potenciálu na miesto vyššieho potenciálu potrebné vykonať prácu 1 Joule.

$J = [kg \cdot m^2 \cdot s^{-2}]$, $C = [A \cdot s] \Rightarrow V = J/C = [kg \cdot m^2 \cdot s^{-2}] / [A \cdot s] = [kg \cdot m^2 \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}]$.

Meno jednotky Volt je určené podľa talianskeho fyzika **Alessandra Volta**, vynálezcu elektrického článku (1800).



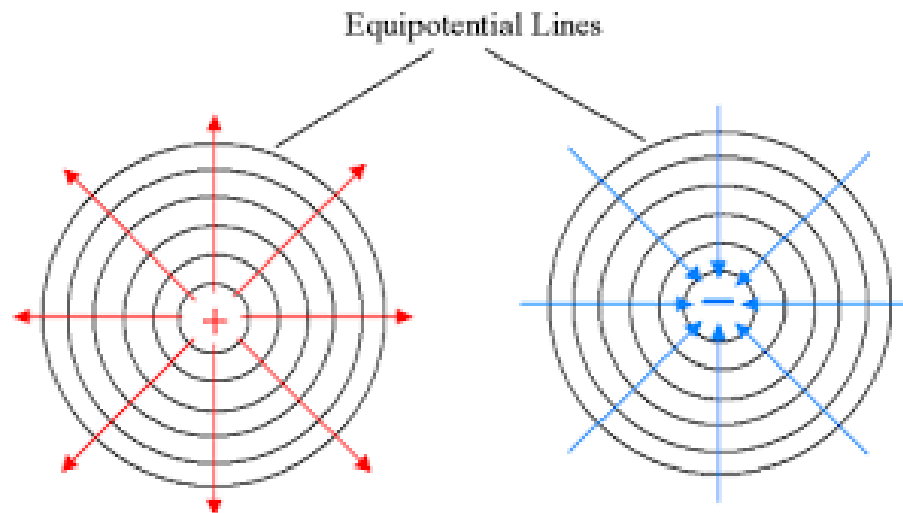
základy elektriny – monopól

Elektrický potenciál (φ):

Elektrický potenciál bodového zdroja (náboja Q) je možné vyjadriť pomocou jednoduchého vzťahu:

$$\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r} = K_e \frac{Q}{r}$$

Takéto pole tiež nazývame ako tzv. centrálné symetrické (je rovnomerne rozdelené okolo zdroja, iba jeho veľkosť klesá nepriamo úmerne so vzdialenosťou r). Guľové plochy okolo zdroja, na ktorých dosahuje potenciál rovnakú hodnotu nazývame **ekvipotenciálne plochy**. Kolmo na ekvipotenciálne plochy prebiehajú tzv. **siločiary**.



základy elektriny – monopól

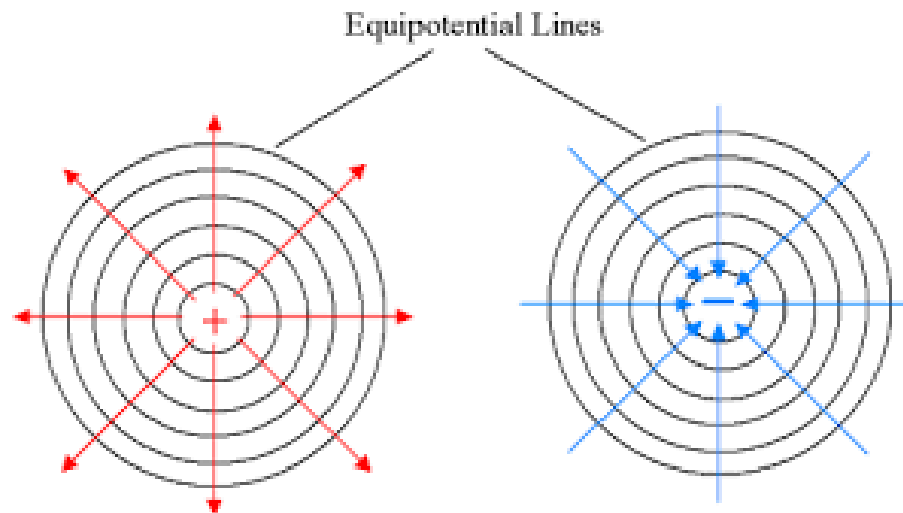
Elektrické pole (E):

Elektrické pole **E** (vektor) vyjadruje zmenu potenciálu so vzdialenosťou (matematicky to vyjadrujeme pomocou derivácie podľa r).

Pre bodový zdroj (monopól) platí:

$$|\vec{E}| = -\frac{d\varphi}{dr} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^2}$$

Vektor poľa **E** je v smere siločiar.

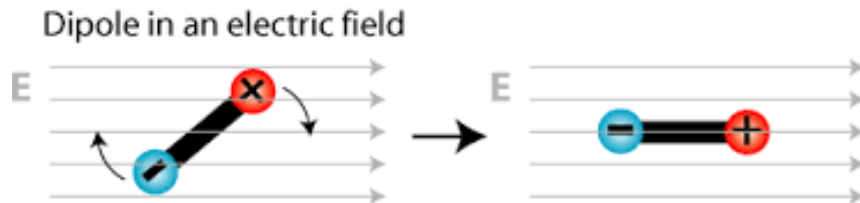
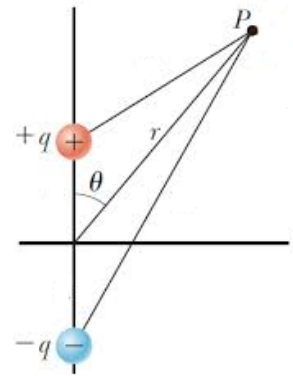


základy elektriny – dipól

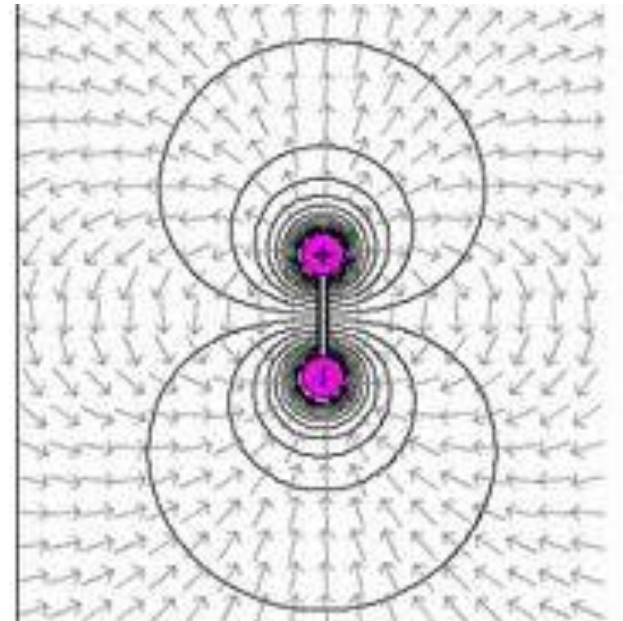
Pri veľmi blízkom priblížení nábojov s opačnými znamienkami vzniká **elektrický dipól**.

Kvantitatívne sa elektrické vlastnosti dipólu merajú pomocou tzv. dipólového momentu (M).

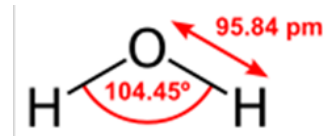
$$\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{M \cos \theta}{r^2}$$



Dipól sa orientuje vo smere vonkajšieho elektr. poľa.



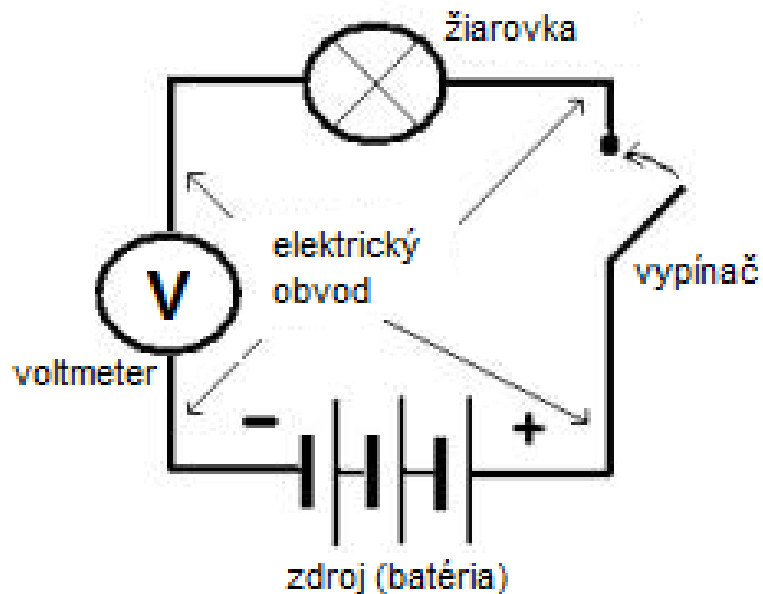
Mnohé molekuly zlúčenín vykazujú slabé dipólové momenty, čo sa uplatňuje pri valenciách a tvorbách mriežok.



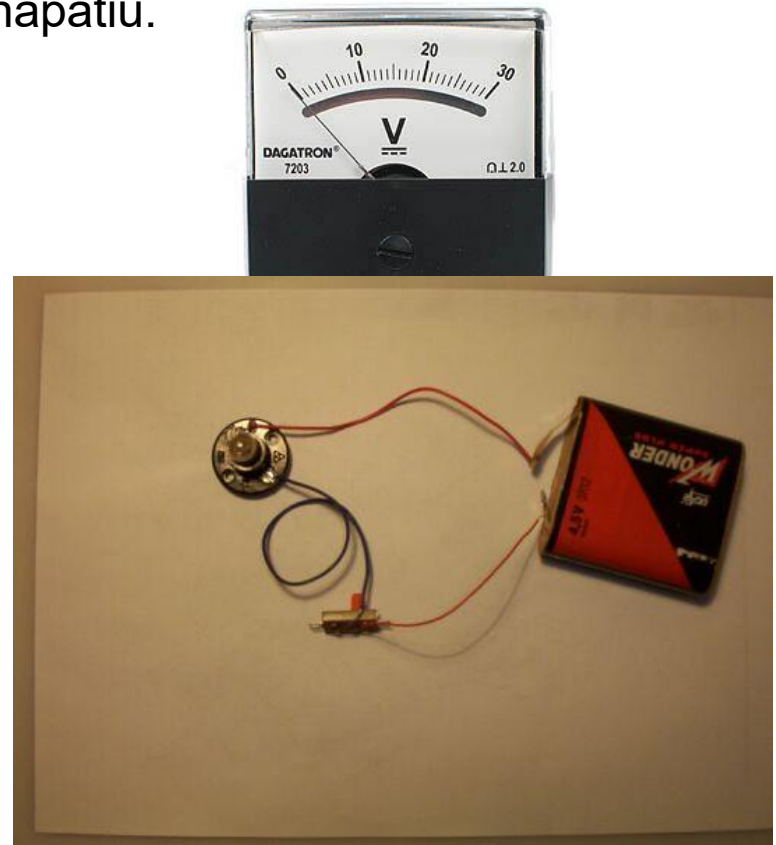
základy elektriny – elektrické napätie

Elektrické napätie (U): rozdiel elektrického potenciálu dvoch bodov.
Jednotka – taktiež Volt [V].

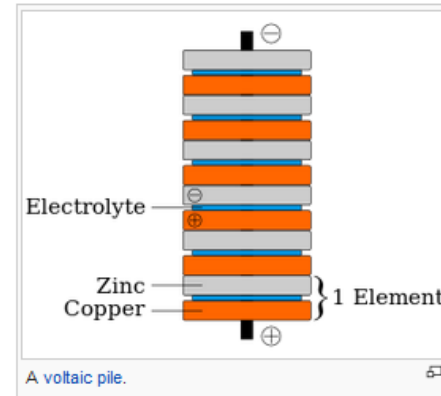
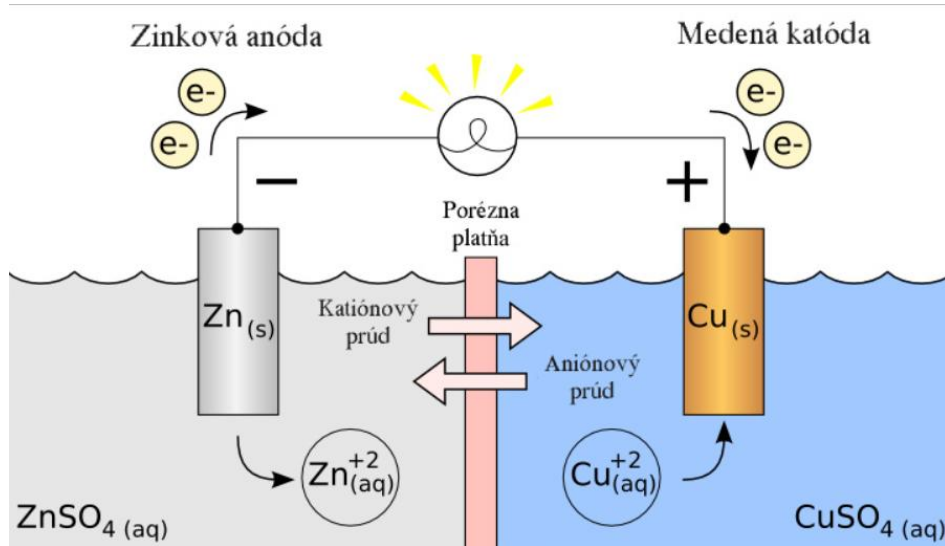
Prístroj na meranie elektrického napätia sa nazýva **voltmeter** a zapája sa paralelne k meranému napätiu.



Príklad jednoduchého elektrického obvodu



objavitel' batérie (elektrochem. článku): Alessandro Volta (1800)



- do elektrolytu prechádzajú kladné ióny zinku Zn^{+2} a reagujú s H_2SO_4 - vznikne ZnSO_4
- zo zinkovej anódy se potom odvádzajú elektróny vonkajším el. obvodom - vyrovnáva sa tak porušenie rovnovážneho stavu medzi katódou a elektrolytom
- kladné vodíkové ióny v elektrolyte preberajú na medenej katóde elektróny prichádzajúce vonkajším obvodom z katody a nastáva vylučovanie vodíku
- vylučovaním vodíku a síranu zinočnatého (aj meďnatého) sa článok postupne znehodnocuje
pozn.: meď reaguje s H_2SO_4 menej ako zinok

Gróf Alessandro Giuseppe Antonio Anastasio Volta

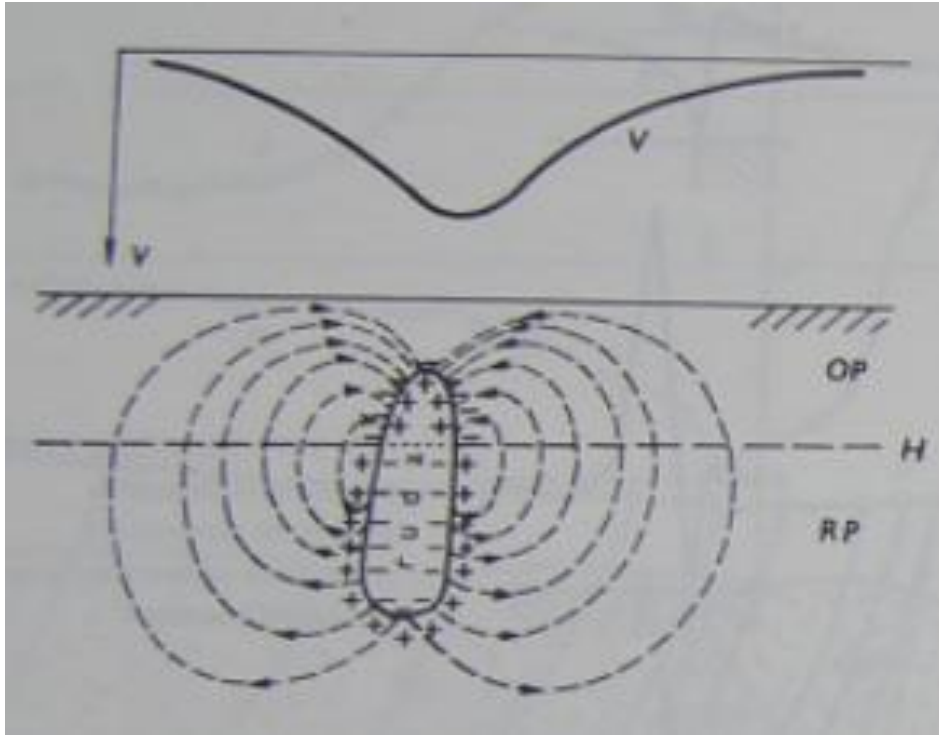


taliansky fyzik

Narodenie	18. február 1745 Como, Milánske vojvodstvo
Úmrtie	5. marec 1827 (82 rokov) Como, Lombardsko-benátske kráľovstvo, Rakúske cisárstvo

základy elektriny – elektrické napätie

V prírode vznikajú prirodzené články – v dôsledku oxidačno-redukčných procesov na rudných štruktúrach



H – hladina podzemnej vody,
OP – oxidačné prostredie,
RP – redukčné prostredie.

Vrchná časť vodivého rudného telesa (väčšinou oxidy a sulfidy kovov) sa nachádza nad hladinou podzemnej vody v oxidačnom prostredí (pri oxidácii sa odoberajú látky elektróny),

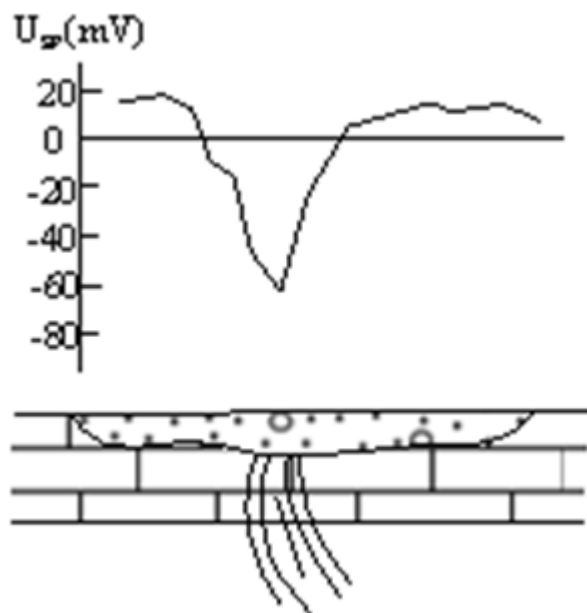
Spodná časť je pod hladinou podzemnej vody v redukčnom prostredí (pri redukcii sa látky poskytujú elektróny), čím vzniknú dve opačne nabité časti rudného telesa, spôsobujúce vznik zmeny elektrického potenciálu.

Tieto zmeny elektrického potenciálu je možné merať a tým vyhľadávať takéto rudné štruktúry (tzv. geofyzikálna metóda spontánnej polarizácie - SP).

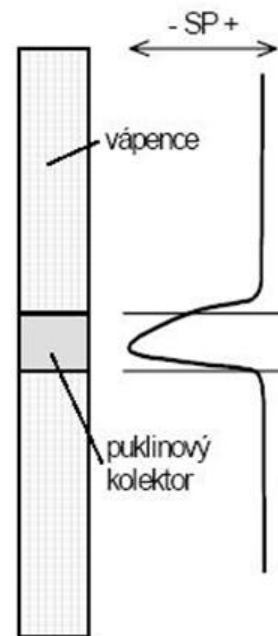
základy elektriny – elektrické napätie

V prírode existujú aj ďalšie mechanizmy vzniku anomálií prirodzeného elektrického potenciálu – napr. filtračný potenciál: pri presune voľne pohyblivých katiónov a aniónov v podzemnej vode.

V zúženom pórovom prostredí sa ľahšie pohybujú rozmerovo menšie katióny – takto **dochádza** v miestach pretekania vody v horninovom prostredí **ku vyššej koncentrácii aniónov** – prejavuje sa to ako záporná anomália elektrického potenciálu.



meranie na zemskom povrchu



meranie vo vrte
(SP – spontánna polarizácia)

základy elektriny – elektrický prúd

Elektrický prúd (I):

fyzikálna veličina, ktorá vyjadruje množstvo elektrického náboja, ktorý prejde prierezom vodiča za jednotku času.

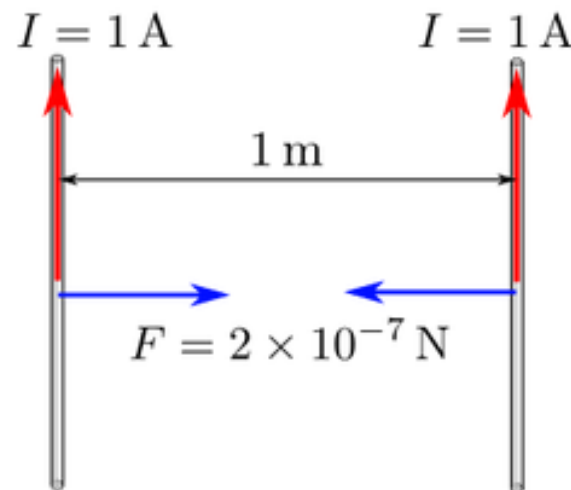
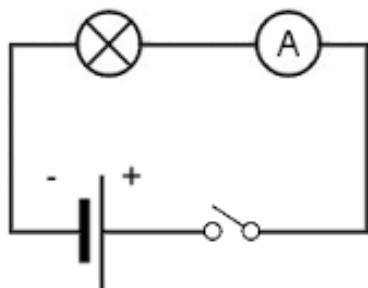
$$I = Q/t \quad (Q - \text{elektrický náboj, } t - \text{čas})$$

Jednotka: Ampér [A], v sústave SI je to jedna zo základných jednotiek.

Ampér (staršia definícia): stály elektrický prúd, ktorý pri prechode dvoma priamymi rovnobežnými nekonečne dlhými vodičmi zanedbateľného kruhového prierezu, umiestnenými vo vákuu vo vzdialenosti 1 m od seba, vyvolá silu $2 \cdot 10^{-7}$ N na 1 meter dĺžky vodičov.

Meno jednotky je dané podľa
Andrého Maria Ampéra (1775 – 1836).

Prístroj na meranie elektrického prúdu
sa nazýva **ampérmeter**.



základy elektriny – elektrický prúd

Elektrický prúd (I):

fyzikálna veličina, ktorá vyjadruje množstvo elektrického náboja, ktorý prejde prierezom vodiča za jednotku času.

$$I = Q/t \quad (Q - \text{elektrický náboj, } t - \text{čas})$$

Jednotka: Ampér [A], v sústave SI je to jedna zo základných jednotiek.

Ampér (nová definícia, od roku 2019):

Ampér je definovaný fixáciou číselnej hodnoty elementárneho náboja $1,602\,176\,634 \cdot 10^{-19}$, ak je vyjadrený jednotkou C, rovnou A·s.

Inými slovami: jeden ampér je prúd, ktorý vznikne prechodom $1,602\,176\,634 \cdot 10^{19}$ elementárnych nábojov za sekundu.

základy elektriny – elektrický prúd

Elektrický prúd (I):

Pomocou základného vzťahu $I = Q/t$ je možné vyjadriť aj počet elektrónov, ktoré pretečú prierezom vodiča pri danom prúde:

Keď berieme do úvahy veľkosť elementárneho elektrického náboja ($Q_e = 1.60217 \cdot 10^{-19} \text{ C}$) a počet elektrónov rovný n , tak:

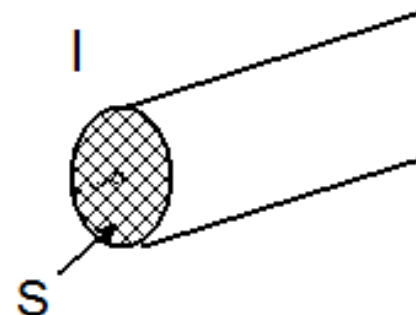
$$Q = n \cdot Q_e \quad \Rightarrow \quad I = n \cdot Q_e / t$$

Prúdová hustota (J):

je určená podielom prúdu a obsahu plochy kolmej na smer makroskopického pohybu náboja, ktorou prechádza; udáva množstvo náboja, ktorý prejde jednotkovým prierezom kolmým na smer prúdu za jednotku času:

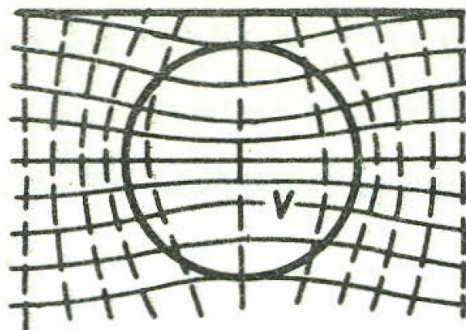
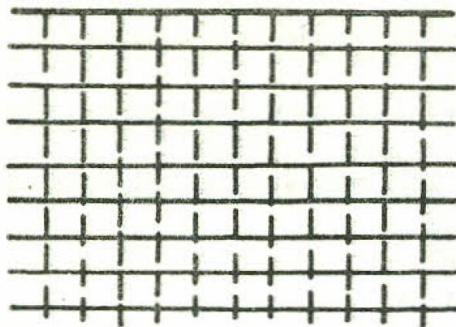
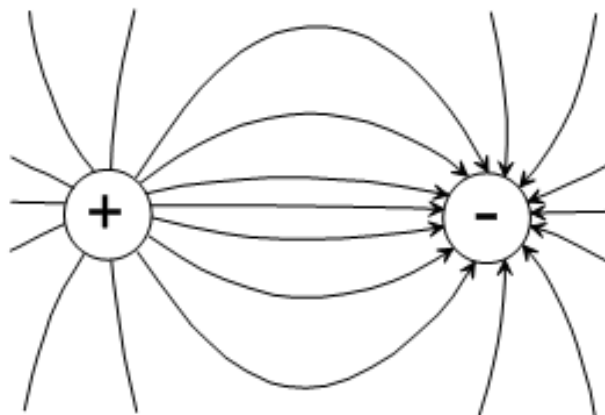
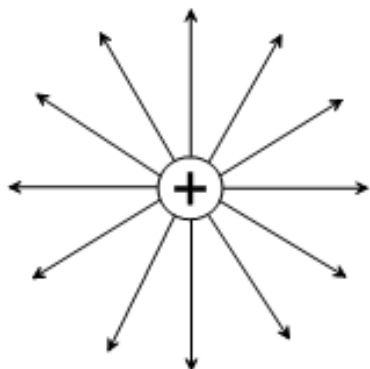
$$J = I/S$$

(S – obsah plochy kolmej na smer prúdu)



základy elektriny – elektrický prúd

Siločiary elektrického poľa – sú myslené čiary ktorými znázorňujeme silové pôsobenie elektrického poľa na **kladne nabitú časticu** v rôznych bodoch poľa. Vo vodivých látkach ukazujú smer prúdenia elektrického prúdu.



homogénne elektrické pole

elektrické pole s vloženou
vodivou nehomogenitou

(plné čiary – siločiary, prerušované – tzv. ekvipotenciálne čiary)

základy elektriny – elektrický odpor a vodivost'

Elektrický odpor (R): vyjadruje schopnosť materiálu zabraňovať prechodu elektricky nabitých častíc. Je definovaný ako podiel napätia a prúdu prechádzajúceho predmetom následkom tohto napätia -

- tzv. **Ohmov zákon:**

$$R = U/I$$



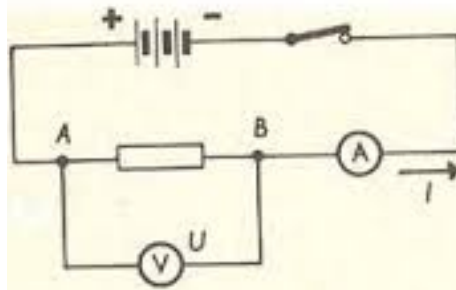
Jednotka – Ohm, $[\Omega] = [V/A] = [kg \cdot m^2 \cdot s^{-3} \cdot A^{-2}]$.

Jednotka nesie meno podľa nemeckého fyzika Georga Simona Ohma (1789 - 1854).

Prístroj na meranie elektrického odporu sa nazýva **ohmmeter**.

Súčiastkou s definovaným elektrickým odporom je **rezistor**.

Príklad schémy
jednoduchého
elektrického obvodu
s rezistorom.



Elektrická vodivosť (G): je reciprokou (prevrátenou) hodnotou elektrického odporu. $G = I/U = 1/R$,

Jednotka - Siemens, $[S] = [\Omega^{-1}] = [kg^{-1} \cdot m^{-2} \cdot s^3 \cdot A^2]$.

základy elektriny – polarizovateľnosť

Vodič: látka, ktorá vedie elektrický prúd, tzn. prúd elektrónov alebo iónov, ktoré so sebou nesú energiu v podobe elektrického náboja.

Dielektrikum:

je každá látka, ktorá sa **polarizuje** vo vonkajšom elektrickom poli. Pokiaľ dielektrikum neobsahuje voľné nosiče náboja (alebo ich obsahuje veľmi málo), označujeme ho ako **izolant**.

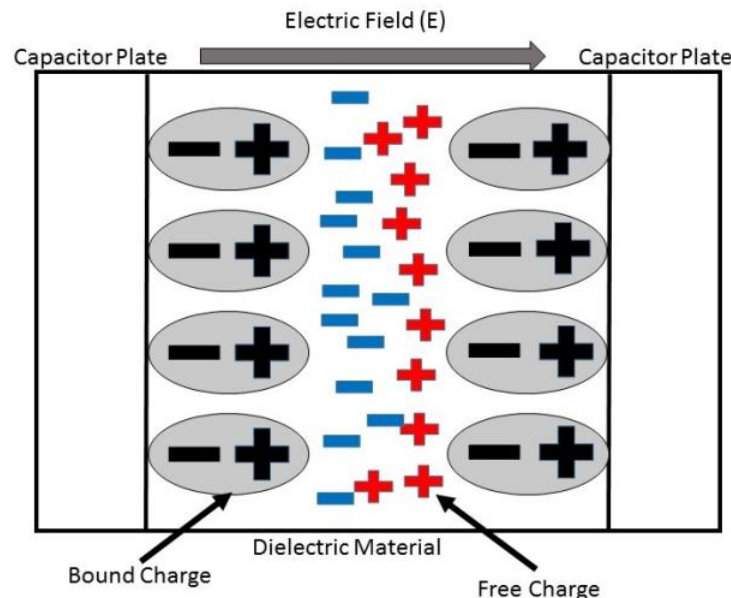
Dielektrikum sa všeobecne vyznačuje malou mernou elektrickou vodivosťou. Napriek tomu v ňom vzniká tzv. elektrostatické pole.

Veličina, vyjadrujúca polarizovateľnosť prostredia sa nazýva elektrická permitivita (ϵ):

$$\epsilon_r = \epsilon / \epsilon_0$$

ϵ_r je relatívna elektrická permitivita (tzv. dielektrická konštanta).

ϵ_0 je elektrická permitivita vákua

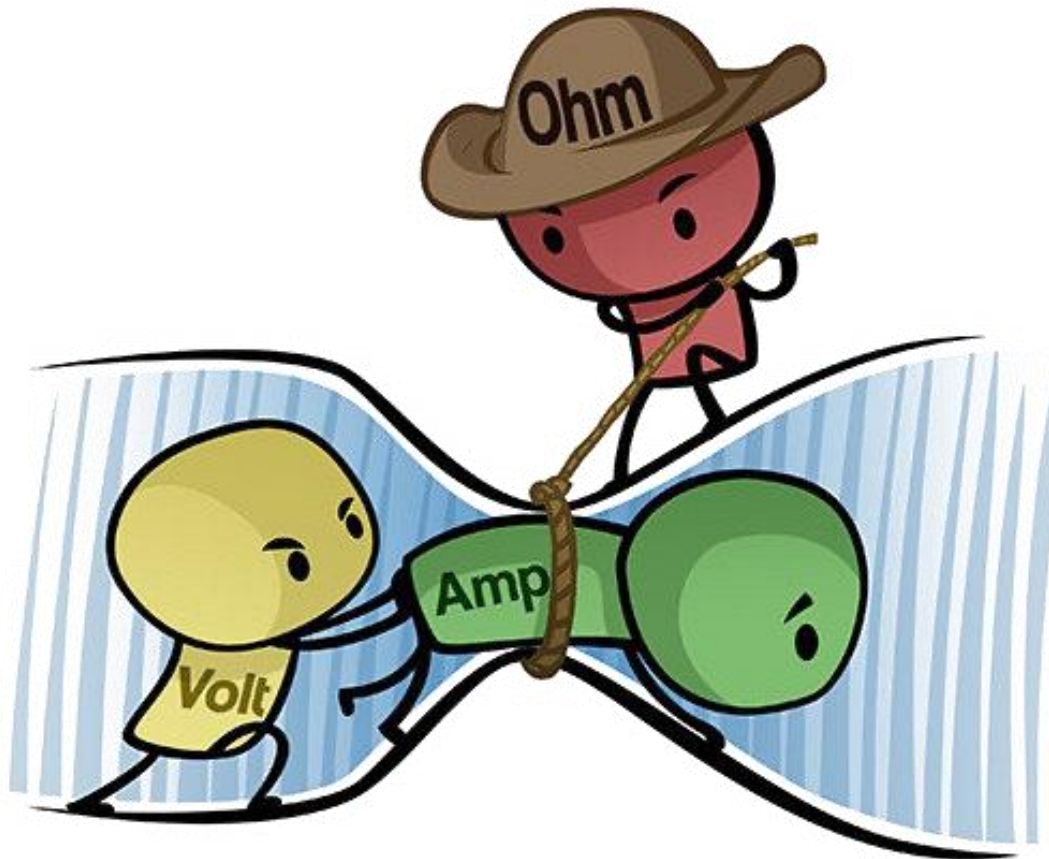


Elektrotechnická súčiastka = kondenzátor (dielektrikum medzi kovovými platňami).

základy elektriny – elektrický odpor a vodivost'

Ohmov zákon: $R = U/I$

R – elektrický odpor [Ω], U – elektrické napätie [V], I – elektrický prúd [A]



základy elektriny – rezistivita

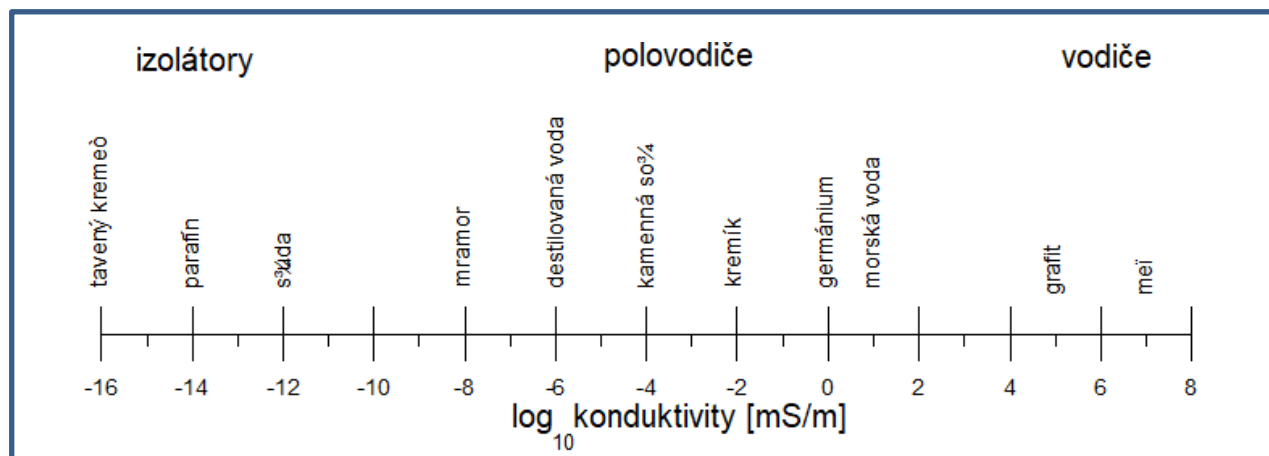
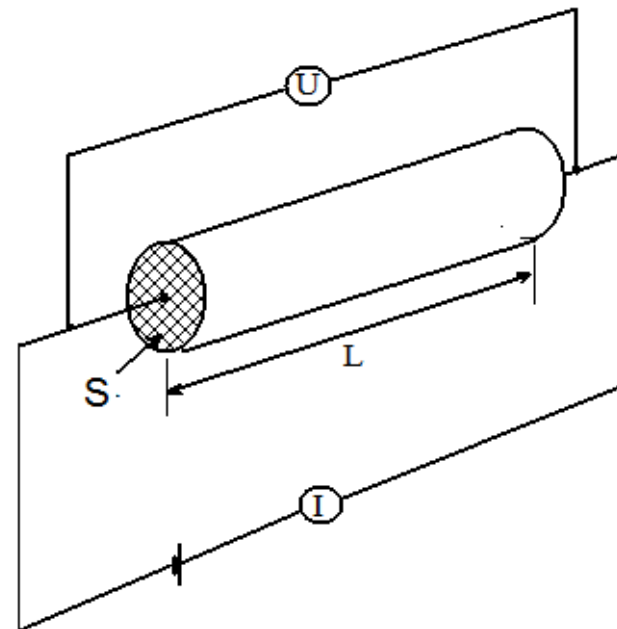
Rezistivita (ρ): vyjadruje veľkosť elektrického odporu vodiča s jednotkovým obsahom prierezu (1 m^2) na jednotku dĺžky (1 m).

$$\rho = RS/L$$

Niekedy sa nazýva ako **merný (špecifický) elektrický odpor**.

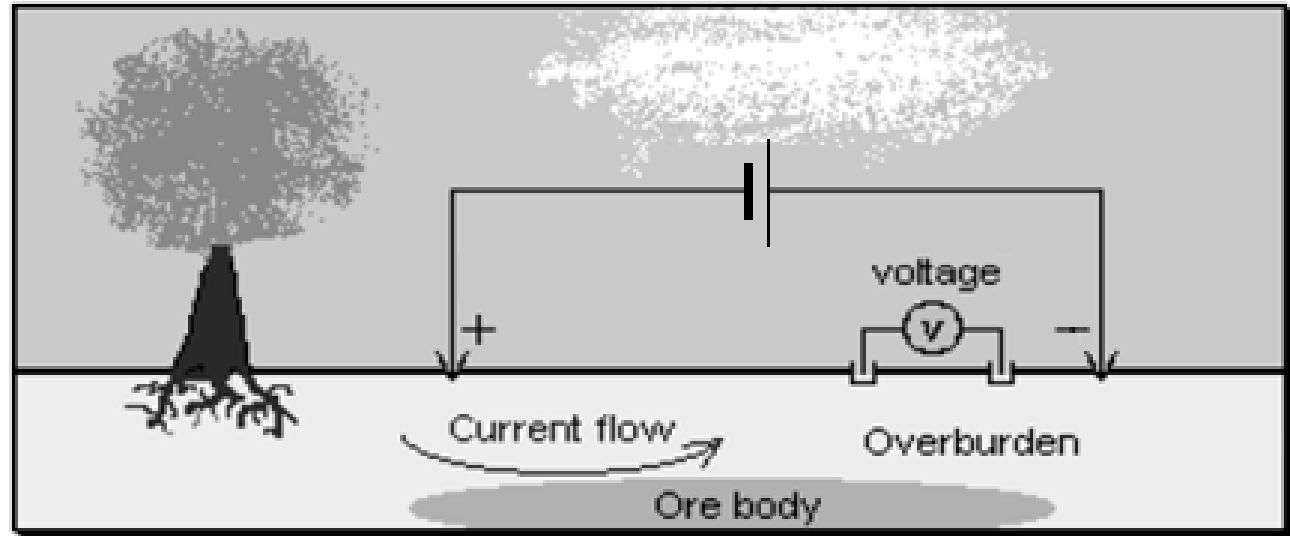
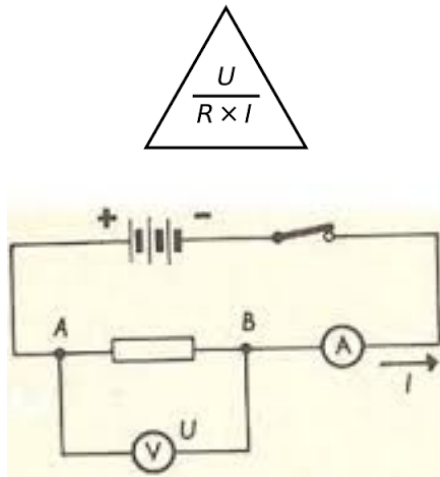
Jednotka – $\text{Ohm} \cdot \text{m}$, $[\Omega \cdot \text{m}^2 \cdot \text{m}^{-1}] = [\Omega \cdot \text{m}]$.

Konduktivita (σ, γ): Reciprokou (prevrátenou) hodnotou rezistivity je konduktivita, tiež nazývaná ako **merná (špecifická) elektrická vodivosť**. $\sigma = 1/\rho$
Jednotka je $[\text{S} \cdot \text{m}^{-1}] = [\text{S/m}]$.



Aplikácia Ohmovho zákona pri štúdiu
elektrických vlastností hornín -
- tzv. geoelektrika

geoelektrika – určovanie elektrických vlastností hornín



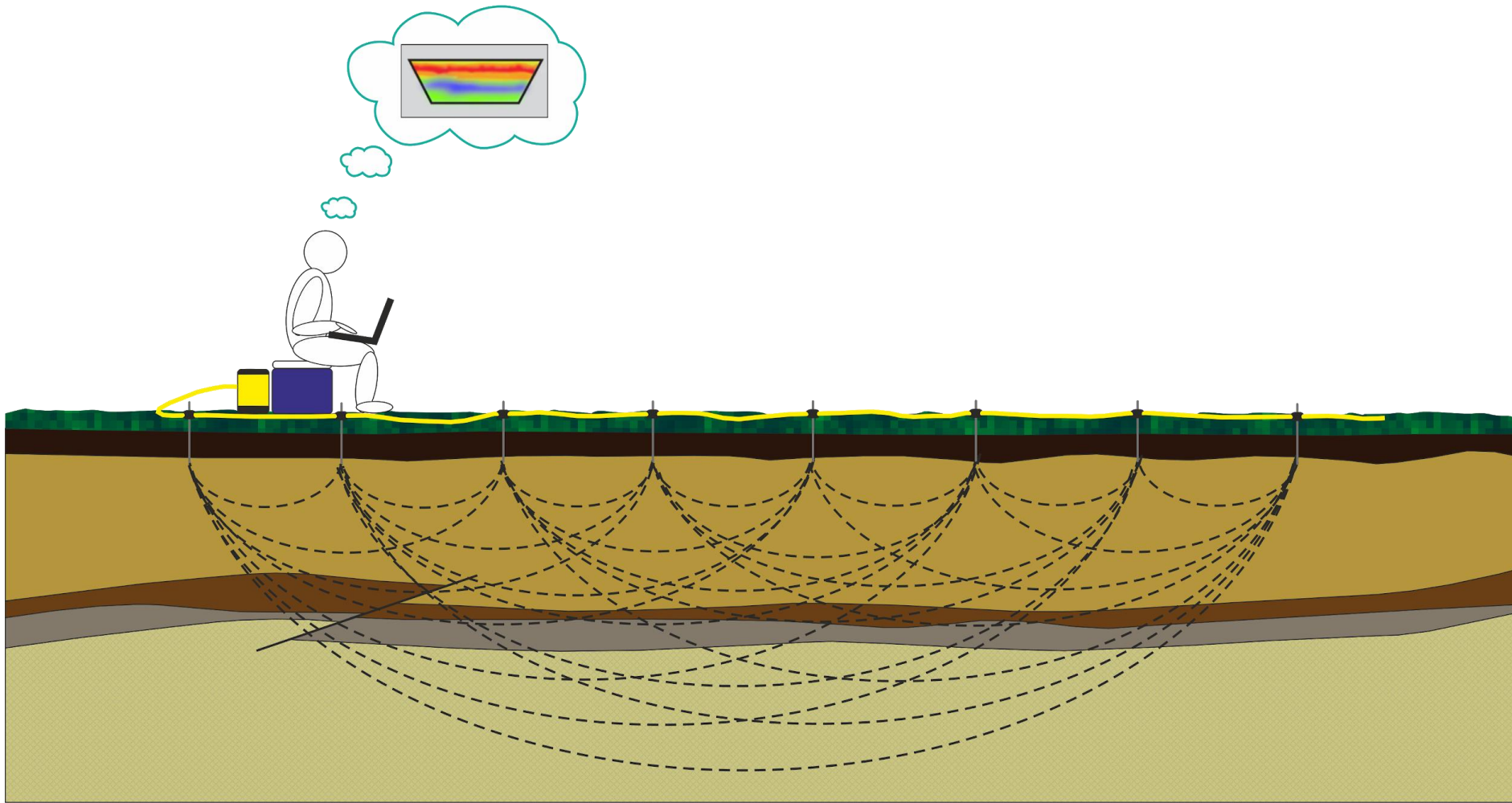
Podobnú schému zapojenia (zdroj, odpor, voltmeter, ampérmeter) môžeme realizovať aj pri štúdiu **merného elektrického odporu (rezistivity) horninového prostredia ($\Omega \cdot m$)**.

Rôznym usporiadaním elektród môžeme získať informácie o elektrickom odpore v ploche alebo smerom do hĺbky.

Hodnoty zisťovaného merného elektrického odporu však závisia od usporiadania elektród a preto vravíme potom o tzv. **zdanlivom mernom odpore (zdanlivej rezistivite) (jednotka zostáva - $\Omega \cdot m$)**.

výsledný parameter – nie iba rezistivita ale tzv. zdanlivá rezistivita

geoelektrika – určovanie elektrických vlastností hornín



geoelektrika – určovanie elektrických vlastností hornín

Tzv. elektrická rezistívna tomografia (ERT) – počítačom riadené vpúšťanie jednosmerného elektrického prúdu cez elektródy v rôznych vzdialenostiach a usporiadaniach – a paralelné meranie rozdielov elektrických potenciálov.

Schéma merania elektrickej odporovej tomografie

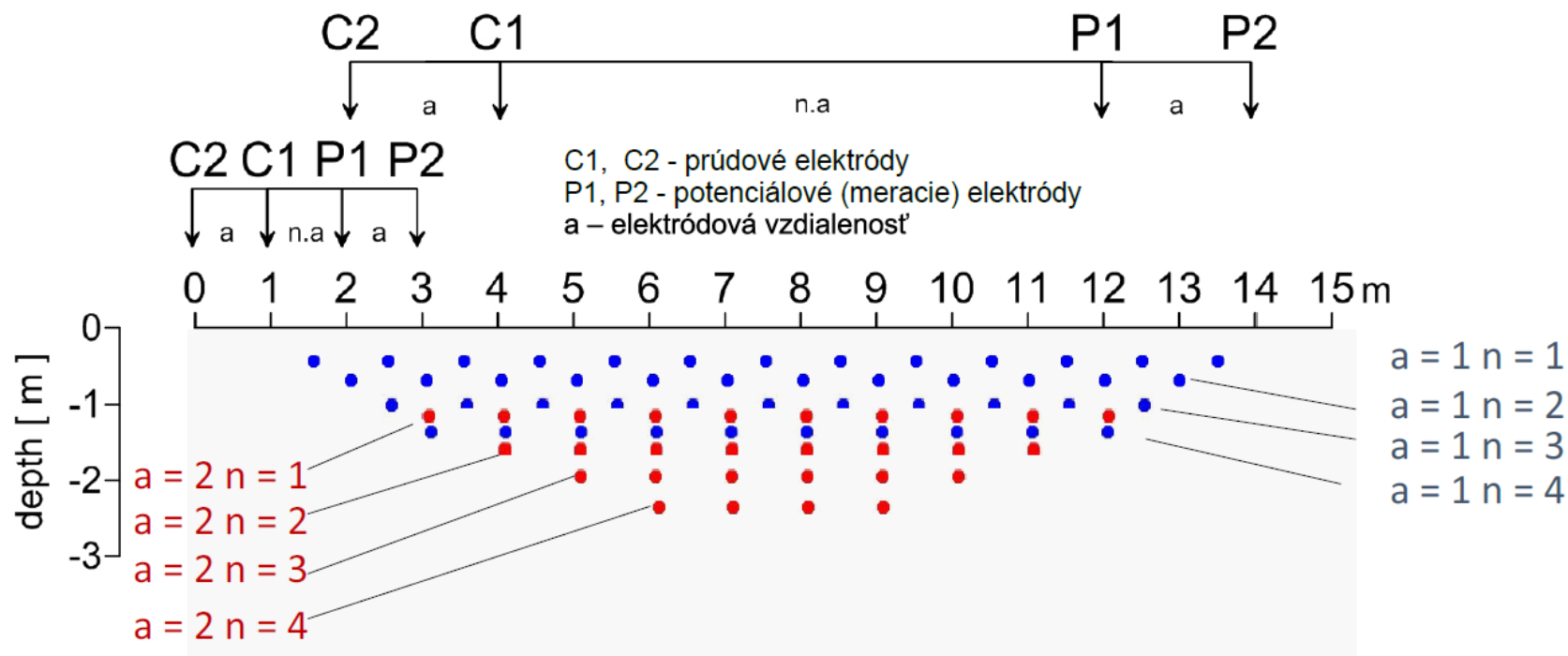
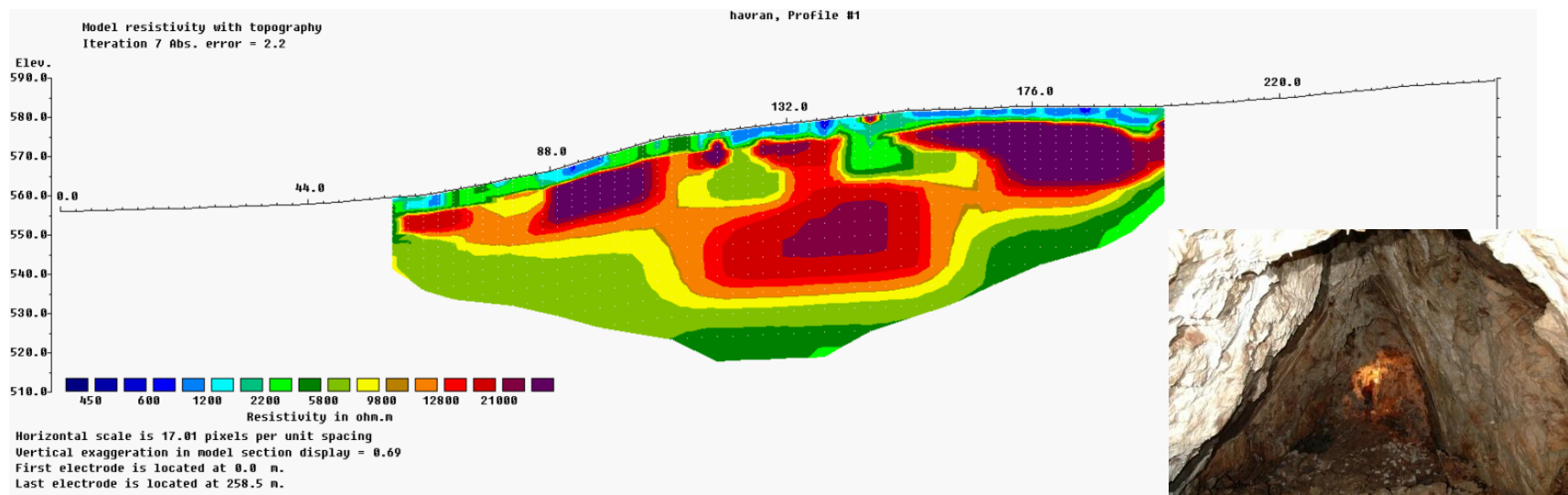


schéma hĺbkového prieniku prúdu pri ERT



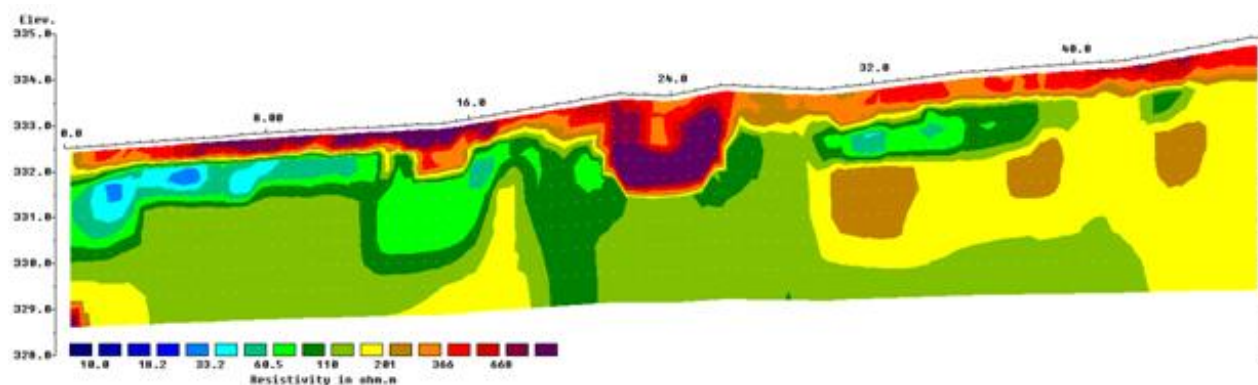
geoelektrika – určovanie elektrických vlastností hornín

Tzv. elektrická rezistívna tomografia (ERT).



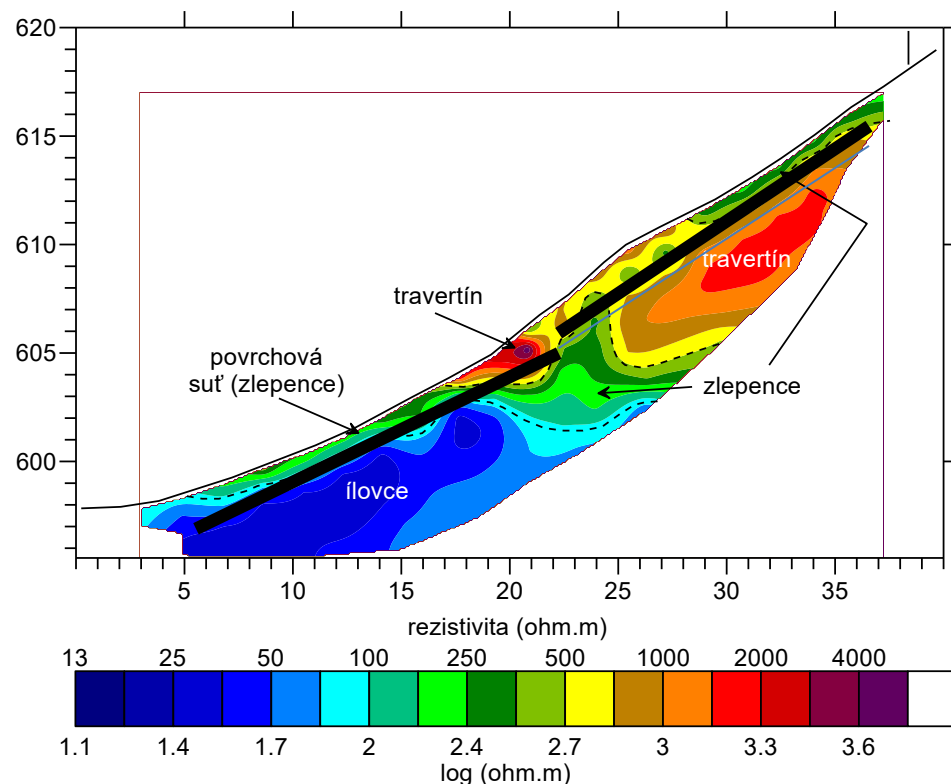
ERT anomália nad jaskyňou Havran (smolenický kras)

prejav bývalej
cisterny na vodu
(kláštor Katarínka
Malé Karpaty)



geoelektrika – určovanie elektrických vlastností hornín

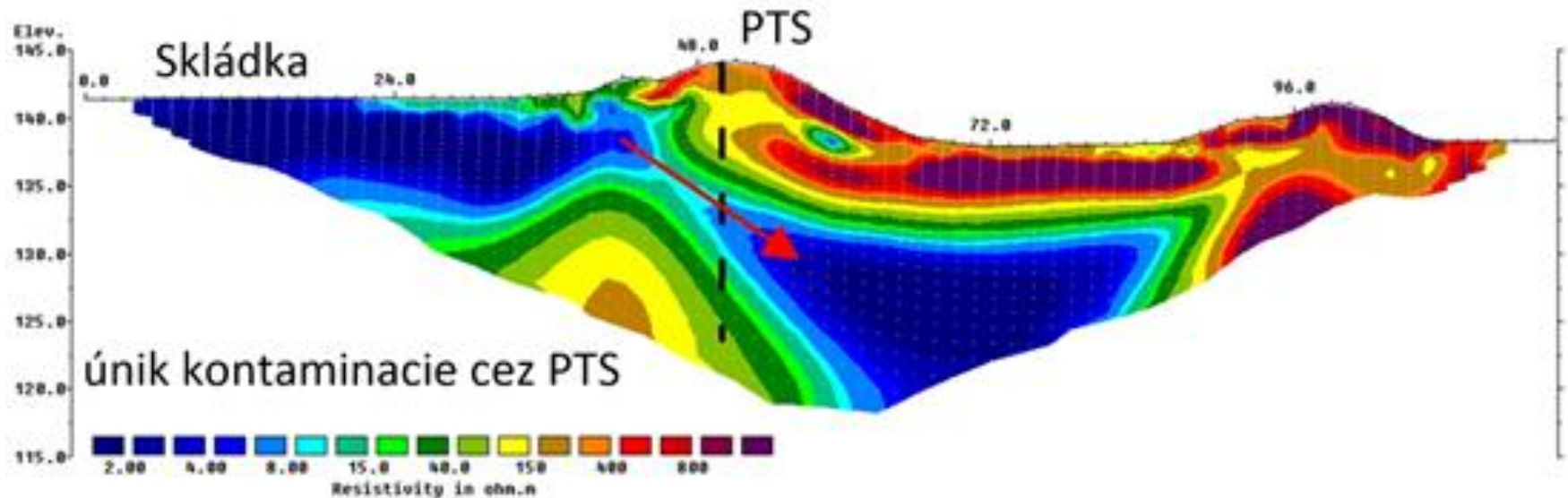
Tzv. elektrická rezistívna tomografia (ERT).



hĺbkový rez hodnôt zdanlivého elektrického odporu (výstup metódy ERT)
s vymapovaním kontaktu hornín na zosuve
lokalita: Spišský hrad

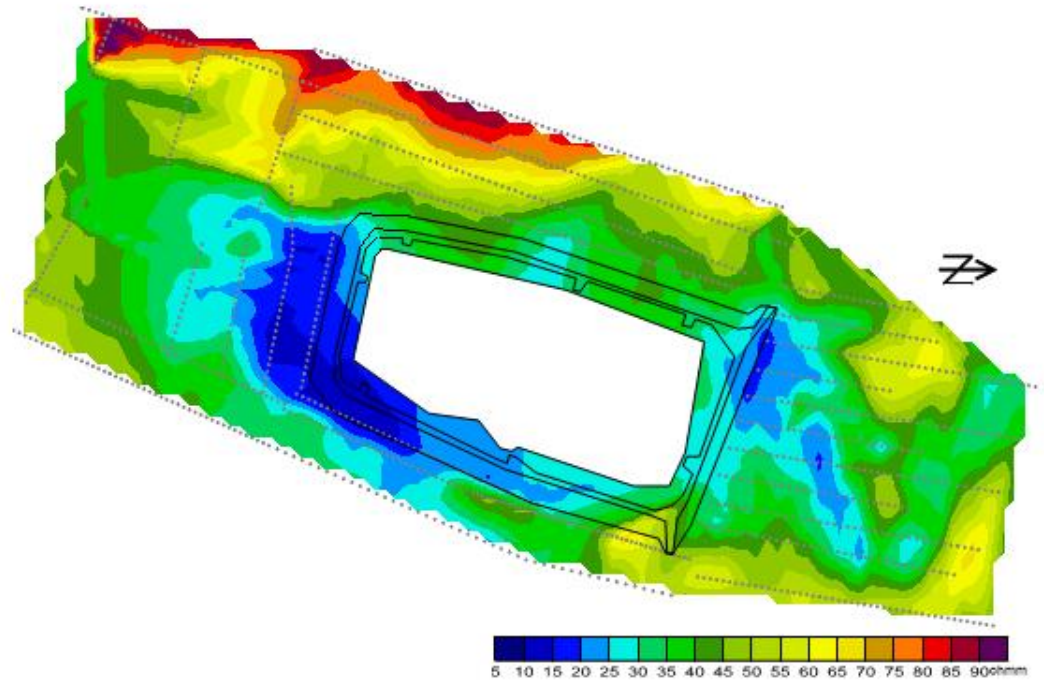
geoelektrika – využitie elektrických vlastností hornín

Tzv. elektrická rezistívna tomografia (ERT).



hĺbkový rez hodnôt zdanlivého elektrického odporu (výstup metódy ERT) s vyznačenou polohou podzemnej tesniacej steny (PTS) a smerom úniku kontaminácie smerom do horninového prostredia, skládka železitých kalov, Šulekovo (pri Hlohovci)

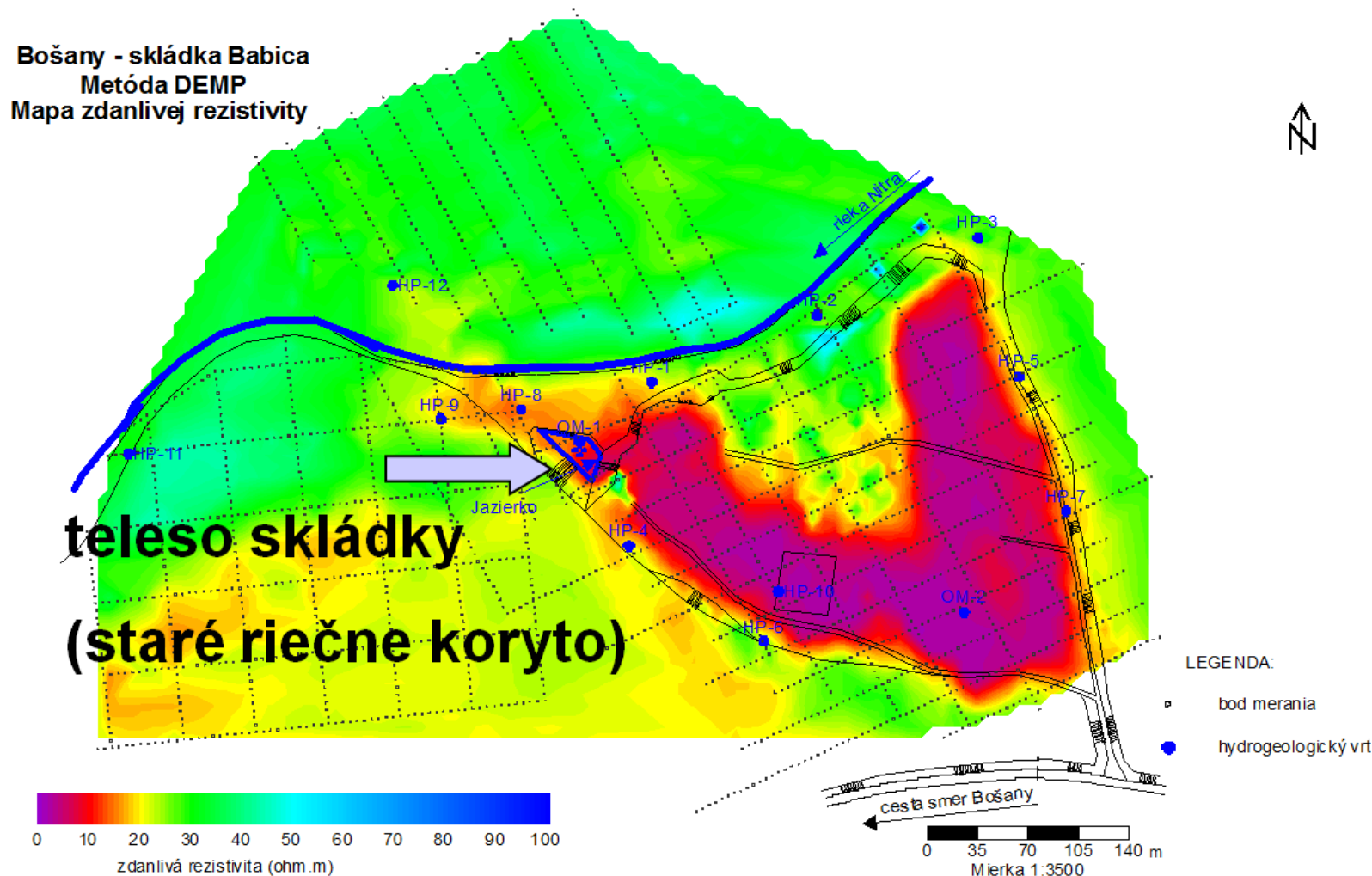
geoelektrika – využitie elektrických vlastností hornín



plošný rez hodnôt zdanlivého elektrického odporu (výstup metódy ERT),
skládka železitých kalov, Šulekovo (pri Hlohovci)

geoelektrika – určovanie elektrických vlastností hornín

Príklad merania merania zdanlivého elektrického odporu:



mapovanie telesa zakrytej skládky (Bošany – skládka Babica) –
mapa zdanlivého elektrického odporu

Obsah prednášky:

- úvodné poznámky
- Coulombov zákon
- základné veličiny (napätie, prúd, odpor)
- Ohmov zákon, rezistivita, konduktivita
- praktické použitie merania rezistivity v geológii
- **striedavý prúd**

základy elektriny – striedavý prúd

Všetky doteraz preberané javy (prúd, napätie) sa nemenili v čase, čiže išlo o tzv. **stacionárne elektrické polia** – buď o pole **elektrostatické** alebo **pole jednosmerného prúdu** (DC – direct current).

V prípade premenlivých polí v čase musíme viaceré veličiny určovať pomocou derivácií:

$$I = dQ/dt \quad (\text{elektrický prúd}),$$
$$J = dI/dS \quad (\text{hustota elektrického prúdu}),$$

Najdôležitejšie časovo premenlivé pole je **striedavý prúd**.

Frekvencia striedavého prúdu sa udáva v jednotkách Hertz (1 Hz = s⁻¹, alebo počet cyklov za sekundu).

základy elektriny – striedavý prúd

Striedavý prúd je najpoužívannejší typ časovo premenlivého elektrického poľa – ktoré sa mení podľa funkcie $\sin()$, s relatívne vysokou frekvenciou – u nás 50 or 60 Hz [s⁻¹]

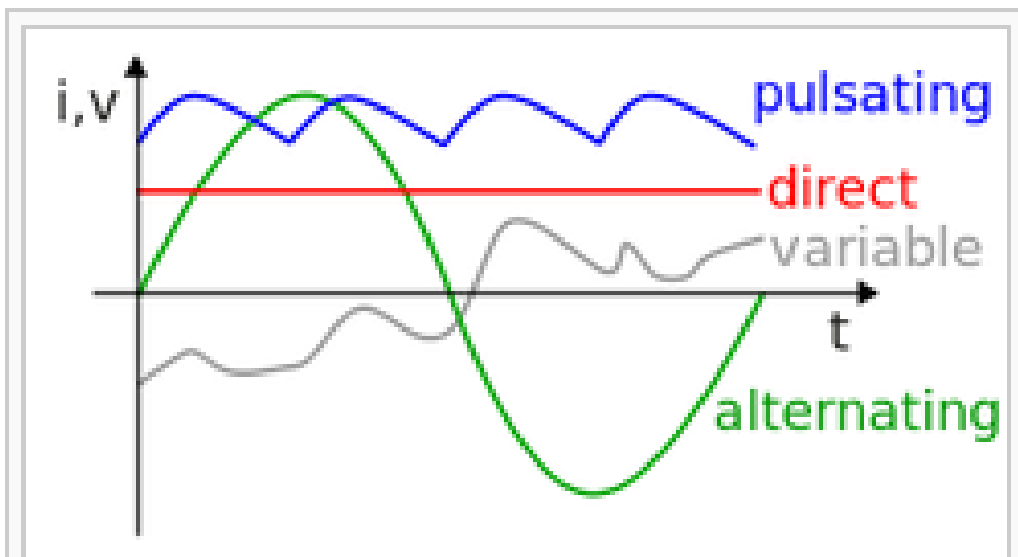
v angličtine: DC – direct current, AC – alternating current



základy elektriny – striedavý prúd

Striedavý prúd je najpoužívanejší typ časovo premenlivého elektrického poľa – ktoré sa mení podľa funkcie $\sin()$, s relatívne vysokou frekvenciou – u nás 50 or 60 Hz [s^{-1}]

v angličtine: DC – direct current, AC – alternating current



Alternating current (green curve). 

The horizontal axis measures time;
the vertical, current or voltage.



základy elektriny – poznámka

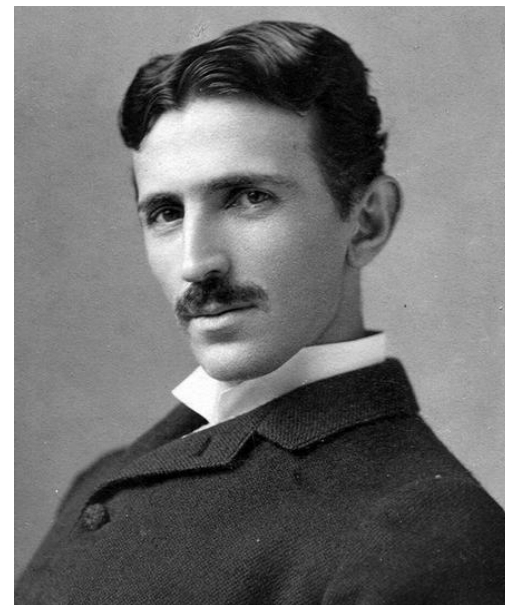
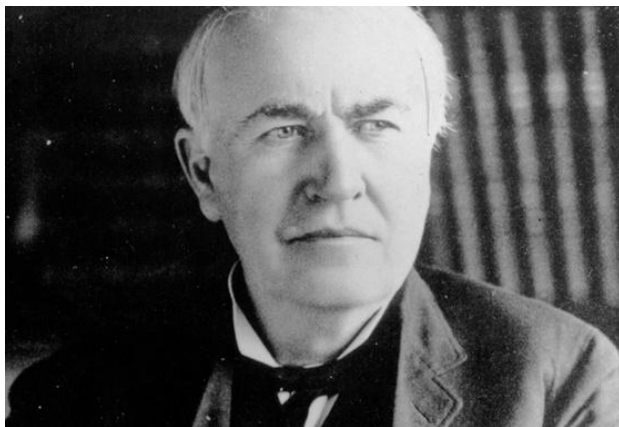
Jednosmerný vs. premenlivý (striedavý) elektrický prúd.

Viete, ktoré 2 veľké osobnosti stáli proti sebe vo veľkom spore, čo sa týka ich zavedenia do praxe?

základy elektriny – poznámka

Jednosmerný vs. premenlivý (striedavý) elektrický prúd.

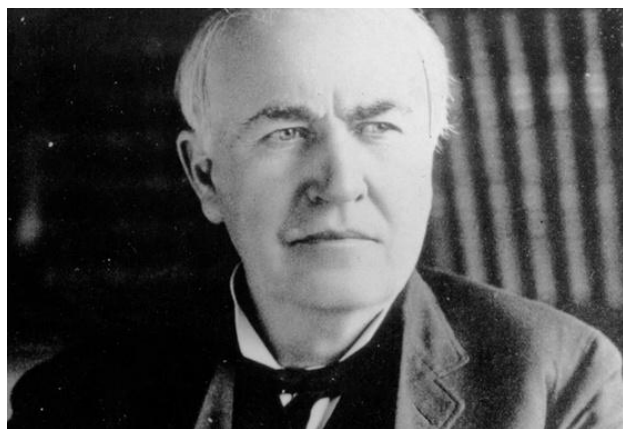
Viete, ktoré 2 veľké osobnosti stáli proti sebe vo veľkom spore, čo sa týka ich zavedenia do praxe?



základy elektriny – poznámka

Jednosmerný vs. premenlivý (striedavý) elektrický prúd.

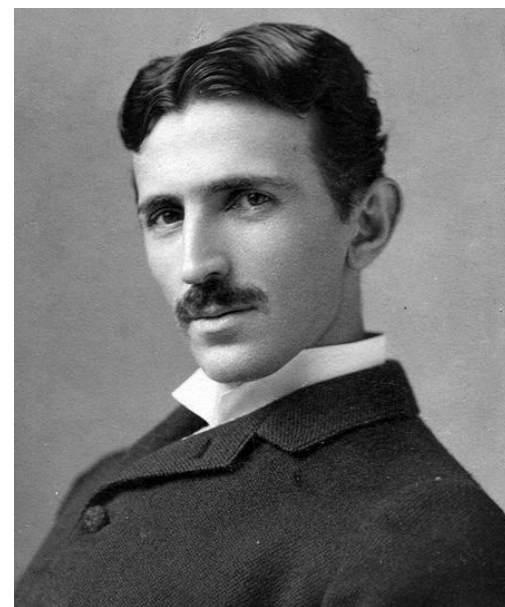
Viete, ktoré 2 veľké osobnosti stáli proti sebe vo veľkom spore, čo sa týka ich zavedenia do praxe?



Thomas Alva Edison

11. február 1847, Milan, Ohio, USA –

18. október 1931, West Orange, New Jersey, USA



Nikola Tesla

10. júl 1856, Smiljan, Rakúske cisárstvo
(dnes Chorvátsko) –

7. január 1943, New York, USA