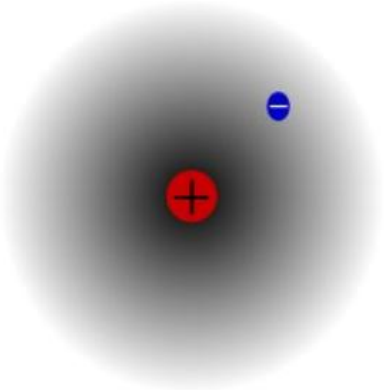
Fyzika Zeme

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

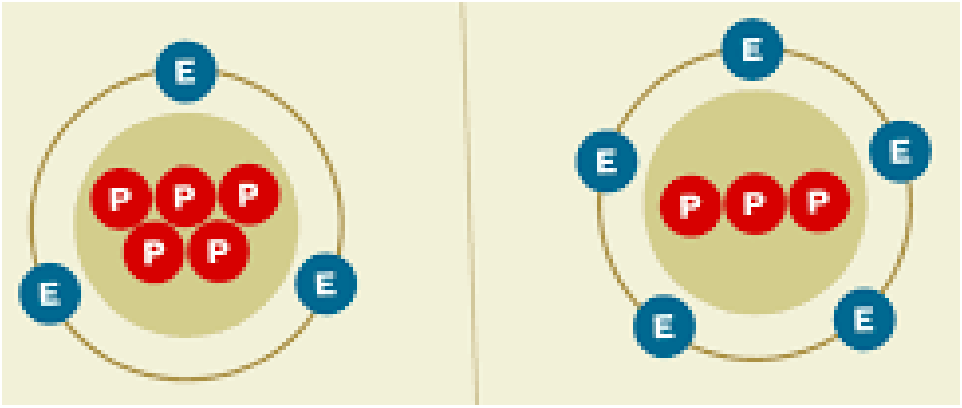
Obsah prednášky:

- 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).

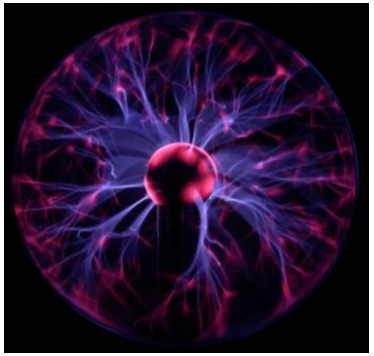
V elektrolytoch (aj taveninách), ako je napr. morská voda sú nosičom náboje rozpustené katióny (kladne nabité ióny) a anióny (záporne nabité ióny).

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

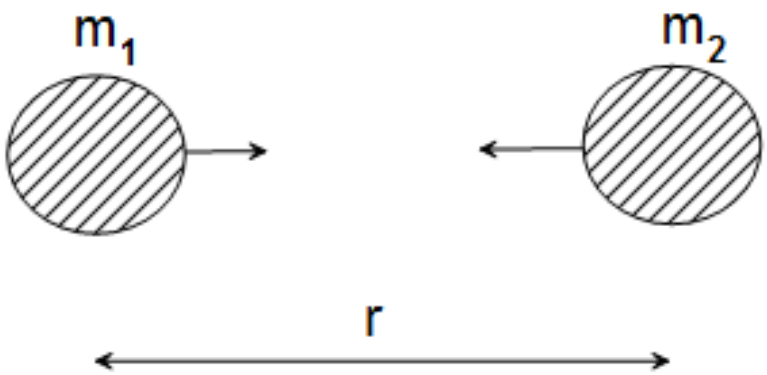
V polovodičoch sú uznávané dva druhy nosičov nábojov. Prvý z nich sú valenčné elektróny. Druhým sú nepriamo sa pohybujúce (ako keby) kladné náboje – uvoľnené miesta po valenčných elektrónoch (tzv. diery) sú doplňované ďalšími elektrónmi – vytvárajú dojem, ako keby sa pohyboval (niesol) kladný náboj.

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

Izolant - ak látka neobsahuje žiadne voľné náboje.

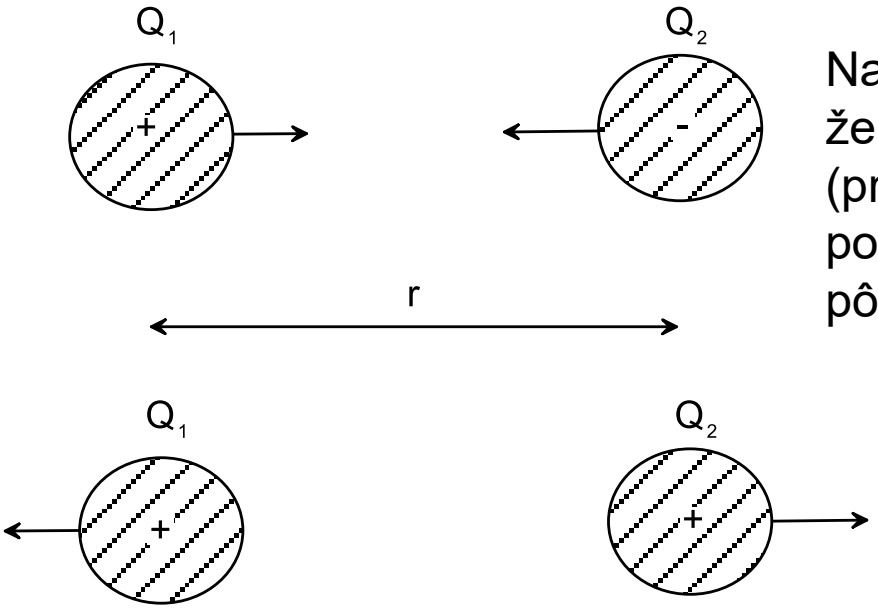


základy elektriny – Coulombov zákon



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

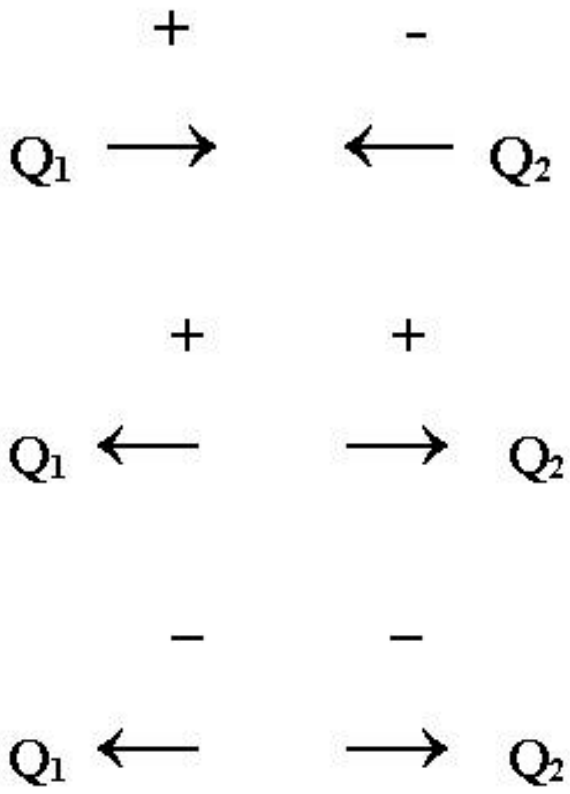
$$\left|\vec{F}_g\right| = F_g \approx \frac{m_1 m_2}{r^2}$$



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.

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

základy elektriny – Coulombov zákon



Častice so znamienkovo opačnými nábojmi sa priťahujú, s rovnakými sa odpudzujú.

Plný zápis (Coulombovho zákona):
Veľkosť sily medzi dvoma bodovými nábojmi je priamo úmerná veľkostiam súčinu nábojov a nepriamo úmerná druhej mocnine vzdialenosti medzi nimi.

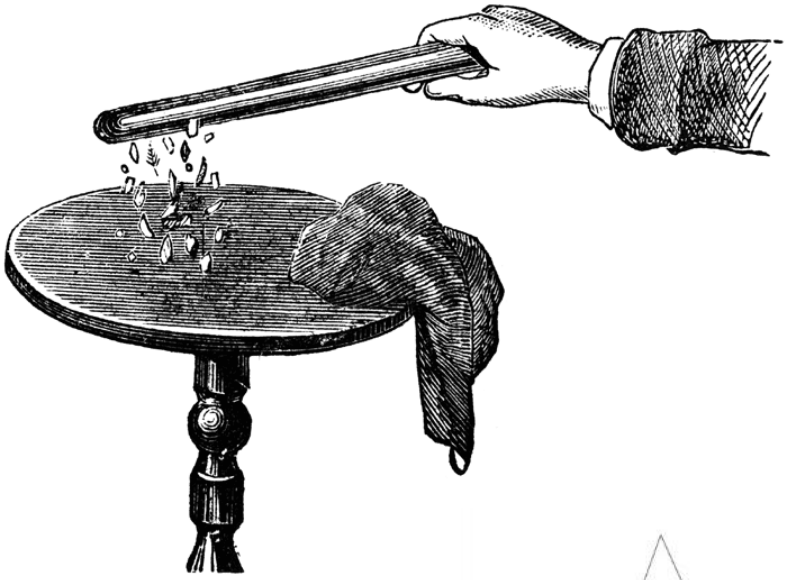
$$\left|\vec{F}_e\right| = F_e = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q_1 Q_2}{r^2}$$

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 $1/4\pi\varepsilon_0$ sa niekedy označuje ako Coulombova konštanta $K_e = 8.987 \cdot 10^{-9}$ N·m^2·C^{-2} .

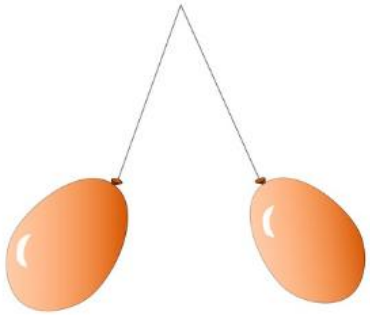
Zákon je pomenovaný podľa svojho autora: Charlesa Augustina de Coulomb.

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 -Qe.

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 srsť
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 Voltu, vynálezcu elektrického článku (1800).



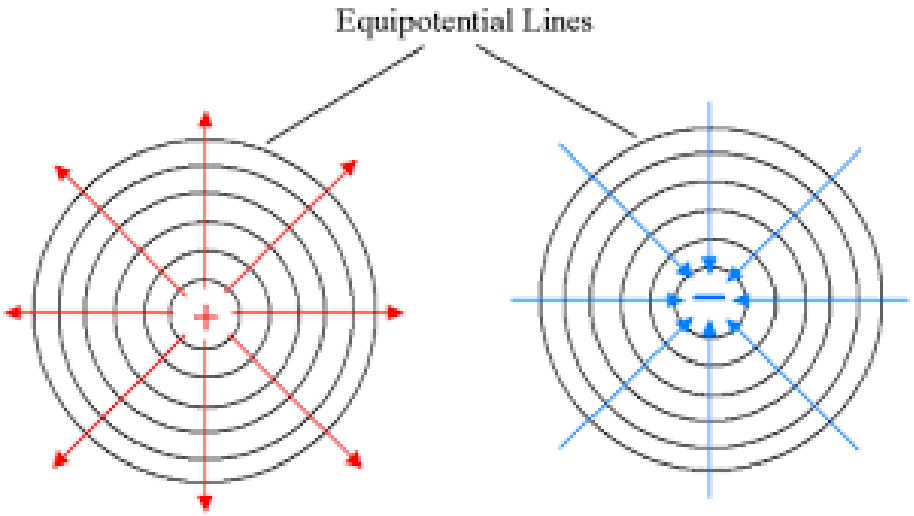
základy elektriny – monopól

Elektrický potenciál (φ):

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

$$\varphi = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q}{r} = K_e\frac{Q}{r}$$

Takéto pole tiež nazývame ako tzv. centrálne 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

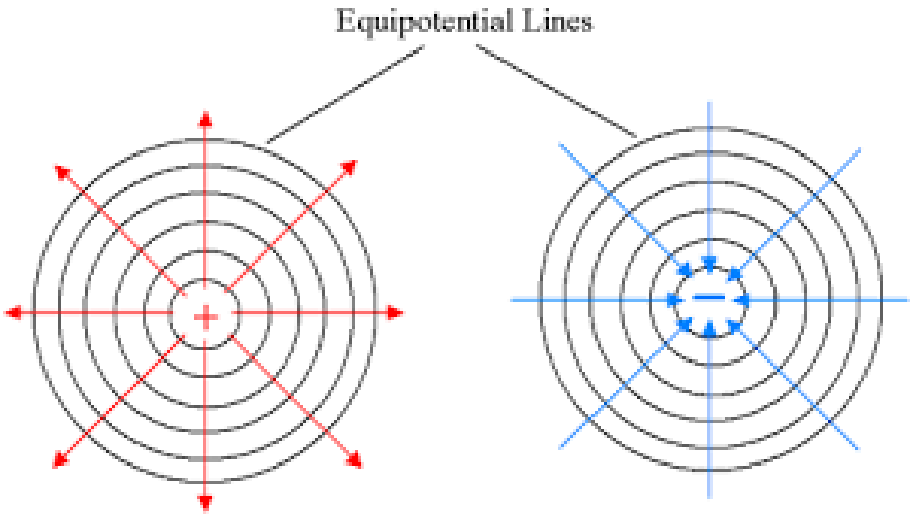
Elektrické pole (E):

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

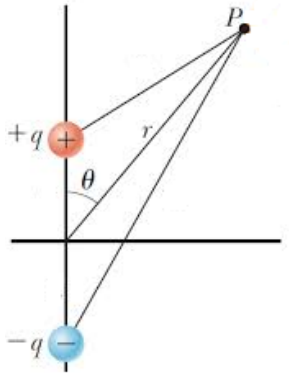
Pre bodový zdroj (monopól) platí:

$$\left|\vec{E}\right| = -\frac{d\varphi}{dr} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q}{r^2}$$

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



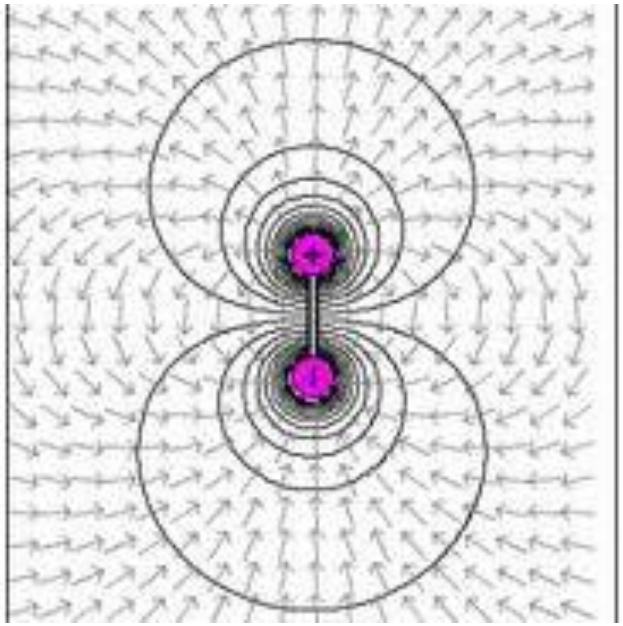
základy elektriny – dipól

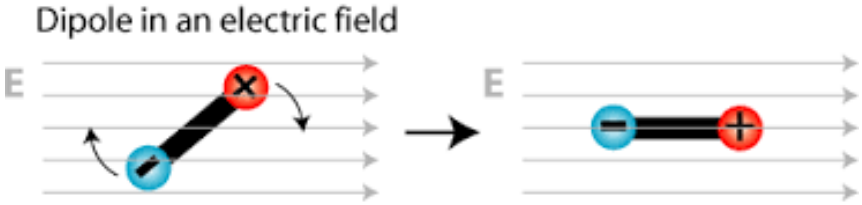


Pri veľmi blízkom priblížení nábojov s opačnými znamienkami vzniká elektrický dipól.

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

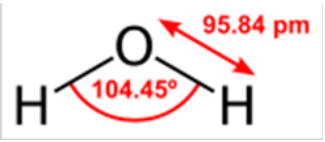
$$\varphi = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{M\cos\theta}{r^2}$$



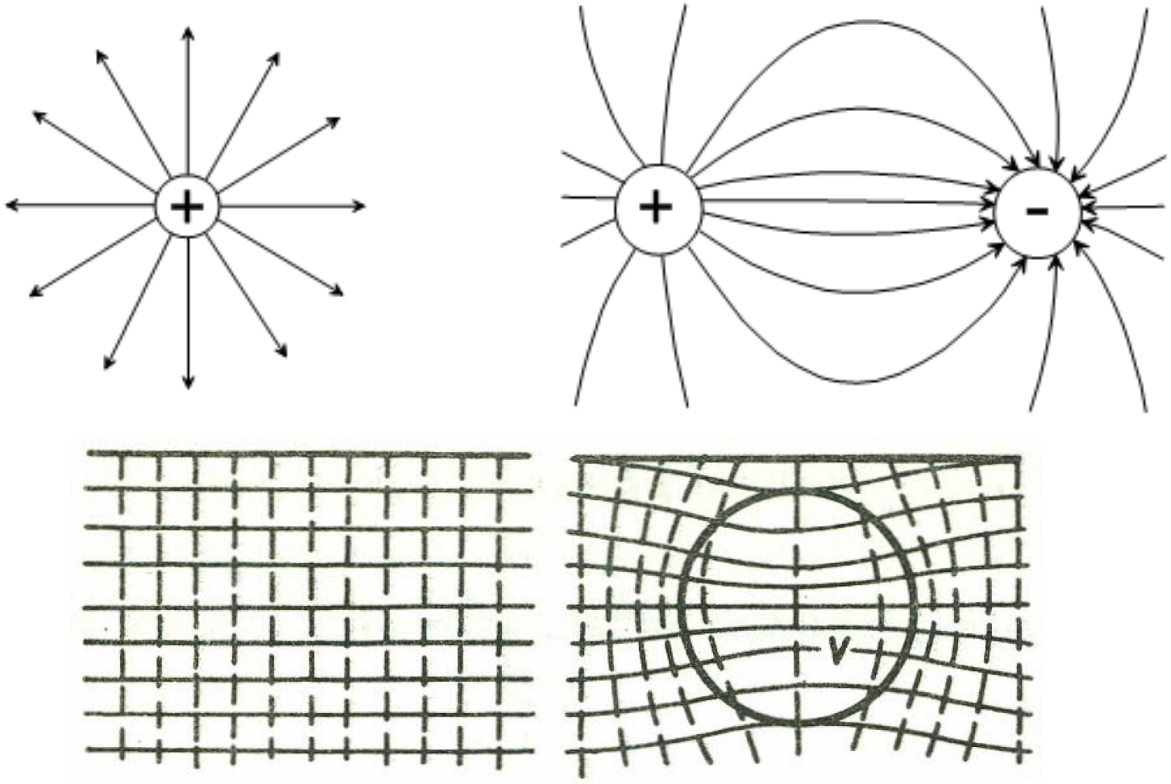


Dipól sa orientuje vo smere vonkajšieho elektr. poľa.

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



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

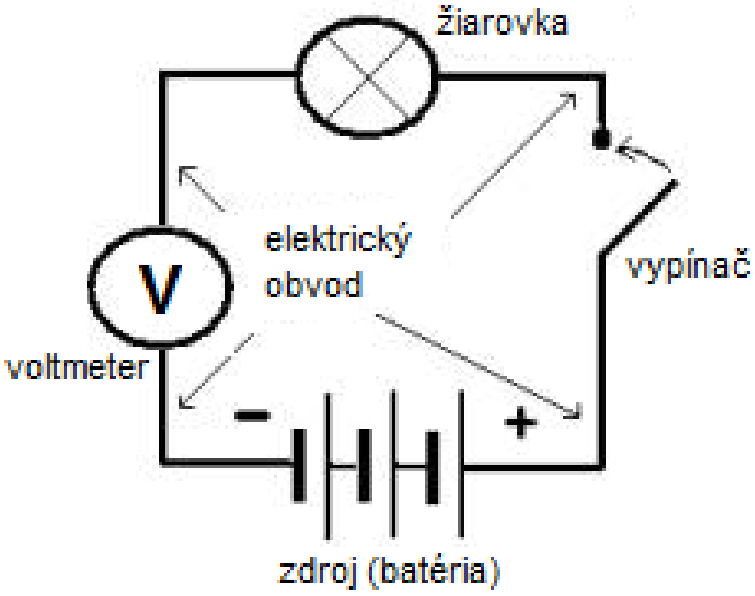
elektrické pole s vloženou vodivou nehomogenitou

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

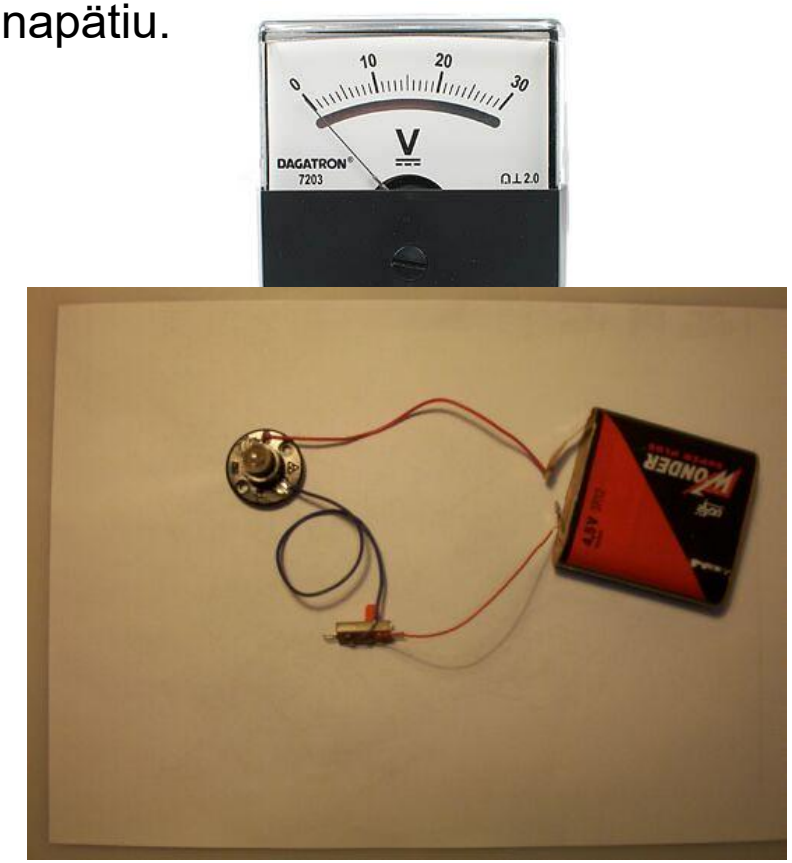
základy elektriny – elektrické napätie

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

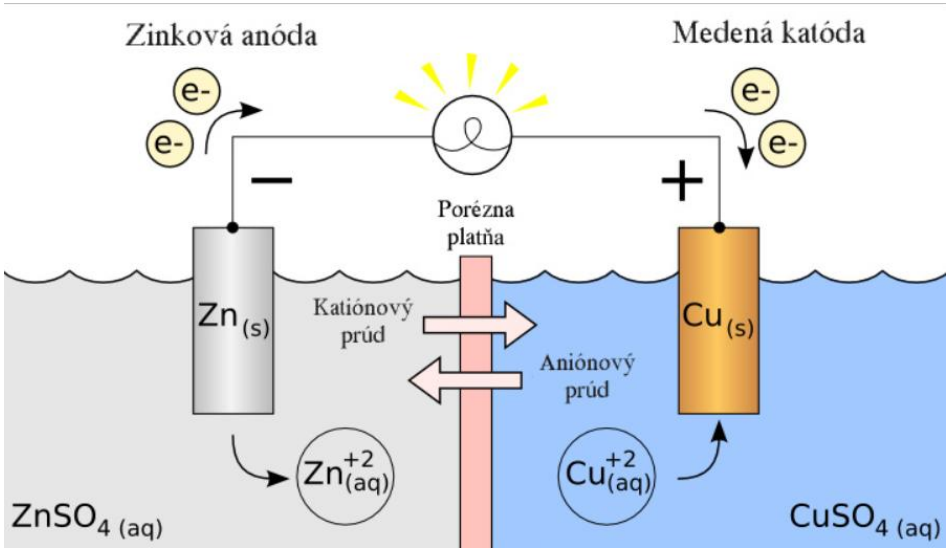
Prístroj na meranie elektrického napätia sa nazýva voltmeter a zapája sa paralelne k meranému napätiu.

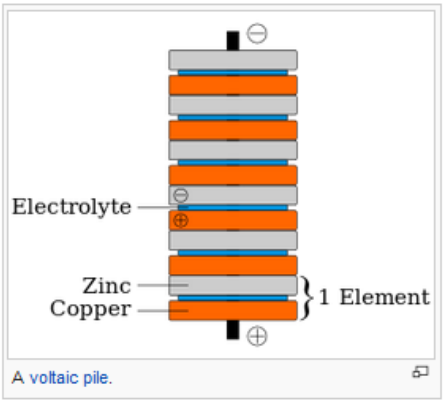


Príklad jednoduchého elektrického obvodu



objaviteľ batérie (elektrochem. článku): Alessandro Volta (1800)





A voltaic pile.



- do elektrolytu prechádzajú kladné ióny zinku Zn^{+2} a reagujú s H_2SO_4 - vznike $ZnSO_4$
- zo zinkovej anódy se potom odvádzajú elektróny vonkajším el. obvodom - vyrovnává sa tak porušenie rovnovážneho stavu mezi katódou a elektrolytom
- kladné vodíkové ióny v elektrolyte preberajú na medenej katóde elektróny prichádzajúce vonkajším obvodom z katody a nastáva vylučovenie 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

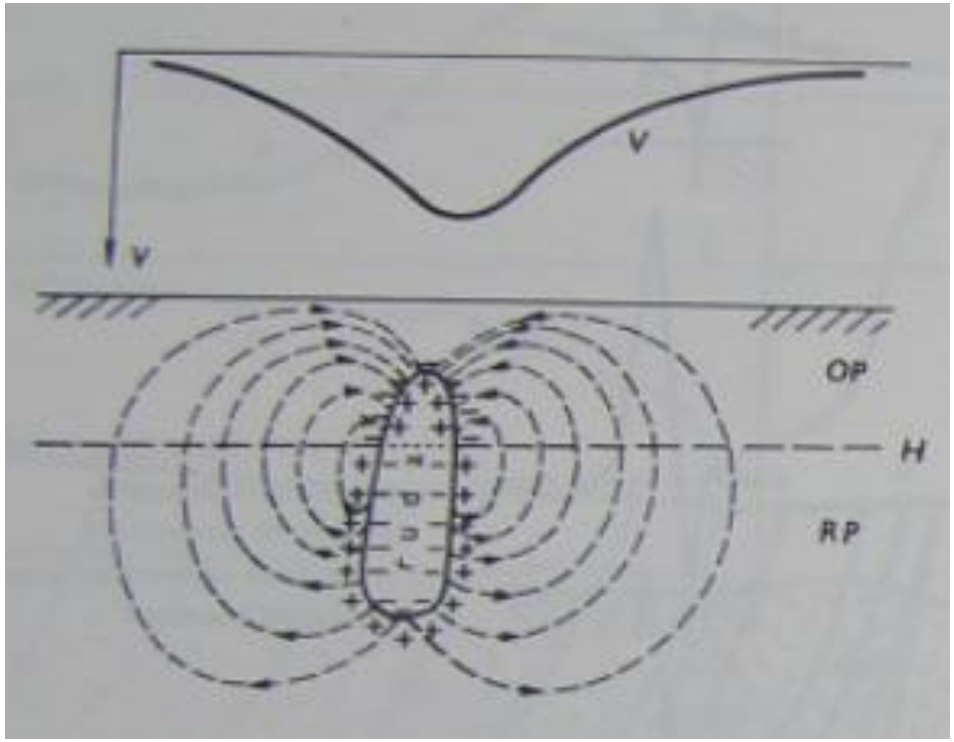


taliansky fyzik

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.

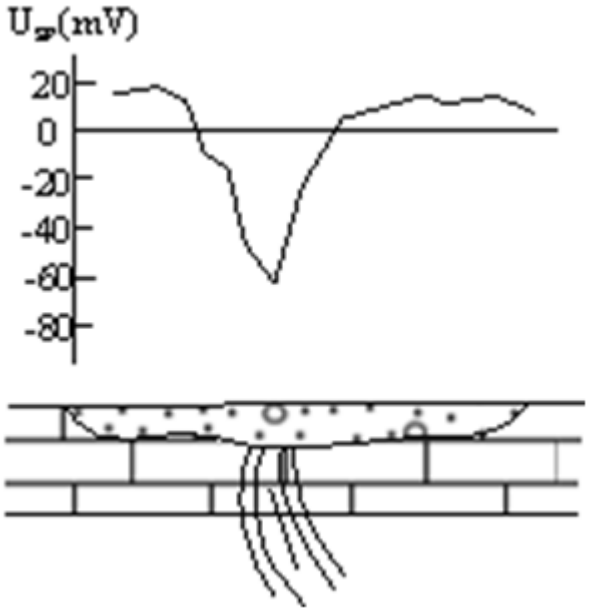
Vrchná časť vodivého rudného telesa (väčšinou oxidy a sulfidy kovov) sa nachádza nad hladinou podzemnej vody v oxidačnom prostredí (pri oxidácii sa odoberajú látke elektróny),

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

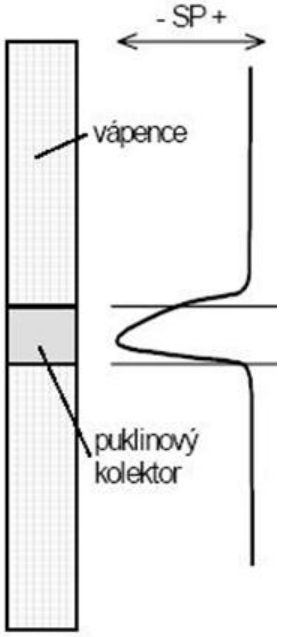
Tieto zmeny elektrického potenciálu je možné merať a tým vyhľadávať takéto rudné štruktúry (tzv. geofyzikálna metóda spontánnej polarizácie - SP).

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.

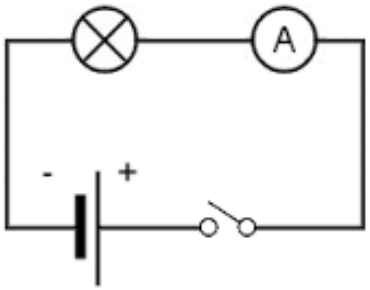
$$I = Q/t \quad (Q - \text{elektrický náboj, } t - \text{čas})$$

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

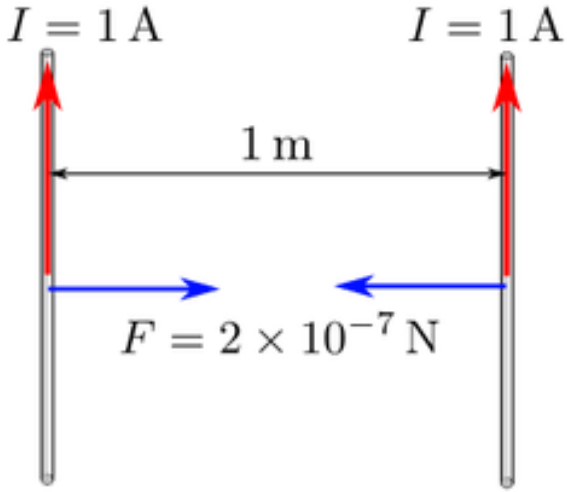
Ampér (staršia definícia): stály elektrický prúd, ktorý pri prechode dvoma priamymi rovnobežnými nekonečne dlhými vodičmi zanedbateľného kruhového prierezu, umiestnenými vo vákuu vo vzdialenosti 1m od seba, vyvolá silu $2 \cdot 10^{-7}$ N na 1 meter dĺžky vodičov.

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.

$I = Q/t$ (Q – elektrický náboj, t - 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 elementárného 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 ($Q_e = 1.60217 \cdot 10^{-19}$ C) a počet elektrónov rovný n, tak:

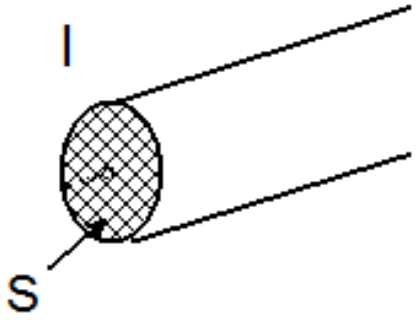
$$Q = n \cdot Qe \quad \Rightarrow \quad I = n \cdot Qe/t$$

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:

$$J = I/S$$

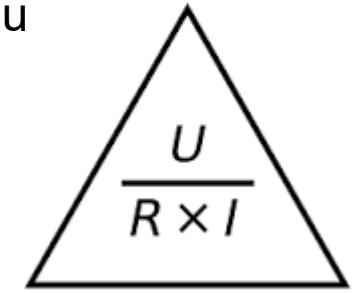
(S – obsah plochy kolmej na smer prúdu)



základy elektriny – elektrický odpor a vodivosť

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**:



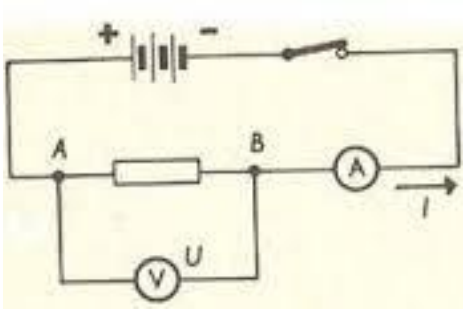
$$R = U/I$$

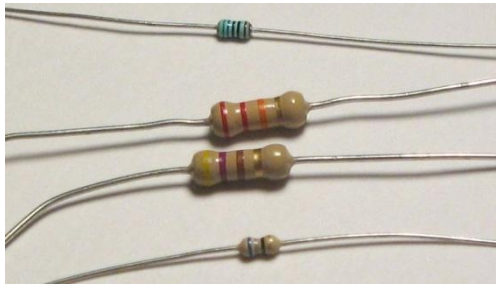
Jednotka – Ohm, [Ω] = [V/A] = [kg·m^2·s^{-3}·A^{-2}]).
Jednotka nesie meno podľa nemeckého fyzika Georga Simona Ohma (1789 - 1854).

Prístroj na meranie elektrického odporu sa nazýva ohmmeter.

Súčiastkou s definovaným elektrickým odporom je rezistor.

Príklad schémy jednoduchého elektrického obvodu s rezistorom.



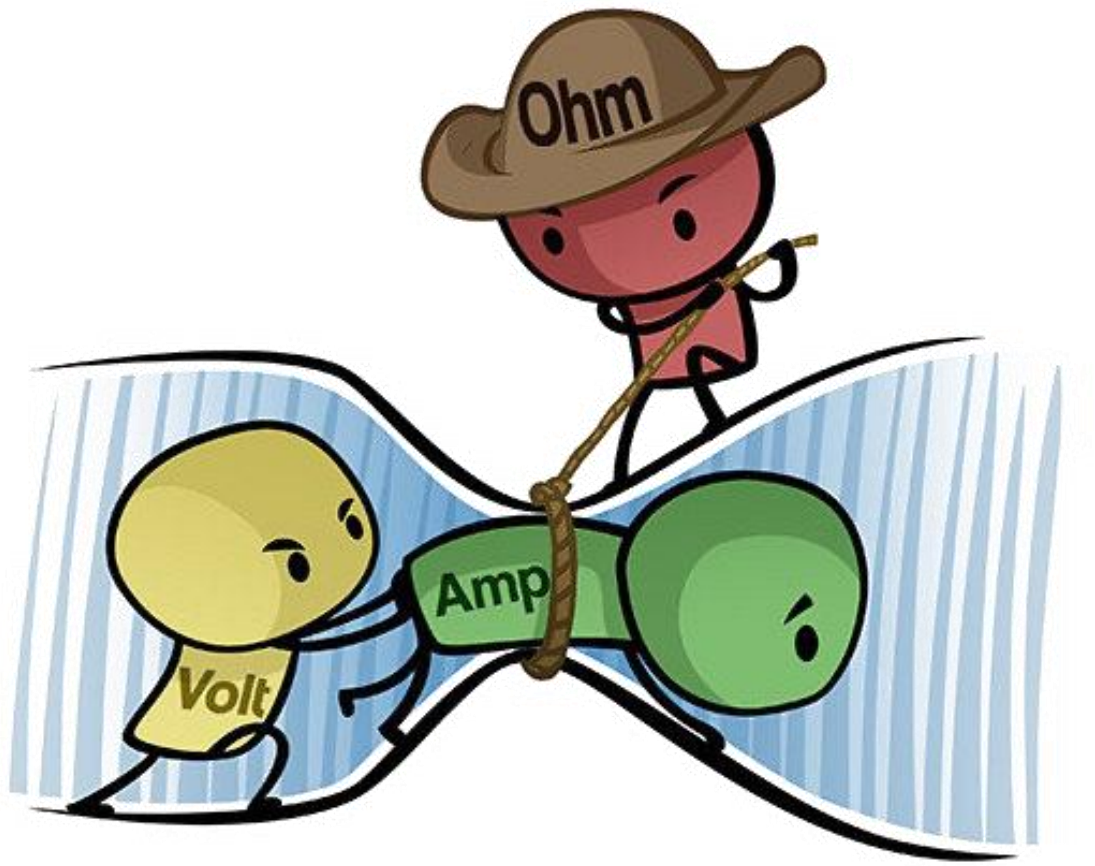


Elektrická vodivosť (G): je reciprokou (prevrátenou) hodnotou elektrického odporu. $G = I/U = 1/R$,
Jednotka - Siemens, [S] = [Ω^{-1}] = [kg^{-1}·m^{-2}·s^3·A^2]).

základy elektriny – elektrický odpor a vodivosť

Ohmov zákon: $R = U/I$

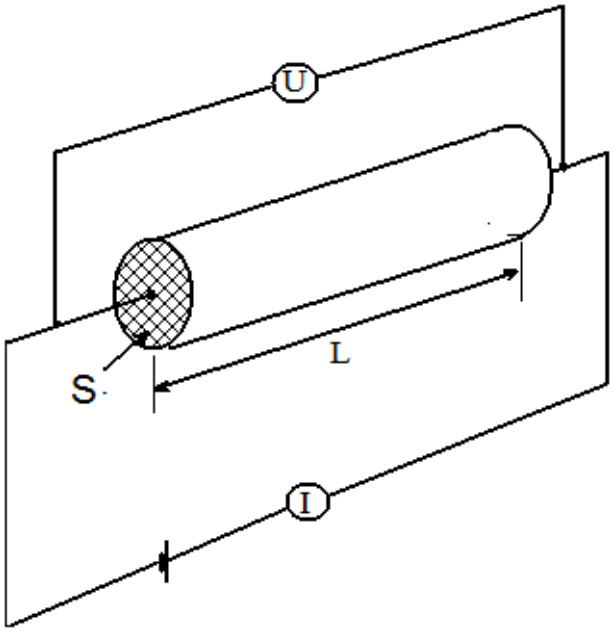
R – elektrický odpor [Ω], U – elektrické napätie [V], I – elektrický prúd [A]



základy elektriny – rezistivita

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

$$\rho = RS/L$$

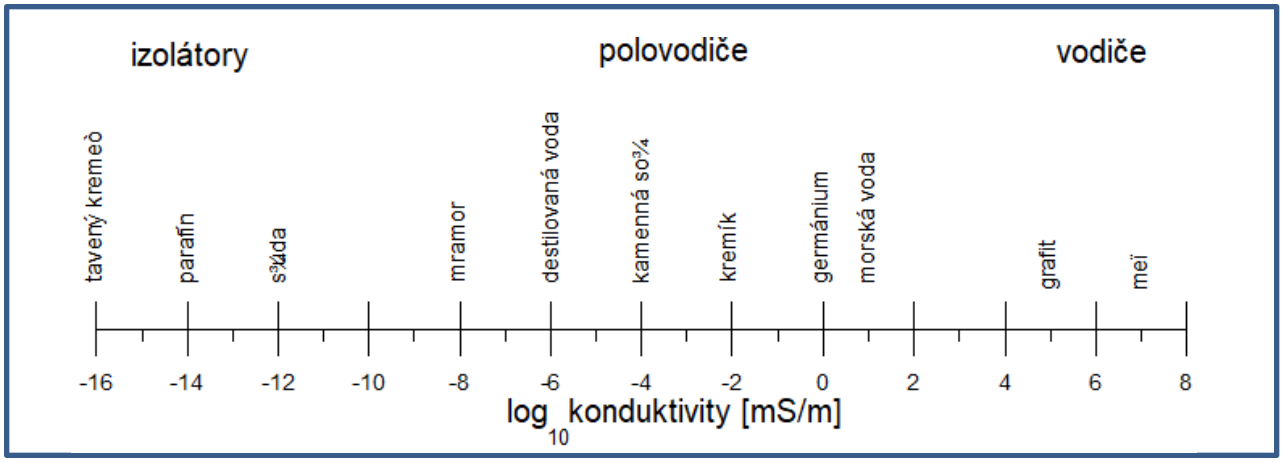


Niekedy sa nazýva ako merný (špecifický) elektrický odpor.

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

Konduktivita (σ,γ): Reciprokou (prevrátenou) hodnotou rezistivity je konduktivita, tiež nazývaná ako merná (špecifická) elektrická vodivosť. $\sigma = 1/\rho$

Jednotka je $[S \cdot m^{-1}] = [S/m]$.



základy elektriny – polarizovateľnosť

Vodič: látka, ktorá vedie elektrický prúd.

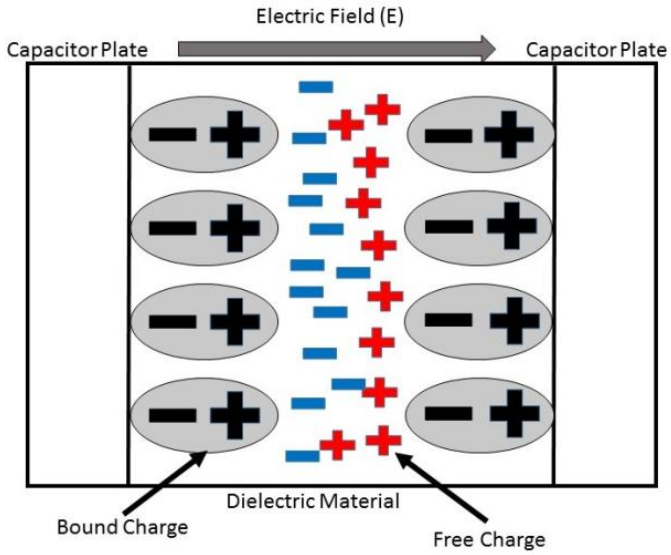
Dielektrikum:

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):

$$\varepsilon_r = \varepsilon / \varepsilon_0$$



ε_r je relatívna elektrická permitivita (tzv. dielektrická konštanta). (vzduch=1, vápenec=5, íl = 20, voda=81)

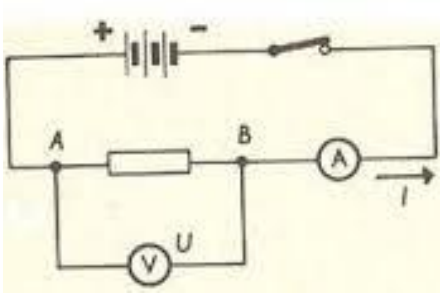
ε_0 je elektrická permitivita vákua

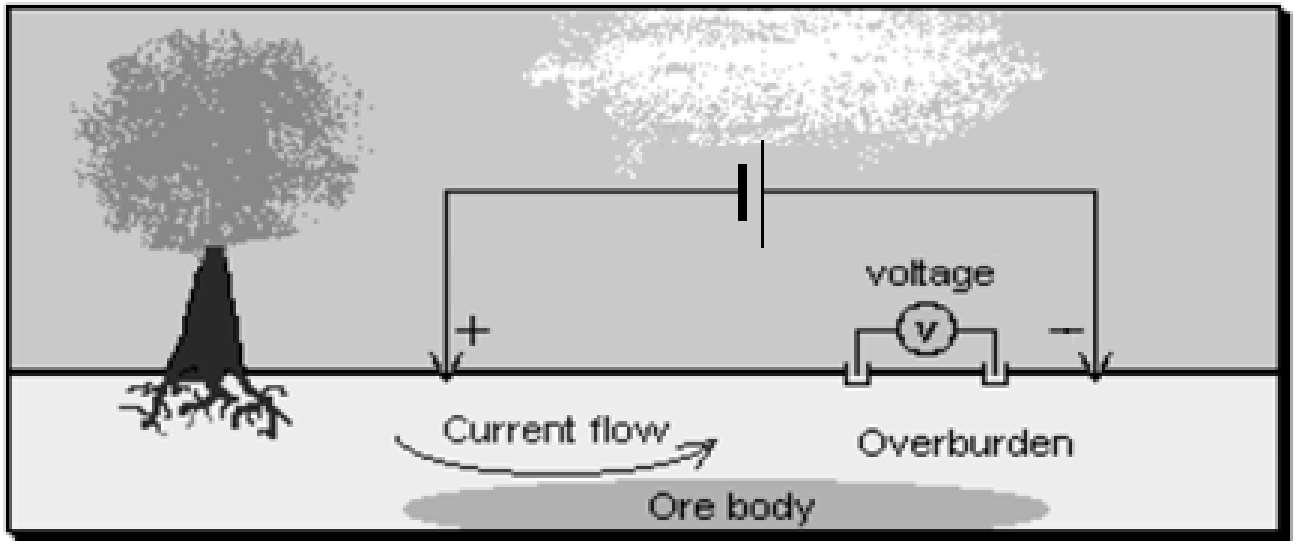
Elektrotechnická súčiastka = kondenzátor (dielektrikum medzi kovovými platňami).

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

geoelektrika – určovanie elektrických vlastností hornín







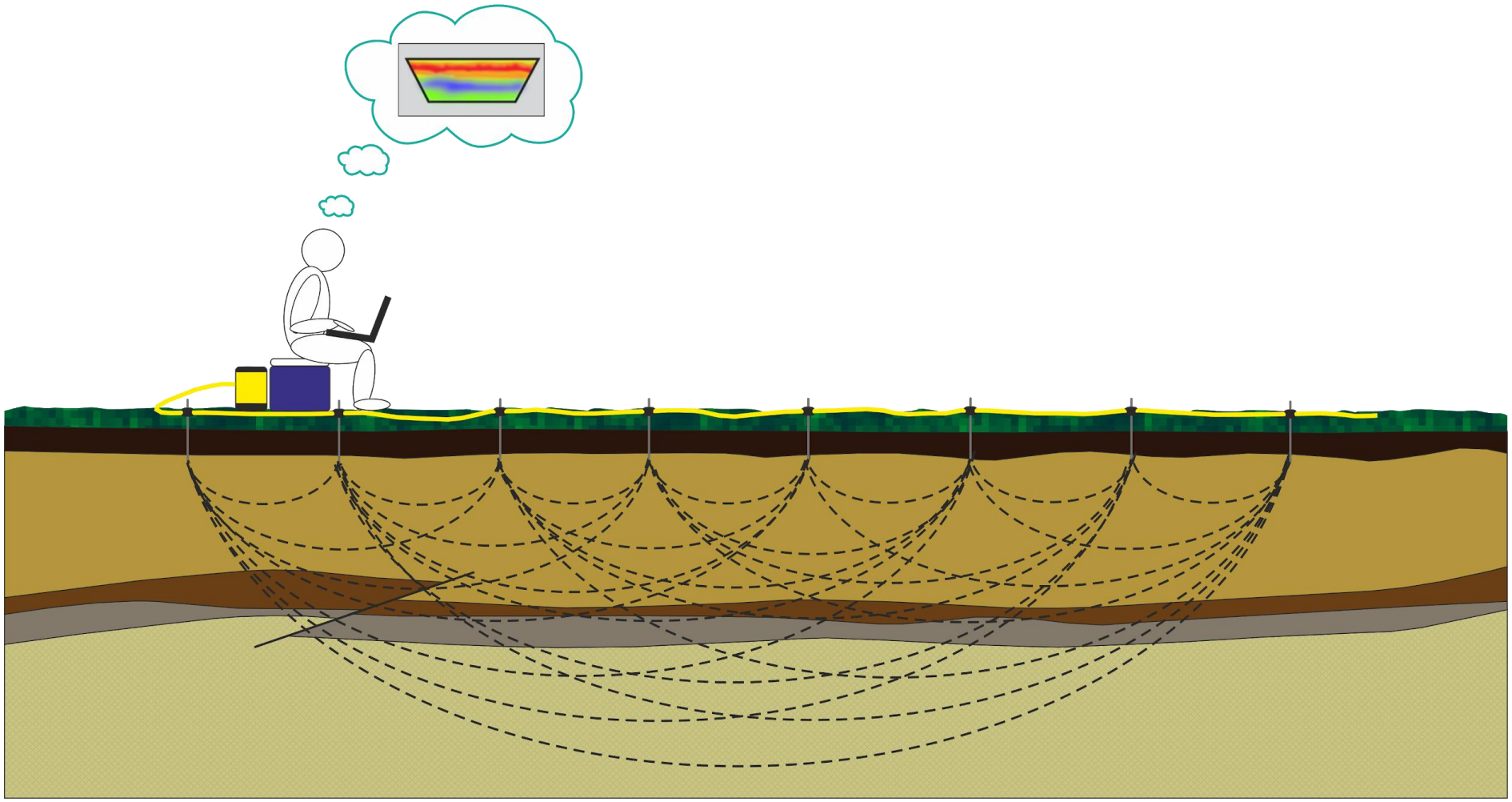
Podobnú schému zapojenia (zdroj, odpor, voltmeter, ampérmeter) môžeme realizovať aj pri štúdiu merného elektrického odporu (rezistivity) horninového prostredia (Ω·m).

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 - Ω·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.

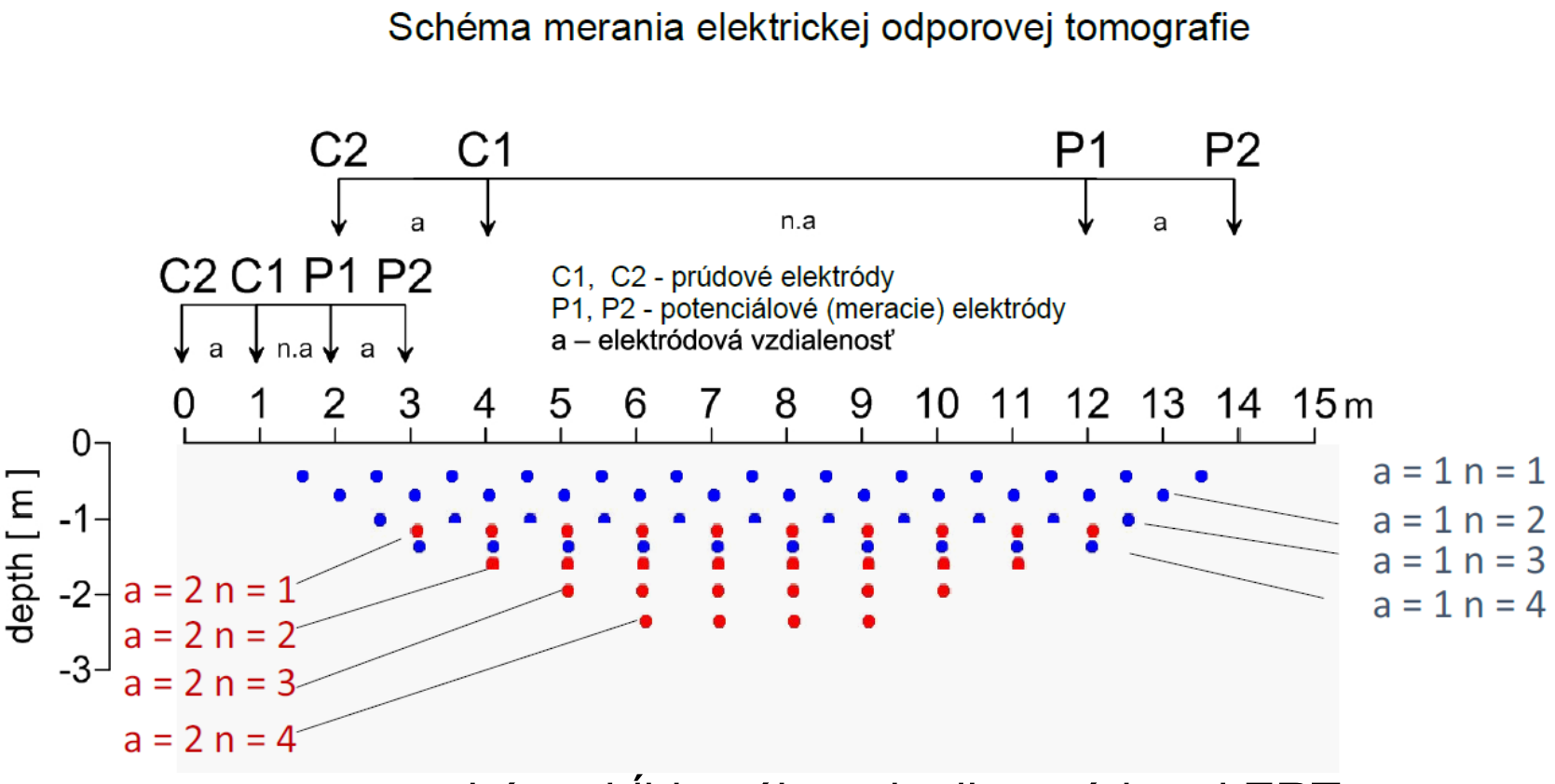
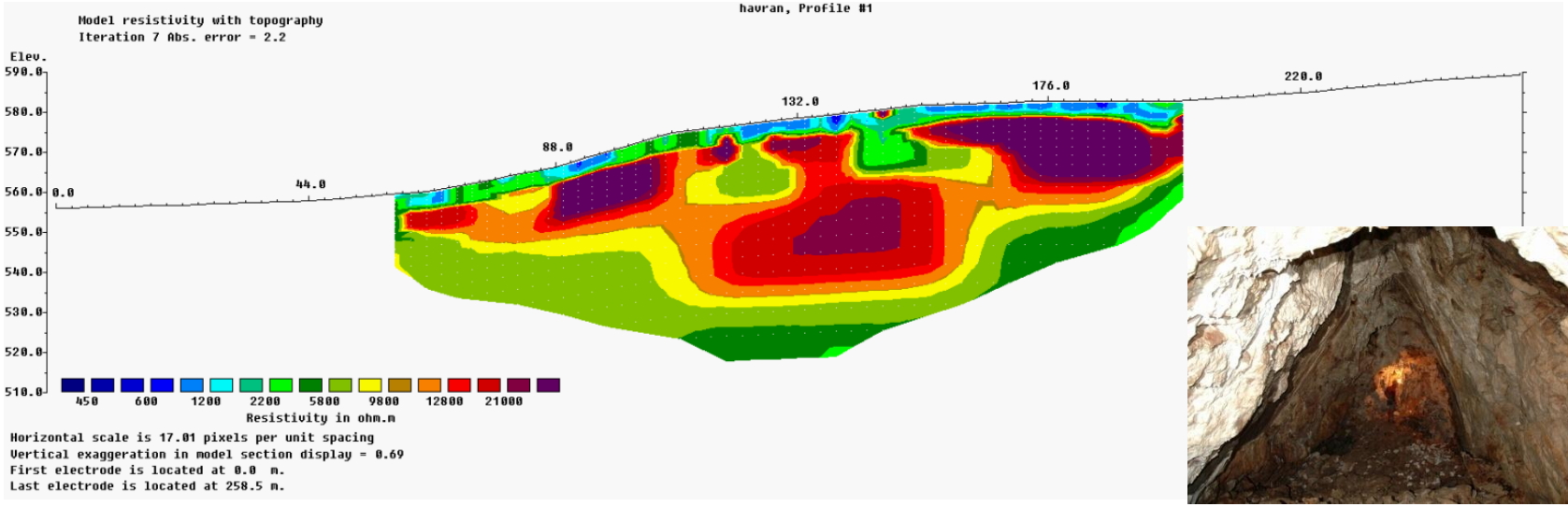


schéma hĺbkového prieniku prúdu pri ERT



geoelektrika – určovanie elektrických vlastností hornín

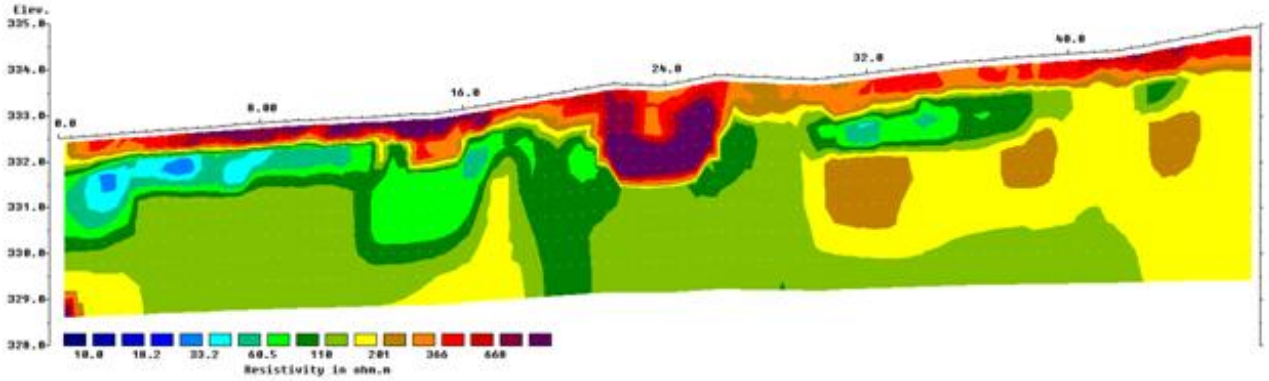
Tzv. elektrická rezistívna tomografia (ERT).



ERT anomália nad jaskyňou Havran (smolenický kras)

---

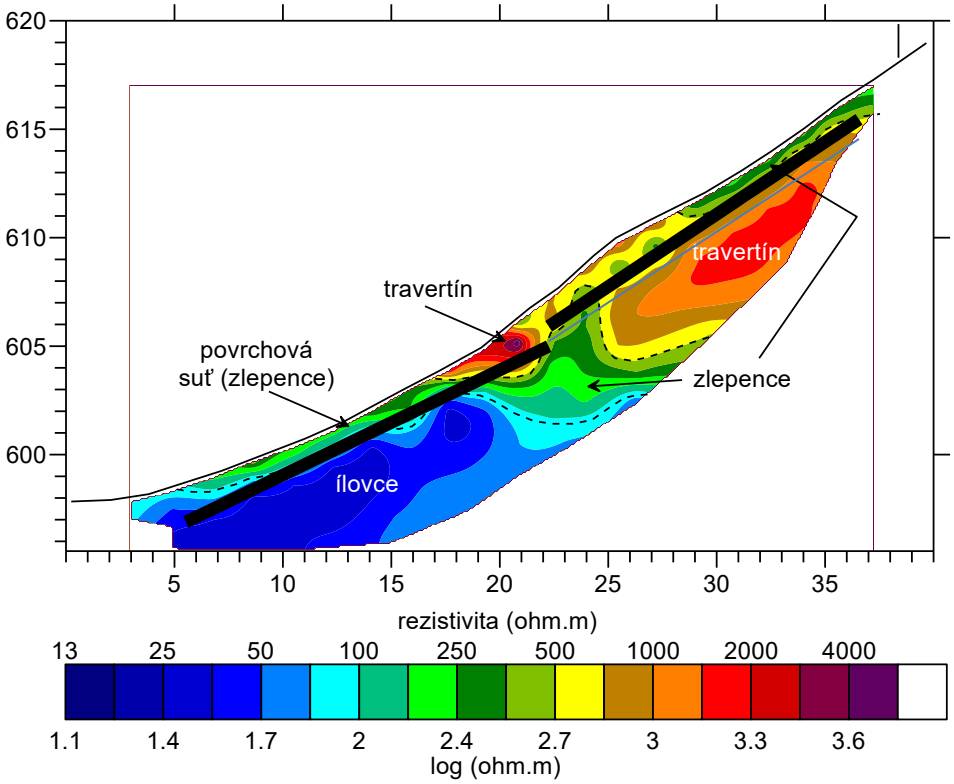
prejav bývalej cisterny na vodu (kláštor Katarínka Malé Karpaty)



geoelektrika – určovanie elektrických vlastností hornín

Tzv. elektrická rezistívna tomografia (ERT).

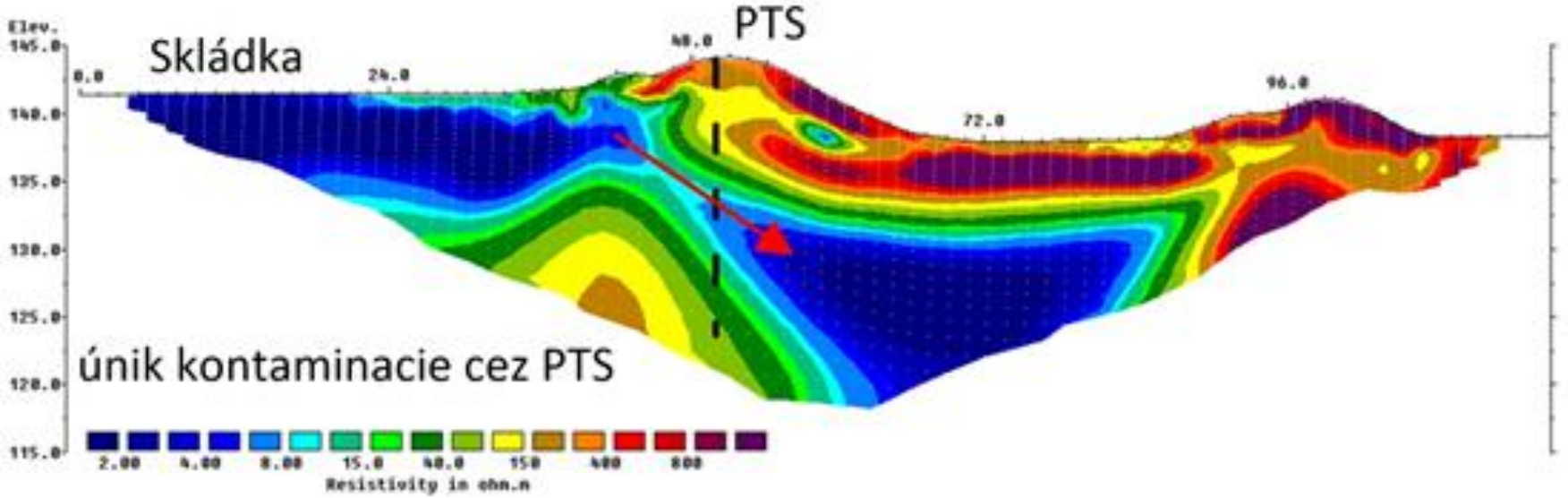




hĺbkový rez hodnôt zdanlivého elektrického doporu (výstup metódy ERT)
s vymapovaním kontaktu hornín na zosuve
lokalita: Spišský hrad

geoelektrika – využitie elektrických vlastností hornín

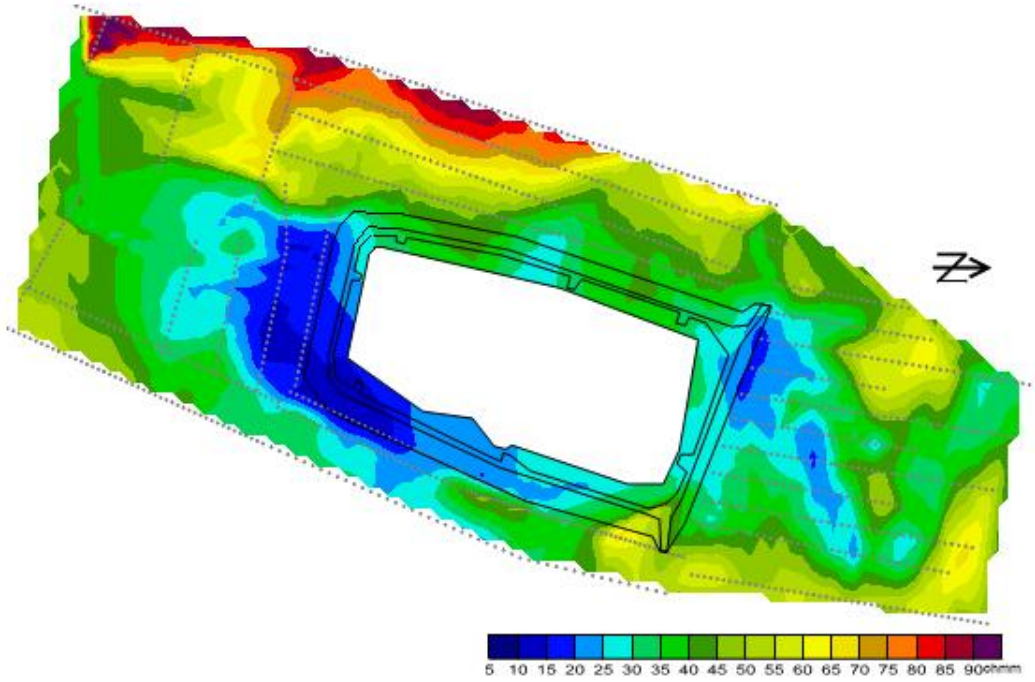
Tzv. elektrická rezistívna tomografia (ERT).



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

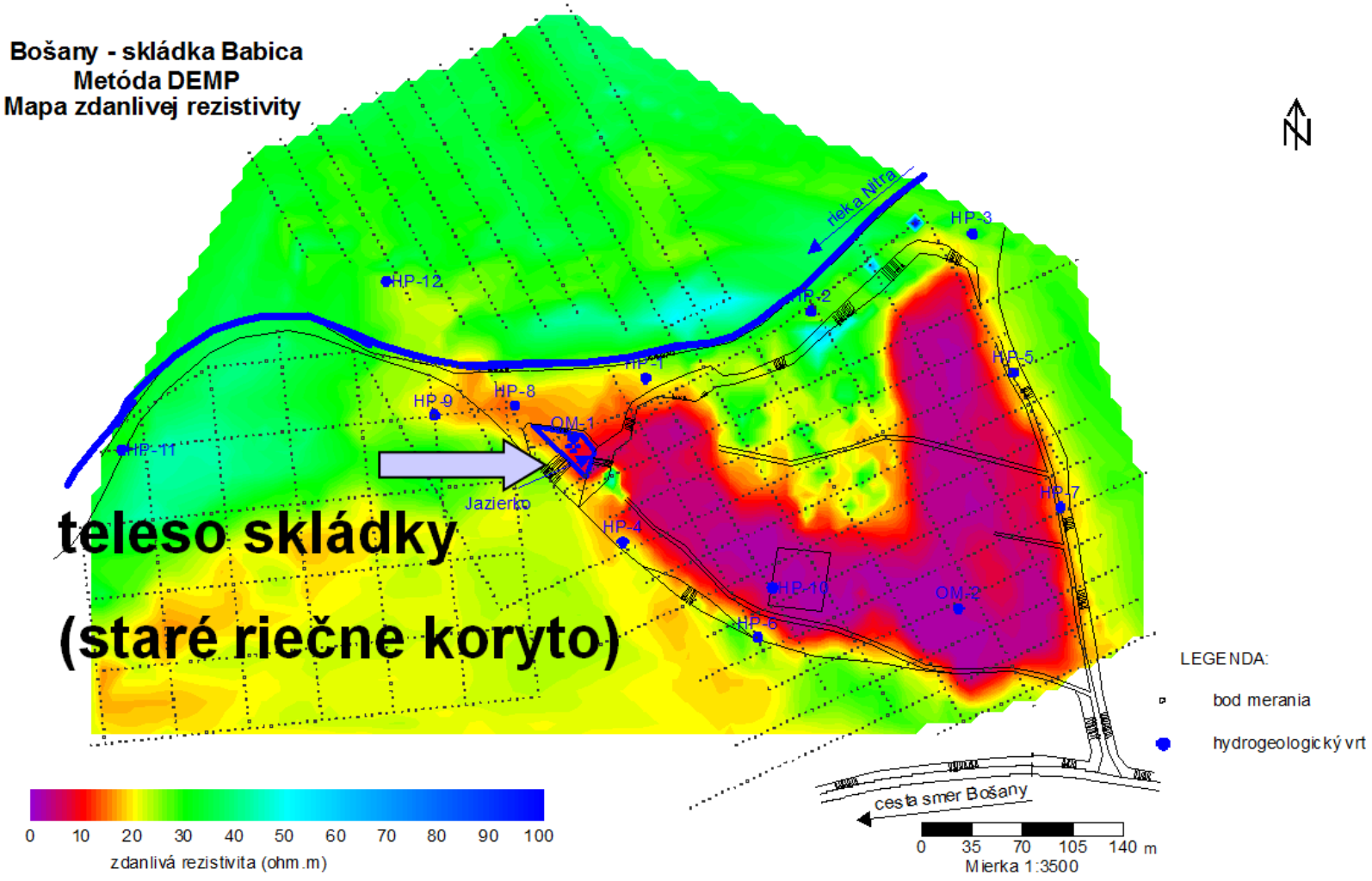




plošný rez hodnôt zdanlivého elektrického doporu (výstup metódy ERT), skládka železitých kalov, Šulekovo (pri Hlohovci)

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:

$I = dQ/dt$ (elektrický prúd),
$J = dI/dS$ (hustota elektrického prúdu),

Najdôležitejšie časovo premenlivé pole je striedavý prúd (AC – alternating current).

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

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}]

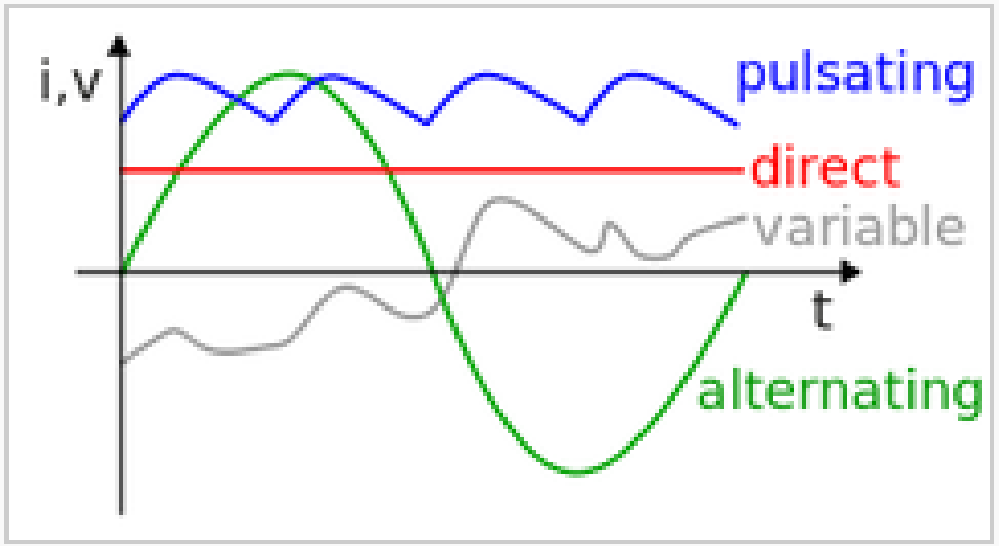
v angličtine: DC – direct current, AC – alternating currect



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 currect



Alternating current (green curve). The horizontal axis measures time; the vertical, current or voltage.





základy elektriny – poznámka

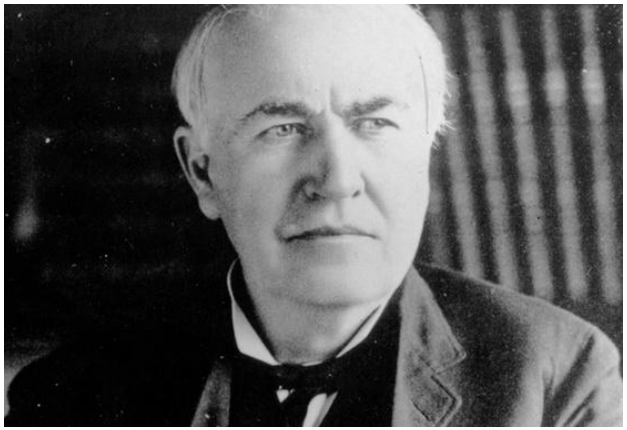
Jednosmerný vs. premenlivý (striedavý) elektrický prúd.

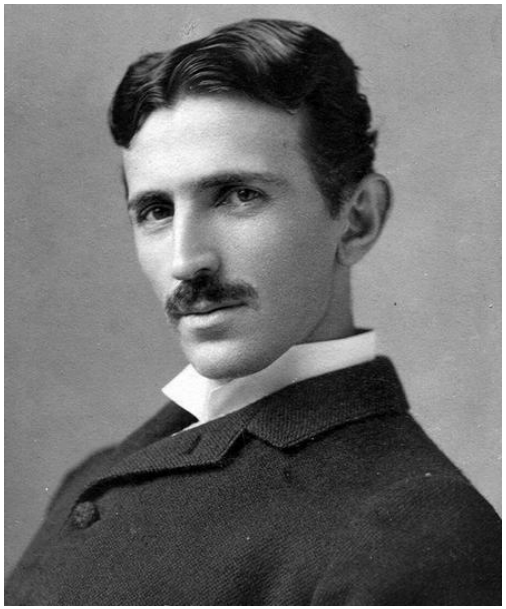
Viete, ktoré 2 veľké osobnosti stáli proti sebe vo veľkom spore, čo sa týka ich zavedenia do praxe?

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?

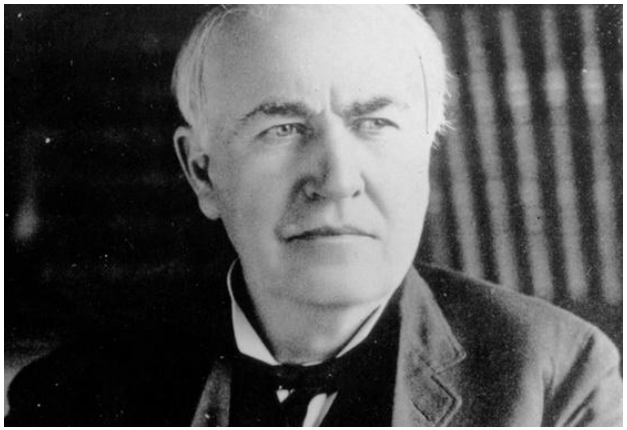




základy elektriny – poznámka

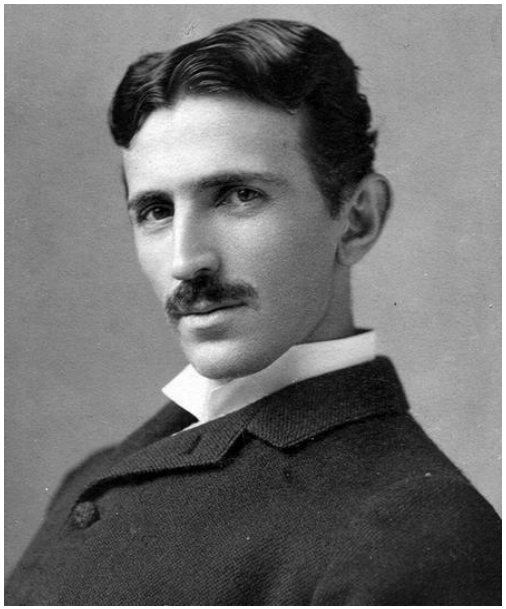
Jednosmerný vs. premenlivý (striedavý) elektrický prúd.

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