

# Fyzika Zeme

- Úvodný kurz pre poslucháčov prvého ročníka bakalárskych programov v rámci odboru geológia
- 6. prednáška – pevné látky

# Obsah prednášky:

- pevná látka (skupenstvo)
- kryštalické a amorfné látky
- väzbové sily
- kryštalizačné sústavy
- mechanické vlastnosti pevných látok  
(Hookov zákon)
- šírenie mechanických vln pevnými látkami

# Pevná látka (skupenstvo)

**Pevná látka** (tuhá látka, tuhé/pevné skupenstvo) -  
je jedno z troch hlavných skupenstiev.

- toto skupenstvo sa vyznačuje pevným, často pravidelným usporiadaním častíc - dôležité sú tzv. väzby,
- usporiadaná sústava častíc má (ako celok) vždy nižšiu celkovú energiu - ako ich chaotický zhluk,
- teleso z tuhej látky udržuje svoj tvar, aj keď nie je uzavreté do nejakého objemu,
- sily medzi časticami pevnej látky sú obvykle silnejšie ako sily, ktoré by spôsobili jeho rozpad (napr. tiažová sila).

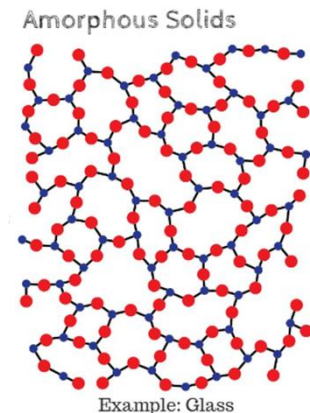
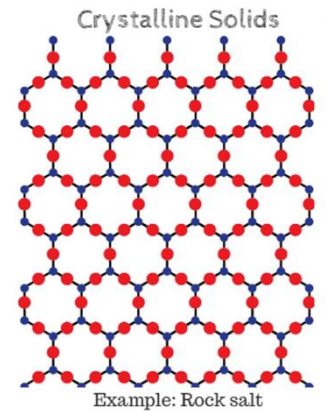
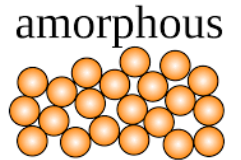
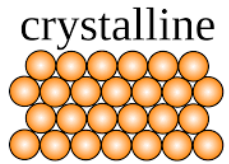
# Pevná látka (skupenstvo)

Pevné látky sa rozdeľujú do dvoch hlavných skupín:

## kryštalické a amorfné

**Kryštalické** pevné látky sú charakterizované usporiadaním častíc (molekúl, iónov, ...) do stavbených mriežok a d'alekodosahovým usporiadaním základných stavebných elementov.

**Amorfné** látky sú pevné látky, vyznačujúce sa krátkodosahovým usporiadaním – nemajú usporiadanú kryštalickú štruktúru (podskupinu amorfných látok tvoria tzv. polyméry).



# Pevná látka (vlastnosti)

Homogénne a heterogénne

VS priestorové a smerové vlastnosti látok

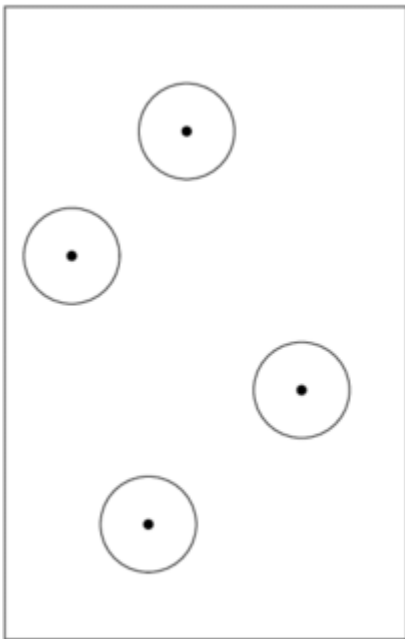
Izotropné a anizotropné látky

# Pevná látka (vlastnosti)

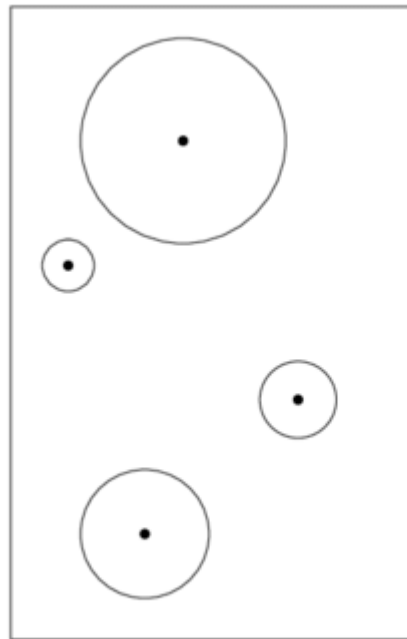
Homogénne a heterogénne

VS priestorové a smerové vlastnosti látok

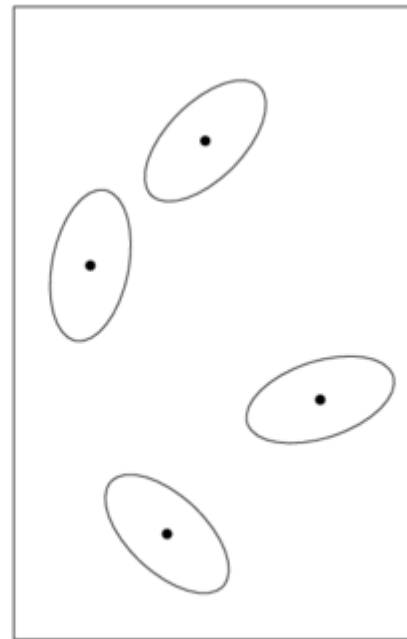
Izotropné a anizotropné látky



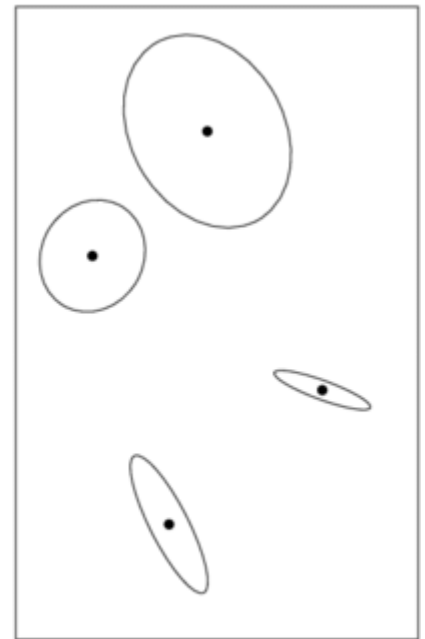
(a)



(b)



(c)



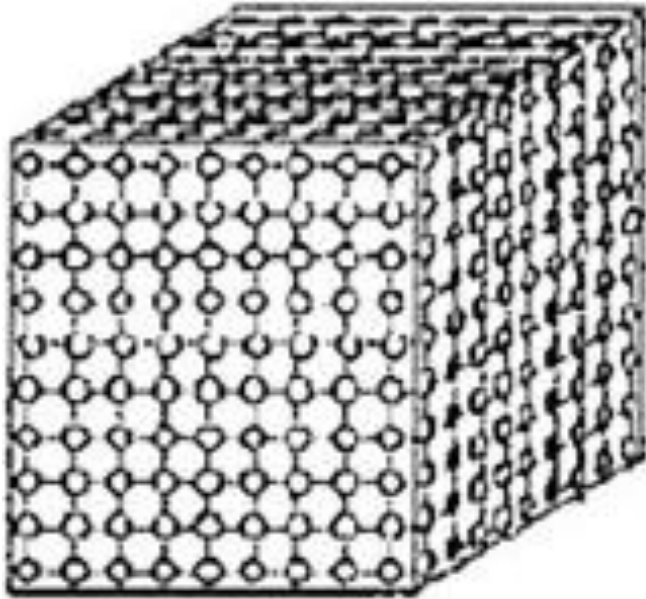
(d)

# Kryštalické pevné látky

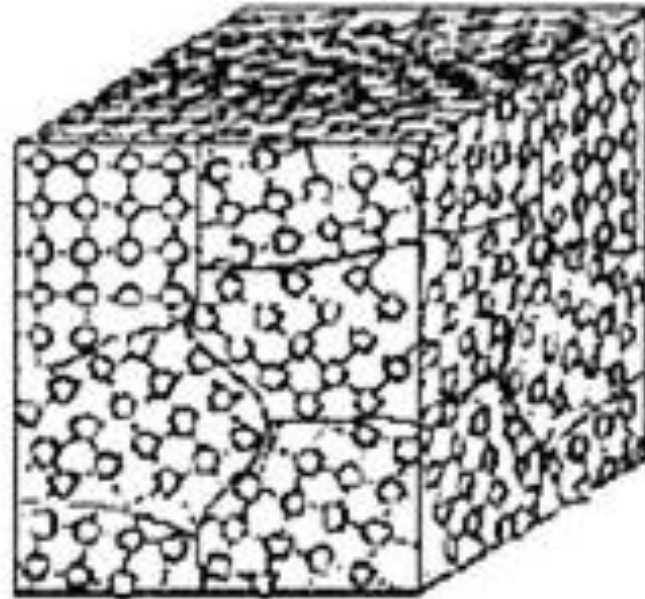
## Kryštalické pevné látky

- a) monokryštály - látky v ktorých sa pravidelne opakuje isté rozloženie častíc,  
(prejavujú často anizotrópne vlastnosti)
  
- b) polykryštály - sú to väčšinou väčšie kryštály, skladajúce sa z menších kryštálov (ktoré majú izotrópne vlastnosti).

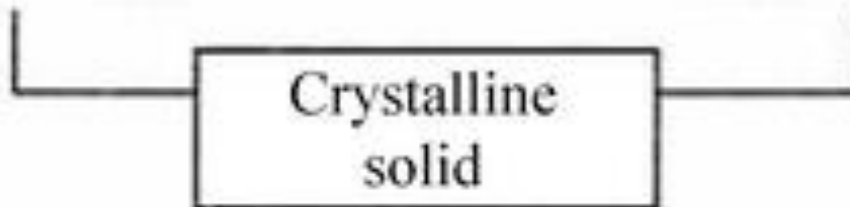
# monokryštály a polykryštály



Single crystal



Polycrystal





# Väzby v pevných látkach

Aby mohli látky byť usporadané v pevných zoskupeniach, musia medzi časticami pôsobiť väzobné sily (väzby).

Poznáme **3 základné väzby (silné)**:

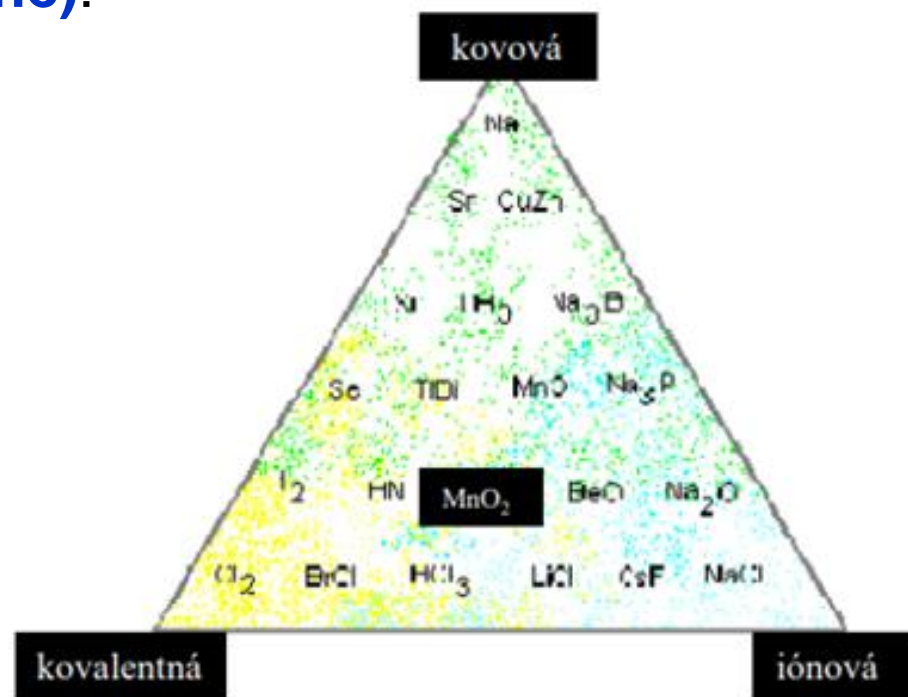
- kovalentná,
- iónová,
- kovová.

A ešte **2 slabé väzby**

(tzv. väzby disperznými silami):

- van der Waalove sily,
- vodíkové mostíky.

Väzobné sily sú často zmiešané (nevystupujú v “čistom stave”).



v “čistom stave” sú iba väzby niektorých prvkov – napr. Cl alebo Na

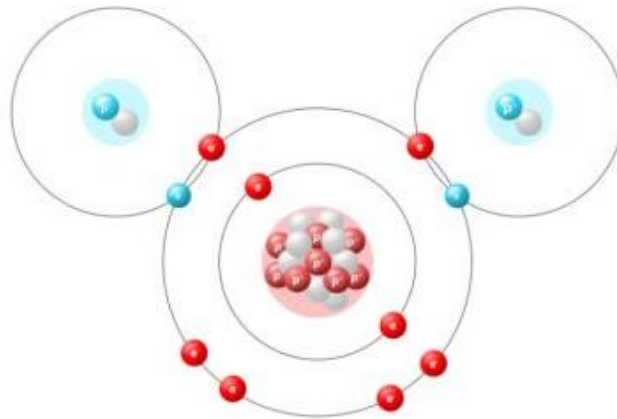
# Kovalentná väzba:

Kovalentná väzba je typ väzby medzi dvoma atómami, ktoré majú jeden alebo viac nespárených (valenčných) elektrónov a ich rozdiel elektronegativít je malý.

**Elektrónový pár tvorí potom oblak medzi zlúčenými atómami.**

Podľa prekryvu orbitálov delíme tieto väzby na:

- [väzba  \$\sigma\$](#) ,
- [väzba  \$\pi\$](#) ,
- [väzba  \$\delta\$](#) ,
- [väzba  \$\varphi\$](#)  (teoretická, zatiaľ nepozorovaná),
- [väzba  \$\gamma\$](#)  (teoretická, zatiaľ nepozorovaná).



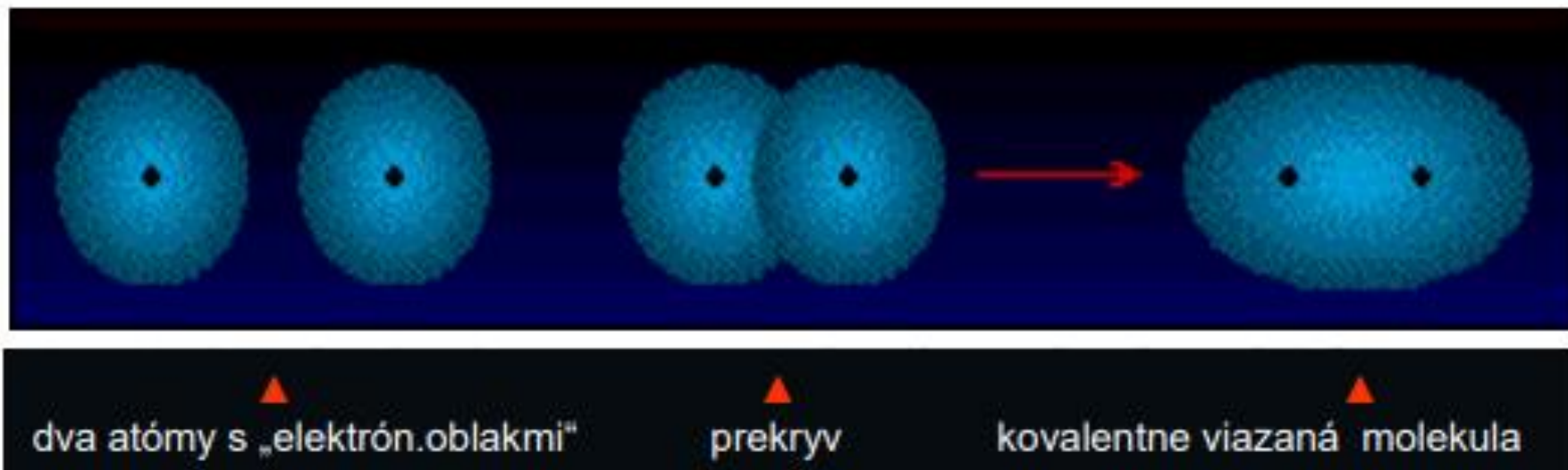
**skôr mechanistické  
zobrazenie**

Pozn.: Elektronegativita (elektropozitivita je opačná veličina) je v chémii vlastnosť atómu vyjadrujúca jeho schopnosť priťahovať väzbové elektróny.

## Kovalentná väzba

Pri tvorení väzby sa elektrónové oblaky nespárených elektrónov navzájom prekryjú a splynú. Spoločný elektrónový oblak sprostredkuje väzbu medzi atómami.

Tým si atómy doplnia počet elektrónov zvyčajne na taký, aký majú atómy najbližšieho vzácneho plynu v periodickej tabuľke.



**skôr kvantové zobrazenie**

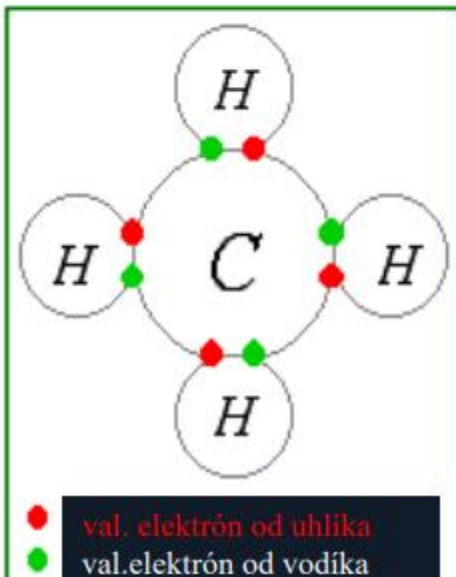
Pozn.: V kvantovej mechanike sa hovorí o tzv. “prekryve vlnových funkcií”.

# Kovalentná väzba

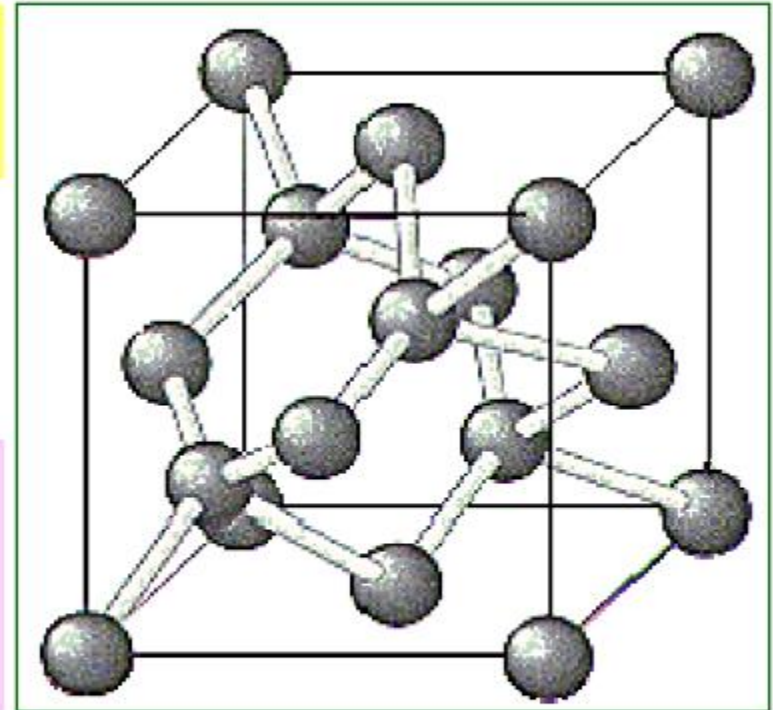
Nastáva u prvkov „zo stredy“ periodickej tabuľky, resp. u zlúčenín prvkov z jej „blízkych“ skupín. Príklady prvkov: **C** (*diamantová štruktúra*), **Si**, **Ge** – u zlúčenín: *oxidy, sulfidy*, napr. **SiO<sub>2</sub>**, **ZnS** a podobné. **Vždy je prítomná väčšia či menšia „prímes“ iónovej väzby.**

Tetraedrická („elementárna bunka“ tvorí štvorsten) ► štruktúra - napr. *diamant, kremík, α - cín (sivý)* a iné - každý atóm má práve **štyroch** najbližších „susedov“.

▼ Kovalentná väzba môže byť vysvetlená iba pomocou **kvantovej teórie**. Názorne (ale iba približne) si možno predstaviť *zdieľanie elektrónového páru dvomi atómami* (ako keby obaja „obiehali“ okolo dvoch jadier).



◀ Príklad molekuly metánu (**CH<sub>4</sub>**). Kovalentnou väzbou sú viazané aj *dvojátómové molekuly plynov (N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, Cl<sub>2</sub> aj vodík H<sub>2</sub>)*.



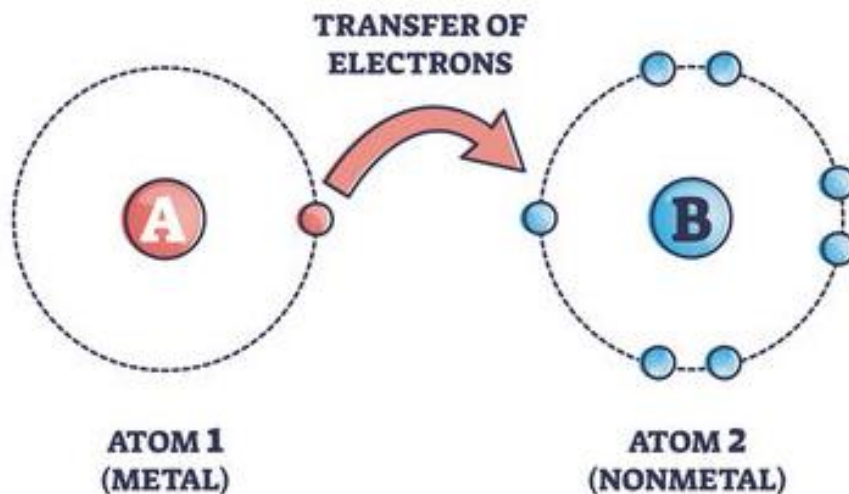
Kovalentne viazané **pevné látky** sa vyznačujú **podobnými vlastnosťami** ako látky viazané iónovo – **tvrdosť, vysoký bod topenia**, z elektrického hľadiska sú **izolanty**.

# Iónová väzba:

Iónová väzba vzniká vzájomným pôsobením elektrostatických príťažlivých síl opačne elektricky nabitých iónov.

Vzniká, ak je veľký rozdiel elektronegativity zlúčených atómov, takže **valenčný elektrón vonkajšej vrstvy jedného atómu prejde do vonkajšej vrstvy druhého atómu**. Je smerovo nešpecifická.

Najznámejšia zlúčenina, ktorá je tvorená iónovou väzbou je NaCl, ďalej napr: LiF, Na<sub>2</sub>O, BeCl<sub>2</sub>, MgO.



# Iónová väzba:

uplatňuje sa **iba** u zlúčenín, najčastejšie prvkov „z opačných koncov periodickej tabuľky“. „školským“ príkladom je  $\text{NaCl}$ .

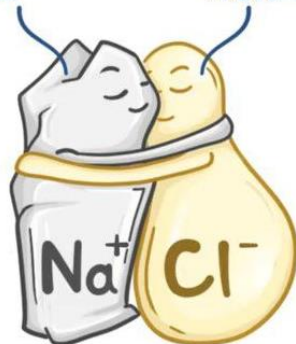
Vpravo ► je veľmi schematický „rez“ kryštálom  $\text{NaCl}$ . Každý ión je obkolesený v najbližšom susedstve **šiestimi** (pozor, treba uvažovať priestorovo!) **iónmi opačnej polarítity**, preto  $\text{NaCl}$  tvorí kubické kryštály.

Látky s väzbami tohto typu sú charakterizované *tvrdosťou, vysokým bodom topenia, veľmi nízkou tepelnou a takmer nulovou elektrickou vodivosťou (izolanty)*.

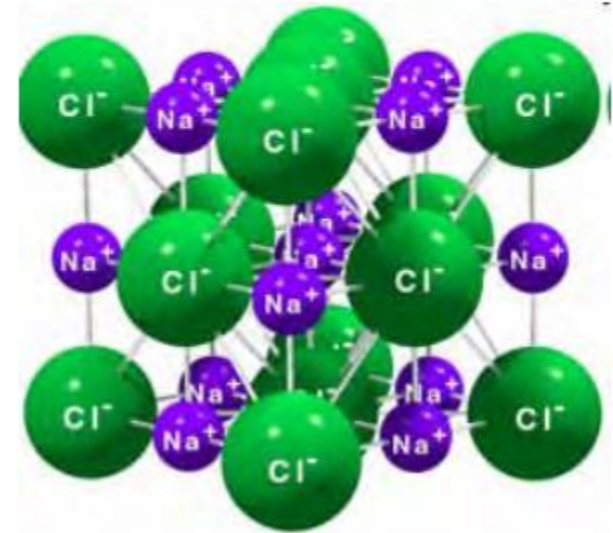
## IONIC BOND

METAL

NON-METAL



„Rez“ kryštálom  $\text{NaCl}$ :

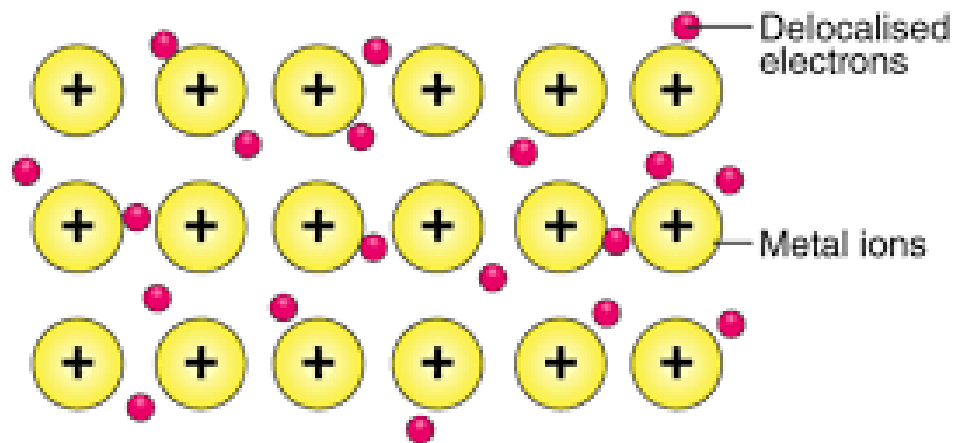


# Kovová väzba:

Kovová väzba je delokalizovaná kovalentná väzba, pri ktorej sa v rámci kryštálu kovu **väzbové elektróny pohybujú volne** – v oblasti atómov celej zlúčeniny.

Typická pre elektropozitívne prvky.

Voľná pohyblivosť elektrónov spôsobuje dobrú elektrickú vodivosť kovov.



# Kovová väzba

Je veľmi príbuzná *kovalentnej*, s tým rozdielom, že valenčné elektróny „nezostávajú“ pri svojich katiónoch, ale vytvoria tzv. „**elektrónové more**“ a pohybujú sa v kryštálovej mriežke *takmer voľne*.

To sprostredkuje **vysokú elektrickú aj tepelnú vodivosť kovov**.

Sila kovových väzieb sa veľmi líši podľa druhu kovu. Preto aj mechanické a termické vlastnosti kovov sú **veľmi rozdielne**:

na jednom „póle“ napríklad *ortuť (Hg)*:

bod topenia *mínus 38,8 °C*

(pri izbovej teplote kvapalná) ▶

bod varu + *629 °C*

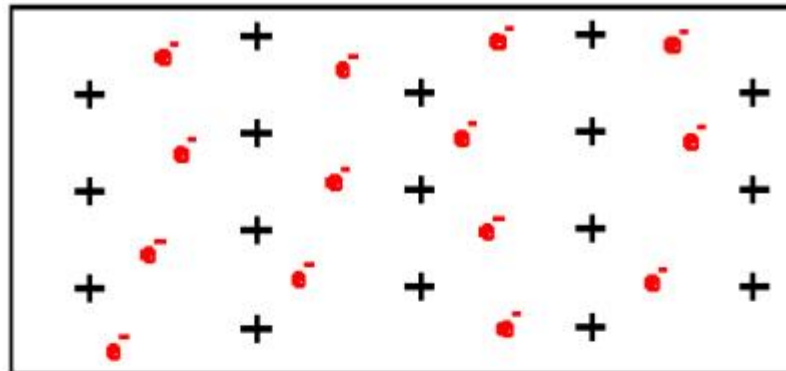
na „druhom póle“ *wolfrám (W)*:

bod topenia + *3422 °C*

bod varu + *5560 °C*

Práve tak mechanické vlastnosti – porovnajme napr. **mäkký hliník** alebo **olovo** s **tvrdým titánom**.

Aj hustoty sú veľmi odlišné – napr. *lítium (Li)* – kov s najnižšou hustotou  $0,53 \text{ g.cm}^{-3}$  (polovica vodnej) oproti *osmiu (Os)* s najvyššou známou hustotou  $22,61 \text{ g.cm}^{-3}$ .



$e^-$  = delokalizovaný (voľný) elektrón

+ = katión kovu





## Väzba disperznými silami:

Sú omnoho slabšie ako predchádzajúce (aj pôsobia na kratšie vzdialenosti), ale sú mimoriadne dôležité v biochémií – pri popise väzieb v živých organizmoch.

**Ich podstatou sú dipól-dipólové interakcie medzi molekulami.**

Atómy (molekuly) síce vystupujú ako tzv. elektronegatívne objekty, ale rozmiestnenie kladného a záporného náboja v rámci nich nie je rovnomerné.

(dipóly v rámci atómov-molekúl: permanentné alebo indukované)

Poznáme dva základné typy týchto väzieb:

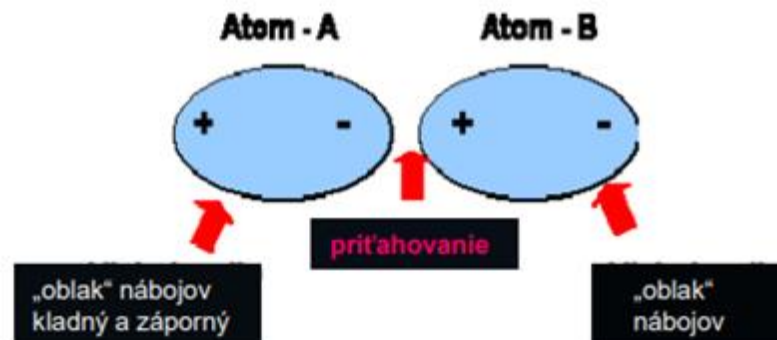
**Van der Waalsovú silu** – vzájomné pôsobenie molekulových dipólov. Prejavujú sa priťahovaním opačných pólův molekúl alebo priťahovaním nábojův iónův.

**Vodíková väzba** alebo vodíkový mostík je silnejšia ako väčšina ostatných medzimolekulových síl, ale je podstatne slabšia ako kovalentná (iónová) väzba.

# Van der Waalove sily (indukované dipóly):

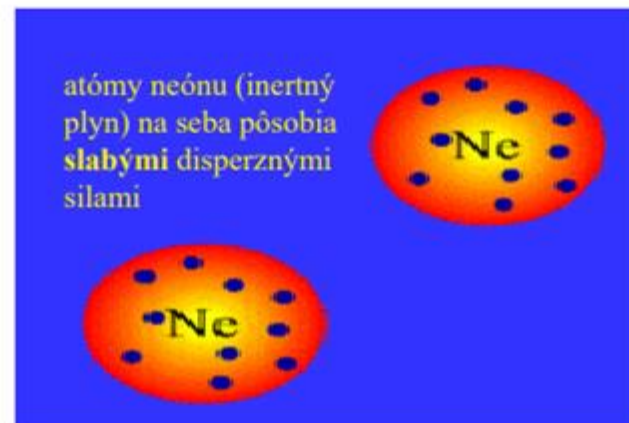
Elektrické dipóly môžu byť **indukované** (vybudené prítomnosťou ďalšej blízkej molekuly alebo atómu) alebo **permanentné** (trvale v molekule prítomné).

Prvý prípad – **indukované dipóly - van der Waalove sily** (označenie **disperzné**, pretože sú zodpovedné za **disperziu svetla** v látkach, čiže zmenu optických vlastností, napr. indexu lomu, s vlnovou dĺžkou svetelného – elektromagnet. žiarenia).



Pozn.: atómy nemusia mať iba guľový tvar.

**Typické prípady – inertné plyny v pevnom skupenstve** (veľmi nízke body topenia), **uhl'ovodíky** (napr. parafín), **iné molekulárne kryštály**. Často viažu zložité **molekuly (organických zlúčenín)**. Sú rozhodujúce pre vlastnosti a štruktúru **termoplastov**.

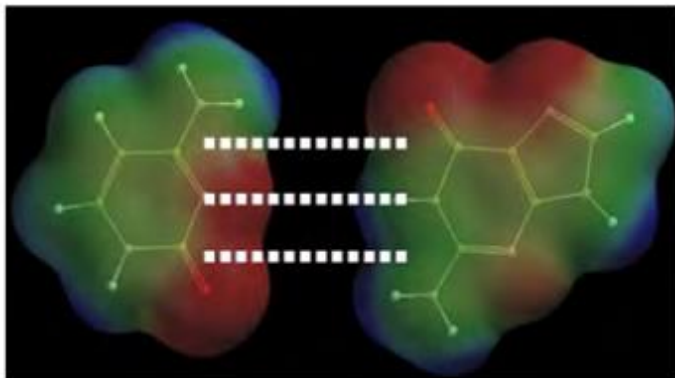


Druhý prípad (**permanentné dipóly**) – **vodíkové mostíky** (ďalšia str.)

# Vodíkové mostíky:

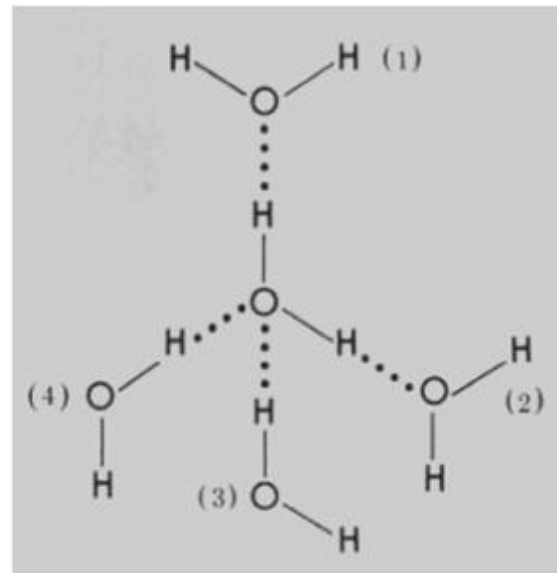
Vodík (máme na mysli ľahký izotop  $^1\text{H}$ ) je formálne *jednomocný*, ale môže okrem „hlavnej“ väzby byť navyše slabo viazaný na atóm výrazne elektronegatívneho prvku (napr. **O**, **N**, **F**, niekedy **S**). Je teda v istom zmysle „*jeden a pol*“ mocný, ako to znázorňuje obrázok napravo ▶

Väzby tohto druhu („vodíkové mostíky“) spoluurčujú vlastnosti a štruktúru vody v pevnom aj kvapalnom skupenstve („anomália vody“). Sú mimoriadne dôležité v zložitých bioorganických molekulárnych systémoch (napr. **DNA**, **RNA** ..)

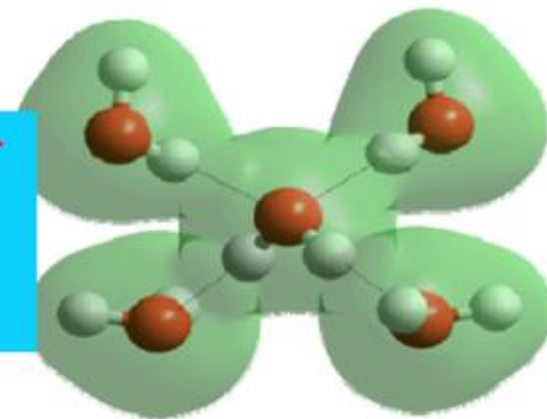


Väzby cez vodíkové mostíky sú *slabé* – preto **biomolekuly a biopolyméry** strácajú svoje vlastnosti už pri pomerne nízkych teplotách – u bielkovín už okolo + 50 °C dochádza k nevratnej degradácii a strate biologickej aktivity.

◀ znázornenie väzieb medzi molekulami *aminokyselín* vodíkovými mostíkmi.  
To má **zásadný význam** pre štruktúry **enzýmov**, **DNA** a veľa biologicky aktívnych molekúl a ich agregátov.



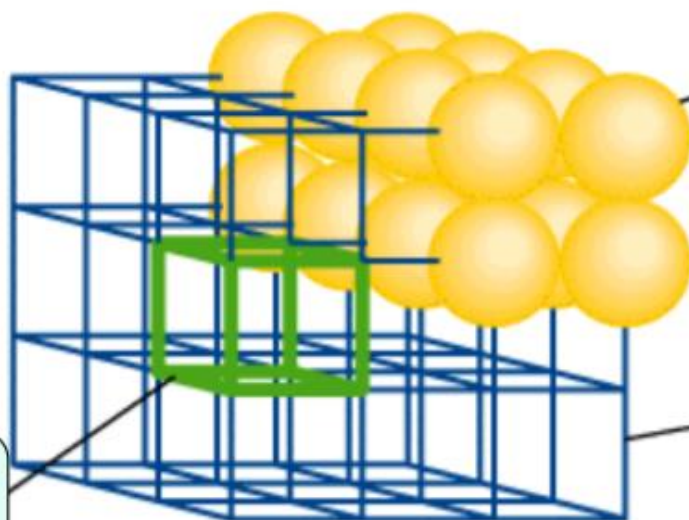
Fragment štruktúry vody ( $\text{H}_2\text{O}$ ) ▶  
červene – atómy kyslíka  
svetlé – atómy vodíka  
bodkované – „vodíkové mostíky“



## Klasifikácia podľa typu (povahy) väzby

<b>Typ</b>	<b>základná (molekulová) jednotka</b>	<b>dominantné sily</b>	<b>typické vlastnosti</b>
<b>ionový</b>	<b>ióny</b>	<b>elektrostatické</b>	<b>vysoká tavitel'nosť, tvrdosť, krehkosť</b>
<b>kovalentný</b>	<b>atómy elektronegatívnych prvkov</b>	<b>chemická väzba</b>	<b>netavitel'nosť (rozklad), extrémna tvrdosť</b>
<b>kovový</b>	<b>atómy elektropozitívnych prvkov</b>	<b>mobilné elektróny</b>	<b>stredná až vysoká tavitel'nosť, deformovateľnosť, elektrická vodivosť, kovový lesk</b>
<b>molekulový</b>	<b>molekuly</b>	<b>van der Waals</b>	<b>nízka-stredná teplota topenia, nízka tvrdosť</b>

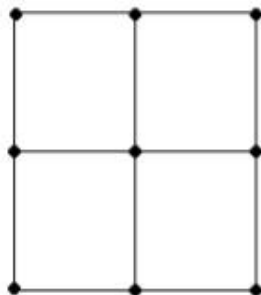
# kryštalová štruktúra a kryštalová mriežka



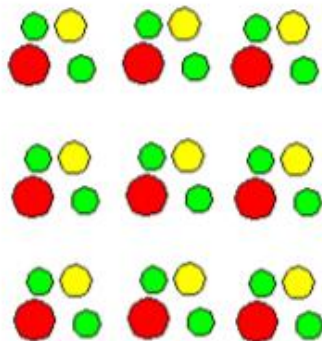
**kryštalová štruktúra**  
- aktuálne usporiadanie  
atómov

**kryštalová mriežka**  
-geometrický pojem

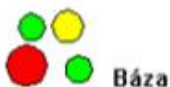
**základná  
bunka**



Elementárna  
(kryštalová) mriežka

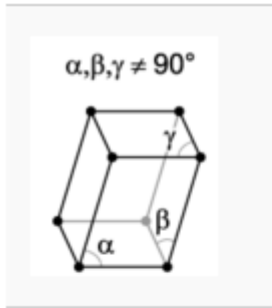


Kryštalová štruktúra (resp. štruktúrna  
mriežka)

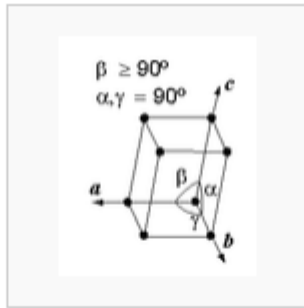


**uzlové body mriežky**  
**a polohy atómov nie**  
**sú totožné!**  
**(môžu byť)**

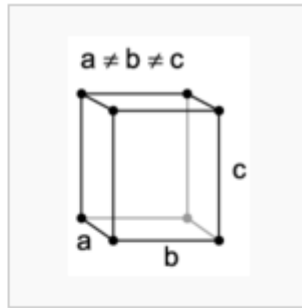
# kryštalografické sústavy (mriežky) v mineralógii



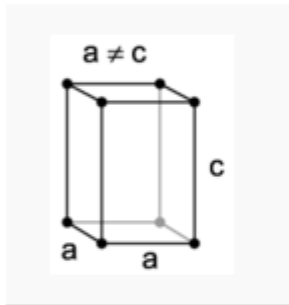
Triklinická sústava



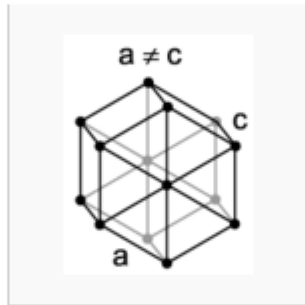
Monoklinická sústava



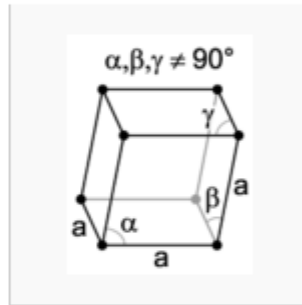
Rombická sústava



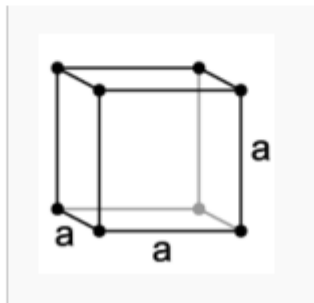
Tetragonálna sústava



Hexagonálna sústava



Trigonálna sústava

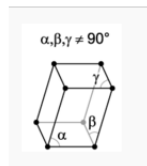


Kubická sústava

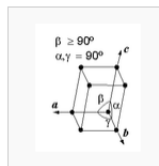
- triklinická
- monoklinická
- rombická
- tetragonálna
- hexagonálna
- trigonálna
- kubická

# Mohsova stupnica tvrdosti minerálov

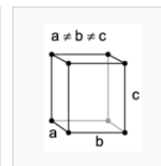
STUPEŇ	NERAST	VLASTNOSŤ	CHEMICKÝ VZOREC	SÚSTAVA
1	mastenec	Možno rýpať nechťom, na dotyk sú často jemné a hebké.	$\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$	monoklinická
2	halit	Možno čiastočne rýpať nechťom.	$\text{NaCl}$	kubická
3	Kalcit	Možno rýpať medenou mincou alebo drôtom.	$\text{CaCO}_3$	trigonálna
4	fluorit	Možno rýpať oceľovým nožom.	$\text{CaF}_2$	kubická
5	apatit	Možno rýpať oceľovým nožom.	$\text{F}^-, \text{Cl}^-, \text{OH}^-$	hexagonálna
6	ortoklas	Možno rýpať do skla.	$\text{KAlSi}_3\text{O}_8$	monoklinická
7	kremeň	Možno rýpať do skla.	$\text{SiO}_2$	trigonálna
8	topás	Nemožno rýpať ani pilníkom, pri kresaní často iskria.	$\text{Al}_2[\text{SiO}_4](\text{F}, \text{OH})_2$	rombická
9	korund	Nemožno rýpať ani pilníkom, pri kresaní často iskria.	$\text{Al}_2\text{O}_3$	trigonálna
10	diamant	Nemožno rýpať ani pilníkom, pri kresaní často iskria.	$\text{C}$	kubická



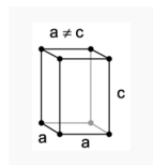
Triklinická sústava



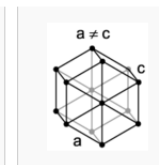
Monoklinická sústava



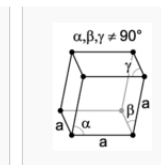
Rombická sústava



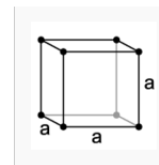
Tetragonálna sústava



Hexagonálna sústava



Trigonálna sústava



Kubická sústava

# Hustota

Hustota - hmotnosť jednotkového objemu látky.

$$\rho = \frac{m}{V}$$

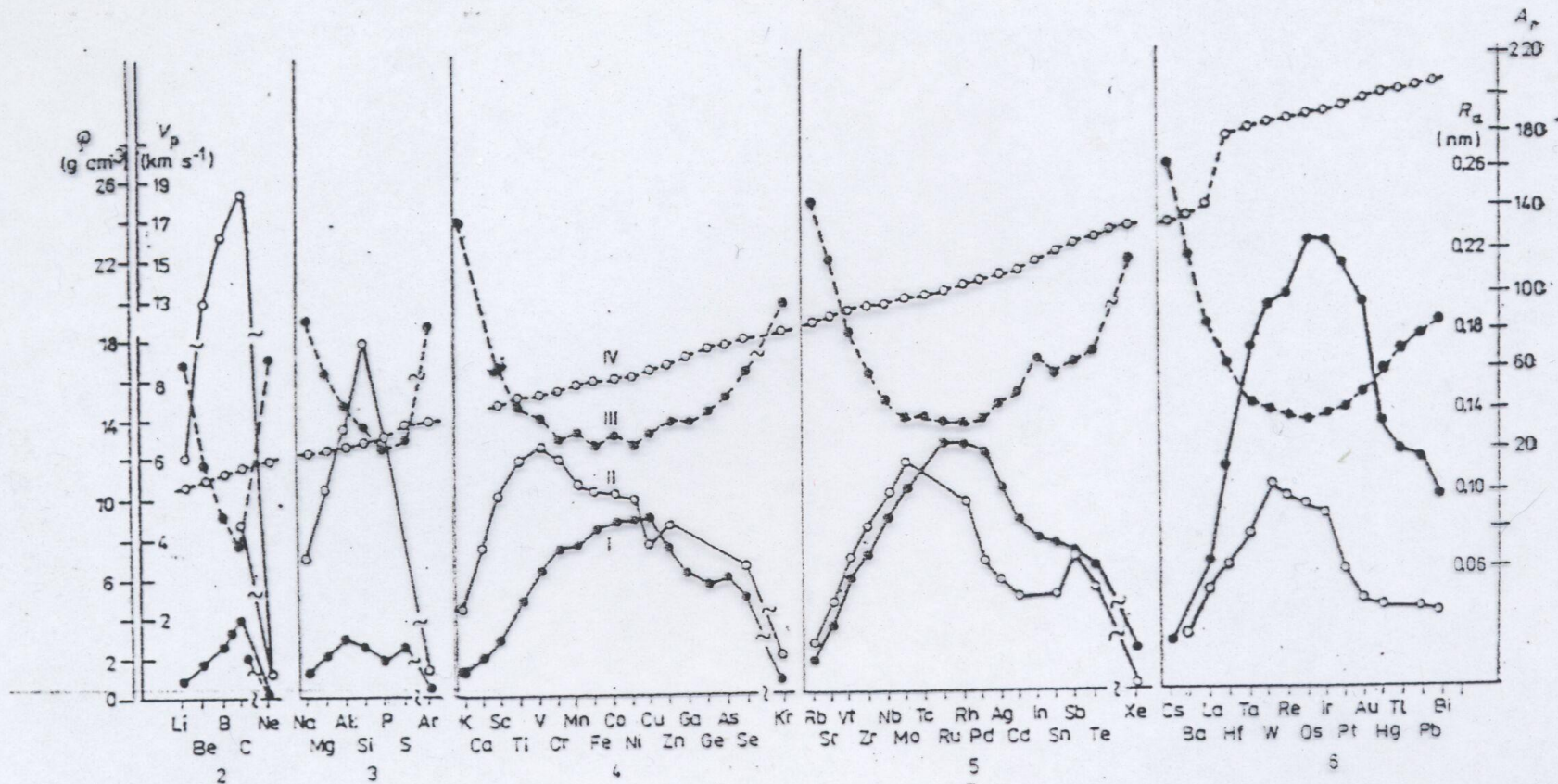
kde: m je hmotnosť, V je objem.

Platí, že hustota minerálov závisí od dvoch skutočností:

- 1) od koncentrácie atómov s vyššou pomernou atómovou hmotnosťou a nižším atómovým polomerom (prevažne pri rudných mineráloch),
- 2) od usporiadania – iónových polomerov, valencie, typu väzby, mriežky; inými slovami od kryštalografickej sústavy (prevažne pri horninotvorných mineráloch).



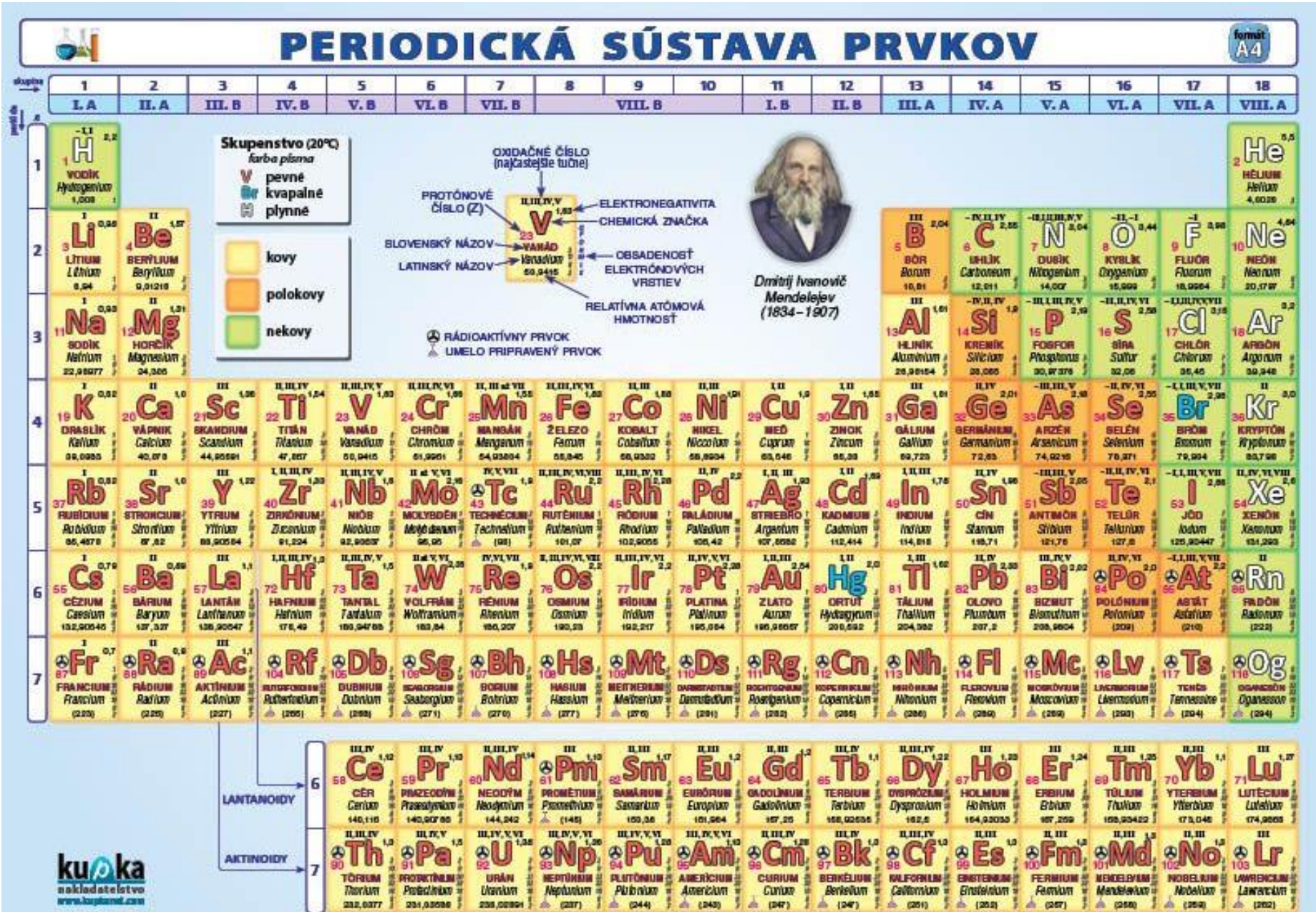
# hustoty prvků – vlastnosti, súvislosti



Obr. 2. Závislost fyzikálních vlastností chemických prvků na jejich postavení v periodické soustavě

I — hustota, II — rychlost šíření podélných vln, III — atomový poloměr, IV — poměrná atomová hmotnost; 2 až 6 — periody soustavy prvků (Dortman, Magid 1969)

# hustoty prvkov – vlastnosti, súvislosti



# Obsah prednášky:

- pevná látka (skupenstvo)
- kryštalické a amorfné látky
- väzbové sily
- kryštalizačné sústavy
- mechanické vlastnosti pevných látok  
(Hookov zákon)
- šírenie mechanických vln pevnými látkami

# mechanické vlastnosti látok

Predstavujú reakcie látok na mechanické zatažovanie v závislosti na pomere vonkajších deformačných a vnútorných väzobných síl.

## Deformácia:

Deformácia je zmena tvaru (rozmeru, objemu) telesa pôsobením vonkajších síl.

- a) elastická – pružná, dočasná (zmizne ako náhle prestanú pôsobiť vonkajšie sily),
- b) plastická – nepružná, trvalá (nezmizne – pretrváva, aj keď vonkajšie sily prestanú pôsobiť).

Deformácia môže byť spôsobená:

- ťahom,
- tlakom,
- ohybom,
- strihom/šmykom,
- krutom,
- alebo ich kombináciou.

# mechanické vlastnosti látok

## Deformácia:

Deformácia je zmena tvaru (rozmeru, objemu) telesa pôsobením vonkajších síl.

- a) elastická – pružná, dočasná (zmizne ako náhle prestanú pôsobiť vonkajšie sily),
- b) plastická – nepružná, trvalá (nezmizne – pretrváva, aj keď vonkajšie sily prestanú pôsobiť).

a) elastická



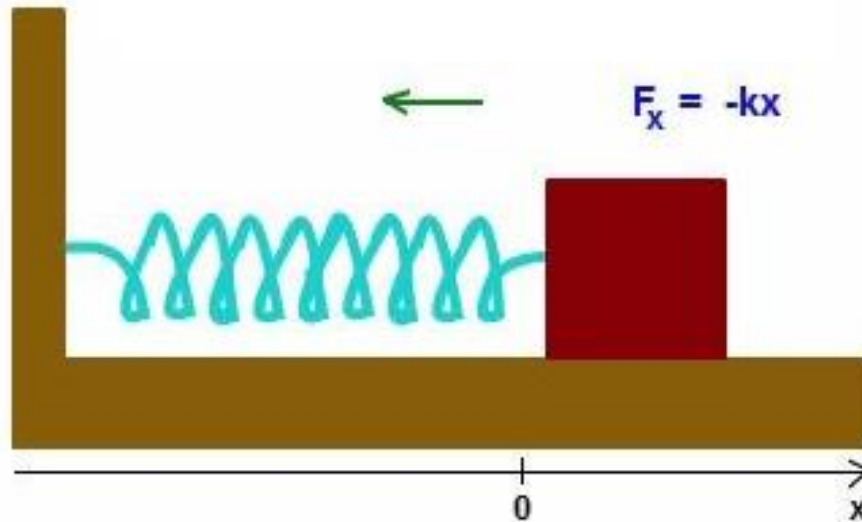
b) plastická

# Hookov zákon pre pružinu

Elastické vlastnosti pevných látok popisuje v najjednoduchšom prípade základný **Hookov zákon (pre pružinu)**:  
popisuje lineárny vzťah medzi silou a deformáciou (pre pružinu):

$$F_x = -kx$$

kde  $x$  je výchylka pozdĺž osi  $x$  a  $k$  je tv. Hookova konštanta.

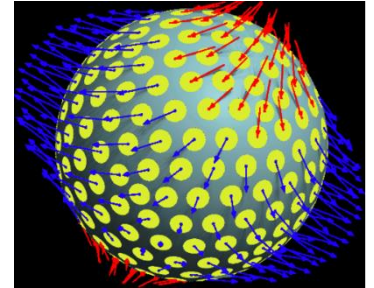


# Napätie v mechanike kontinua

Mechanické napätie je stav, ktorý vznikne v telese, ak naň pôsobia účinky síl. Napätie je miera vnútorného rozloženia síl na jednotkovú plochu telesa, ktorá vyrovnáva účinok vonkajšieho zaťaženia, alebo okrajových podmienok pôsobiacich na teleso.

Najčastejšie je spôsobené tlakom alebo ťahom.

Jednotka je identická s jednotkou tlaku [Pa], ale je to tzv. tenzorová veličina (“viacrozmerný vektor”).

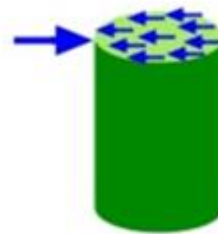


Podľa smeru pôsobenia poznáme:

- **normálové napätie** ( $\sigma$ ): kolmé k skúmanému prierezu v telese,
- **tangenciálne napätie** ( $\tau$ ): rovnobežné so skúmaným prierezom.



normálové  
napätie



tangenciálne  
napätie

# Hookov zákon v mechanike kontinua

V najjednoduchšom prípade (jednoosové namáhanie) je vzťah medzi mechanickým napätím ( $\sigma$ ) a spôsobenou deformáciou ( $\varepsilon$ ) daný tzv. **Hookovým zákonom**:

$$\sigma = E \varepsilon$$

kde  $\sigma$  je normálové napätie (Pa),  $\varepsilon$  je relatívne predĺženie (bezrozmerné),  $E$  je Youngov modul pružnosti v ťahu, ktorý je charakteristickou konštantou pre rôzne látky (GPa).

Pre relatívne predĺženie  $\varepsilon$  platí:  $\varepsilon = \Delta l / l_0$ ,

$\Delta l = l - l_0$  znamená celkové predĺženie objektu pri deformácii;  
 $l_0$  je rozmer pred deformáciou,  $l$  je nový rozmer po deformácii.

Relatívne skrútenie  $\eta$  je definované podobne:  $\eta = \Delta d / d_0$ ,

$\Delta d = d - d_0$  znamená celkové skrútenie objektu pri deformácii;  
 $d_0$  je rozmer pred deformáciou,  $d$  je nový rozmer po deformácii.



# Hookov zákon v mechanike kontinua

V najjednoduchšom prípade (jednoosové namáhanie) je vzťah medzi mechanickým napätím ( $\sigma$ ) a spôsobenou deformáciou ( $\varepsilon$ ) daný tzv. **Hookovým zákonom**:

$$\sigma = E \varepsilon$$

kde  $\sigma$  je normálové napätie (Pa),  $\varepsilon$  je relatívne predĺženie,  $E$  je Youngov modul pružnosti v ťahu, ktorý je charakteristickou konštantou pre rôzne látky (GPa).

$\varepsilon$  - relatívne predĺženie,  $\eta$  - relatívne skrútenie.

Vzťah medzi  $\varepsilon$  a  $\eta$  je daný:

$$\eta = \frac{1}{m} \varepsilon = \frac{\sigma}{mE} = \nu \frac{\sigma}{E}$$

kde  $m$  je tzv. Poissonova konštanta a  $\nu$  je tzv. Poissonovo číslo (Poissonovo číslo je prevrátená hodnota Poissonovej konštanty).

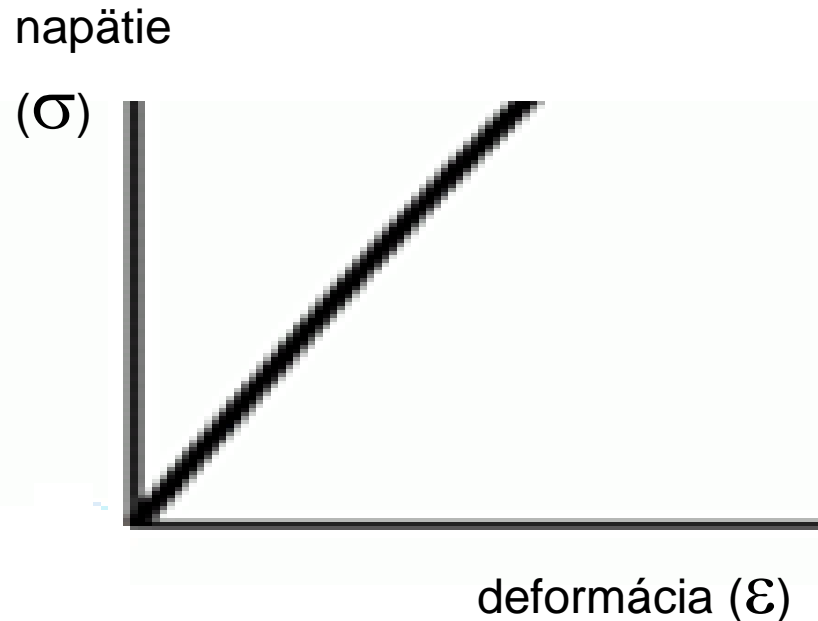
# Hookov zákon v mechanike kontinua

V geomechanike - v najjednoduchšom prípade (jednoosové namáhanie) je vzťah medzi mechanickým napätím ( $\sigma$ ) a spôsobenou deformáciou ( $\varepsilon$ ) daný

**Hookovým zákonom:**

$$\sigma = E \varepsilon$$

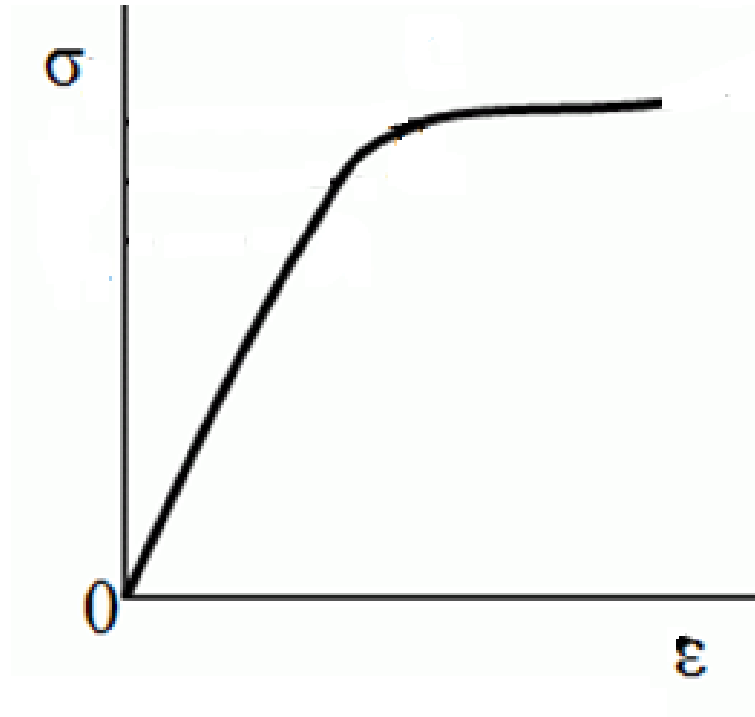
v grafe:



Poznámka: v angličtine – napätie (stress), deformácia (strain).

# Hookov zákon v mechanike kontinua

Po dosiahnutí určitej hranice napätia (tzv. medza klzu) elastická (pružná) deformácia končí a deformácia sa stáva plastickou (nepružnou):



<https://www.youtube.com/watch?v=Oz8fW68RY6I>  
(od času 3:50 + praktické príklady)

# Krivka deformácie

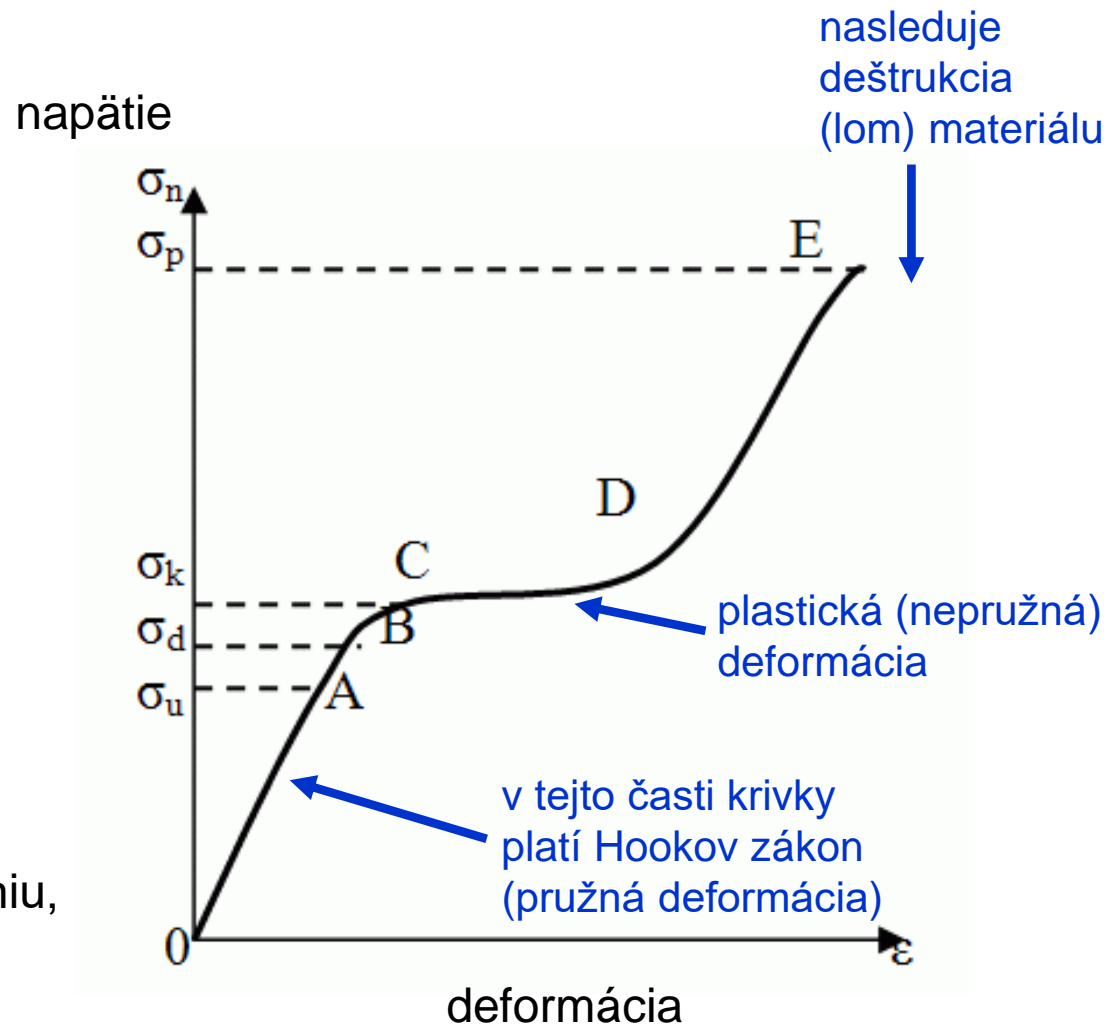
Ukazuje prechod medzi pružnou a plastickou deformáciou.

0-A: **pružná deformácia**  
(Hookov zákon),

A - medza úmernosti ( $\sigma_u$ ),  
B - medza pružnosti ( $\sigma_d$ ) =  
dovolené napätie,

A-B: zóna dopružovania,  
C - medza klzu ( $\sigma_k$ ) = prietlačnosti  
dochádza ku náhlemu predĺženiu,

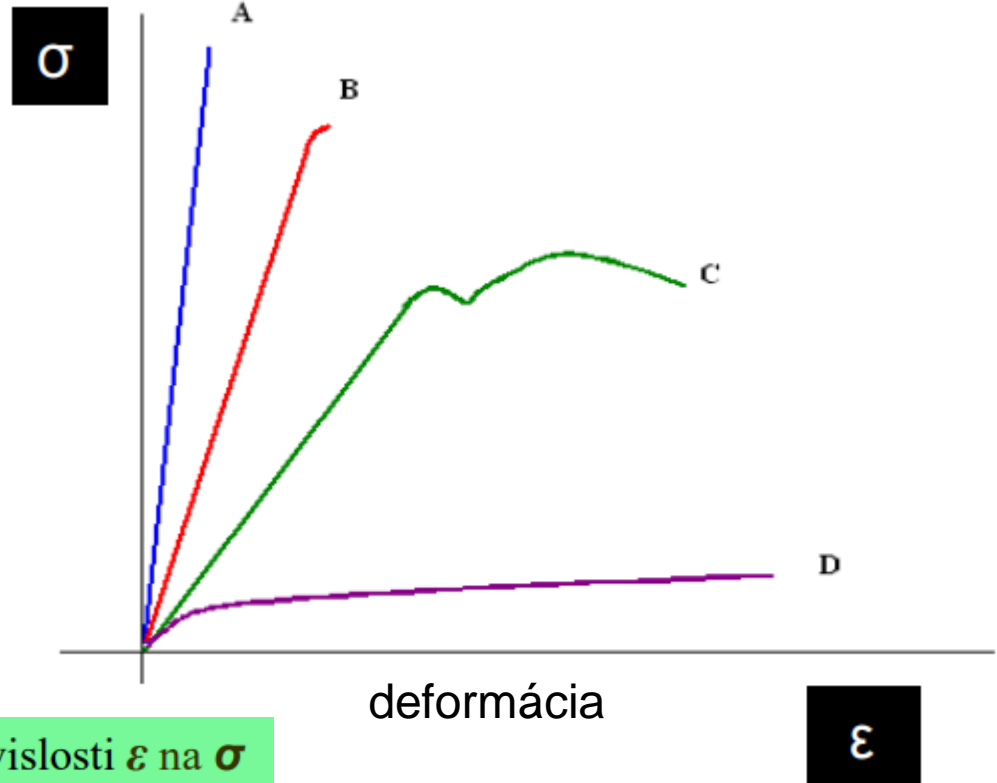
B-E: **plastická deformácia**,  
C-D: tečenie materiálu,  
D-E: spevnenie materiálu,  
E - medza pevnosti ( $\sigma_p$ ).



Vypočítaním aktuálneho normálového napätia a zadaním konkrétnych medzných hodnôt vieme posúdiť, čo sa stane s daným materiálom (napr.  $\sigma_n > \sigma_p$ : objekt sa láme).

# Krivka deformácie

napätie



◀ Pre rôzne materiály majú grafy závislosti  $\epsilon$  na  $\sigma$  veľmi odlišné priebehy:

**A** - materiál pevný, ale veľmi krehký

**B** - pevný materiál, viac deformovateľný ako **A**

**C** - typické pre bežné konštrukčné materiály

**D** - materiál mäkký, poddajný

# Obsah prednášky:

- pevná látka (skupenstvo)
- kryštalické a amorfné látky
- väzbové sily
- kryštalizačné sústavy
- mechanické vlastnosti pevných látok  
(Hookov zákon)
- šírenie mechanických vln pevnými látkami

# mechanické vlny

Presun energie (bez presunu hmôt) sa v prírode deje často pomocou dynamických porúch, presúvajúcich sa v priestore (a oscilujúcich v čase) – tieto dynamické poruchy označujeme ako **vlny**.

**vlny**

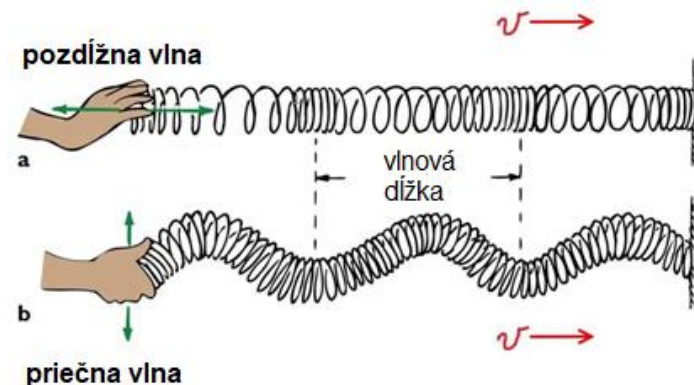
- **mechanické** – šíria sa médiom, ktoré je deforované (napr. zvukové vlny, morské vlny, seizmologické vlny)
- **elektromagnetické** – bez média (aj vo vákuu) (napr. svetlo, sálanie tepla, rádiové vlny, ...)

**mechanické vlny**

- **pozdĺžne** – oscilácie sú paralelné s prenosom energie
- **priečne** – oscilácie sú kolmé na smer šírenia vlny (nešíria sa v plynoch a kvapalinách)



tzv. povrchové vlny



dôležité parametre: vlnová dĺžka [m] a frekvencia [Hz = s<sup>-1</sup>]

# mechanické vlny

**Zvukové vlny** sú taktiež mechanické vlny (vo vákuu sa napríklad nešíria).

Rýchlosť zvuku (mechanických vln)  
v rôznych médiách:

vákuum: 0 m/s,

vzduch: 330 m/s,

voda: 1490 m/s,

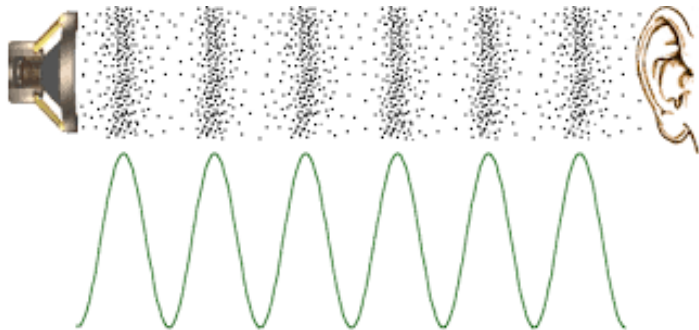
sklo:  $\approx 4000$  m/s,

betón:  $\approx 4800$  m/s,

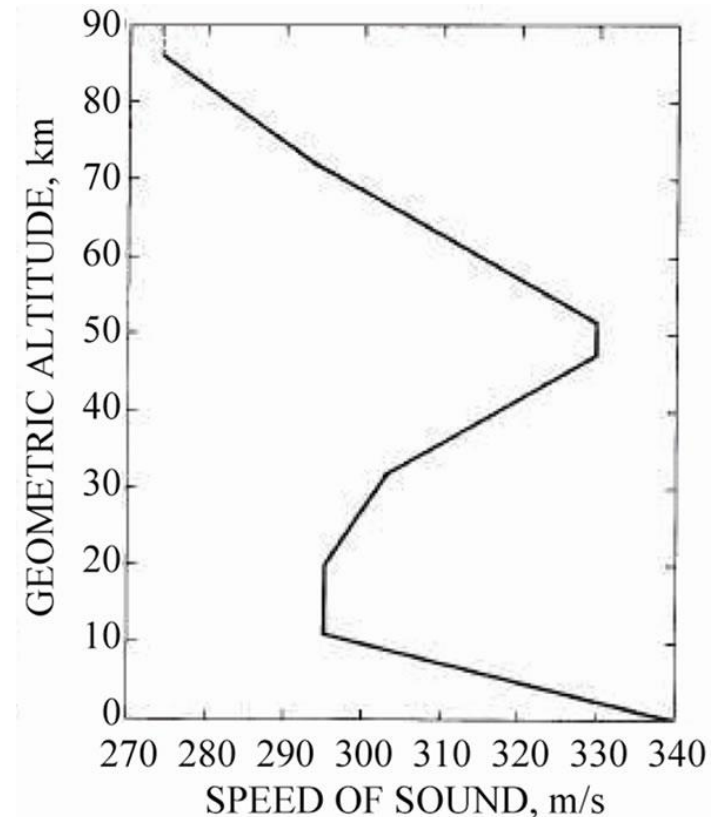
horniny vrchnej kôry: 3000 – 6000 m/s,

horniny spodnej kôry: 6000 – 7000 m/s,

horniny vrchného plášťa:  $\approx 8000$  m/s.



rýchlosť zvuku v atmosfére:



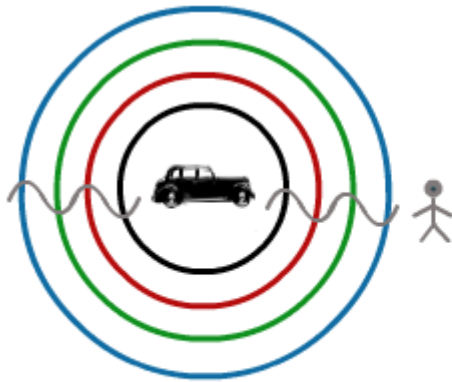
nárast rýchlosti zvuku v stratosfére  
je spôsobený nárastom teploty.



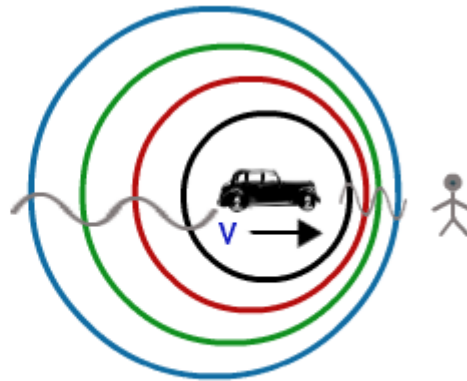
# Dopplerov efekt (jav)

Predstavuje zmenu vo frekvencii zvukovej vlny pre pozorovateľa, ktorý sa pohybuje relatívne ku zdroju zvuku.

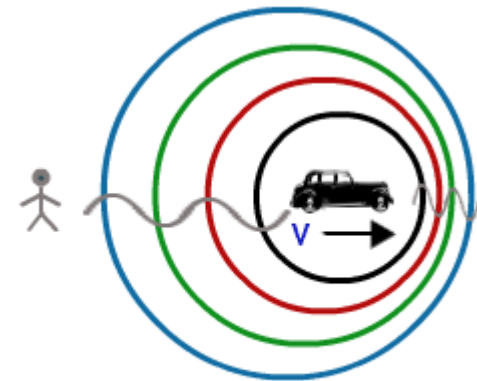
V porovnaní s vysielanou frekvenciou je prijímaná frekvencia vyššia pri približovaní sa objektu a nižšia počas jeho vzdďalovania.



Source at rest



Source in motion

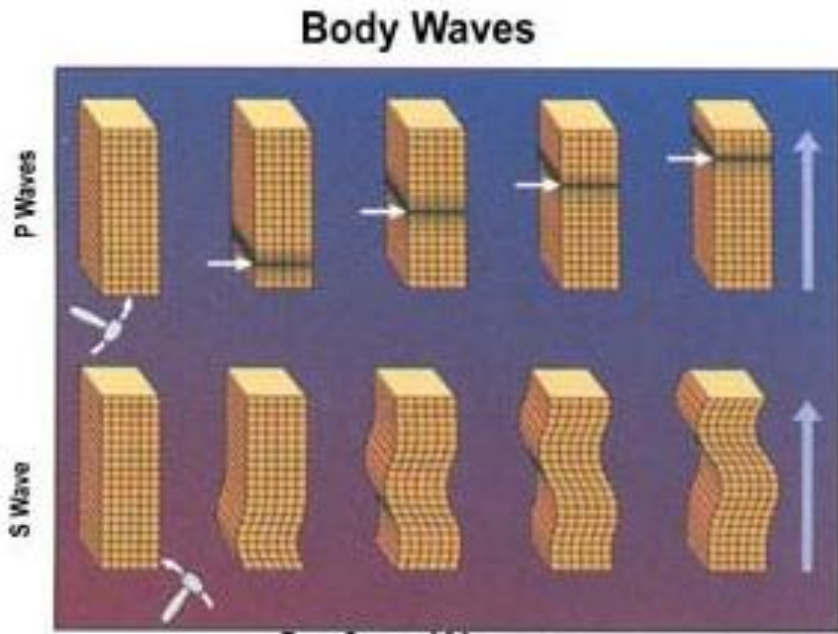


Source in motion



# mechanické vlny

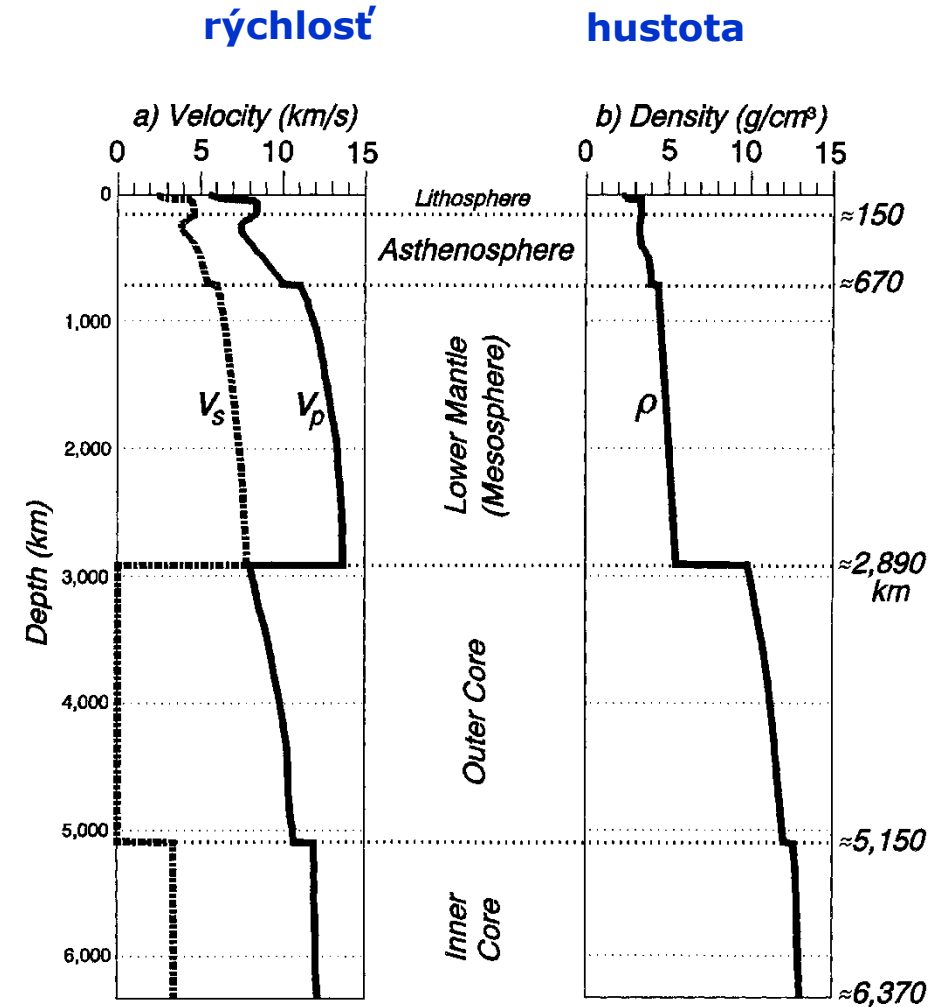
pozdĺžne a priečne vlny



Rýchlosti pozdĺžnych a priečných vĺn:

$$v_p = \sqrt{\frac{K + \frac{4}{3}\mu}{\rho}} \quad v_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$$

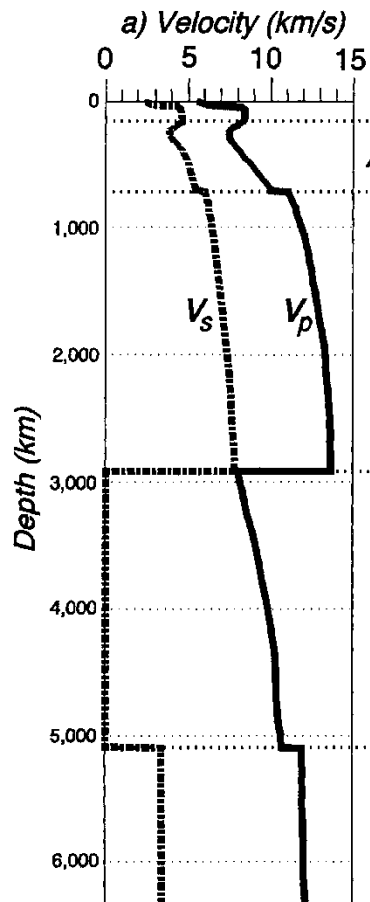
K – objemový modul pružnosti,  
 μ – modul pružnosti v šmyku,  
 ρ – hustota (objemová),



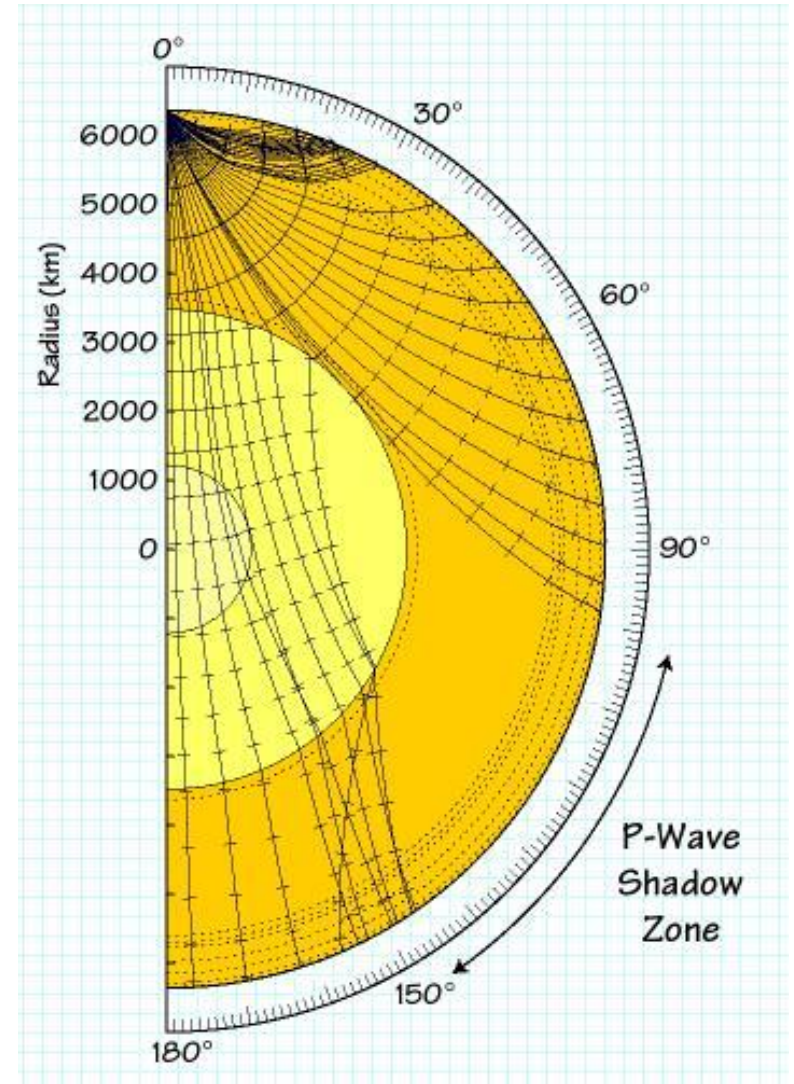
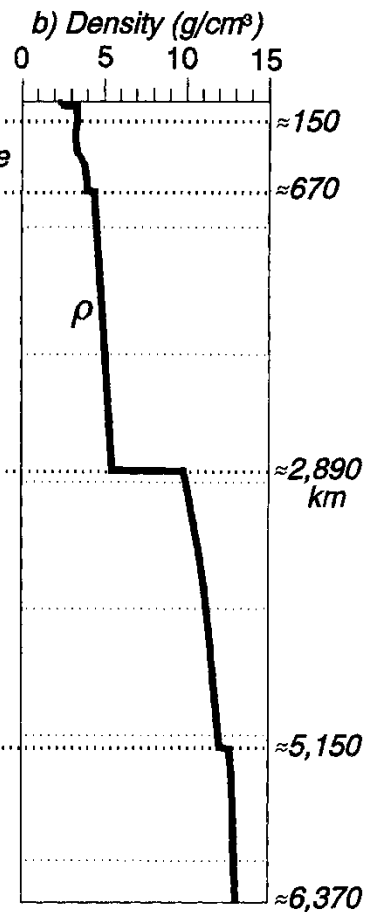
Poznámka:  
 Pozdĺžna vlna sa pri prechode cez rozhranie (odraze a lámaní) delí na pozdĺžnu a priečnu vlnu.

# pozdĺžne a priečne vlny

## rýchlosť



## hustota



Poznámka:

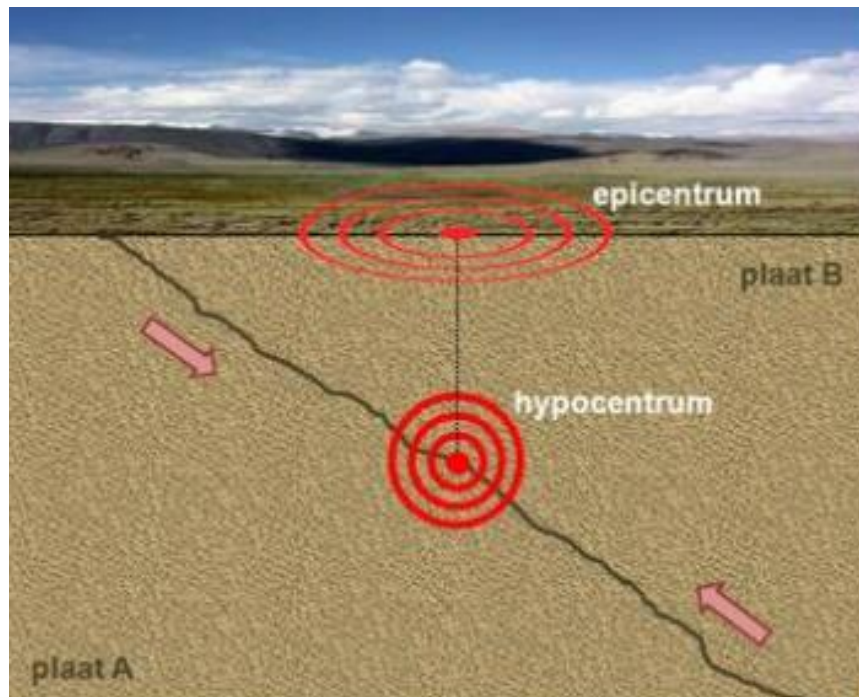
Pozdĺžna vlna sa pri prechode cez rozhranie (odraze a lámaní) delí na pozdĺžnu a priečnu vlnu.

# zemetrasenia a seizmológia:

Vznikajú náhlymi posunmi na tektonických kontaktoch alebo inými príčinami (vulkanizmus, rútenia v bývalých banských dielach,...).

Posúdenie ich sily a dopadu:

- intenzitné stupnice (1-12): podľa škôd,
- magnitúdová škála (Richterova) – podľa amplitúdy registrovaných otrasov



# najsilnejšie svetové zemetrasenia (podľa magnitúdy) od roku 1900

	lokality	dátum	magnitúda
1.	<a href="#">Čile</a>	22.5.1960	9,5
2.	<a href="#">Aljaška</a> , ostrov princa Wiliama	28.3.1964	9,2
3.	neďaleko západného pobrežia severnej Sumatry	26.12.2004	9,1
4.	neďaleko východného pobrežia <a href="#">ostrova Honšú, Japonsko</a>	11.3.2011	9,0
5.	<a href="#">Kamčatka</a>	4.11.1952	9,0
6.	<a href="#">Maule, Čile</a>	27.2.2010	8,8
7.	neďaleko pobrežia Ekvádoru, Tichý oceán	31.1.1906	8,8
8.	<a href="#">Rat Islands, Aljaška</a>	4.2.1965	8,7
9.	<a href="#">severná Sumatra, Indonézia</a>	28.3.2005	8,6
10.	<a href="#">Assam - Tibet</a>	15.8.1950	8,6

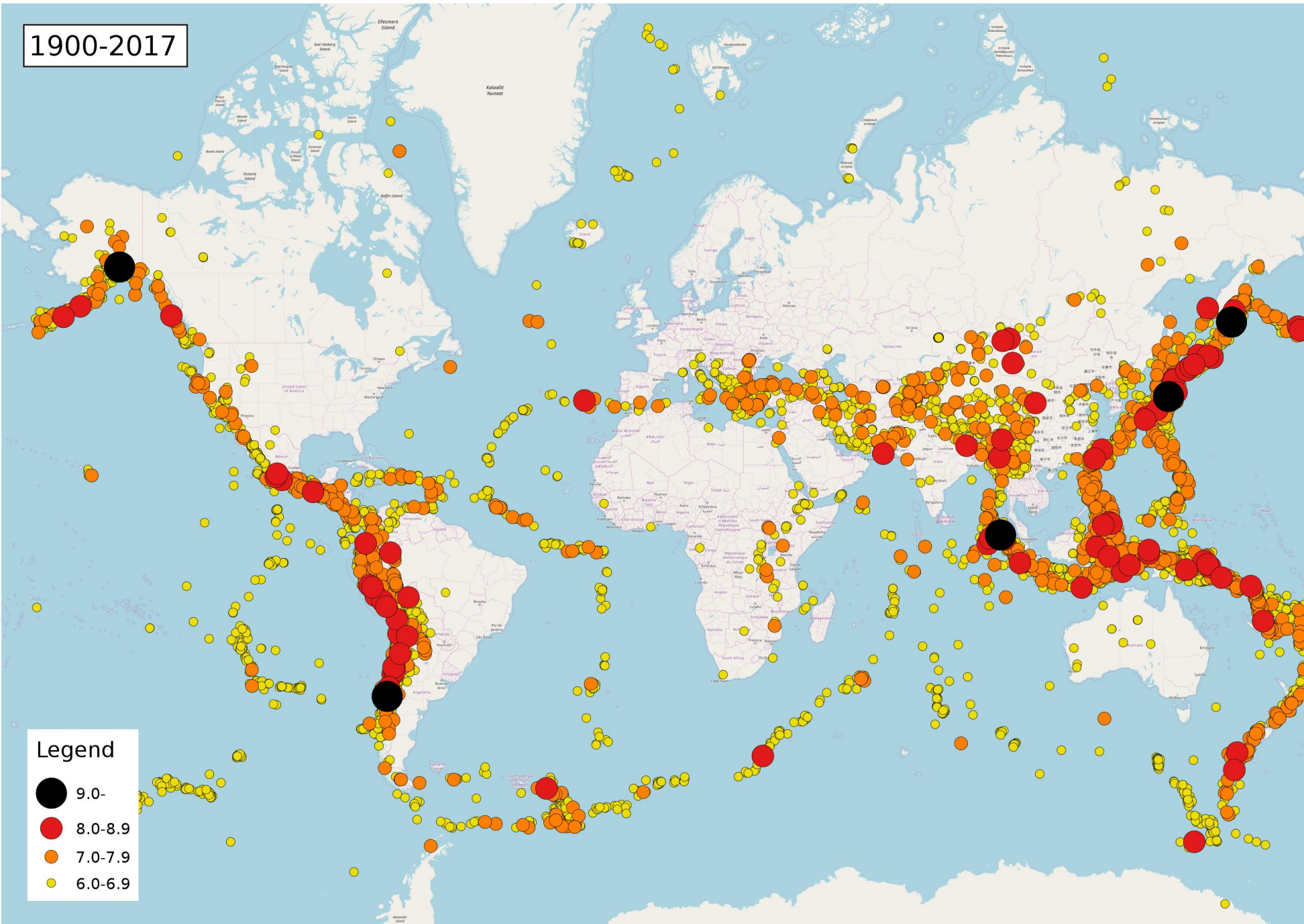
# príklad intenzitnej stupnice (EMS-98, 12 stupňov)

Intenzita	Definícia	Skrátený popis typických účinkov
1	nepocítené	Nepocítené.
2	zriedkavo pocítené	Pocítené len jednotlivcami na niektorých miestach v domoch.
3	slabé	Zemetrasenie vnútri citia niekoľkí (0-20%). Ľudia nanajvýš cítia hojdanie alebo ľahké chvenie.
4	značne pozorované	Zemetrasenie vo vnútri citia mnohí (10-60%), vonku len výnimočne. Niekoľkí sú prebudení. Okná, dvere a riad štrngajú.
5	silné	Zemetrasenie vo vnútri citi väčšina (50-100%), vonku niekoľkí. Mnohí spiaci sa prebudia. Niekoľkí sú vystrašení. Budovy vibrujú. Visiace objekty sa značne hojdajú. Malé predmety sú posunuté. Dvere a okná sa otvárajú a zatvárajú.
6	mierne ničivé	Mnohí sú vystrašení a vybiehajú von. Niektoré predmety padnú. Mnohé budovy utrpia malé neštrukturálne škody ako napr. vlásočnicové trhliny alebo odpadnuté malé kúsky omietky.
7	ničivé	Väčšina ľudí je vystrašená a vybiehajú von. Nábytok je posunutý. Predmety padajú z polic vo veľkom množstve. Mnohé dobre postavené bežné budovy utrpia stredné škody: opadá omietka, padnú časti komínov; v stenách starších budov sú veľké trhliny a priečky sú zrútené.
8	ťažko ničivé	Mnohí majú problémy udržať rovnováhu. Mnohé domy majú veľké trhliny v stenách. Niekoľko dobre postavených bežných budov má vážne poškodené steny. Slabé staršie budovy sa môžu zrútiť.
9	deštruktívne	Všeobecná panika. Mnoho slabých budov sa zrúti. Aj dobre postavené bežné budovy utrpia veľmi ťažké škody: ťažké poškodenie stien a čiastočne aj štrukturálne škody.
10	veľmi deštruktívne	Mnohé dobre postavené bežné budovy sa zrúti.
11	devastujúce	Väčšina dobre postavených bežných budov sa zrúti. Aj niektoré budovy s dobrým antiseizmickým dizajnom sú zničené.
12	úplne devastujúce	Takmer všetky budovy sú zničené.

1900-2017

Legend

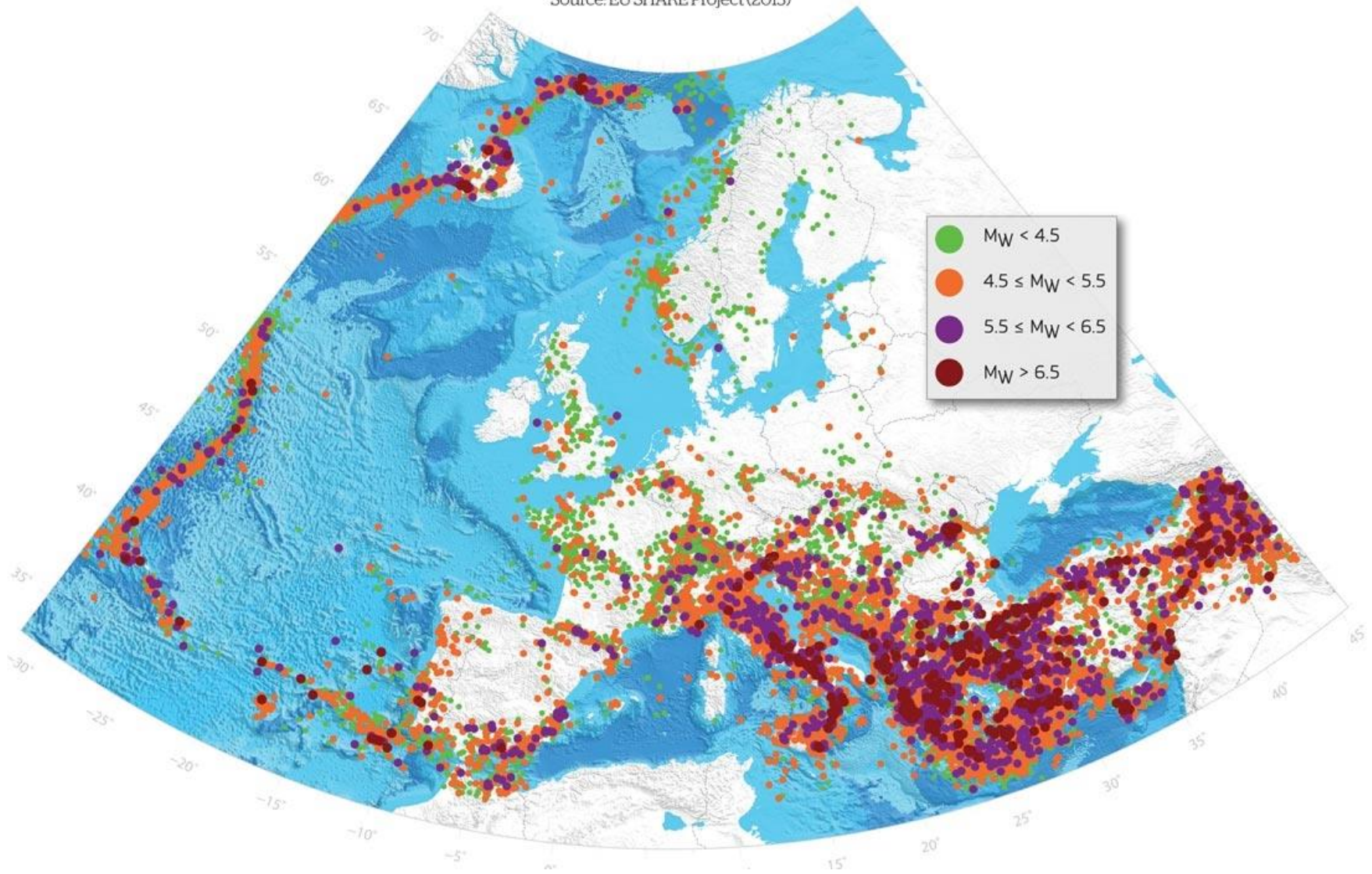
- 9.0-
- 8.0-8.9
- 7.0-7.9
- 6.0-6.9



# Earthquake history in Europe

Distribution of over 30,000 earthquakes  
with magnitudes larger or equal to 3.5 for the period 1000 to 2007

Source: EU SHARE Project (2013)



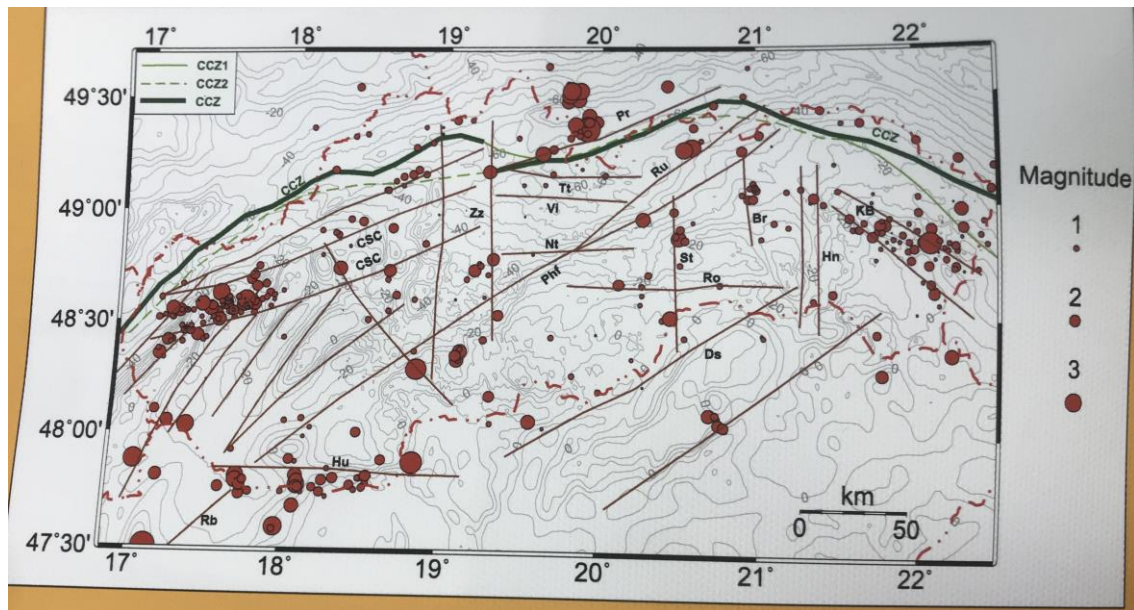
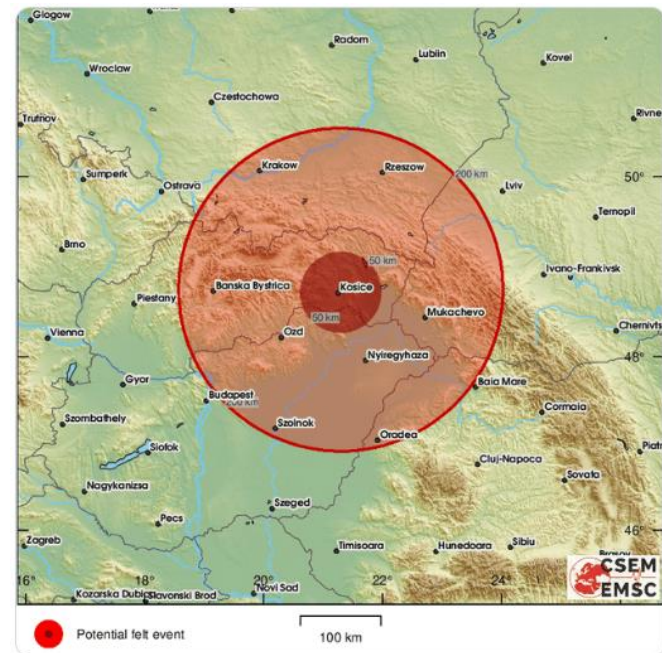


## Zemetrasenie pri Humennom, 9.10.2023:

- intenzitný stupeň ešte nie je určený (súčasný odhad: 6 až 7)
- hodnota magnitúdy sa odhaduje na 4,9

epicentrum – SV od obce Ďapalovce  
hypocentrum – 17,8 km

Doteraz najsilnejšie zemetrasenie v tomto regióne (za ostatné desaťročia) bolo 26.5.1914 v Giraltovciach a Hanušovciach n. Topľou (M=4,8, I=7)



obec Ďapalovce