



## Nové možnosti rozvoje vzdělávání na Technické univerzitě v Liberci

Specifický cíl A3:Tvorba nových profesně zaměřených studijních programů

**NPO\_TUL\_MSMT-16598/2022**



### **Předmět: Nauka o materiálu** **Přednáška č. 1: Úvod do materiálů, historie, struktura materiálů**

doc. Ing. Pavlína Hájková, Ph.D.

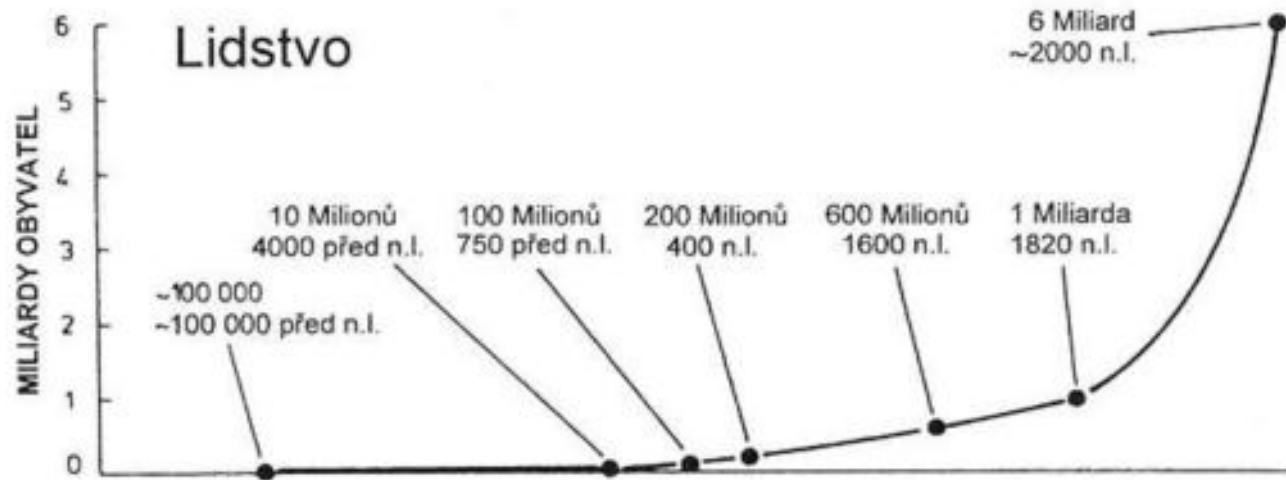
# Cíl přednášky

Cílem přednášky je seznámit studenty s materiálovými vědami, historií a strukturou materiálů. Studenti se seznámí s rozdělením materiálů, historií využívání materiálů člověkem, jejich vývojem a strukturou.

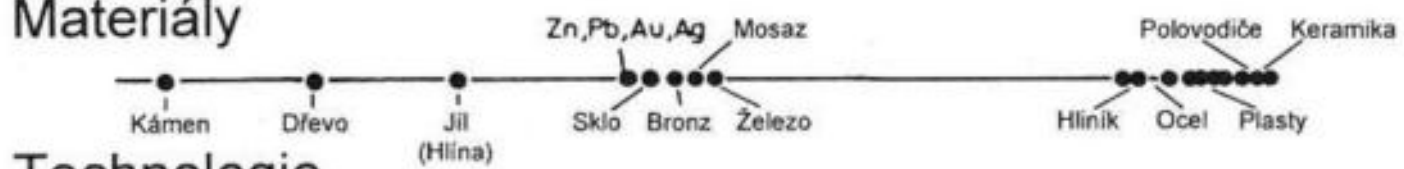
# Obsah

1. Historie a vývoj materiálů
2. Podstata materiálů
3. Rozdělení materiálů a vliv člověka
4. Periodická tabulka prvků
5. Struktura materiálů
6. Krystalografické mřížky
7. Rovnovážné binární diagramy

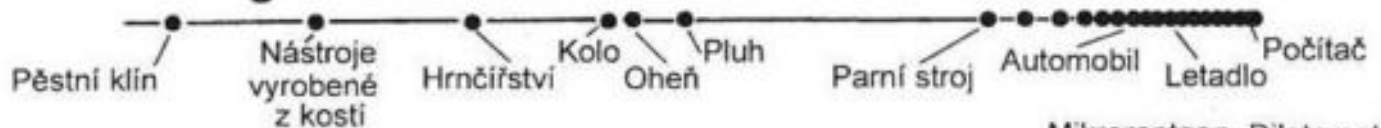
# Vývoj materiálů a technologií



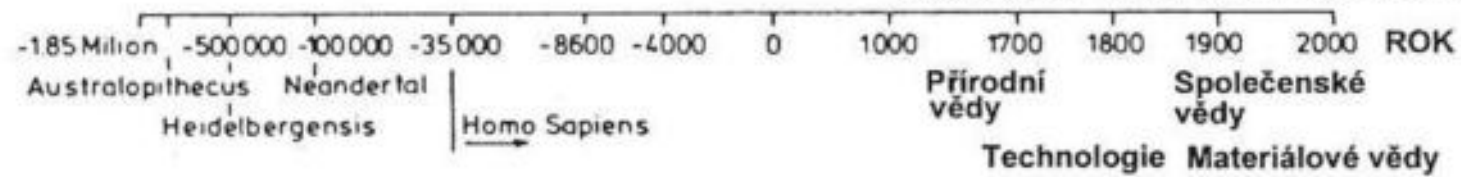
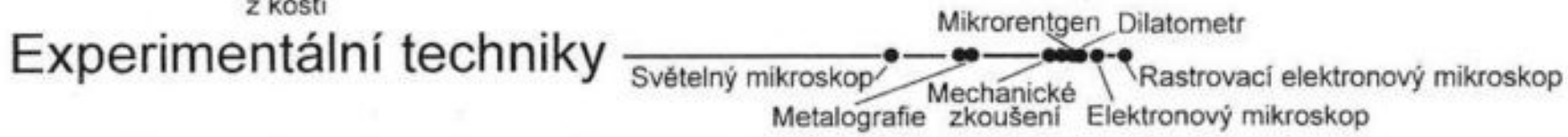
## Materiály



## Technologie



## Experimentální techniky

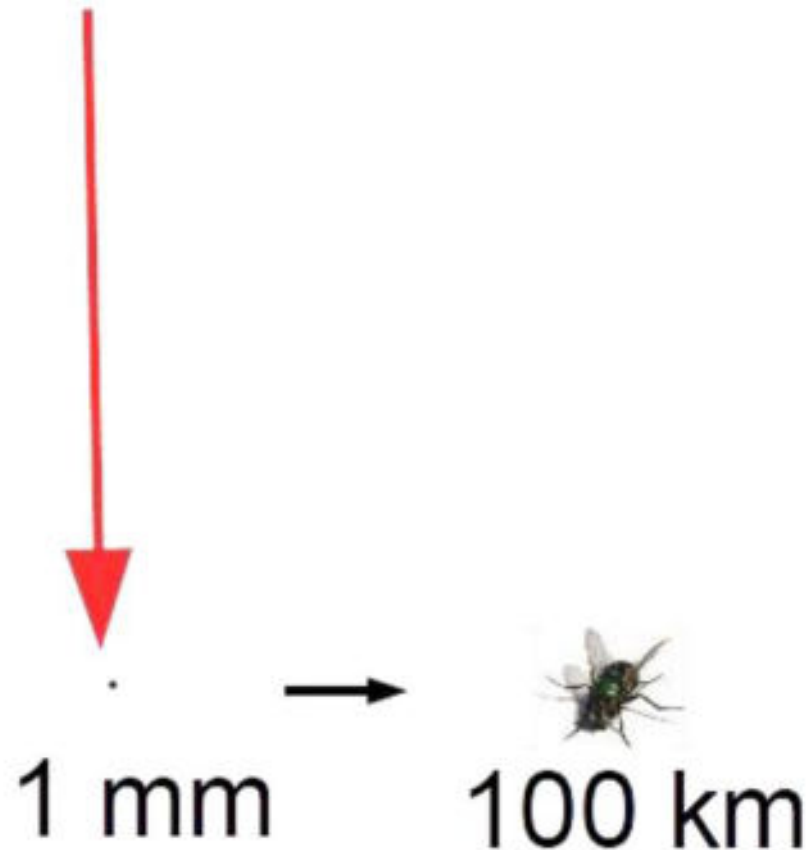


<https://cz.pinterest.com/pin/505529126901378774/>  
[https://is.muni.cz/th/yjnx/Bakalarska\\_prace.pdf](https://is.muni.cz/th/yjnx/Bakalarska_prace.pdf)  
<https://kosmonautix.cz/2013/04/ma-kosmonautika-smysl/>

# Úvod – podstata materiálu

ATOM  $\sim 0,1\text{nm} = 1\text{\AA}$

tj. 10 000 000 000 atomů v 1m



# Proč jsou materiály důležité

Vše kolem nás je z nějakého materiálu

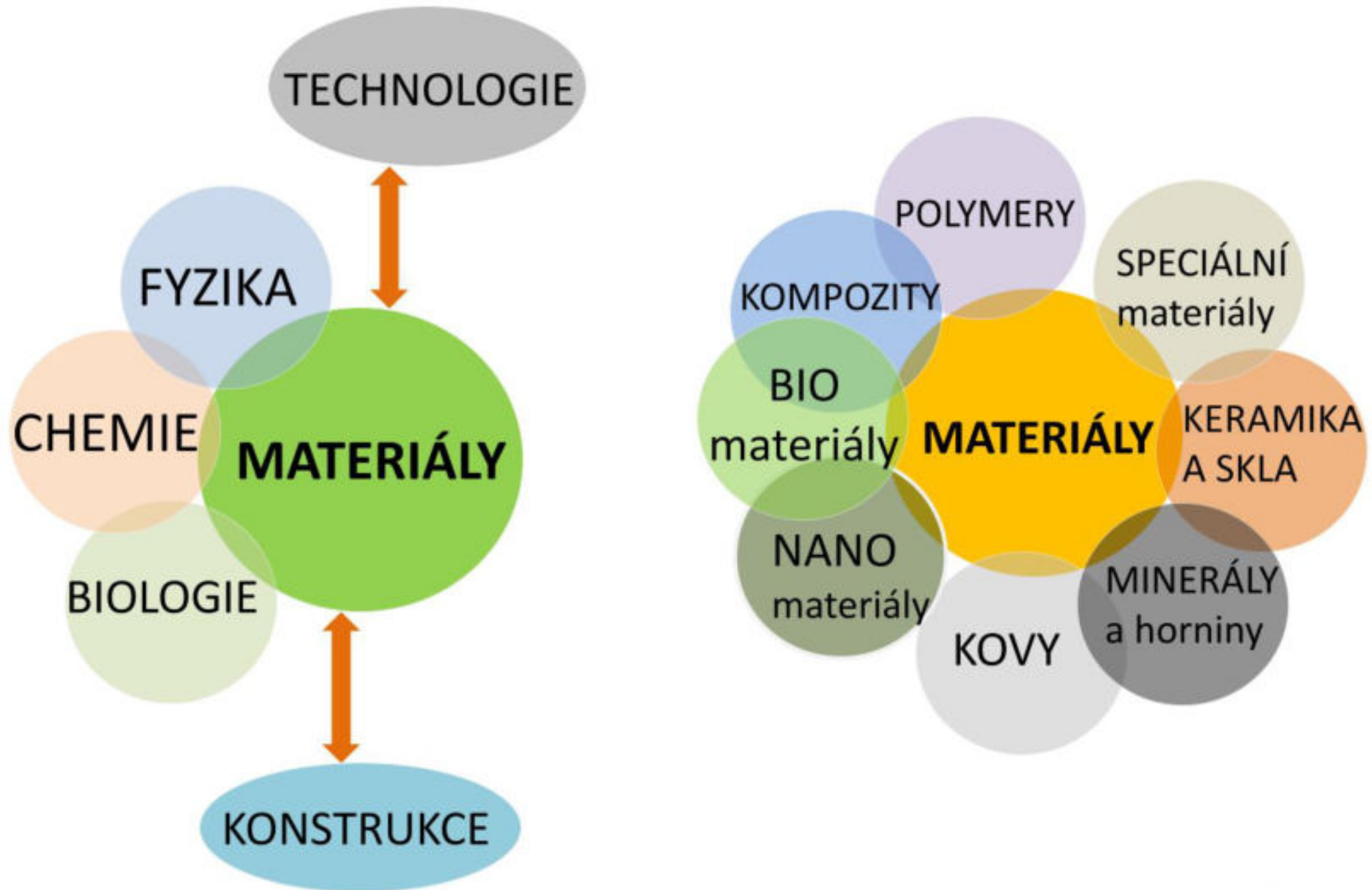


Pro optimální užitkové vlastnosti je třeba vybrat či vyvinout správný materiál

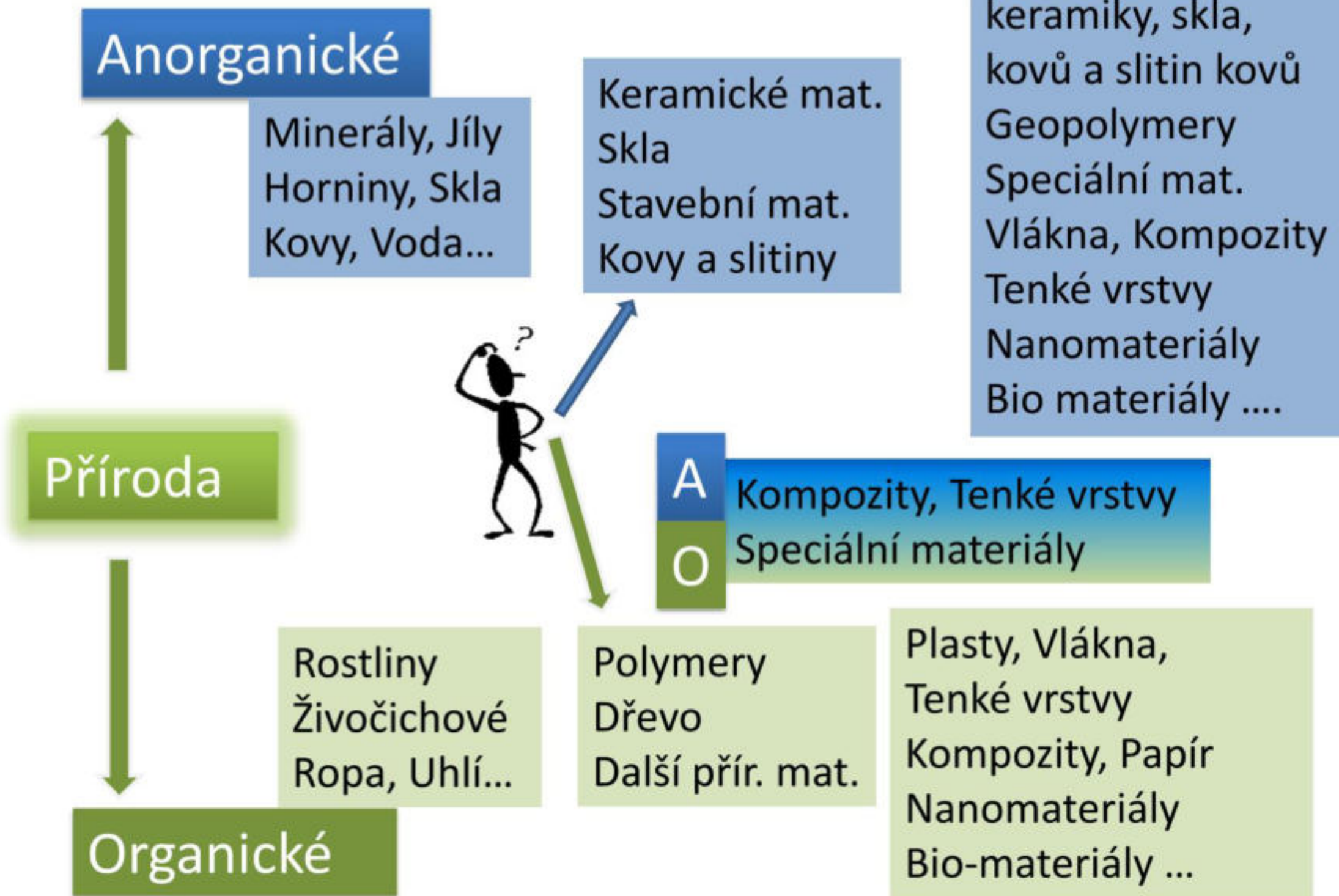
<https://www.autolexicon.net/cs/articles/quattro/>

<https://www.mbkeramika.cz/sekce/umyvadla-a-toalety-serie-ilbagnoalessi-one>

# Rozdělení materiálů a vliv člověka

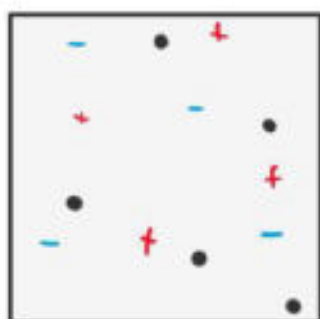


# Rozdělení materiálů a vliv člověka

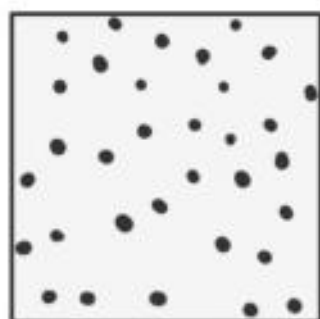




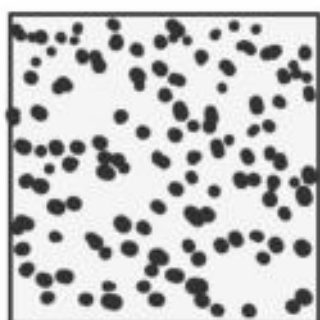
# Energie a skupenství látek



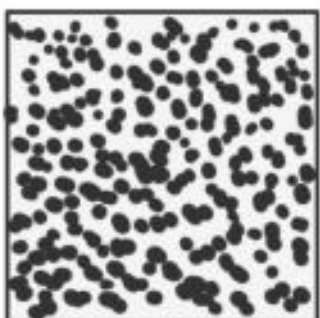
Plazma



Plyn



Kapalina

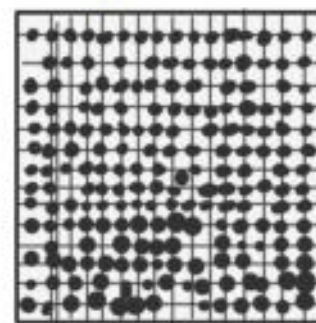


Pevná látka

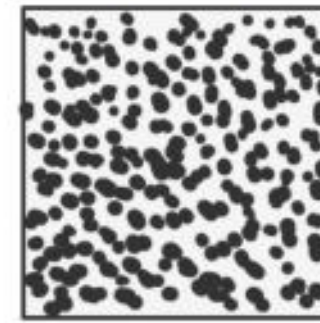


energie

Krystalické



Amorfní



# Pevné látky (PL)

rozdělení z hlediska vnitřní stavby PL dělíme na:

- Krystalické – všechny kovy za normální teploty s výjimkou Hg (výjimka kovová skla)
- Amorfní – zpravidla všechny kapaliny a plyny (výjimka tekuté krystaly), z pevných látek např. některé plasty, sklo apod.
- Semikrystalické – některé plasty

# Amorfní látky - charakteristika

- V tuhém stavu mohou být považovány za velmi viskózní kapaliny v přechlazeném stavu
- Typické vlastnosti – izotropie fyzikálních vlastností, uspořádanost jen na krátkou vzdálenost – např. v molekule atomy uspořádané, ale molekuly mezi sebou už nikoli.
- Amorfní jsou i kapaliny



# Krystalické látky - charakteristika

- Pravidelná vnitřní stavba, určité uspořádání částic se periodicky opakuje i na dlouhou vzdálenost
- krystal - pokud se projeví pravidelnost vnitřní stavby i v geometrické pravidelnosti ploch krystalu

## MONOKRYSTAL



## POLYKRYSTAL

Safír  $\text{Al}_2\text{O}_3$



$\text{FeS}_2$  – disulfid železnatý



Cukrové krystaly



# Krystalová struktura

## *Jak si představit strukturu pevných látek?*

*Prostorová mřížka* – vychází z určitého bodu, jeho počátku a postupuje ve třech směrech po krocích o velikostech  $a$ ,  $b$ ,  $c$ . Tím se vytyčí určité body, zvané *uzlové body* – prostorová mřížka je souborem uzlových bodů v prostoru ( v rámci krystalu).

## *Co je elementární buňka a co ji charakterizuje?*

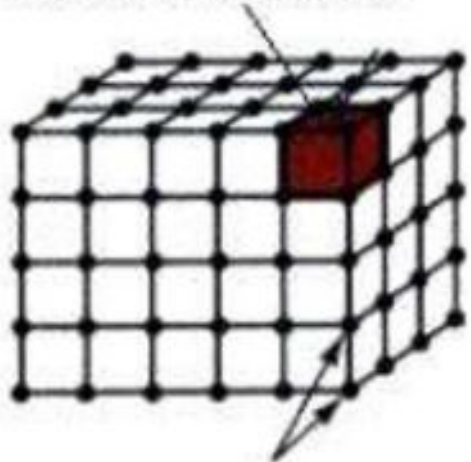
nejmenší část prostorové mřížky, která se periodicky opakuje (uzly při 1 kroku).

**Mřížkové parametry  $a$ ,  $b$ ,  $c$**  – délky hran elementární buňky v směre souřadných os.

**Úhly  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$**

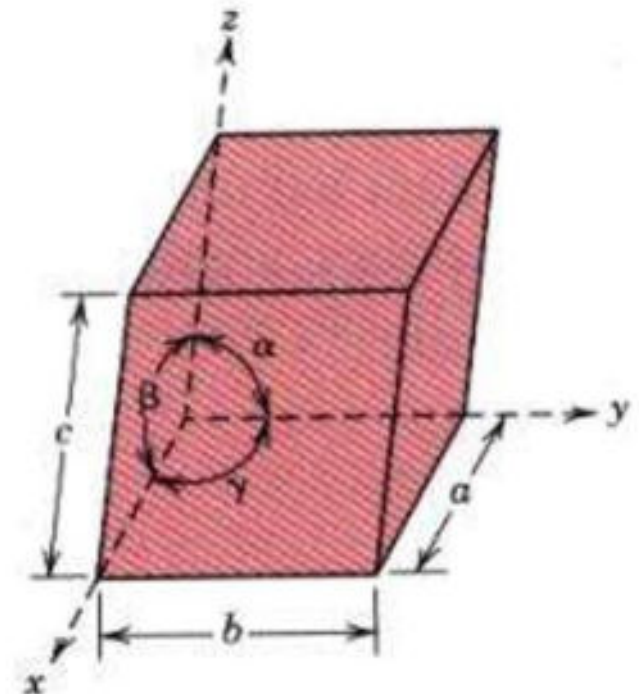
Krystalová  
mřížka  
Elementární  
buňka

Elementární buňka

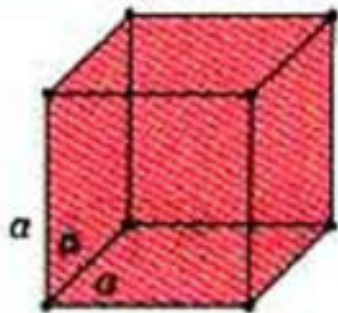
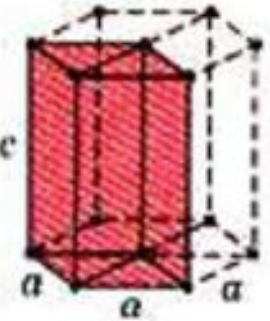
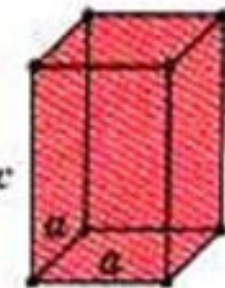


Uzly krystalové mříže

Parametry  
elementární  
buňky



# Typy krystalových mřížek – 7 krystalových systémů

Soustava	Úseky na osách	Úhly	Elementární buňka
Kubická (krychlová) prostá, prostorově a plošně centrovaná.	$a = b = c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	
Šesterečná (hexagonální), prostá	$a = b \neq c$	$\alpha = \beta = 90^\circ, \gamma = 120^\circ$	
Čtverečná (tetragonální), prostá a prostorově centrovaná	$a = b \neq c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	

# Typy krystalových mřížek

Trigonální - klencová  
(romboedrická), prostá

$$a = b = c$$

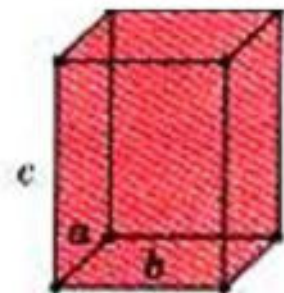
$$\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$$



Kosočtverečná  
(ortorombická), prostá,  
bazálně, plošně i  
prostorově centrovaná.

$$a \neq b \neq c$$

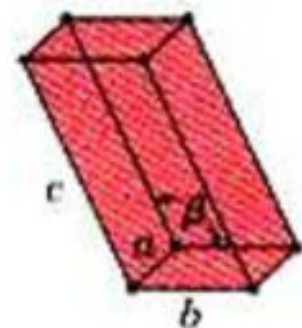
$$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$$



Jednoklonná  
(monoklinická), prostá  
a bazálně centrovaná

$$a \neq b \neq c$$

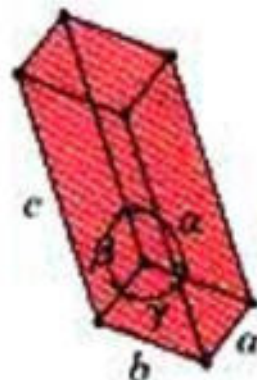
$$\alpha = \gamma = 90^\circ \neq \beta$$



Trojklonná  
(triklinická), prostá

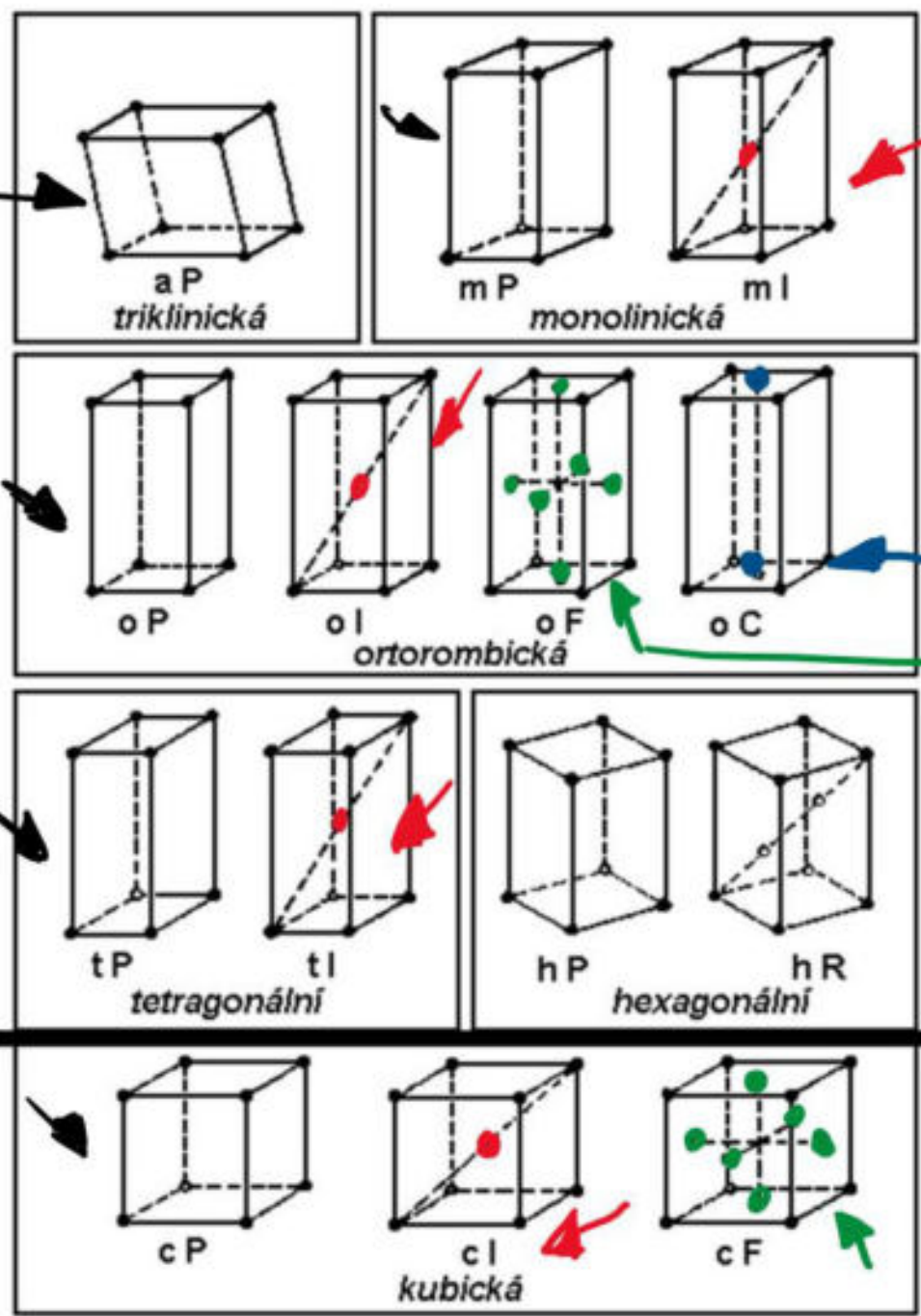
$$a \neq b \neq c$$

$$\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$$



# 14 Bravaisových mřížek

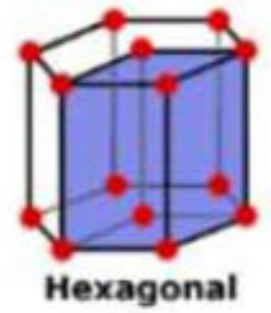
prostá



prostorově centrována

plošně centrována

bazálně centrována

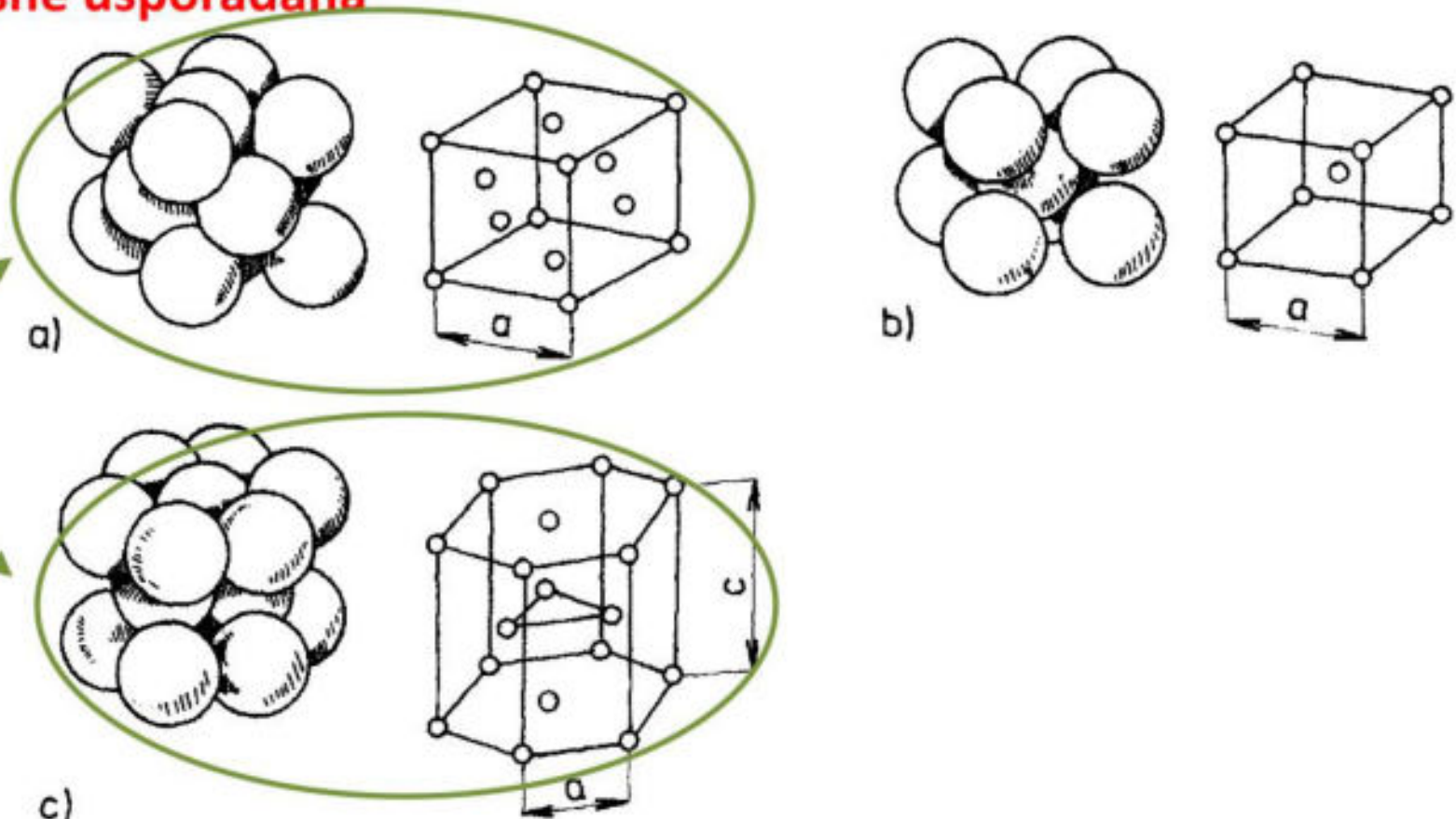




# Nejčastější mřížky u kovů

- **Kubická: Plošně centrovaná, Prostorově centrovaná**
- **Hexagonální: těsně uspořádaná**
- **Tetragonální**

Krystaly s  
nejtěsnějším  
uspořádání atomů



**Obr.: Základní krystalové buňky nejčastějších mřížek kovů (model a schéma) a) krychlová plošně centrovaná (fcc), b) krychlová prostorově centrovaná (bcc), c) šesterečná těsně uspořádaná. (h.c.p. = hexagonal close-packed)**

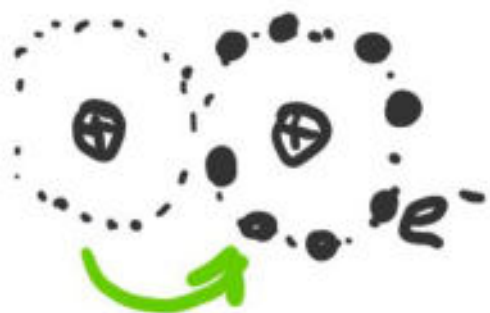
# Vazby mezi atomy

Jednotlivé stavební částice na sebe působí silami.

- **U plynů a kapalin** se vzájemná poloha částic mění (Browův pohyb..)
- **U pevných látek** jsou síly natolik silné, že se atomy (ionty) udrží ve stálých vzájemných polohách (teplo - kmitání).

Podle charakteru se vazby dělí na:

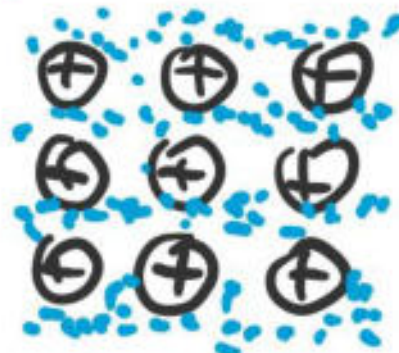
iontovou



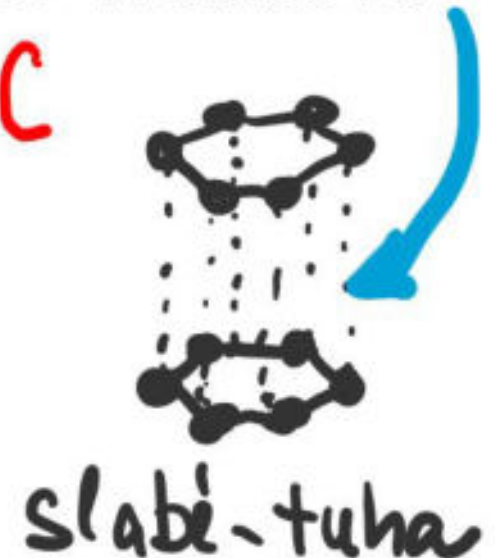
kovalentní



kovovou



Van der Waalsovu



# Periodická soustava prvků

Sodík

Vápník

Železo

Hliník

Kyslík

Chlor

## Periodická soustava prvků



1	1 1,0079 H Vodík	2 II. A											13 III. A	14 IV. A	15 V. A	16 VI. A	17 VII. A	18 4,00 He Helium									
2	3 6,94 Li Lithium	4 9,01 Be Berylium											5 10,81 B Křemík	6 12,01 C Uhlík	7 14,01 N Dusík	8 16,00 O Kyslík	9 19,00 F Fluor	10 20,18 Ne Neon									
3	11 22,99 Na Sodík	12 24,31 Mg Hořčík	3 III. B	4 IV. B	5 V. B	6 VI. B	7 VII. B	8 VIII. B	9 VIII. B	10 VIII. B	11 I. B	12 II. B	13 26,98 Al Hliník	14 28,09 Si Křemík	15 30,97 P Fosfor	16 32,06 S Síra	17 35,45 Cl Chlor	18 39,95 Ar Argon									
4	19 39,10 K Draslík	20 40,08 Ca Vápník	21 44,96 Sc Skandium	22 47,88 Ti Titan	23 50,94 V Vanad	24 52,00 Cr Chrom	25 54,94 Mn Mangan	26 55,85 Fe Železo	27 58,93 Co Kobalt	28 58,69 Ni Nikl	29 63,55 Cu Měď	30 65,38 Zn Zinek	31 69,72 Ga Gallium	32 72,61 Ge Germanium	33 74,92 As Arsen	34 78,96 Se Selen	35 79,90 Br Brom	36 83,80 Kr Krypton									
5	37 85,47 Rb Rubidium	38 87,62 Sr Stroncium	39 88,91 Y Yttrium	40 91,22 Zr Zirkonium	41 92,91 Nb Niobium	42 95,94 Mo Molybden	43 ~98 Tc Technecium	44 101,07 Ru Ruthenium	45 102,91 Rh Rhodium	46 106,42 Pd Palladium	47 107,87 Ag Stříbro	48 112,41 Cd Kadmium	49 114,82 In Indium	50 118,71 Sn Cín	51 121,75 Sb Antimon	52 127,60 Te Tellur	53 126,90 I Jod	54 131,29 Xe Xenon									
6	55 132,91 Cs Cesium	56 137,33 Ba Barium											72 178,49 Hf Hafnium	73 180,95 Ta Tantal	74 183,85 W Wolfram	75 186,21 Re Rhenium	76 190,20 Os Osmium	77 192,22 Ir Iridium	78 195,08 Pt Platina	79 196,97 Au Zlato	80 200,59 Hg Rtuť	81 204,38 Tl Thallium	82 207,20 Pb Olovo	83 208,98 Bi Bismut	84 ~209 Po Polonium	85 ~210 At Astat	86 ~222 Rn Radon
7	87 ~223 Fr Francium	88 226,03 Ra Radium											104 ~267 Rf Rutherfordium	105 ~268 Db Dubnium	106 ~269 Sg Seaborgium	107 ~270 Bh Bohrium	108 ~269 Hs Hassium	109 ~278 Mt Meitnerium	110 ~281 Ds Darmstadtium	111 ~281 Rg Roentgenium	112 ~285 Cn Copernicium	113 ~286 Nh Nihonium	114 ~289 Fl Flerovium	115 ~288 Mc Moscovium	116 ~293 Lv Livermorium	117 ~294 Ts Tennessine	118 ~294 Og Oganesson

# Nedokonalosti krystalové stavby - PORUCHY

## Druhy krystalů:

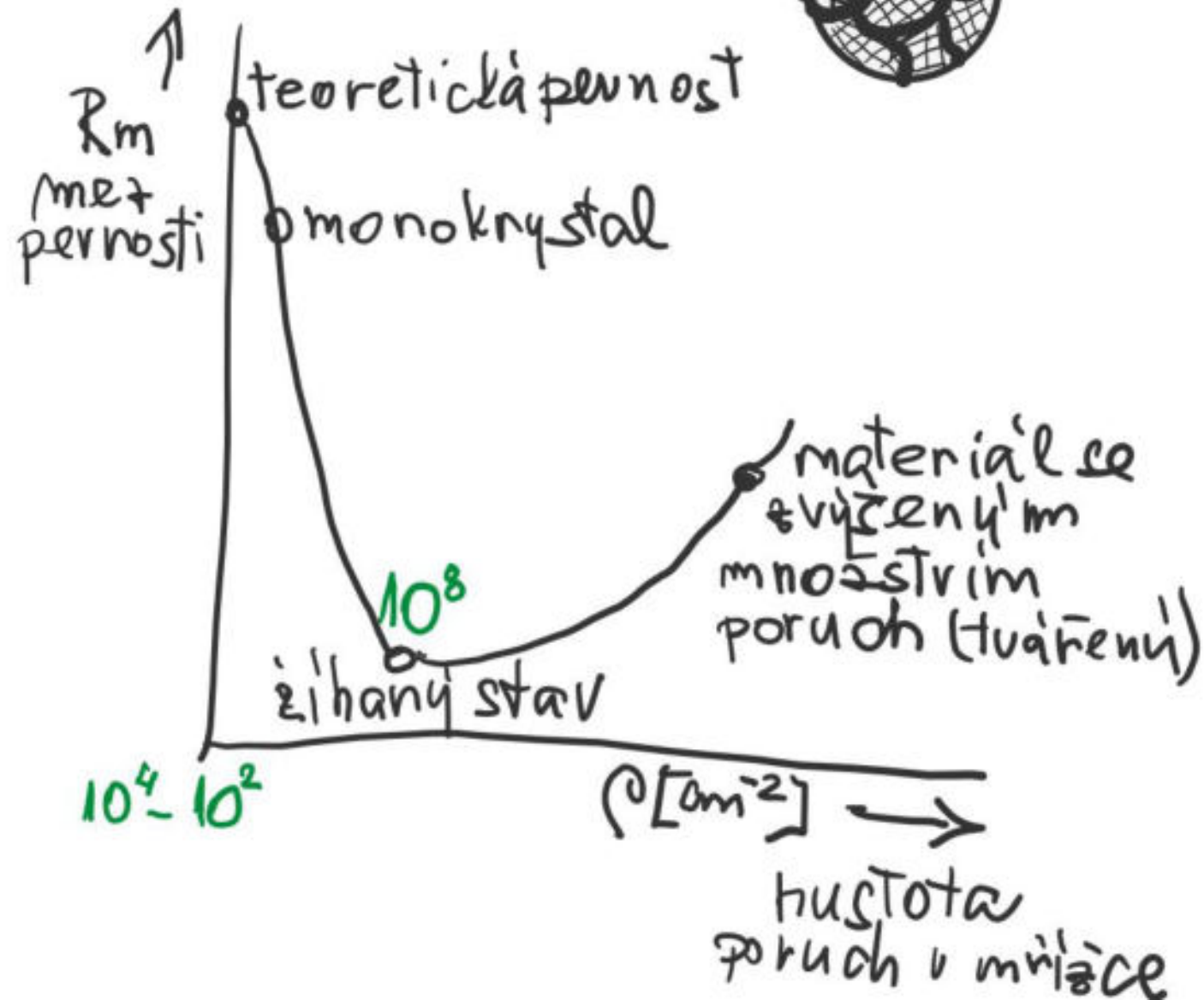
**monokrystaly** - vláknové, masivní  
**polykrystaly**



### Monokrystaly:

**vláknové** – blíží se vlastnostmi ideálním krystalům, pevnost téměř ideální, malý počet poruch,  $\varnothing$  několik  $\mu\text{m}$ , délka = cm.

**masivní** -  $\varnothing$  víc než 1 cm – složeny z bloků – orientace odchylky o min. či sek.



# Nedokonalosti krystalové stavby - PORUCHY

## PORUCHY:

### Strukturní:

- a) **Bodové**
  - I. Vakance
  - II. Substituce
  - III. Intersticiály
    - vlastní
    - nevlastní
  
- b) **Čárové (dislokace)**
  - I. Hranové
  - II. Šroubové
  
- c) **Plošné**
  - hranice zrn a podzrn
  - vrstvené chyby

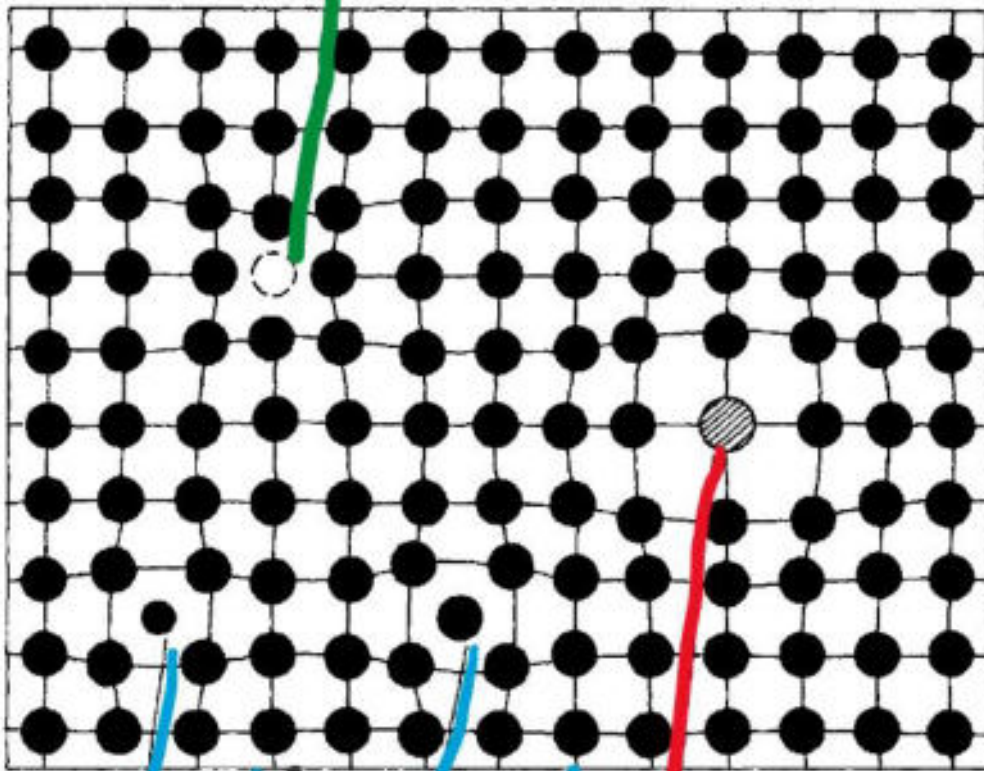
# BODOVÉ PORUCHY (difúze)

**Vakance** - prázdné (neobsazené) uzlové body mřížky.

**Substituční** - atomy příměsových prvků umístěné v uzlovém bodě mřížky, kde nahrazují základní mřížkový atom.

**Intersticiální** - atomy umístěné v mezimřížkové (intersticiální) poloze.

VAKANCE



**Bodové poruchy umožňují difúzi**

Uplatňují se např.:

- při krystalizaci
- plastické deformaci
- fázových přeměnách

Je to přemísťování částic pomocí – vakancí, intersticiální pohyb, výměny (sousedí)

SUBSTITUČNÍ ATOM  
PŘÍMĚSI

NEVLASTNÍ  
INTERSTICIÁLNÍ

# ČÁROVÉ PORUCHY = DISLOKACE (tváření)

*Dislokace hranové*

$\mathbf{b} \perp$

*Dislokace šroubové*

$\mathbf{b} \parallel$

$\mathbf{b}$  = **Burgersův vektor** – a jeho poloha vůči dislokační čáře. Podle uhlu, který svírá Burgersův vektor s dislokační čarou poznáme zda jde o dislokaci hranovou nebo šroubovou. Burgersův vektor je roven nejkratší vzdálenosti atomů v neporušené mřížce.

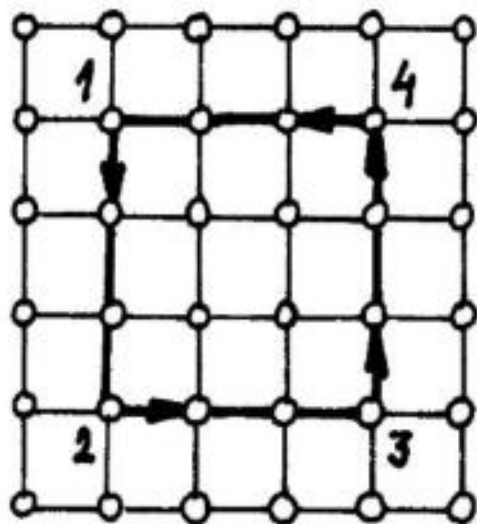
**Pohyb dislokací**

**SKLUZ** - až rychlosti šíření zvuku v daném kovu

**ŠPLH** – (difuzní, lezení) - u hranových dislokací – je pomalejší než skluz

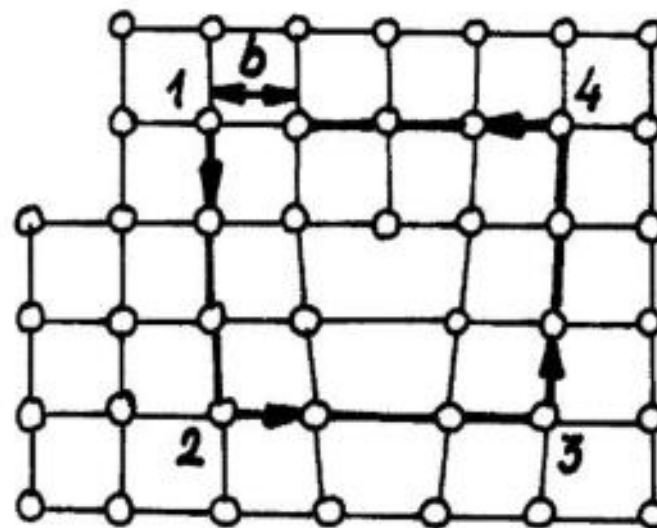
- Pohybu brání např. další částice, dislokace se kupí na překážkách, protínají se – **mechanismy deformačního zpevnění**
- Hustota dislokací – celková délka dislokačních čar v jednotce objemu - ve vyžíhaném kovu  $10^{11}$  až  $10^{12} \text{ m}^{-2}$ . **Tvářením za studena se zvětší o 4 až 5 řádů.**

## Mřížka bez poruch



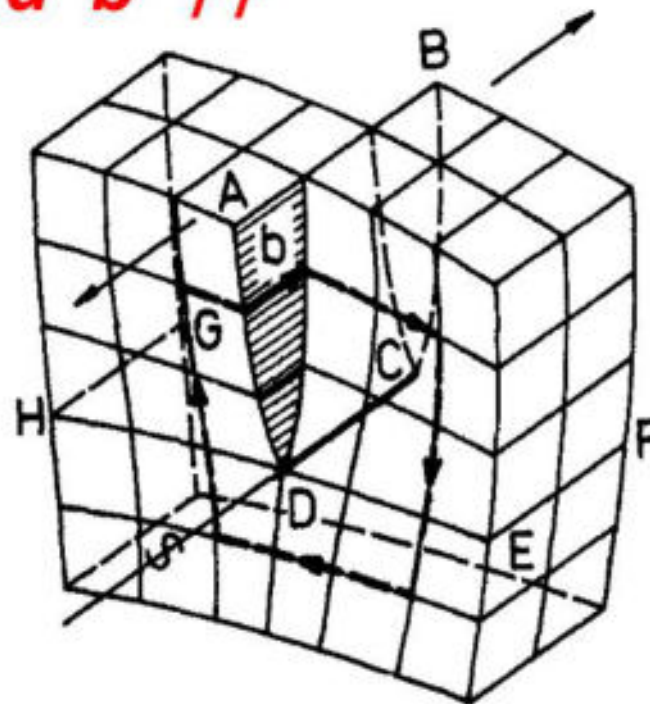
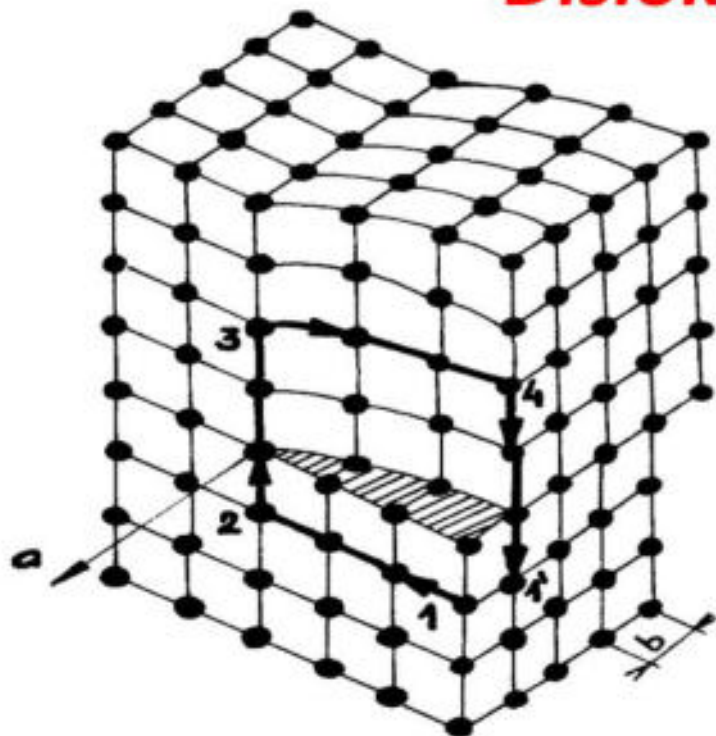
A

## Dislokace hranová $b \perp$



B

## Dislokace šroubová $b \parallel$





# PLOŠNÉ PORUCHY

## Hranice zrn

odděluje zrna téže fáze s různou orientací mřížky nebo zrna různých fází, lišící se navíc typem a parametry mřížky.

## Hranice podzrn

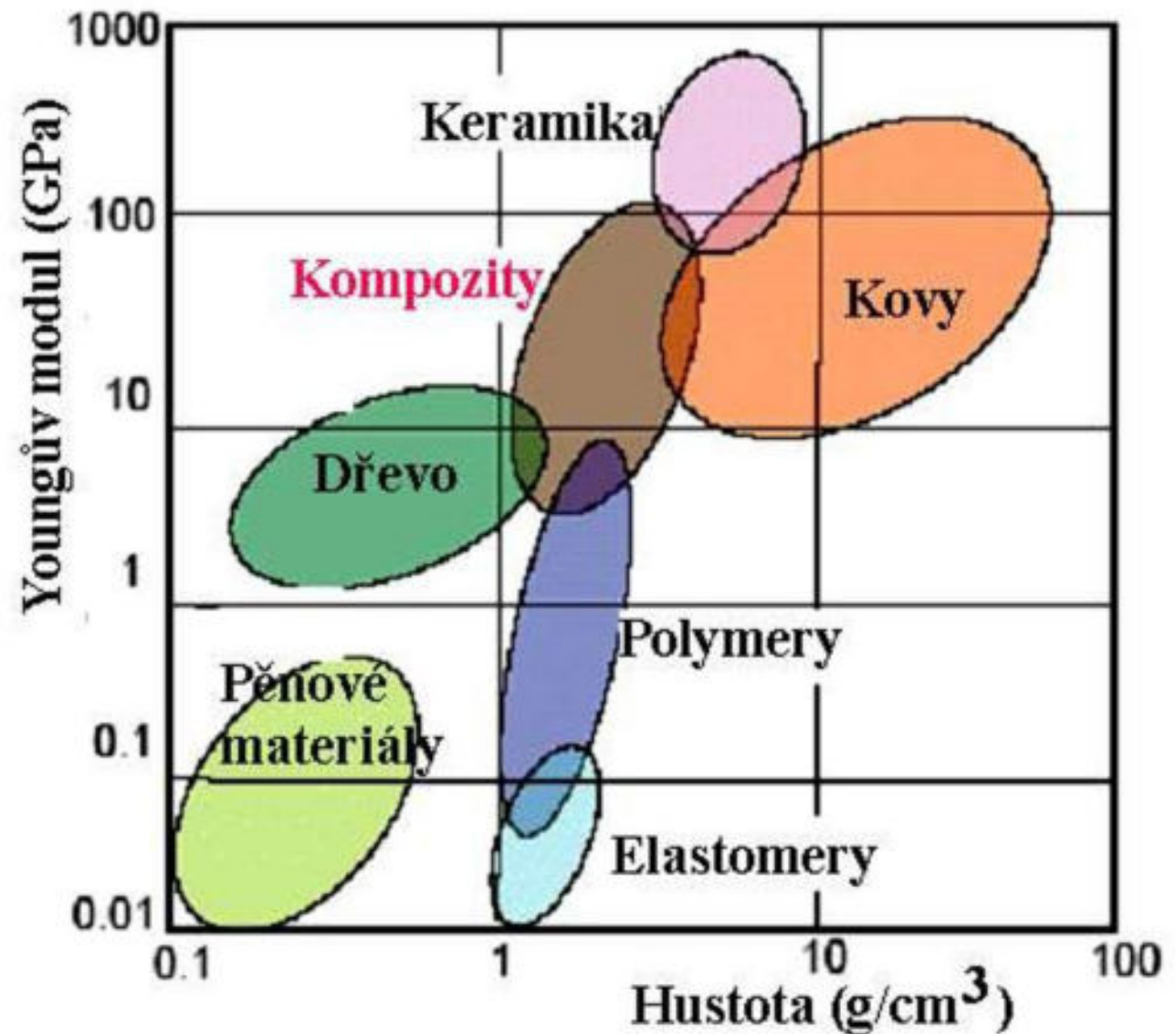
hranice mezi oblastmi s pravidelnou orientací krystalické mřížky. Subzrna – části zrna natočené navzájem o malé uhly. Hlavně u masívních monokrystalů.

## Vrstevné chyby

jsou poruchy v pravidelnosti vrstvení krystalografických rovin ABCABC**AB**ABC.

# Tuhost a objemová hmotnost materiálů

- Keramika má **největší tuhost** z technických materiálů
- Keramika je **lehčí než kovy**, ale těžší než kompozity



# Termodynamika čisté látky, tuhé roztoky

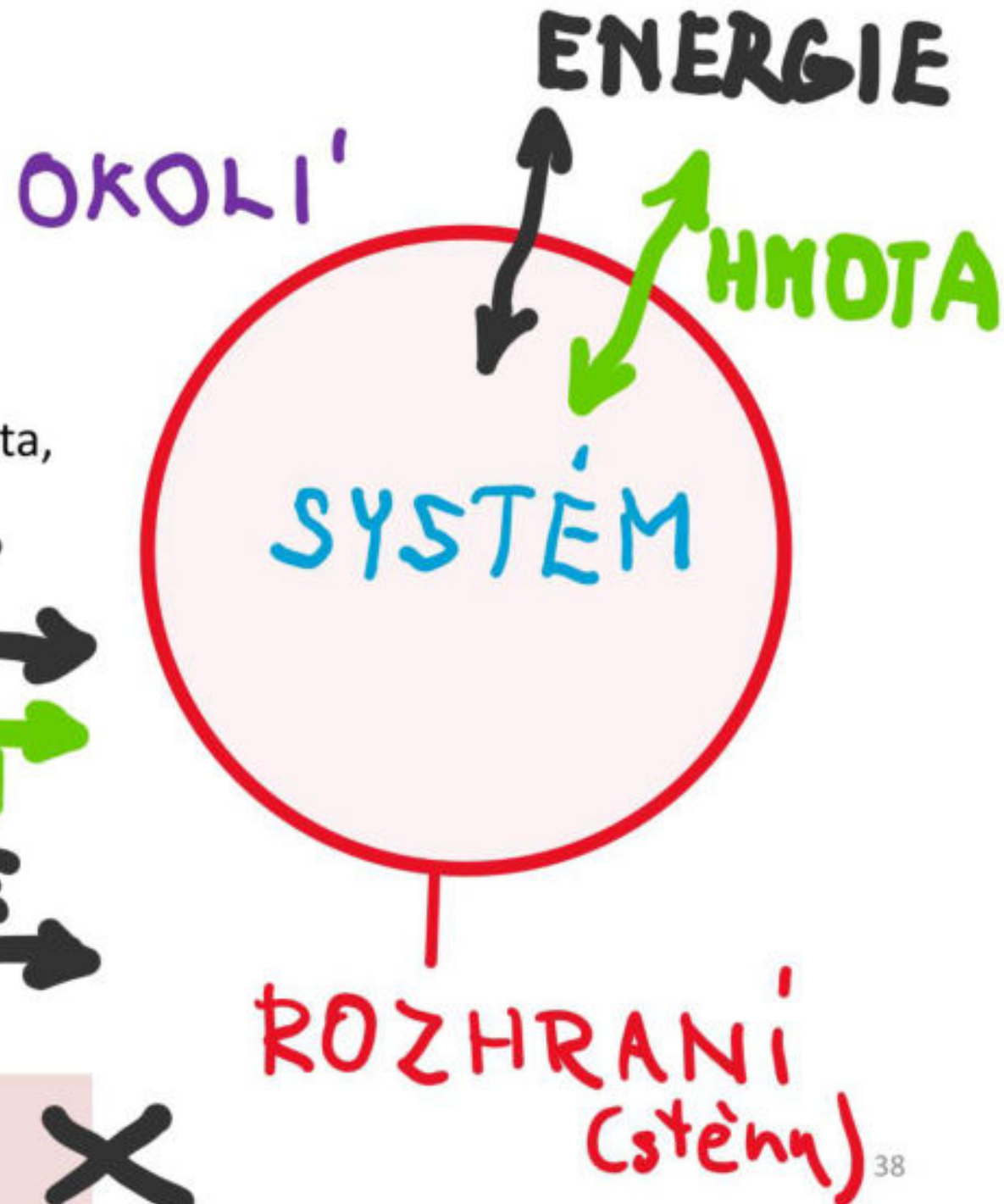
**Termodynamická soustava** – část hmotného světa – předmět pozorování.

- Základní stavové veličiny – teplota, tlak, objem

**Otevřená TS** – výměna hmoty a energie s okolím

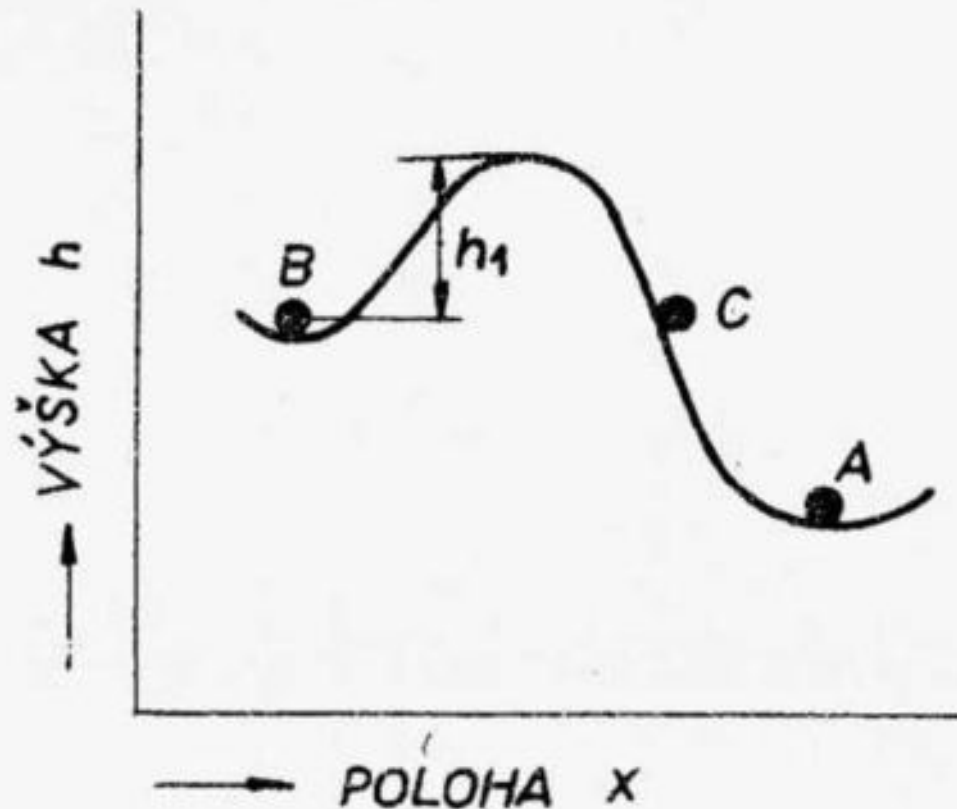
**Uzavřená TS** – pouze přenos energie

**Izolovaná TS** - žádný přenos



# Rovnováha soustavy

= Stav, kdy při daném vnějším prostředí nemůže probíhat žádný děj spojený s hmotnou či energetickou přeměnou



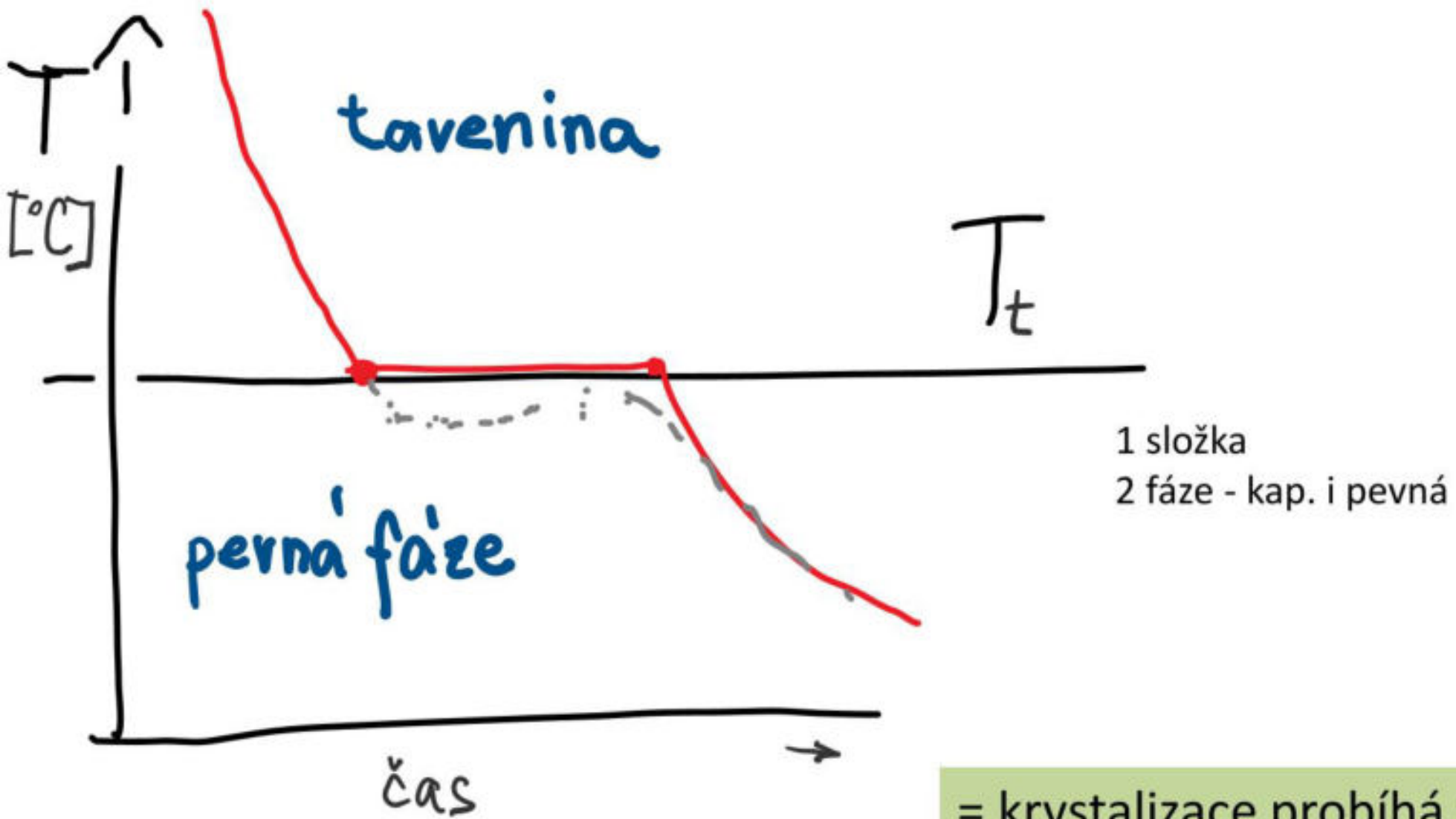
- A – rovnovážný stav - stabilní rovnováha
- B – nerovnovážný stav - metastabilní
- C – nerovnovážný stav nestabilní stav

Schema rovnovážného a nerovnovážných stavů

# Fáze v kovových soustavách

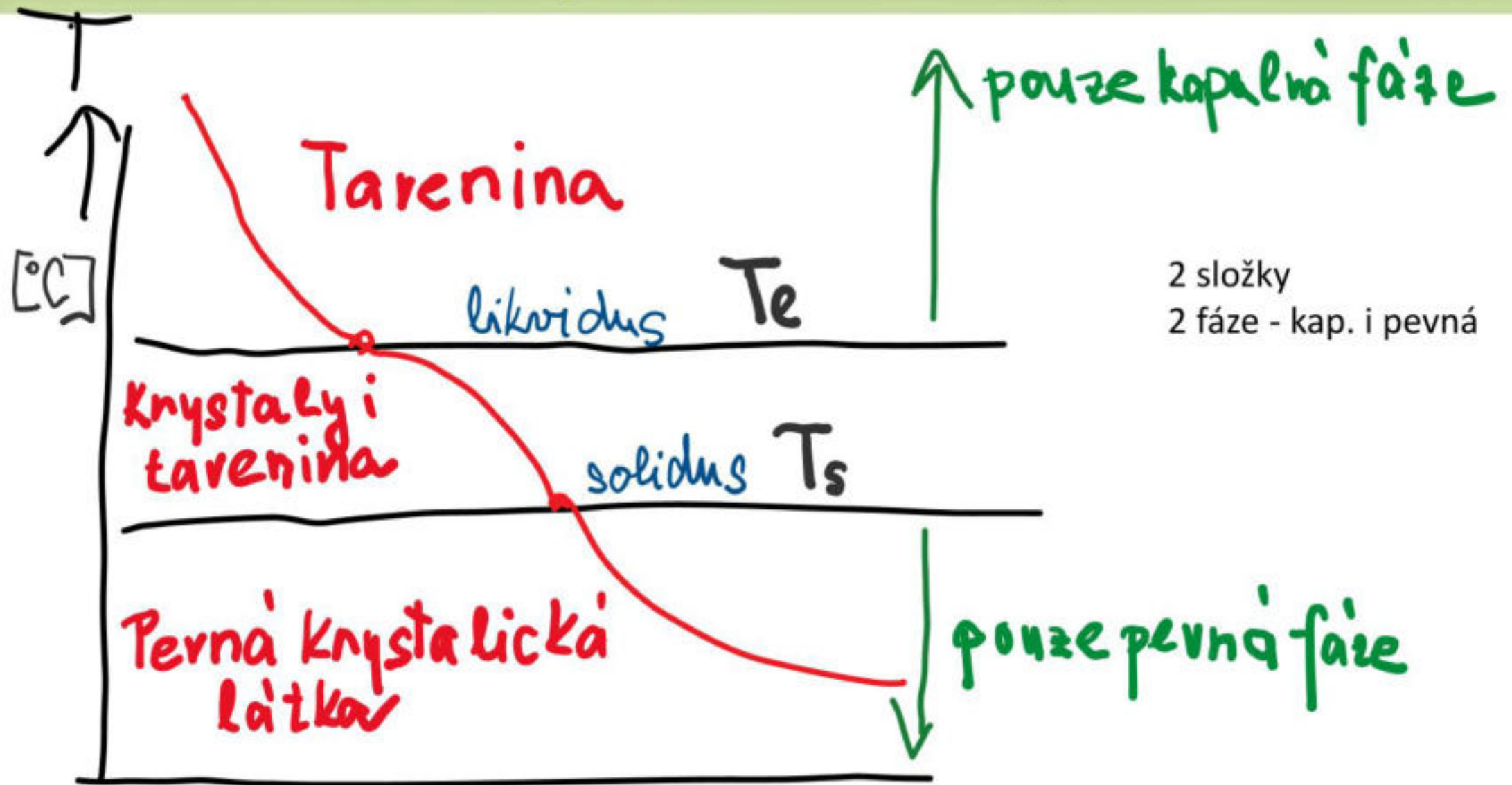
- **Chemická sloučenina** – popsána vzorcem, pevné chemické složení
- **Slitina** – nelze popsat chemickým vzorcem, složitější soustava, jejíž chemické složení se může měnit např. v závislosti na teplotě
- **Fáze ve slitinách:**
  - a) **Tuhé roztoky** (se strukturou základního kovu)
  - b) **Intermediární fáze** (s vlastní strukturou)

# Čistý kov – krystalizace



= krystalizace probíhá za konstantní teploty

# Krystalizace slitiny

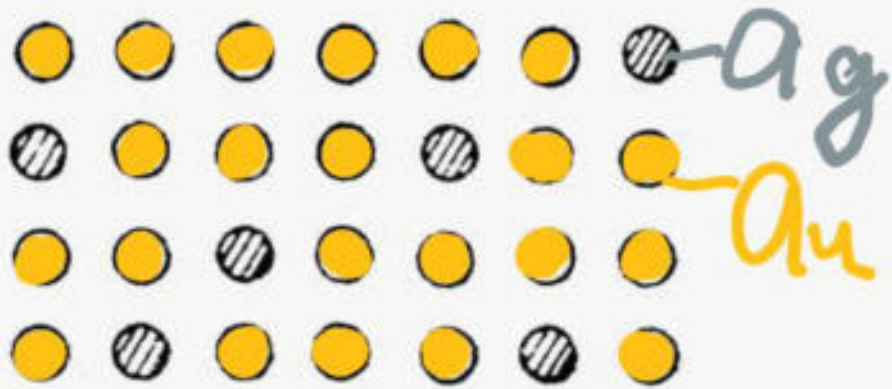


= TR tuhne za měnící se teploty (v teplotním intervalu)

$e'_{as}$

# TUHÉ ROZTOKY (označení řecká písmena)

TR = homogenní vícesložková soustava

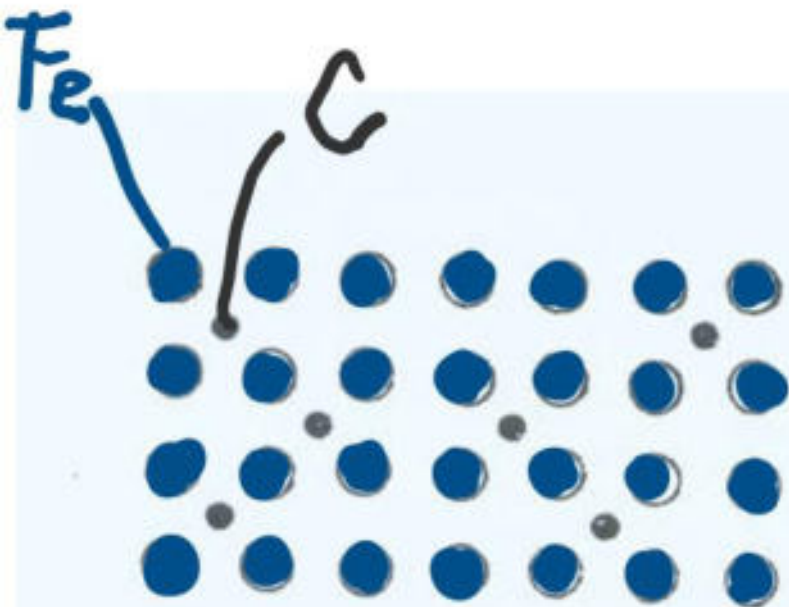


## Substituční (Au-Ag)

atomy základního kovu

atomy příměsi

- Oba druhy částic si jsou velmi podobné



## Intersticiální (Fe-C)

atomy základního kovu

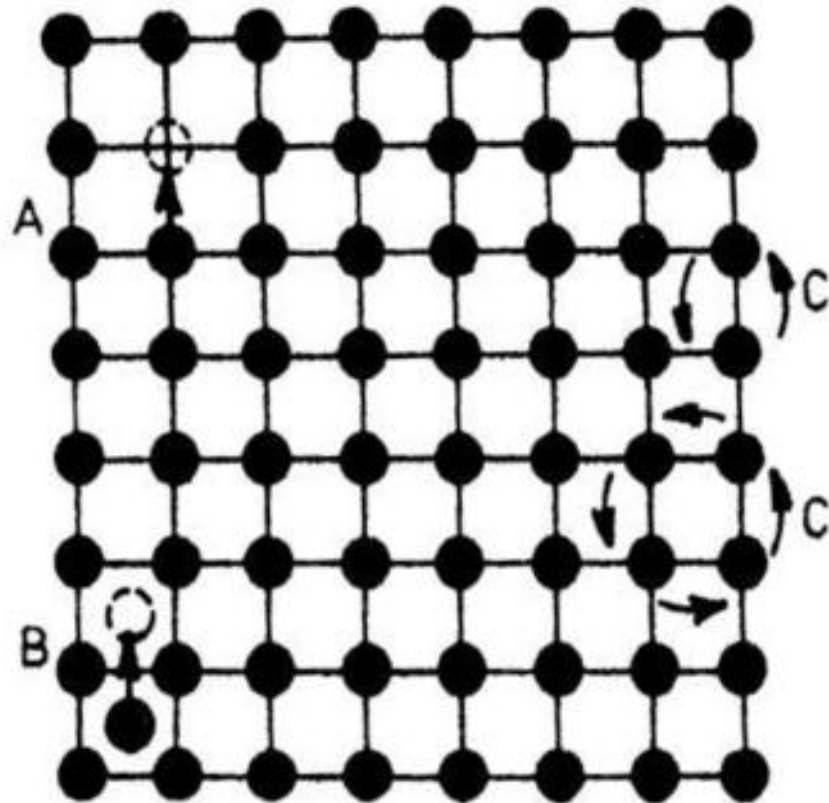
atomy příměsi

- Oba prvky jsou rozdílné (jeden je výrazně menší)



# TR - Difúze

- **Bodové poruchy** umožňují **difúzi**
- Je to přemísťování částic
- Uplatňuje se např.:
  - při krystalizaci
  - plastické deformaci
  - fázových přeměnách



## Mechanismy difuze

A – vakanční, B – interstitický, C – výměnný

# FÁZOVÉ DIAGRAMY

=

## Rovnovážné diagramy

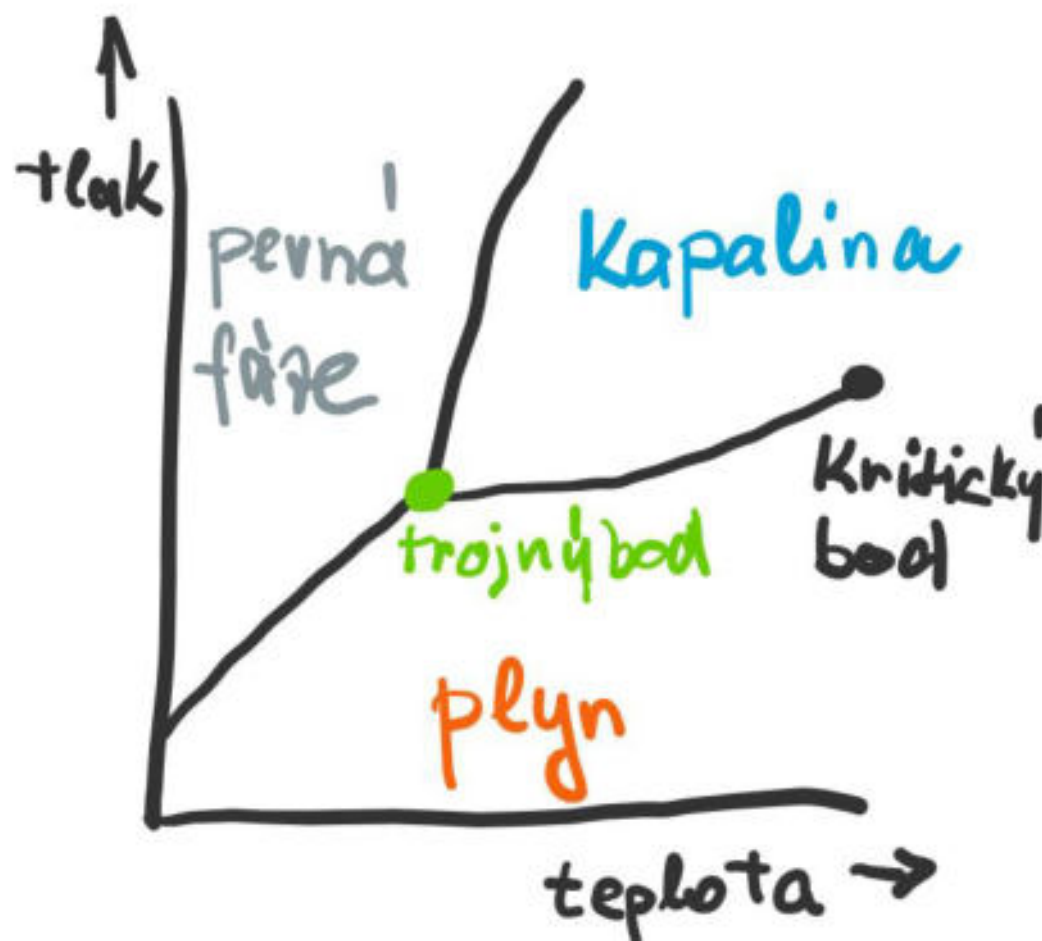
Tyto diagramy se nazývají různě: konstituční diagramy, rovnovážné diagramy nebo fázové diagramy.

- Fázový diagram je typ diagramu, který zobrazuje rovnováhu mezi různými termodynamickými fázemi neboli ukazuje, jaké fáze jsou v materiálovém systému přítomny při různých teplotách, tlacích a chemickém složení.

# Rovnovážný diagram jednosložkového systému

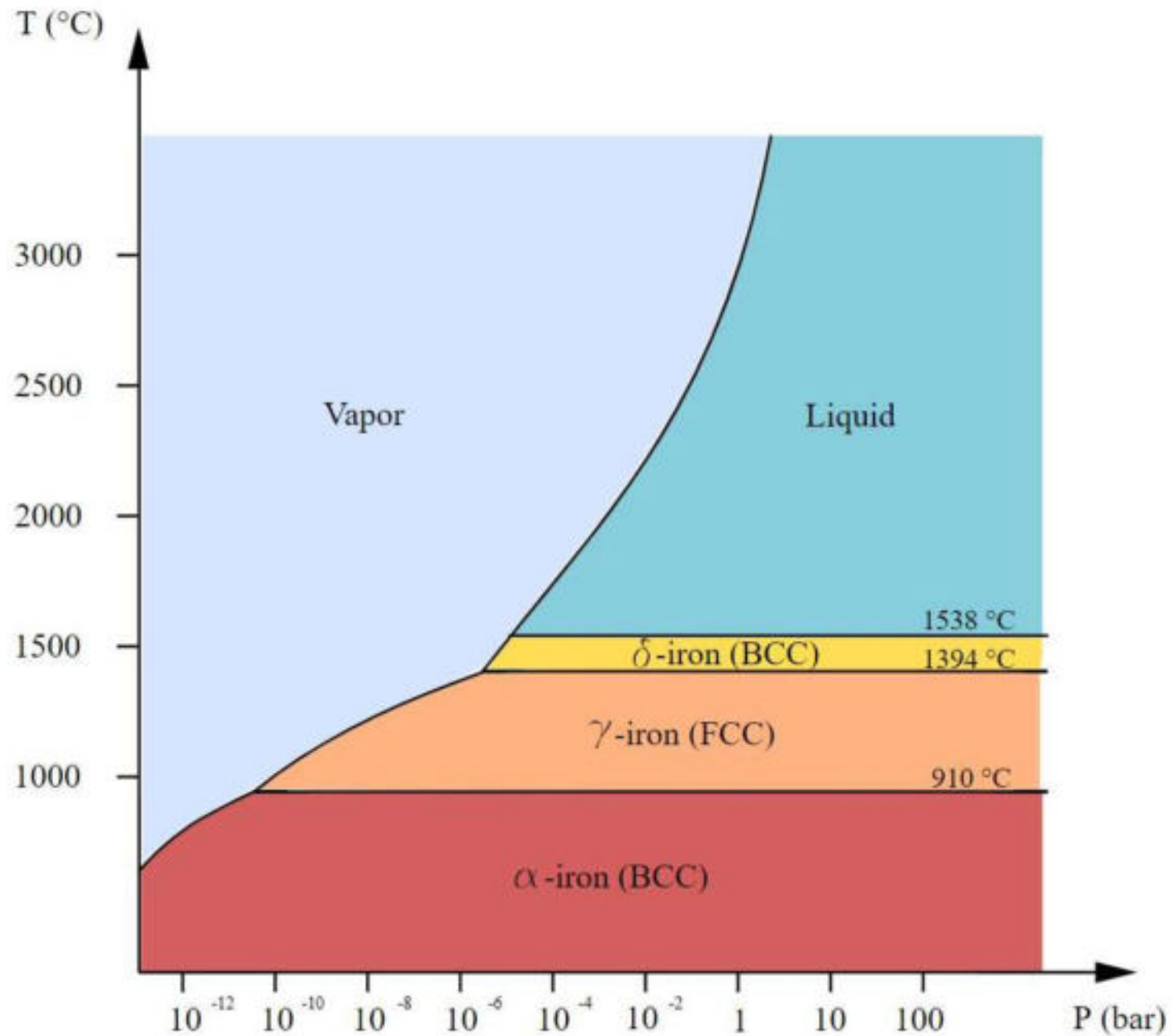
Existuje pouze **jediná složka**,  
např. **neallotropní prvek**  
(allotropie = vlastnost  
některých prvků vyskytovat se  
ve dvou i více strukturně  
odlišných modifikacích)

Existují dvě nezávislé stavové  
proměnné, **teplota a tlak**, tj.  
diagram je dvojrozměrný.



- Příklad: **neallotropní** - čistá Cu
- Příkladem **alotropního** prvku je [uhlík](#), vyskytující se ve formě [grafitu](#), [diamantu](#), [grafenu](#) a [fullerenů](#).
- allotropní přeměny Fe - **železo  $\alpha$** , **železo  $\gamma$**  a **železo  $\delta$**

# Příklad - Allotropická přeměna Fe



# Rovnovážné binární diagramy

Dle množství přísady co se do TR vejde je **soustava v tuhém stavu:**

**1 Dokonale (neomezeně) rozpustná – 2 prvky, které se mohou v mřížce zcela nahrazovat (Au-Ag)**

**2 Dokonale (neomezeně) nerozpustná – soustava neobsahuje TR (Bi-Cd, Sn-Zn)**

**3 Soustava s omezenou (částečnou) rozpustností v tuhém stavu (Cu-Ag)**

# RBD – základní pojmy

**A, B** – čisté kovy

**$\alpha$**  – tuhý roztok alfa – B je rozpuštěn v A

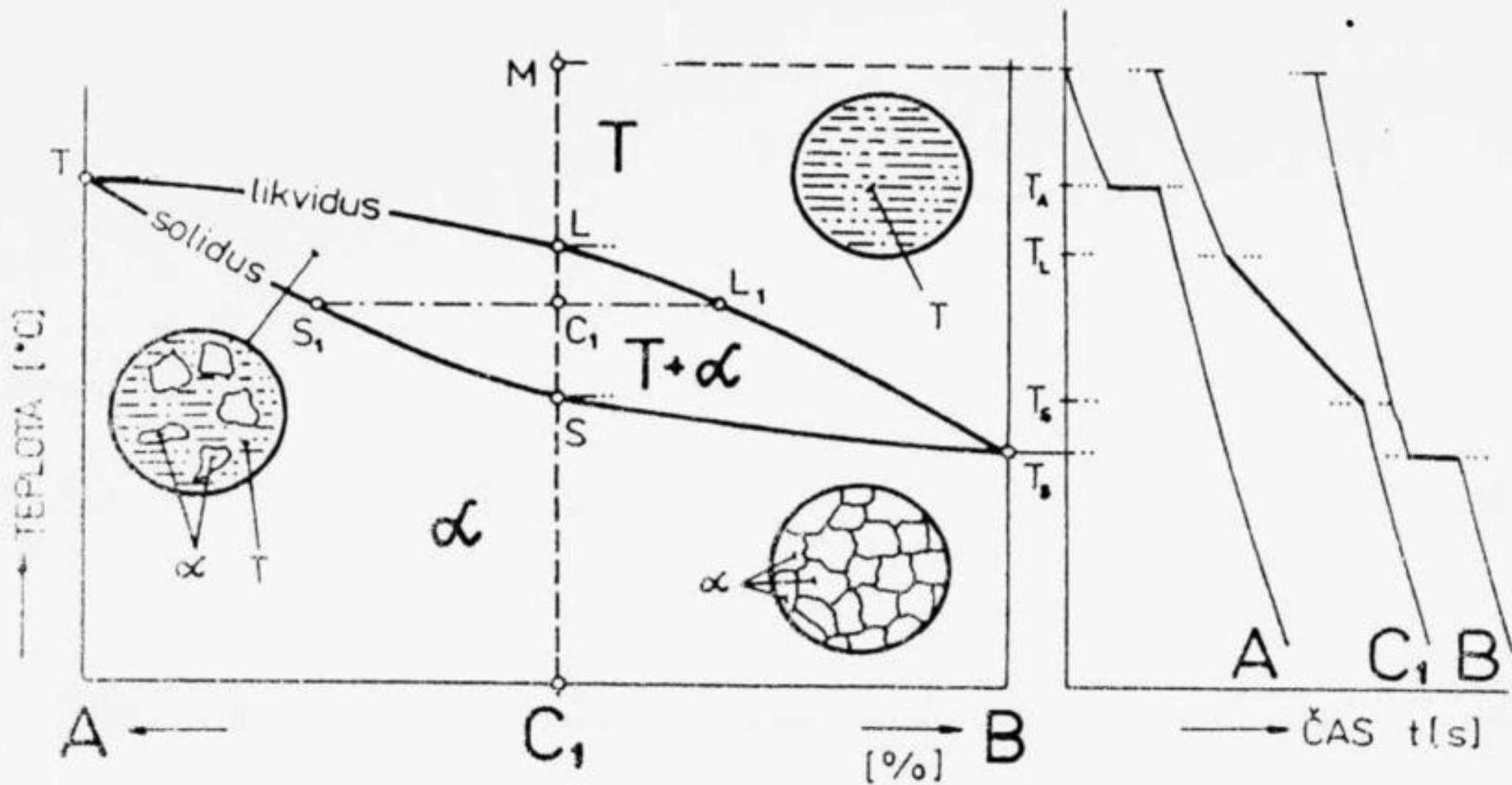
**$\beta$**  – tuhý roztok beta – A je rozpuštěn v B

**Likvidus** - křivka počátku krystalizace

**Solidus** – křivka konce krystalizace

**Krystalizace** = fázová přeměna látky z kapalného do tuhého stavu

# RBD s neomezenou rozpustností v tuhém stavu

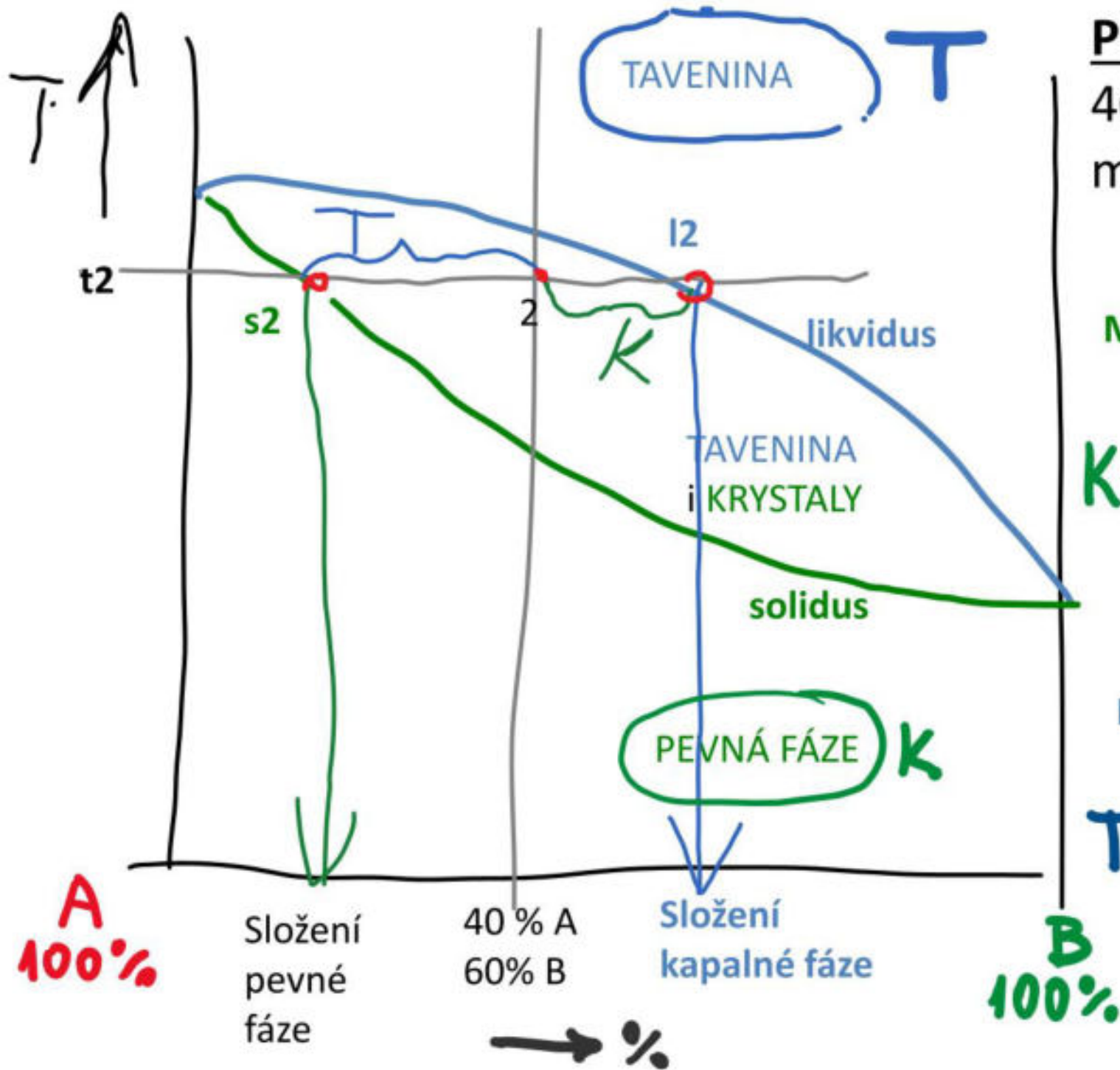


# Pákové pravidlo

**Určuje množství a složení krystalů i taveniny během krystalizace i překrystalizace, které se mění se změnou teploty**



# Pákové pravidlo



Při teplotě  $t_2$  a složení  $40\% A$  a  $60\% B$  platí pro množství složek v [%]:

Množství krystalů: [%]

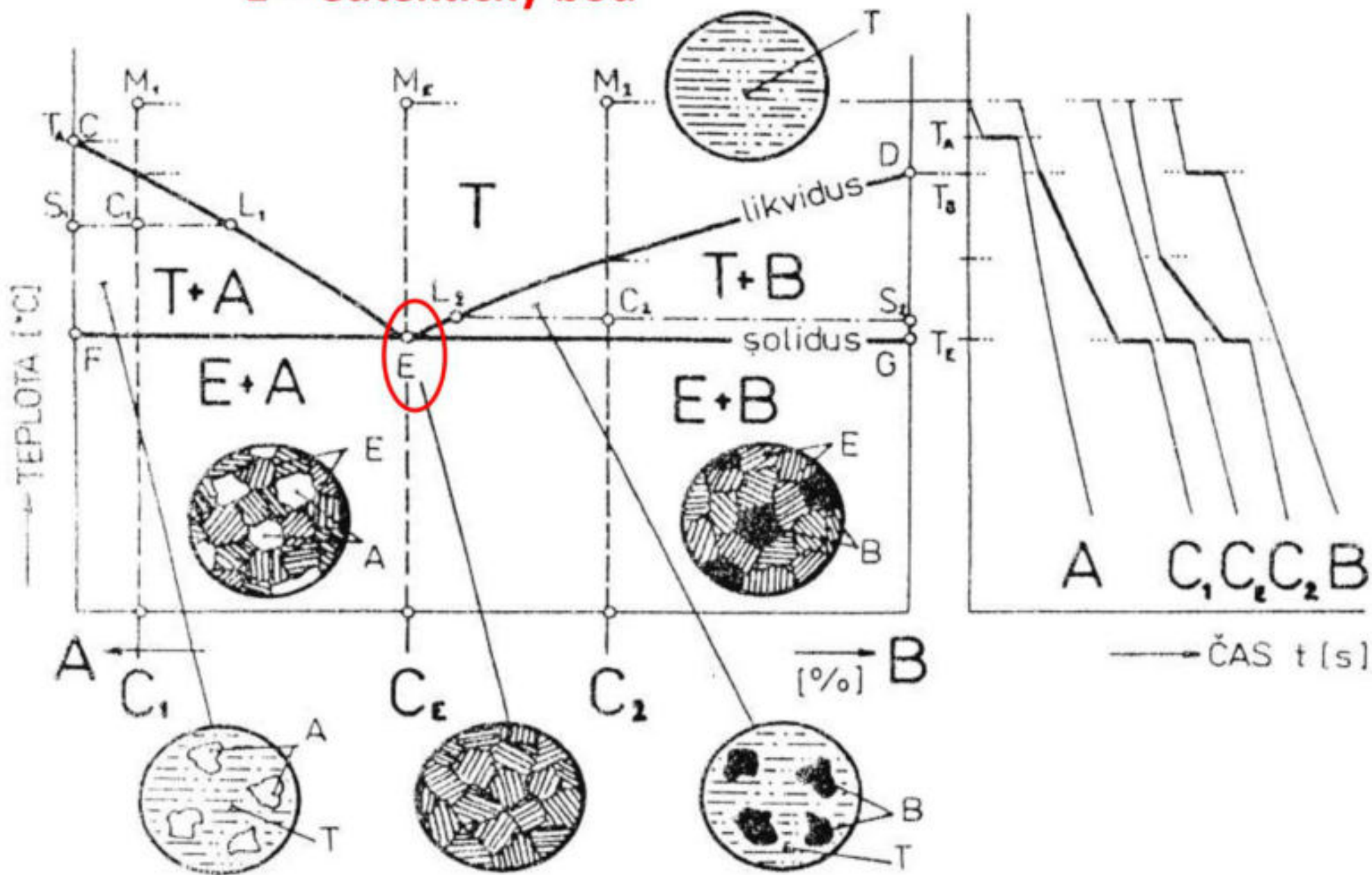
$$K = \frac{2 \cdot l_2}{s_2 l_2} \cdot 100$$

Množství taveniny: [%]

$$T = \frac{s_2 \cdot 2}{s_2 l_2} \cdot 100$$

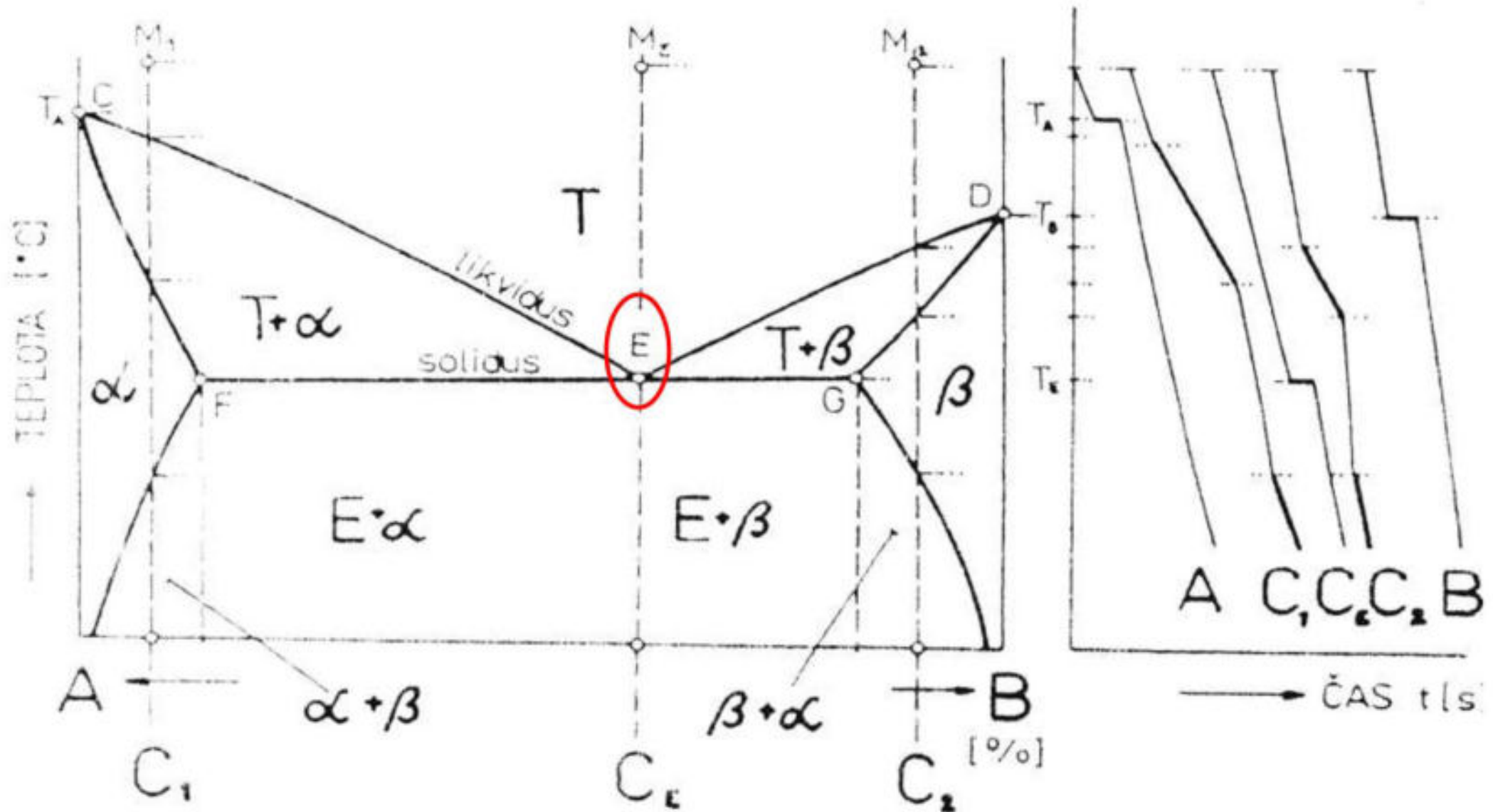
# RBD s úplnou nerozpustností v tuhém stavu

E = eutektický bod



# RBD s částečnou rozpustností v tuhém stavu

**E = eutektický bod**

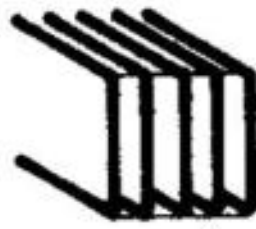


# Eutektikum

= tuhá směs dvou látek, jejichž krystaly se vytvářely při tuhnutí společně, vzniká za konstantní teploty

➤ Vzniká směs krystalů  $\alpha$  a  $\beta$

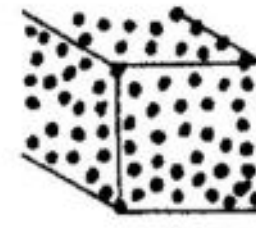
- a) Lamelární
- b) Tyčinkové
- c) Zrnité
- d) Jehlicovité



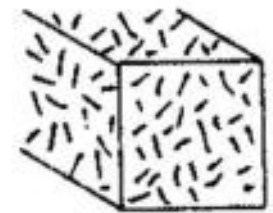
a)



b)



c)



d)

**Děkuji vám za pozornost**