

G7501 Fyzikální geochemie

7. Magmatické a metamorfní systémy

Josef Zeman

Magmatické systémy

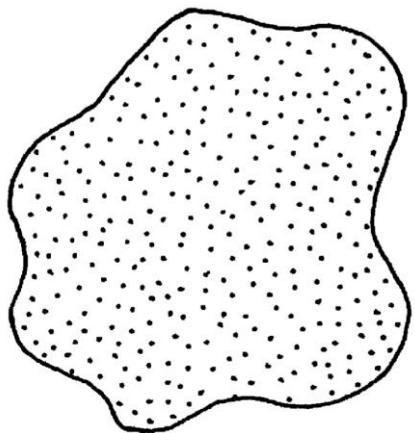
Na rozdíl od povrchových procesů a vzniku sedimentárních hornin nemůžeme většinou magmatické procesy pozorovat přímo. Pouze ve výjimečných případech extrudujících nexplozivních procesů se na vznik magmatických hornin můžeme podívat blíže.

Magma

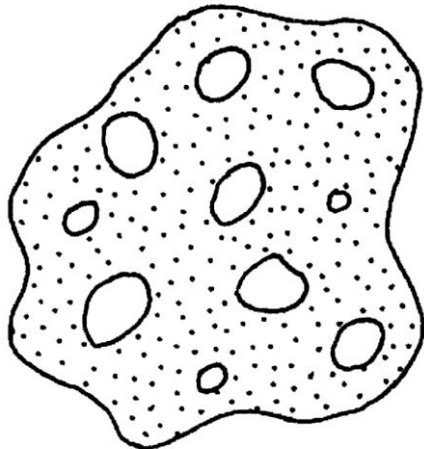
Magma se obvykle skládá z mobilní směsi suspendovaných pevných částic, taveniny a plynné fáze:

- počet fází závisí na třech intenzivních proměnných – P, T a X
- dostatečně vysoká T – homogenní tavenina
- obvykle převaha Si a O
- výjimečně dvě taveniny: karbonátová a silikátová (nemísitelné)

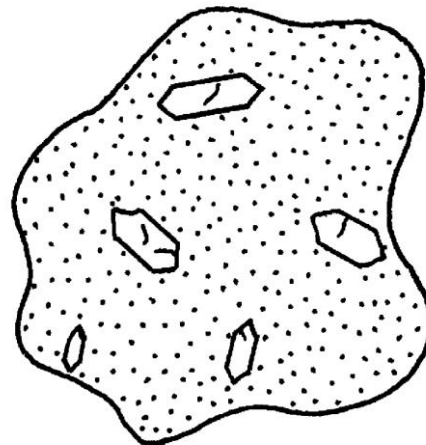
tavenina



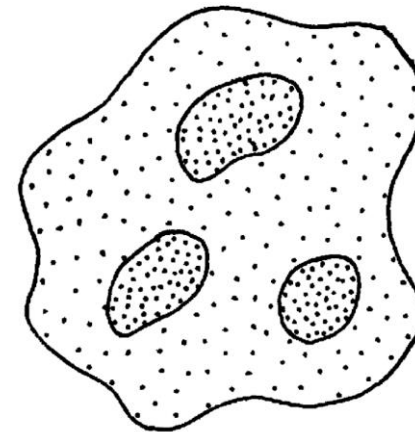
tavenina + bubliny



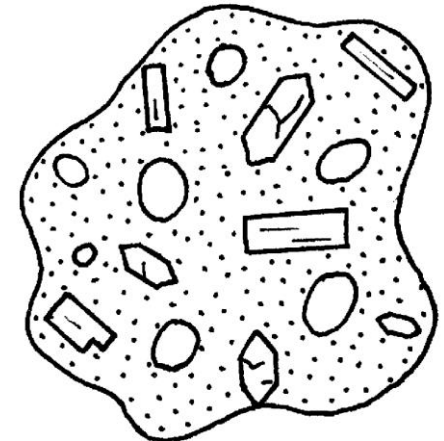
tavenina + krystaly



dvě taveniny

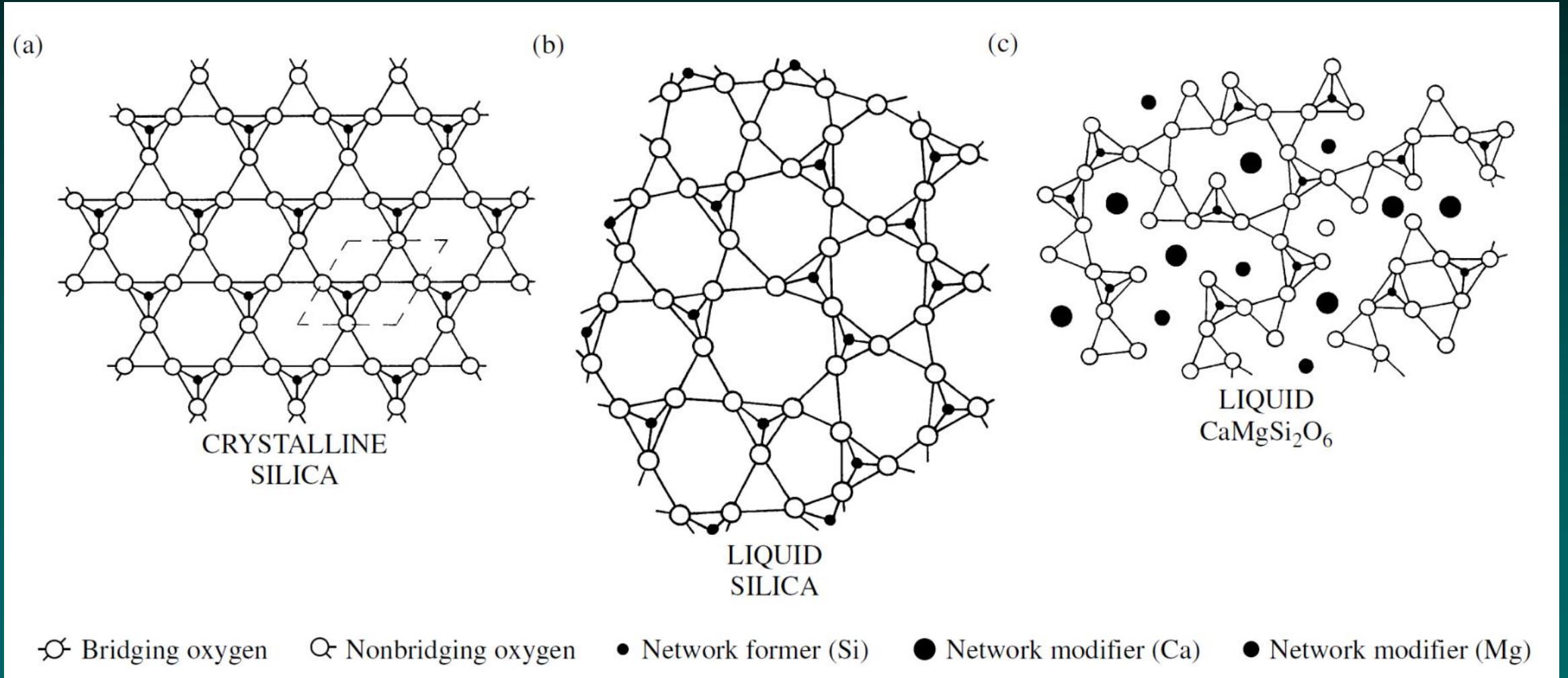


tavenina + kryst. + bubl.



Magma

Atomová struktura a viskozita (bod tání SiO_2 1 710 °C)



Magma

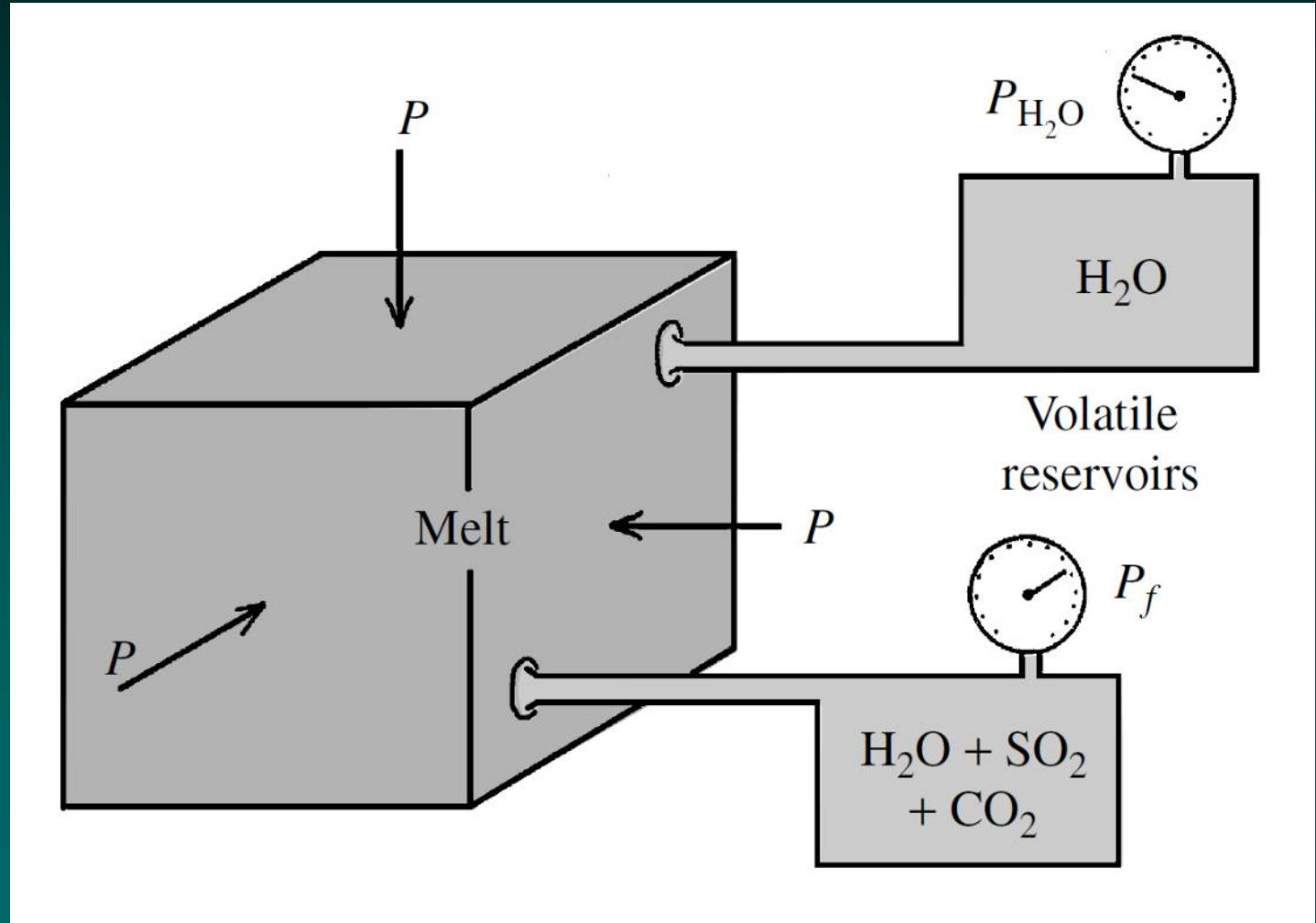
Role těkavých složek:

- H_2O , CO_2 , H_2 , HCl , N_2 , HF , F_2 , Cl_2 , SO_2 , H_2S , CO , O_2 , NH_3 , S_2 , He , Ar
- kritický bod (voda: 21,8 MPa, 371 °C; CO_2 : 7,3 MPa, 31 °C) – fluidní stav
- těkáva fluida (v hloubkách pod 1 km mizí rozdíl mezi kapalným a plynným stavem): hustota $< 2 \text{ g/cm}^3$, specifický objem $> 0,5 \text{ cm}^3/\text{g}$
- tlak fluid

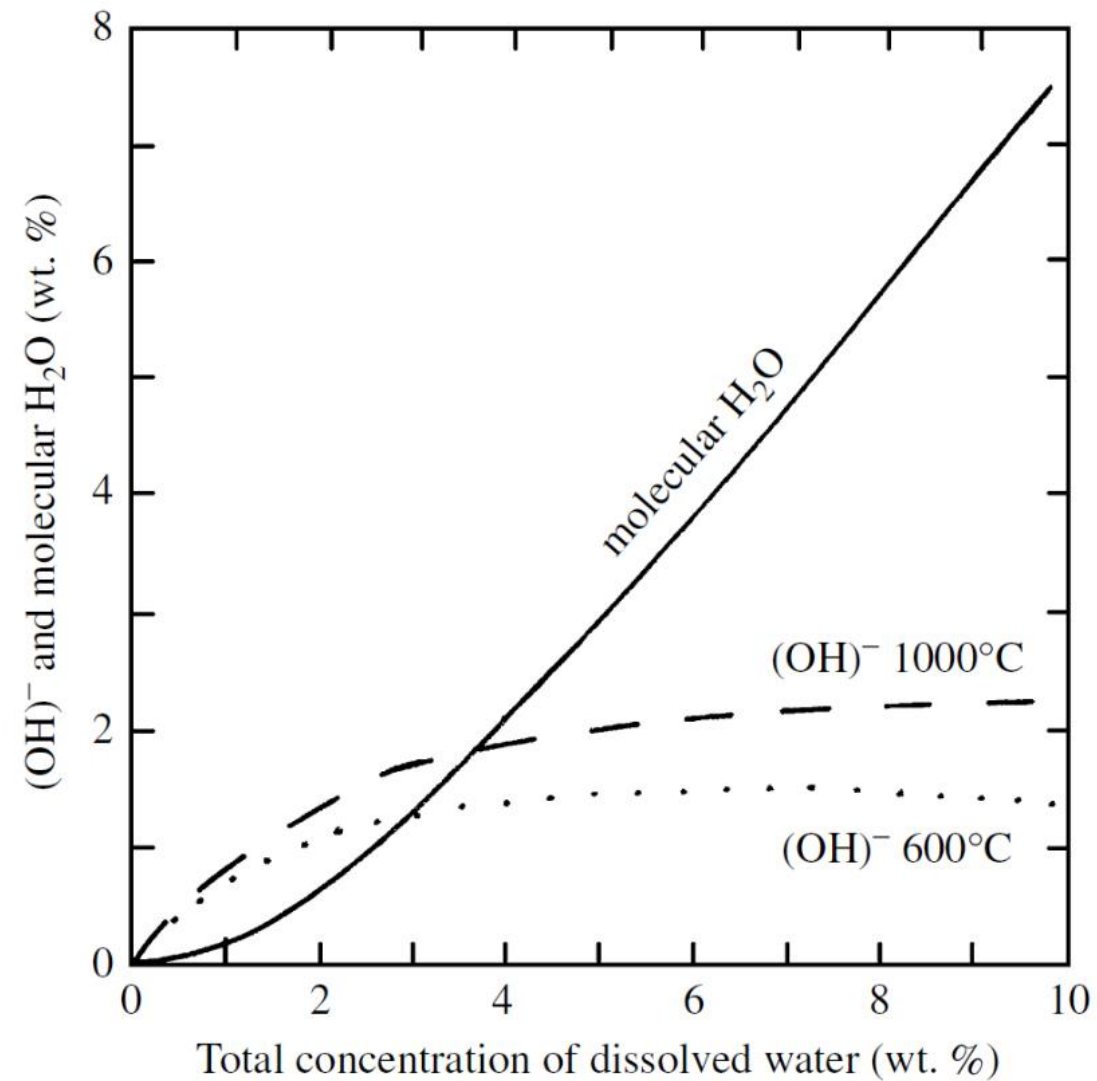
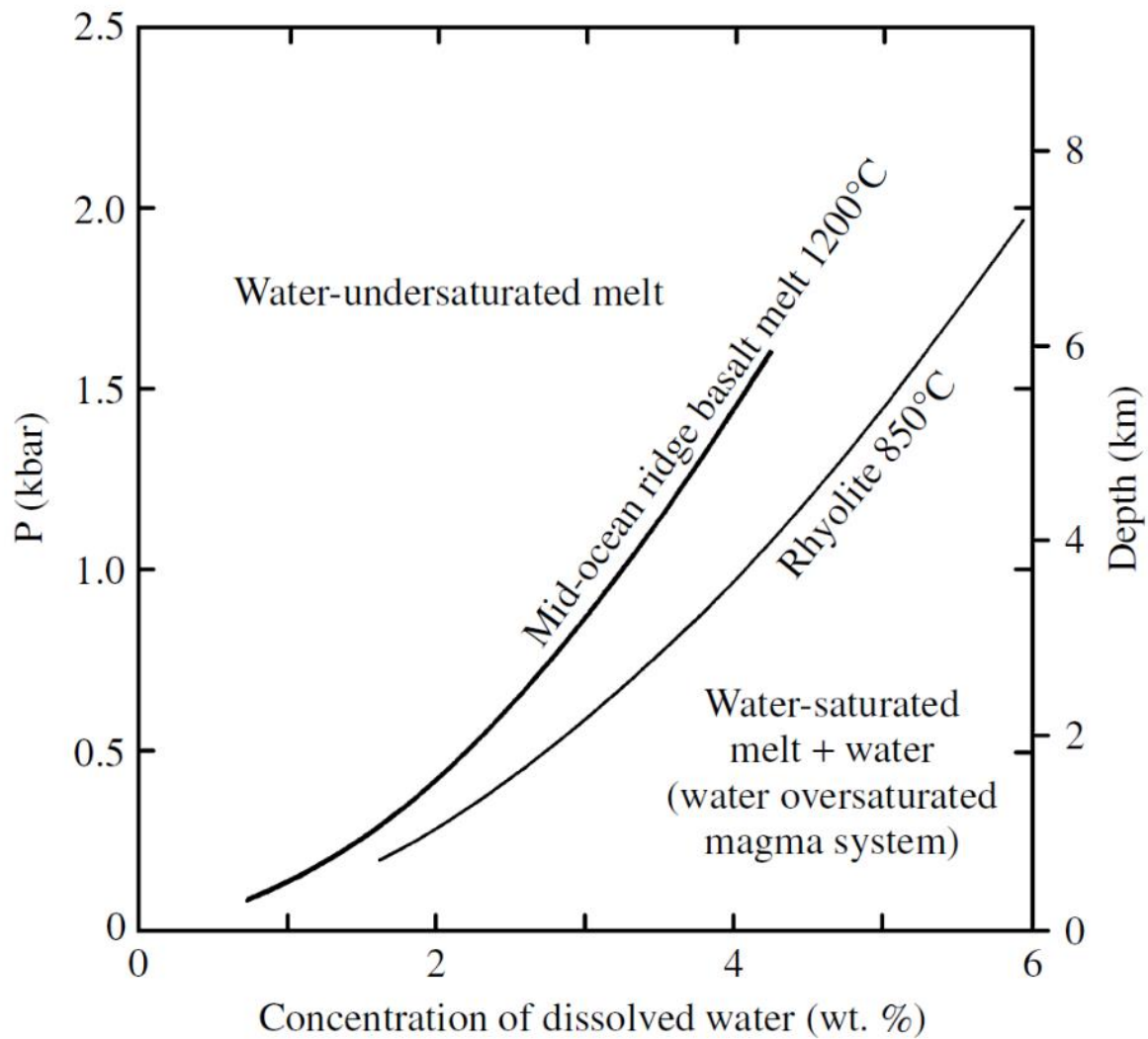
Rozpustnost těkavých složek v silikátových taveninách

tavenina s rozpuštěnými těkavými složkami \leftrightarrow tavenina + těkavé složky

$$V_{\text{tavenina+fluida}} < V_{\text{tavenina}} + V_{\text{fluida}}$$

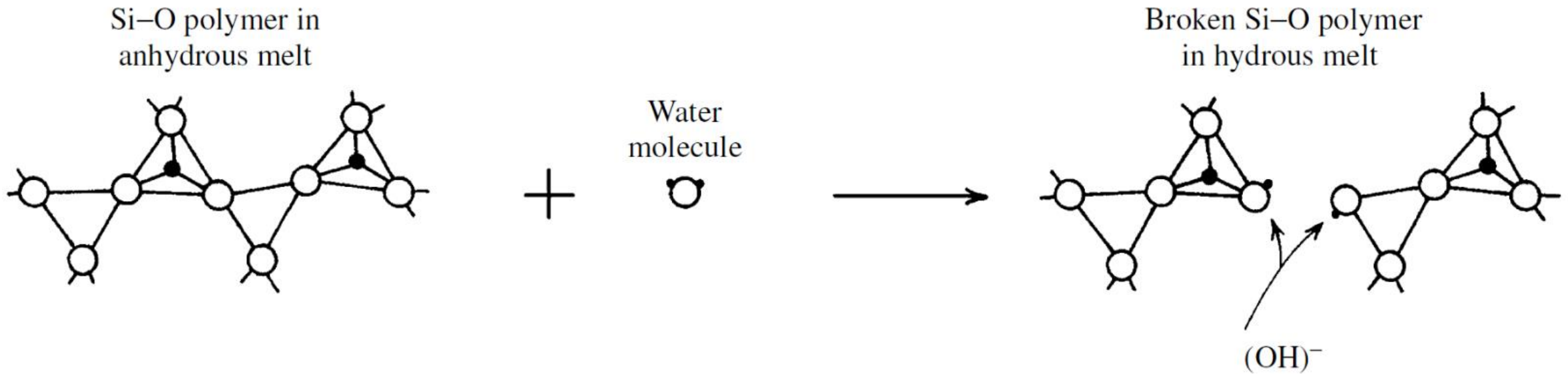
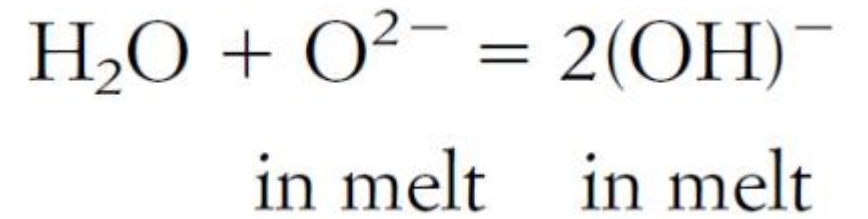


H₂O



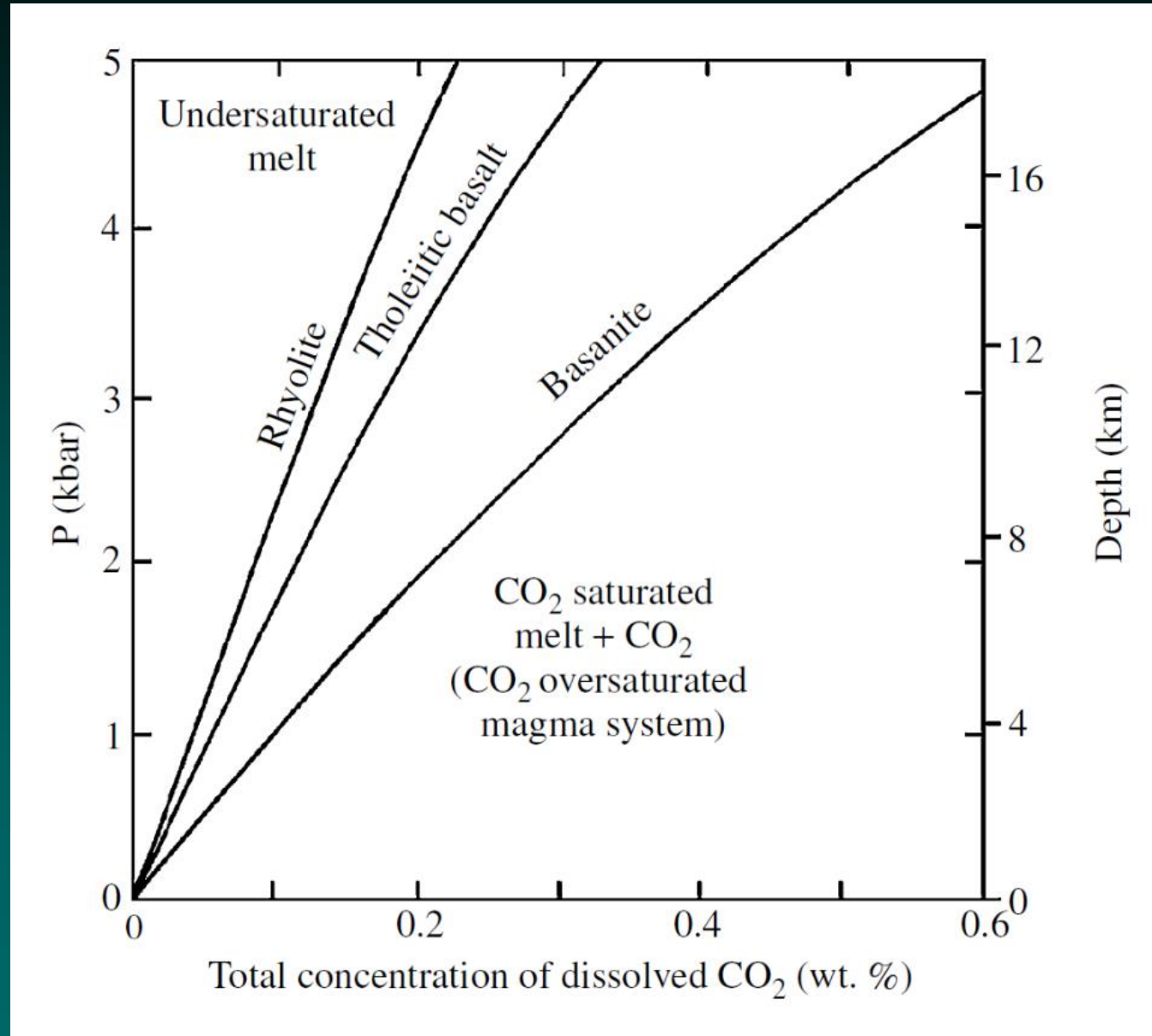
H₂O

- rozpustnost přibližně úměrná $P_{\text{H}_2\text{O}}^{0,5} \rightarrow$ mechanismus
- $\text{H}_2\text{O} + \text{O}^{2-} = 2 \text{OH}^-$
- drasticky snižuje viskozitu



CO₂

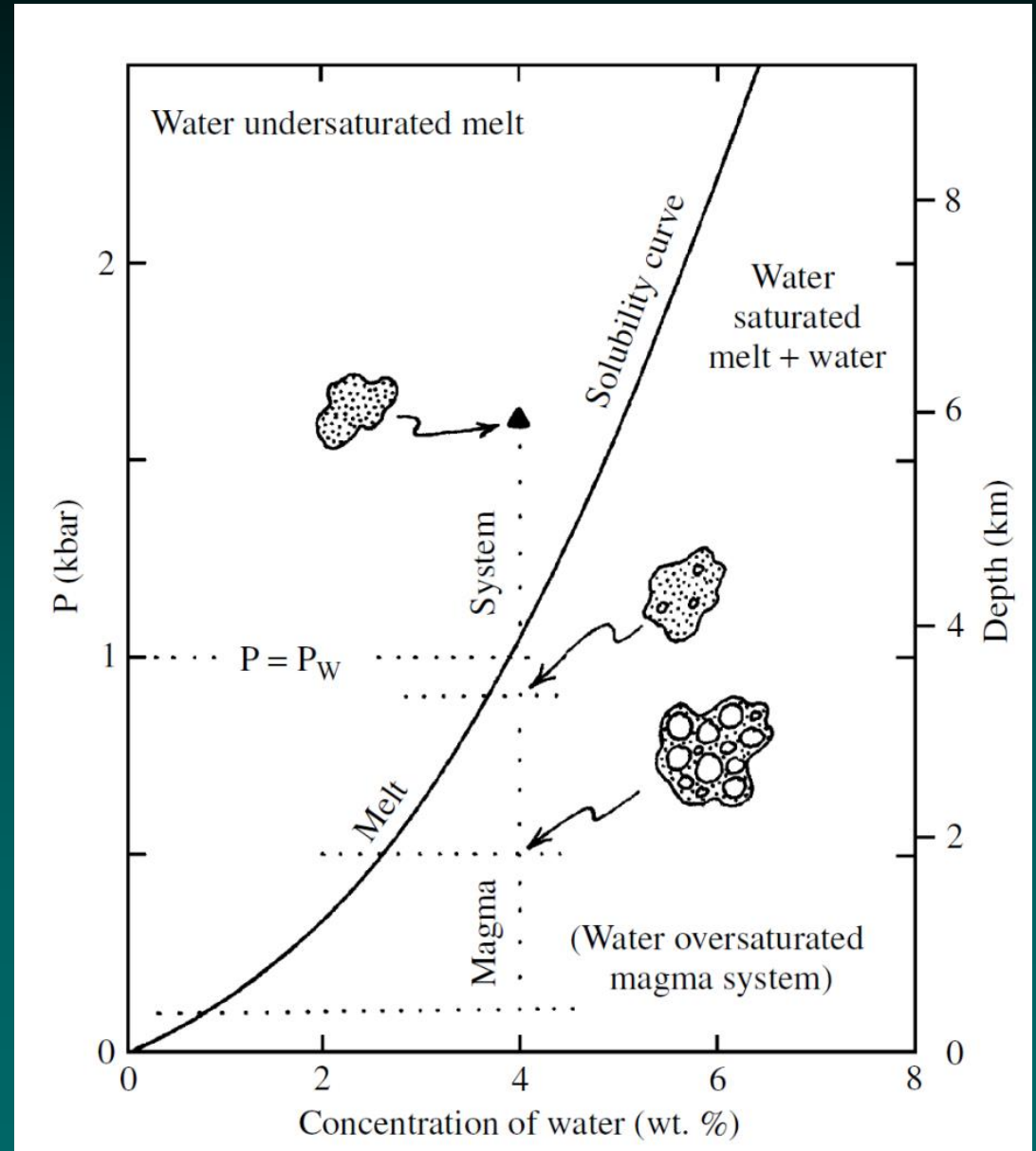
vyšší rozpustnost v méně polymerizovaných magmatech



Oddělení těkavých látek od taveniny

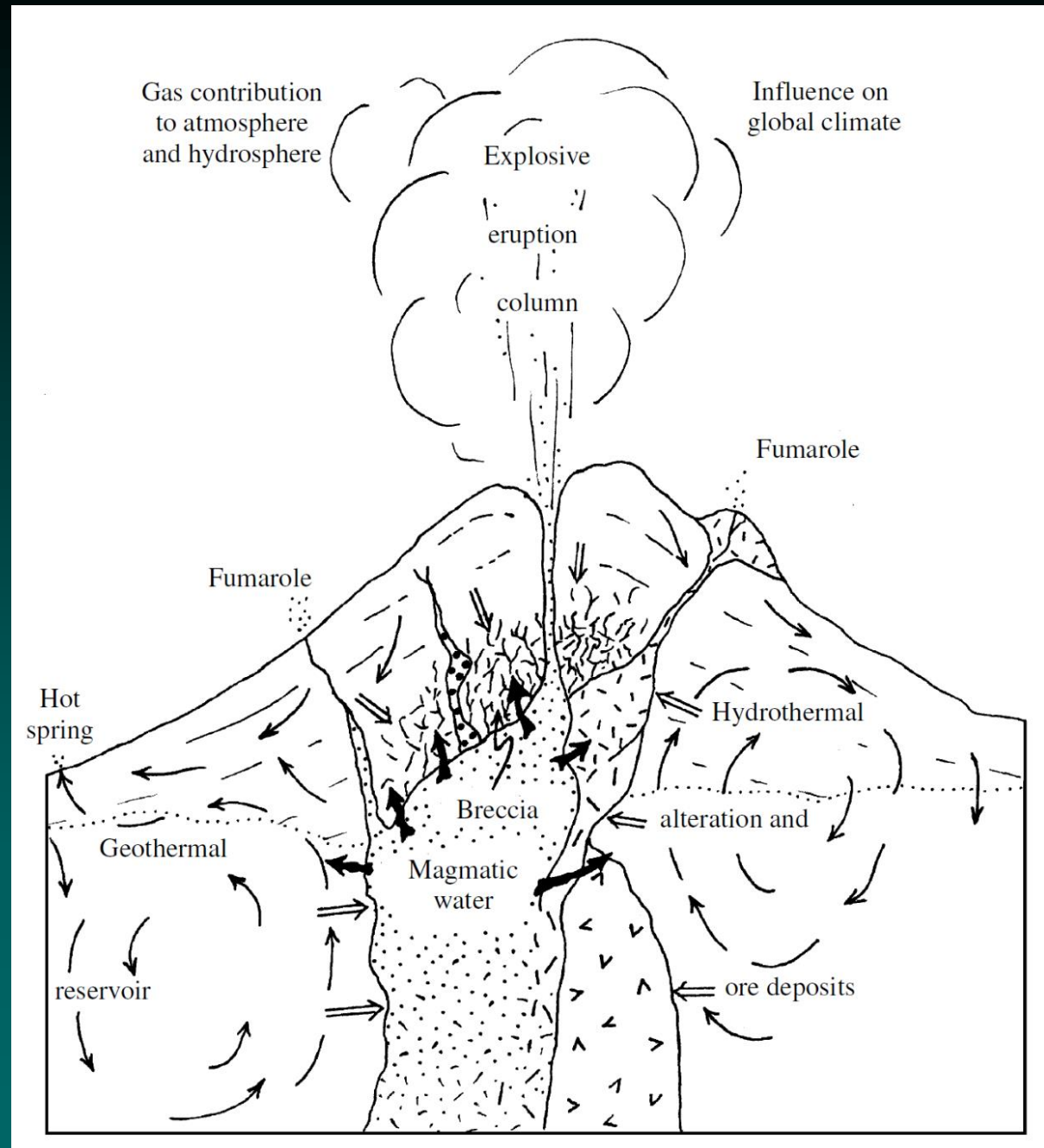
Při výstupu z pláště nebo kůry se stává magma nasycené těkavými složkami. Jejich nadbytek se odděluje do koexistující fluidní fáze – exoluce, var

- původně vodou nenasycené magma se stává přesycené v důsledku klesajícího celkového tlaku
- krystalizace bezvodých minerálů i za konstantního tlaku – přesycení fluidy – retrográdní, sekundární var; může k němu docházet i při klesající teplotě!



Oddělení těkavých látek od taveniny

Oddělení fluidní fáze přispívá k dalšímu chlazení magmatického tělesa; chlazené může být tak rychlé, že vede k „zamrtznutí“ systému. Ve fluidní fázi se koncentrují nekompatibilní prvky a ty se hromadí ve svrchní části magmatického krbu (Mt. Pinatubo, Filipíny, červen 1991 – 17 megatun SO_2 do atmosféry; celkem vyvrženo 5–10 km^3 materiálu; síra pochází ze 40–90 km^3 magmatu pod sopkou).



Oddělení těkavých látek od taveniny

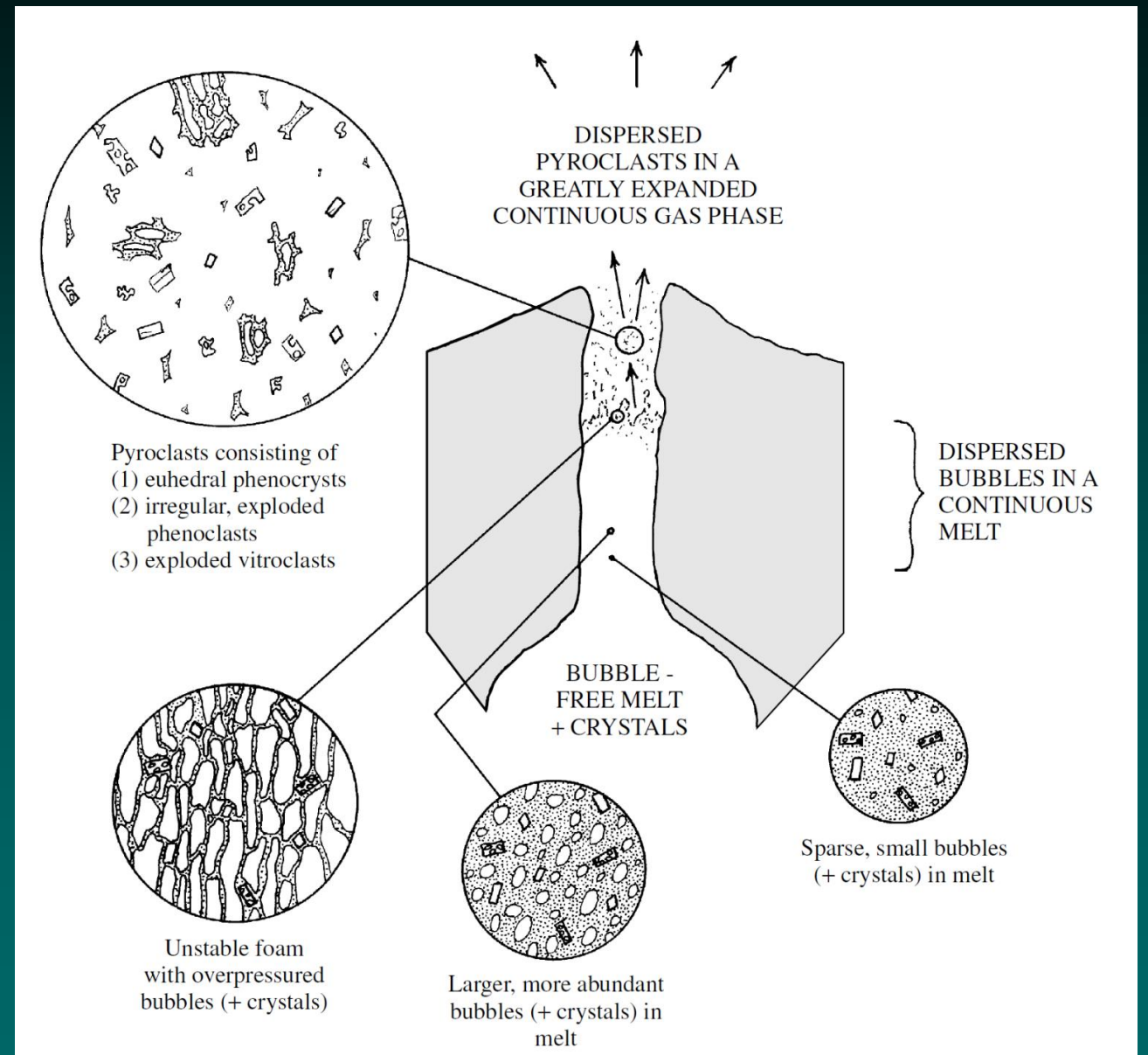
Extrémní změna objemu

Při teplotě 25 °C 1 g H₂O

voda $V = 10^{-3}$ l

pára $V = 24,79$ l

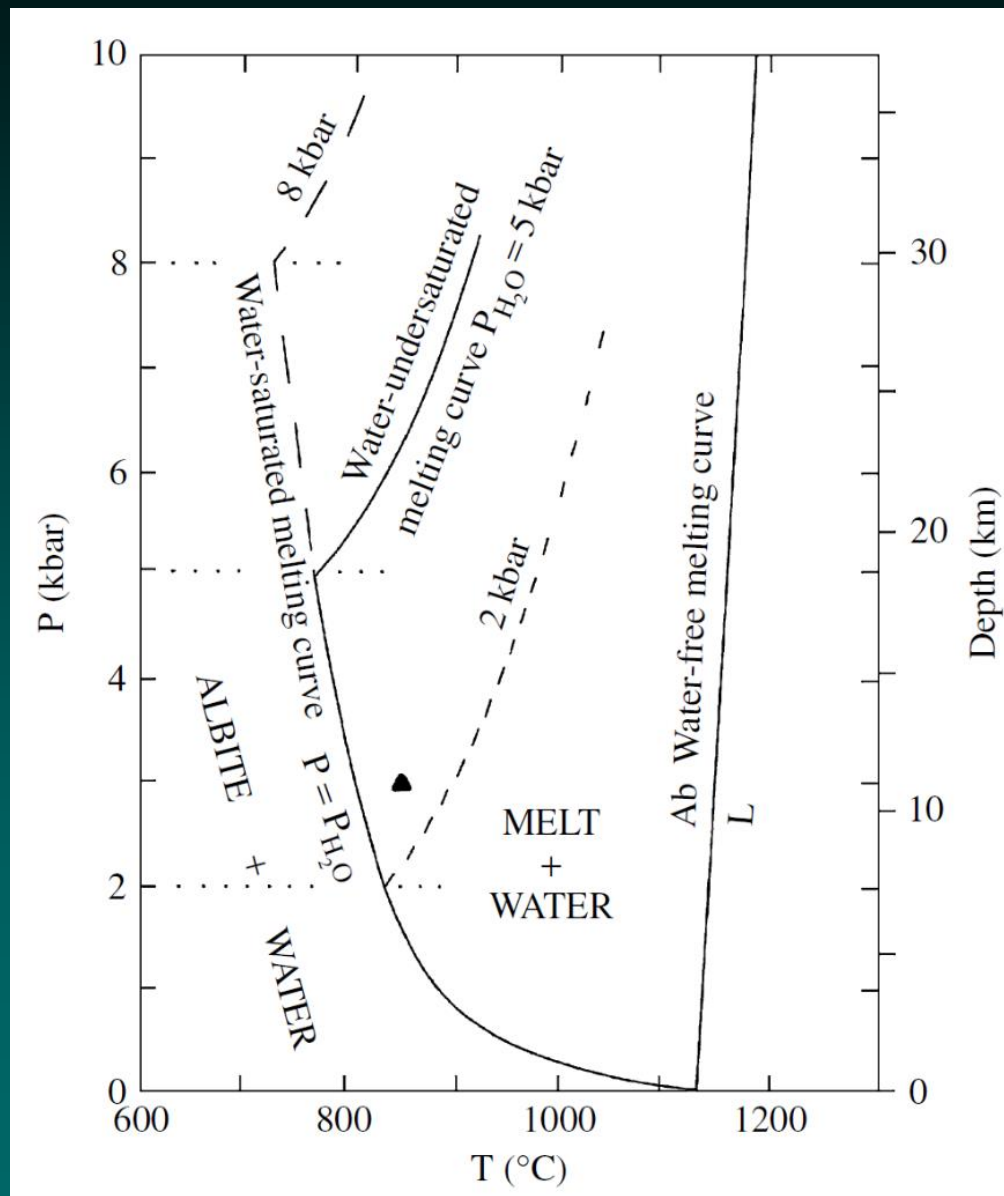
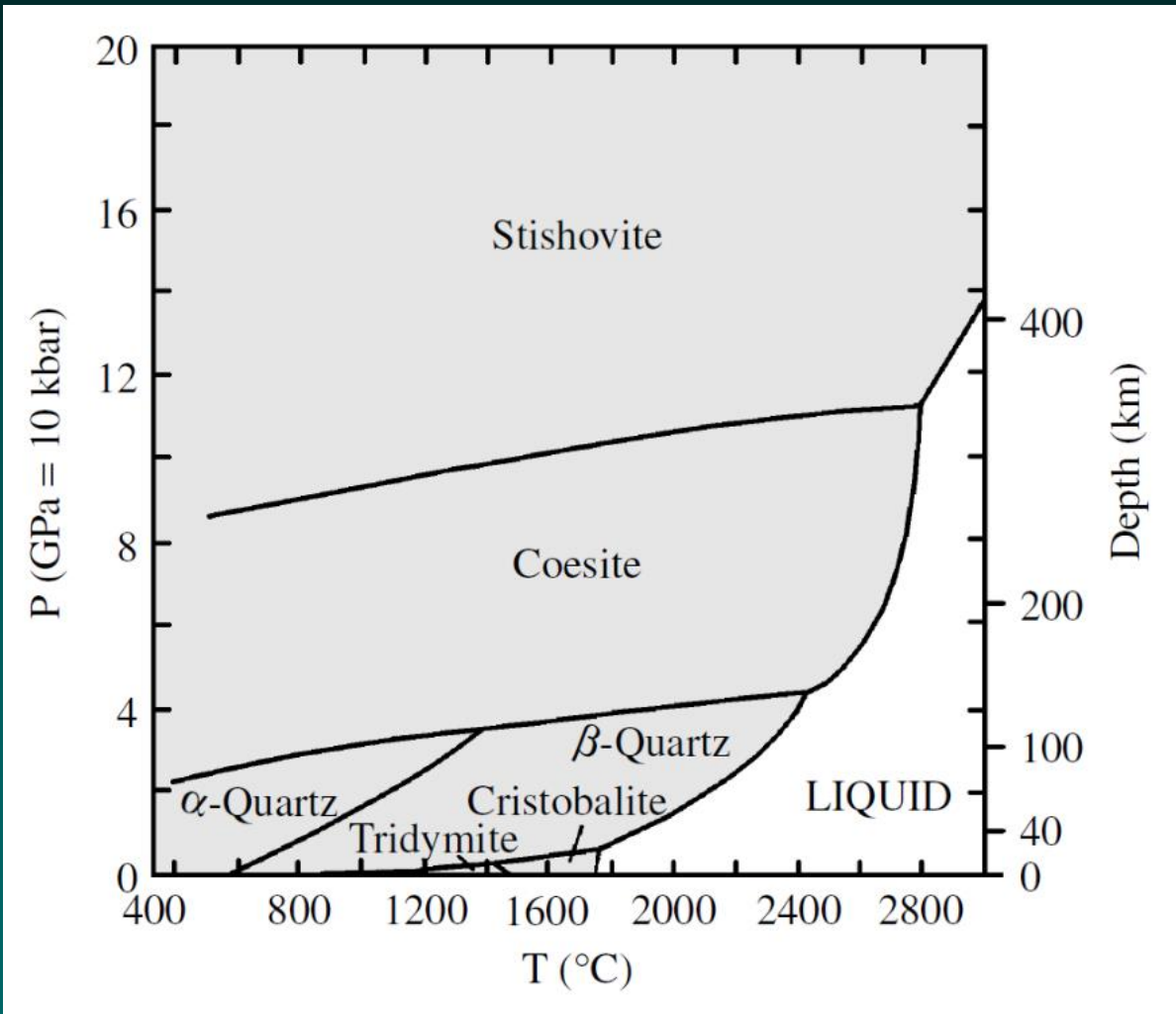
zvětšení objemu 25tisíckrát
(bude ještě záviset na p a T)



Rovnováhy krystaly-tavenina v magmatických systémech

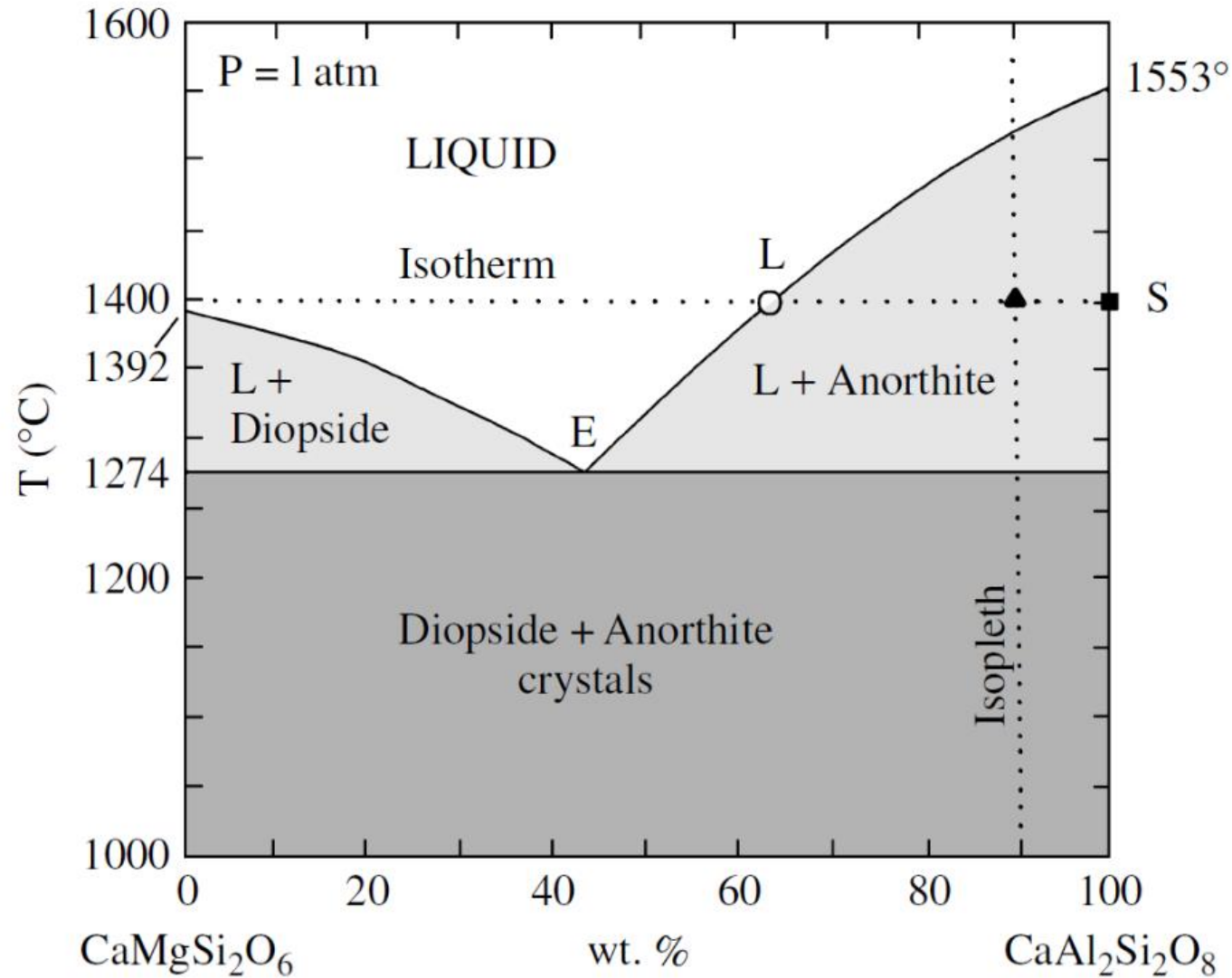
Fázové diagramy

Tavení čistých minerálů a polymorfismus

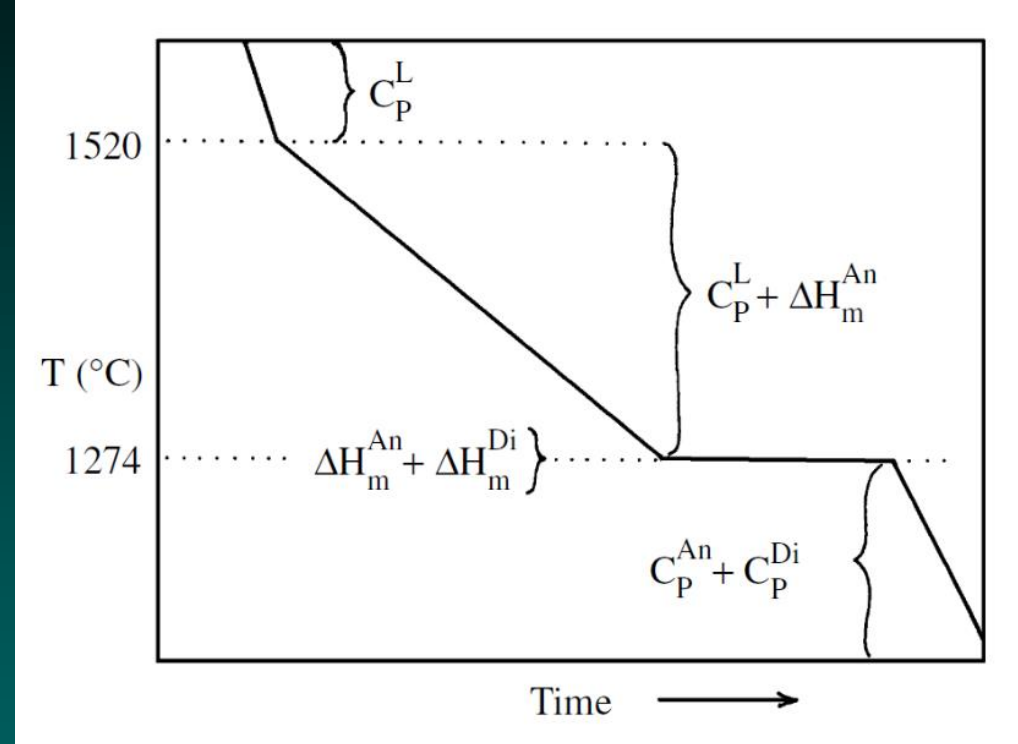


Fázové rovnováhy binárních systémů

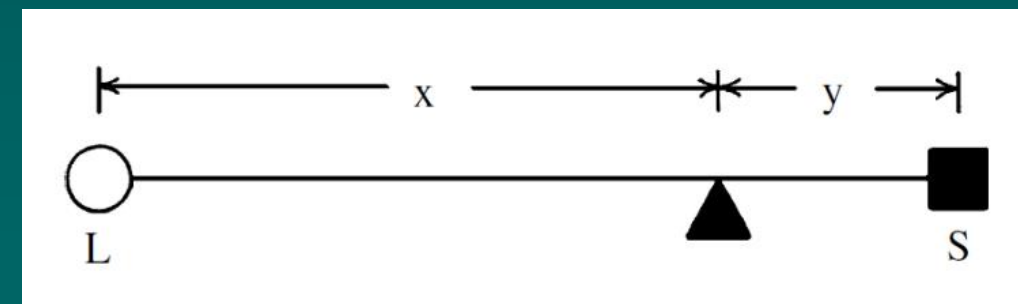
Diopsid-anortit



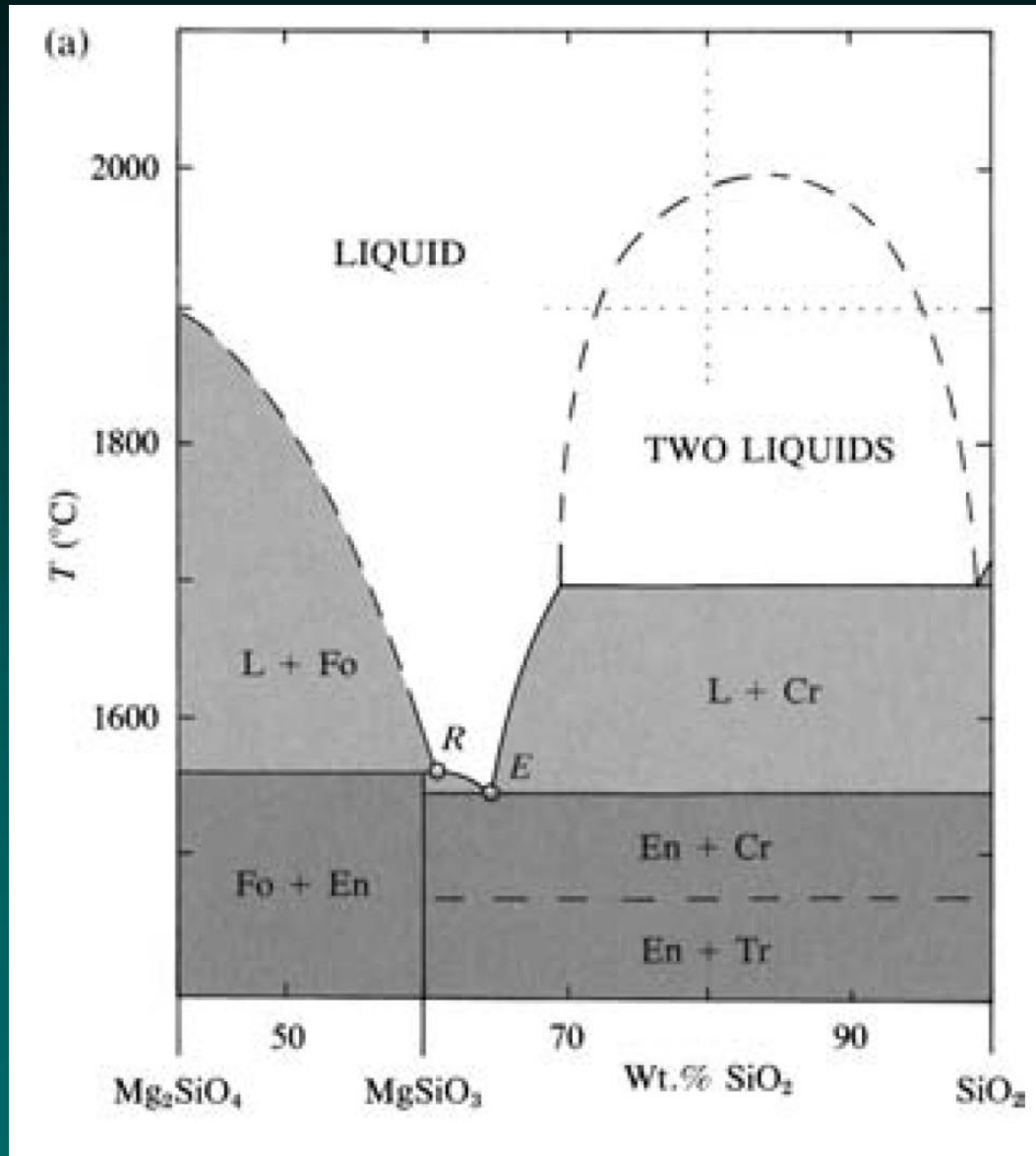
Chladnutí



Pákové pravidlo

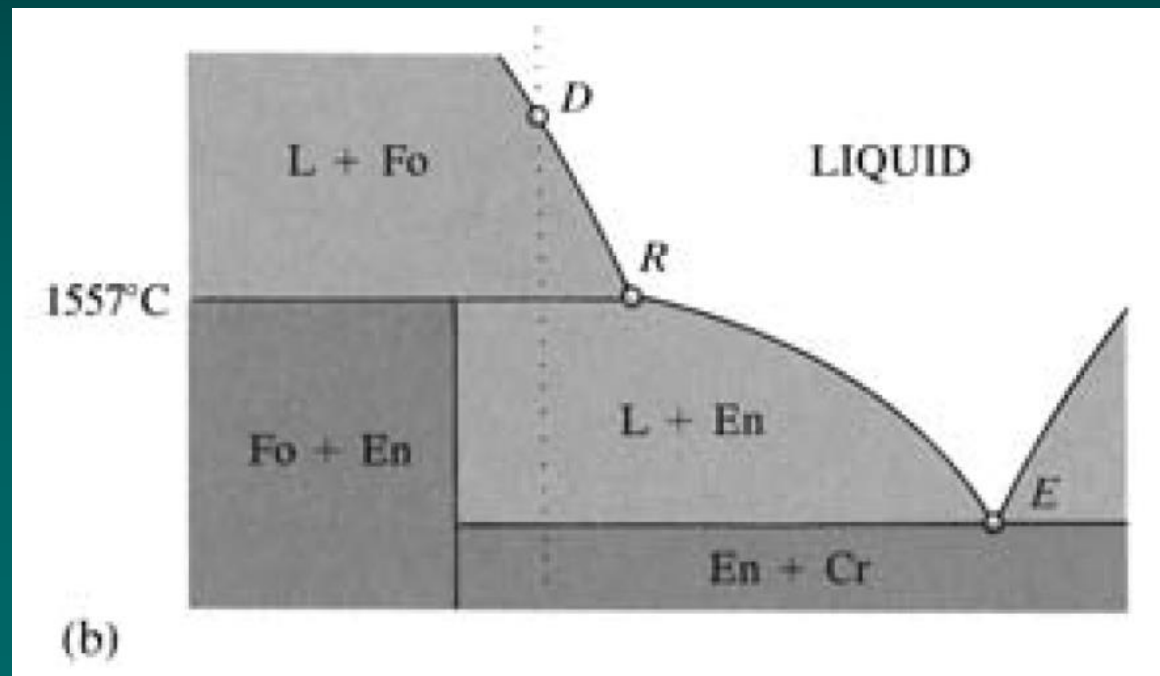
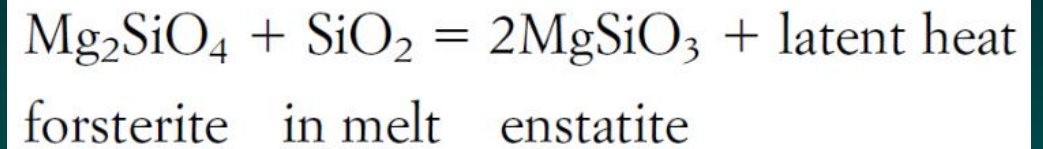


Fázové rovnováhy binárních systémů



Forsterit- SiO_2

Detail: R – peritektikum; obrněné reliкty



Krystalizace

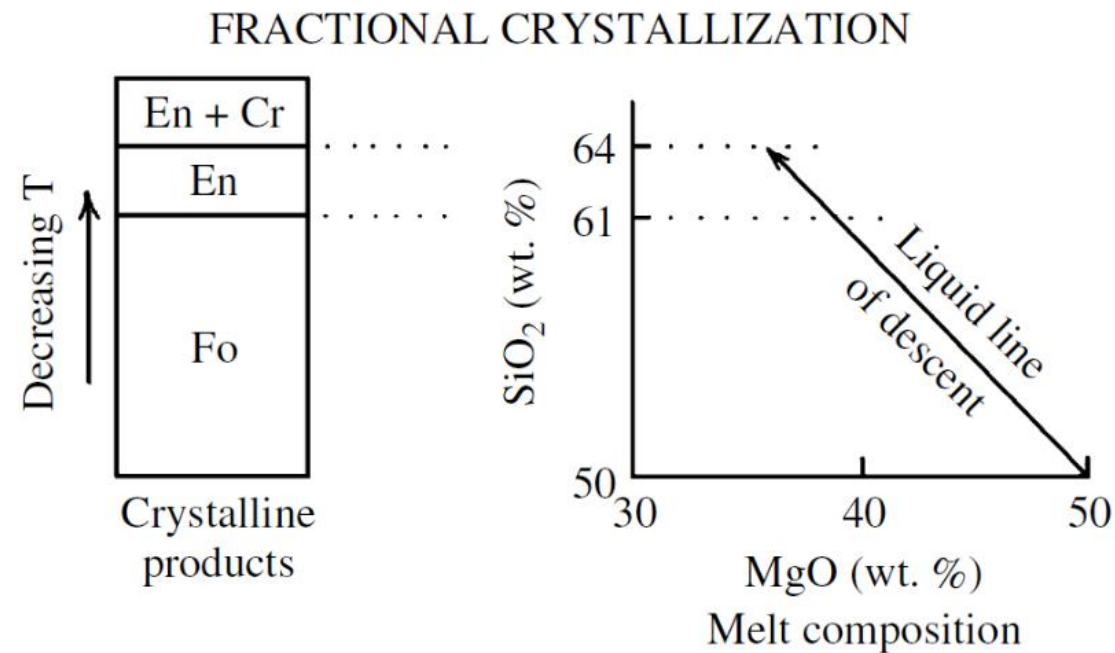
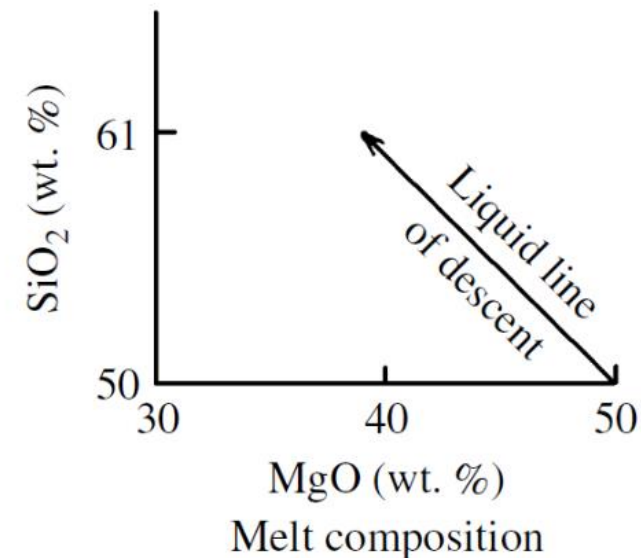
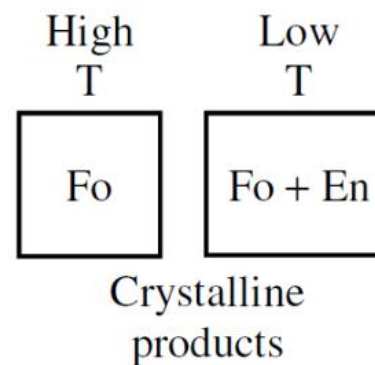
Ideální rovnovážná krystalizace

- po celou dobu krystalizace zachovávána rovnováha mezi krystaly a taveninou

Ideální frakční krystalizace

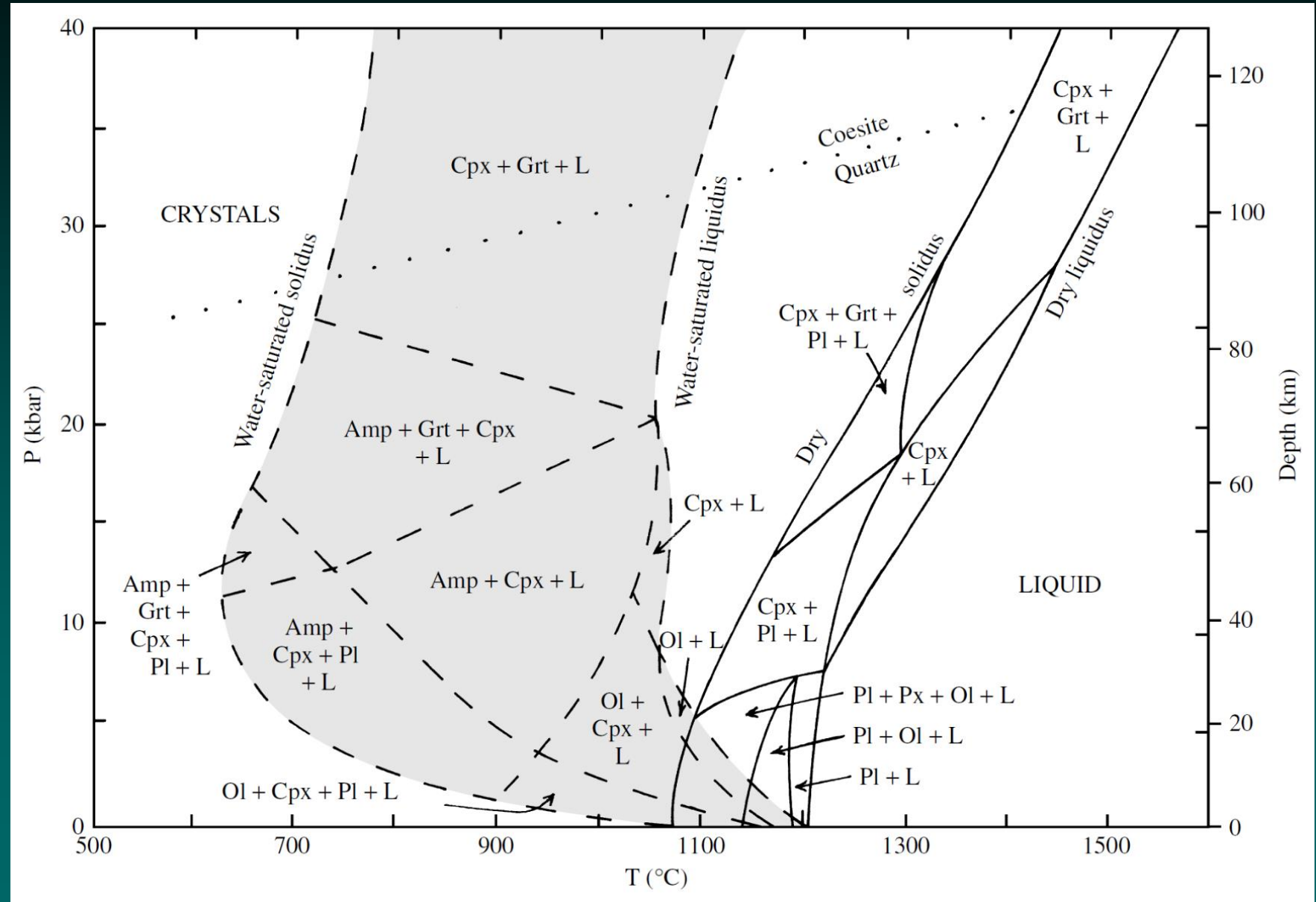
Krystaly jsou okamžitě „izolovány“ od taveniny:

- krystaly jsou odděleny od taveniny v důsledku rozdílné hustoty
- krystaly s taveninou nereagují v důsledku pomalé rychlosti vzájemné interakce
- povrchová vrstva je izolována od taveniny další přirůstající vrstvou



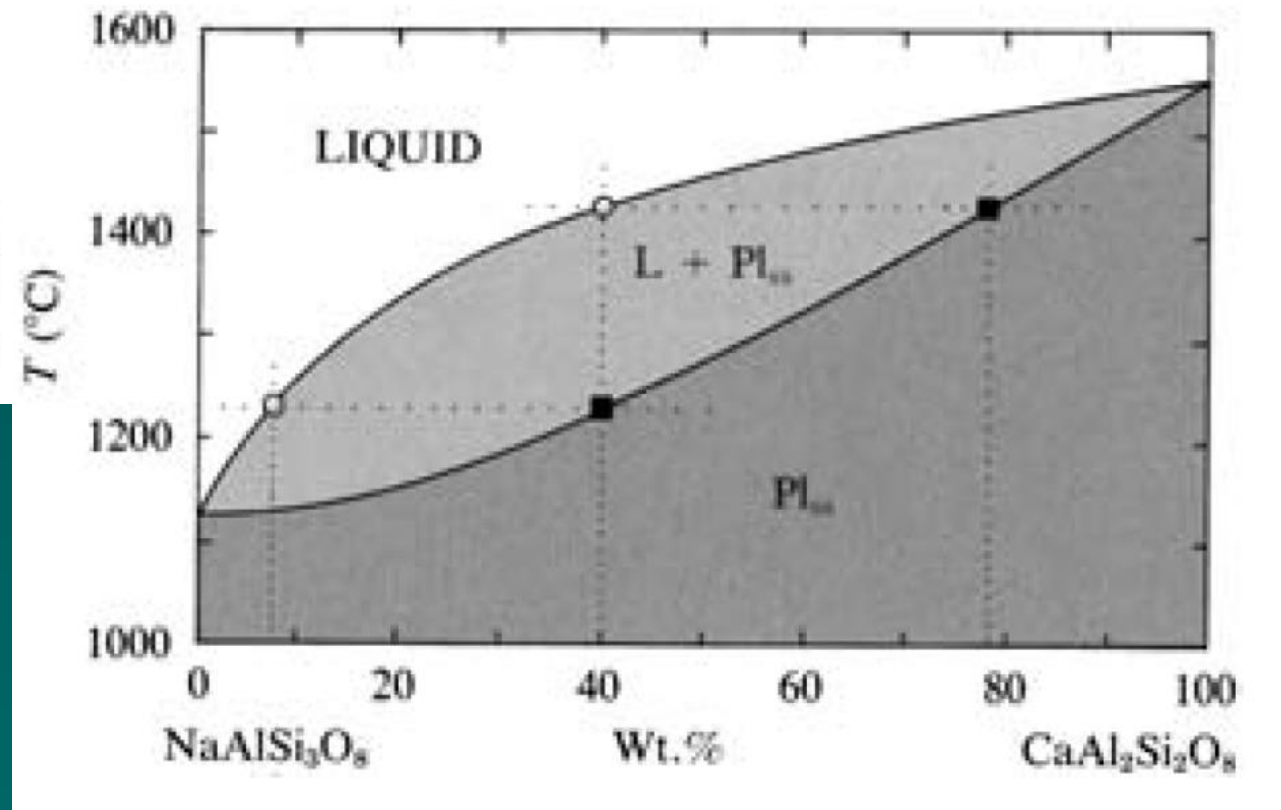
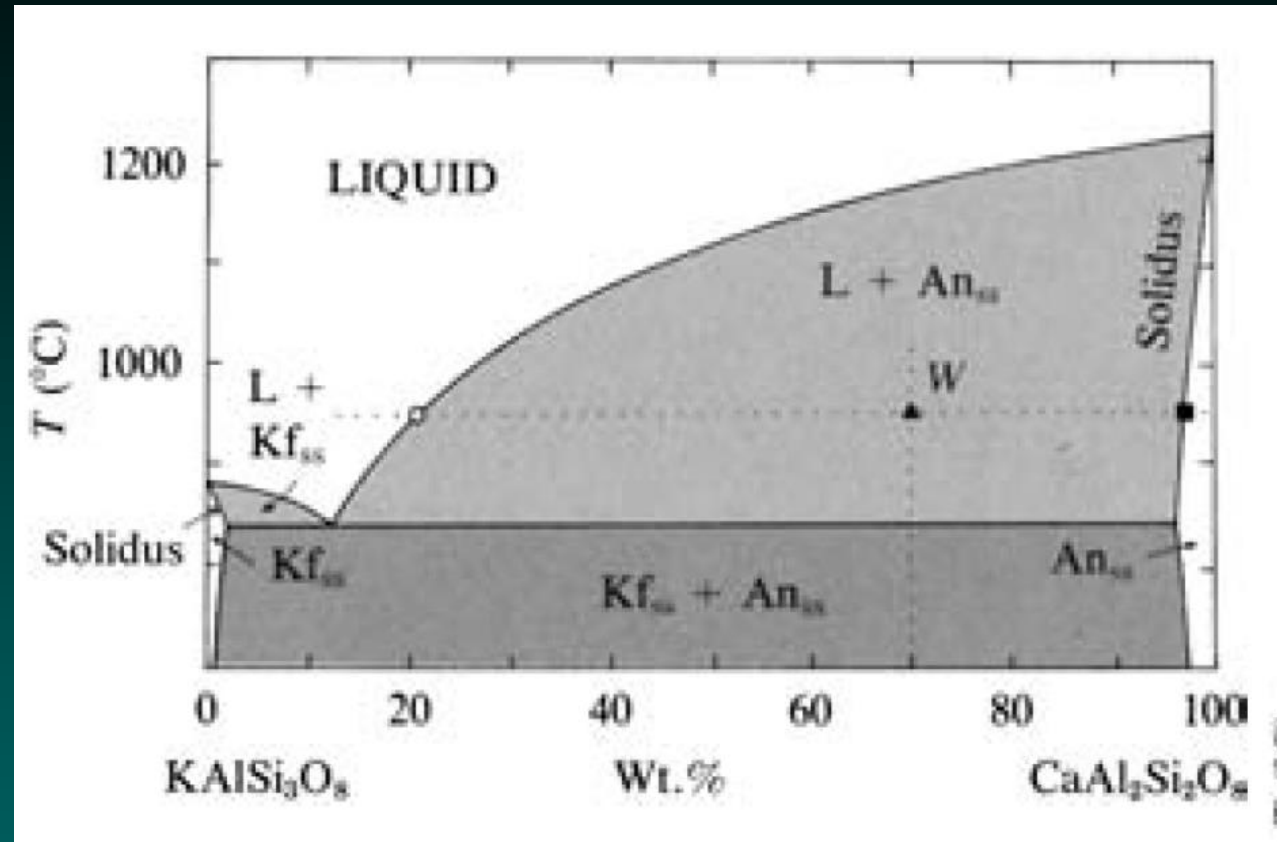
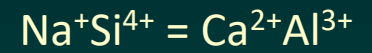
Složení reziduální taveniny

Krystalizace reálných bazaltových magmat

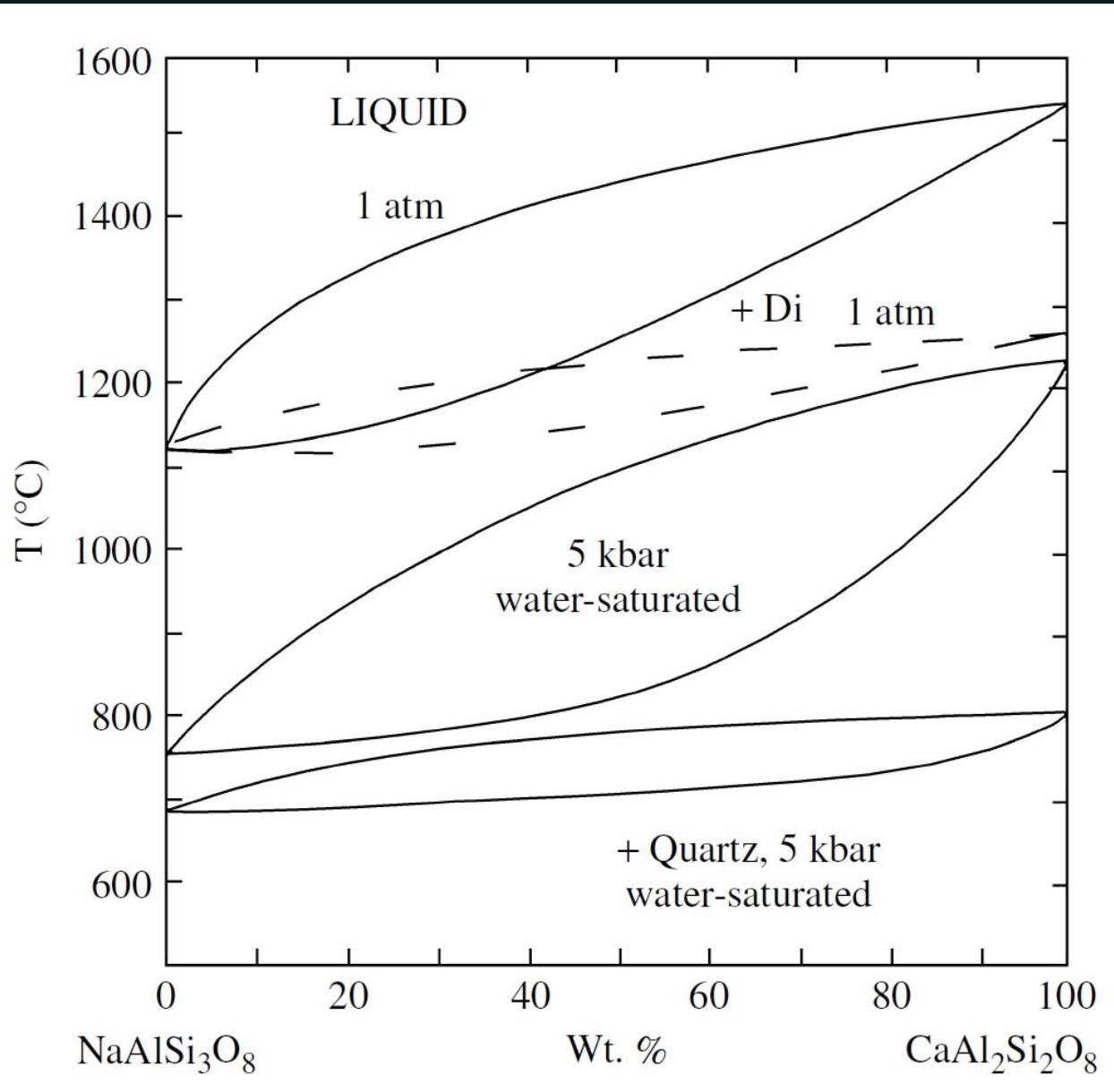


Zobecněný diagram
krystalizace
tholeitického bazaltu
(„suchý“ a „mokrá“)

Fázové diagramy živců



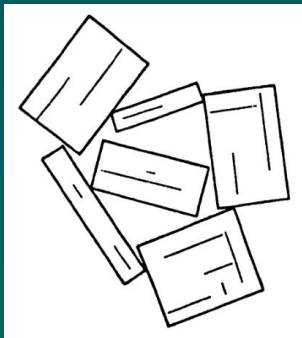
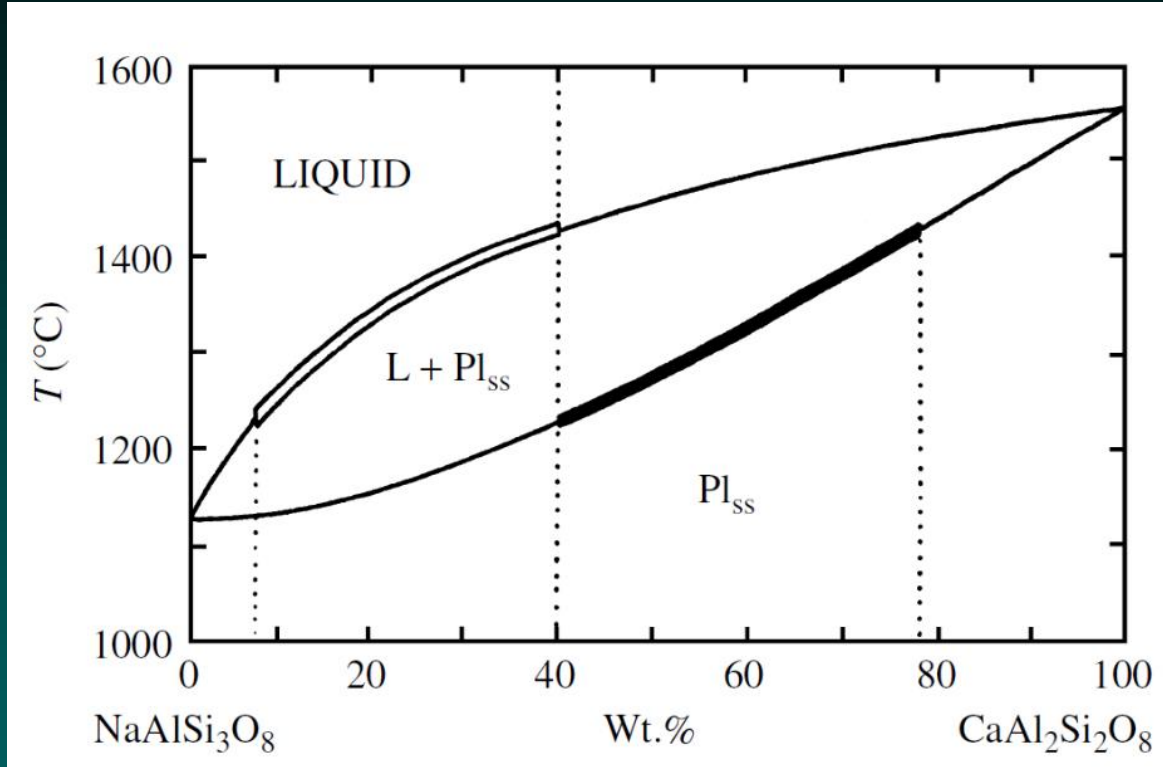
Fázové diagramy živců



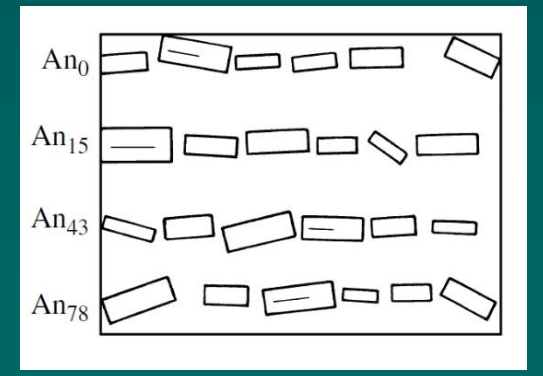
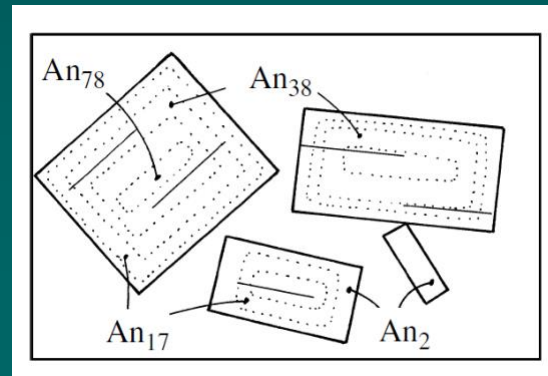
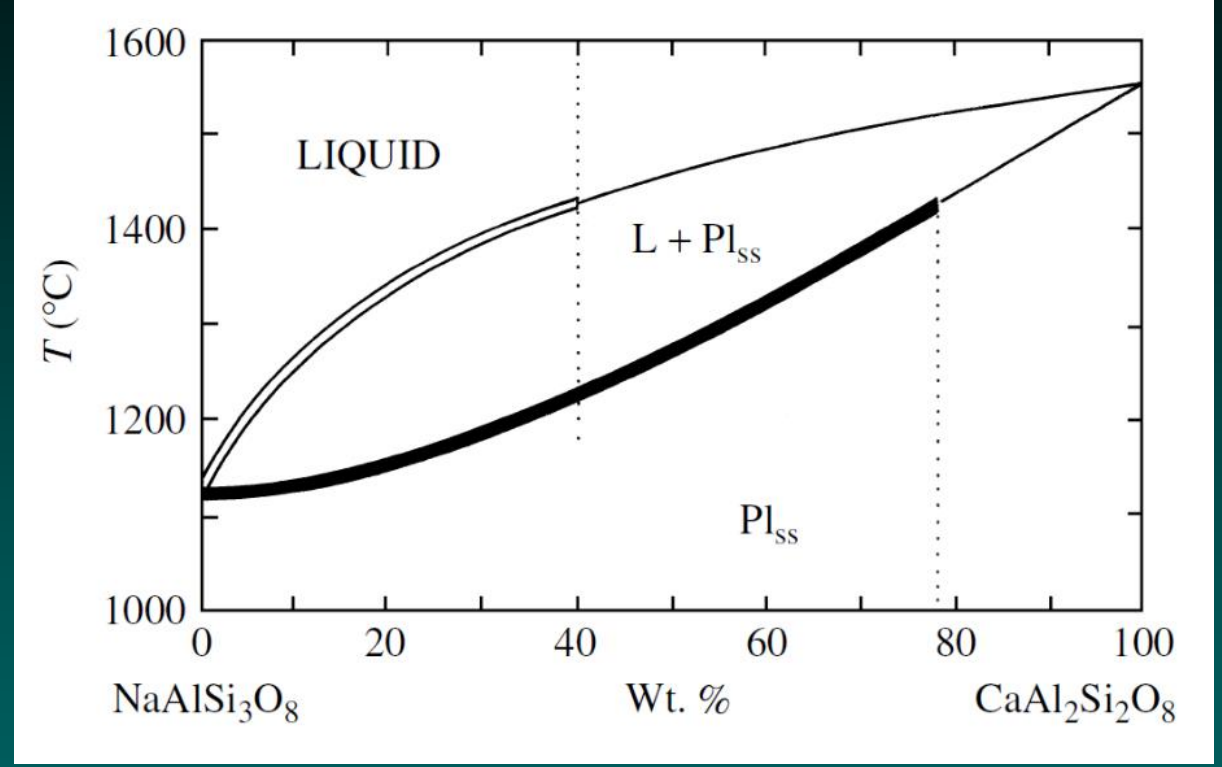
vliv tlaku a dalších složek

Fázové diagramy živců

rovnovážná krystalizace



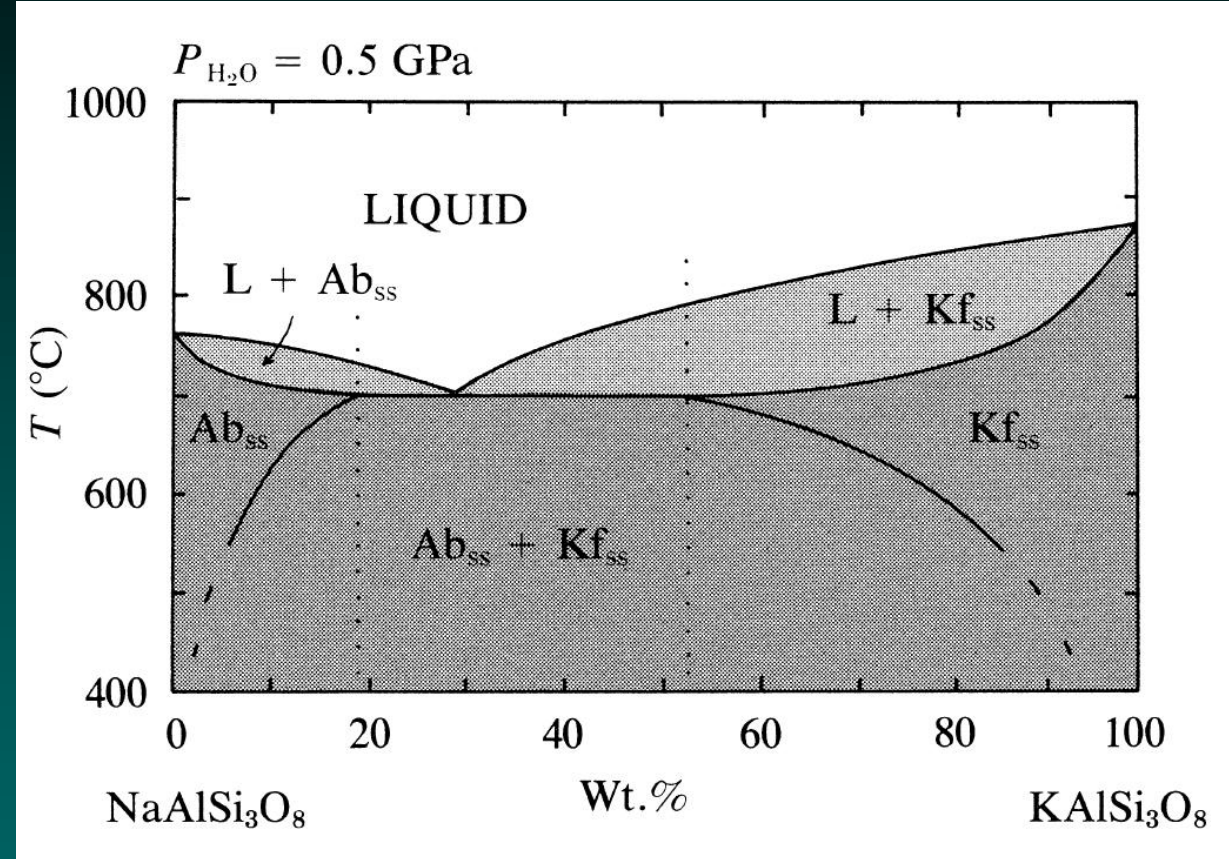
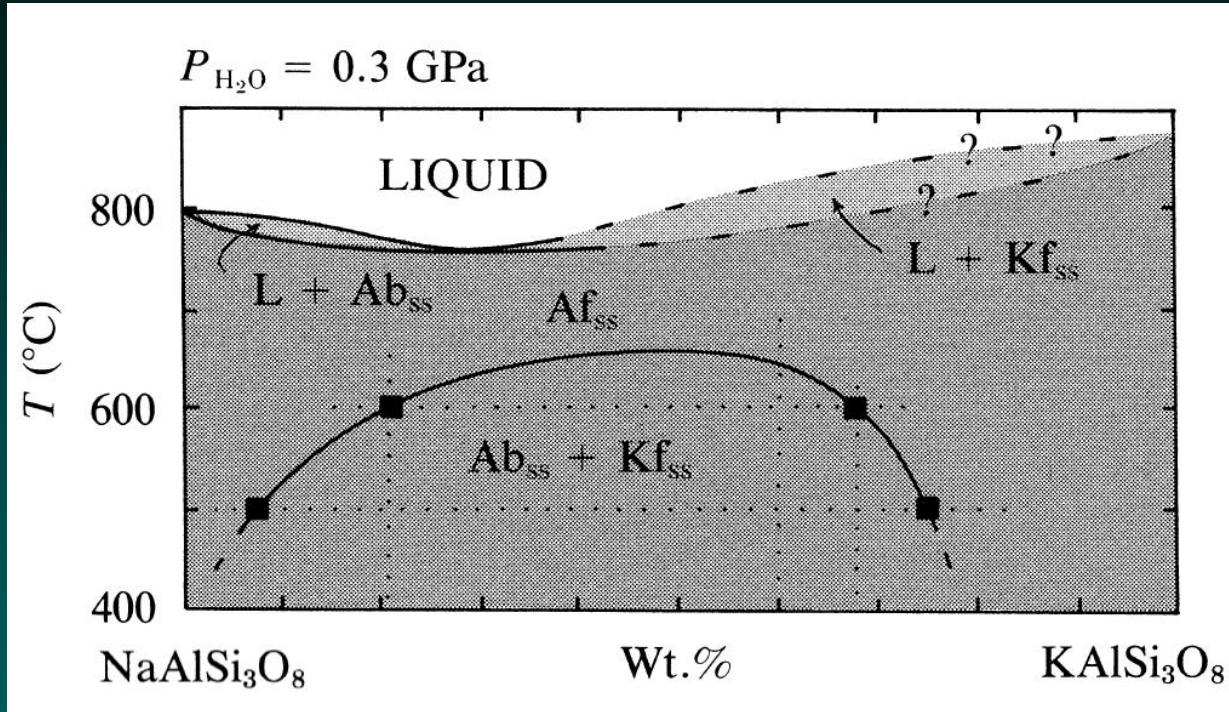
frakční krystalizace



Fázové diagramy živců

„hypersolvus“ granity

„subsolvus“ granity



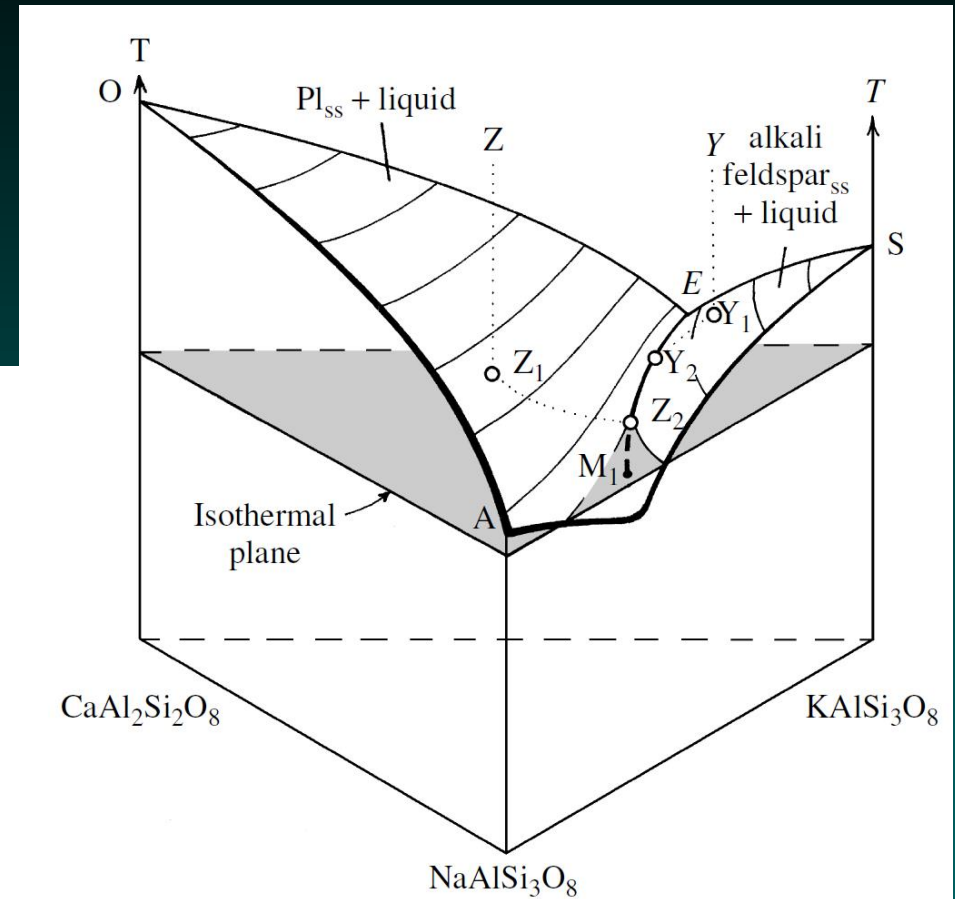
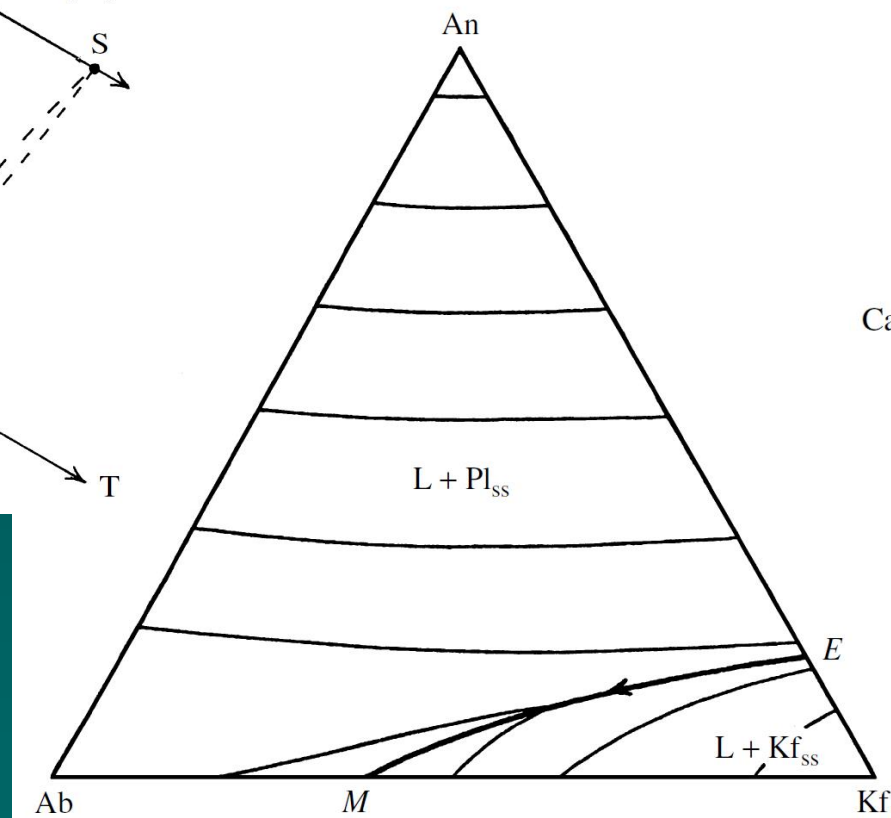
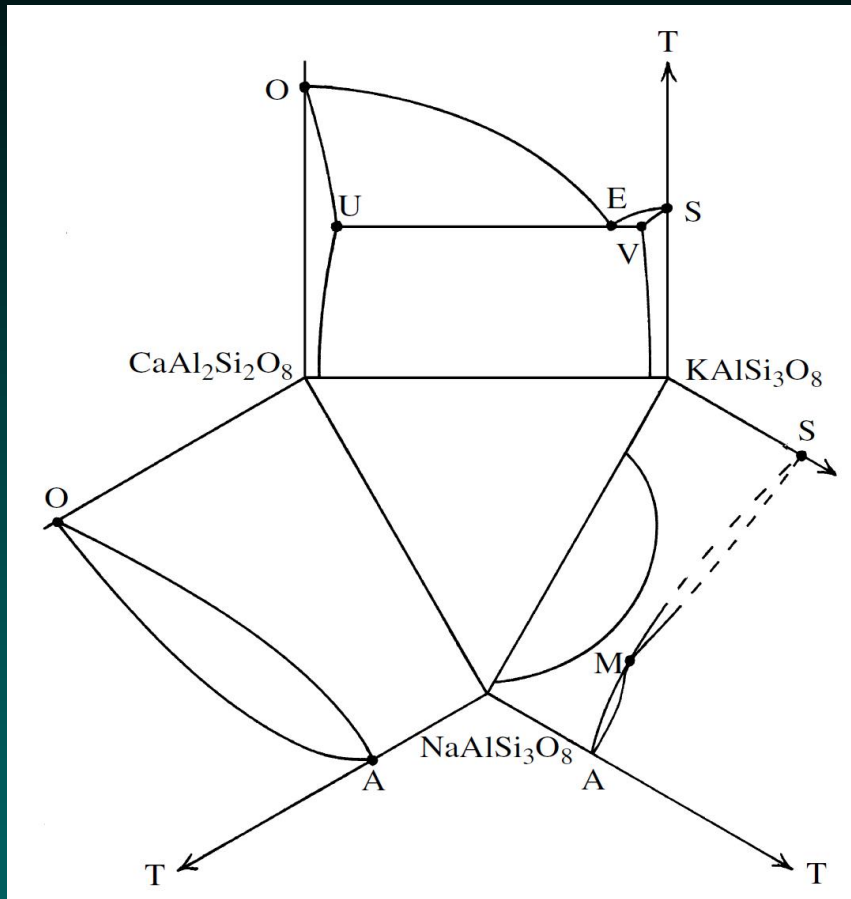
perthit



albit + mikroclin

Fázové diagramy živců

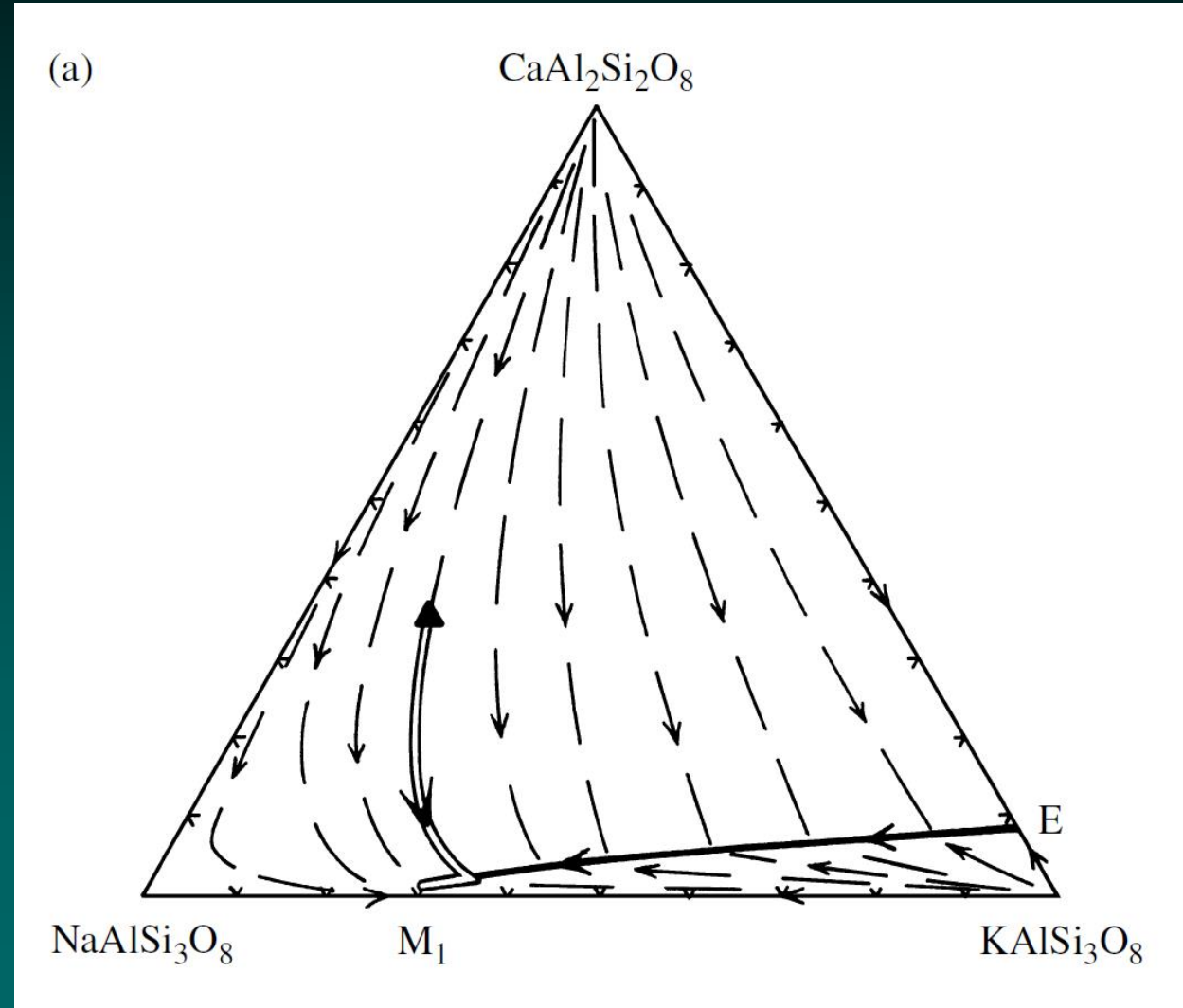
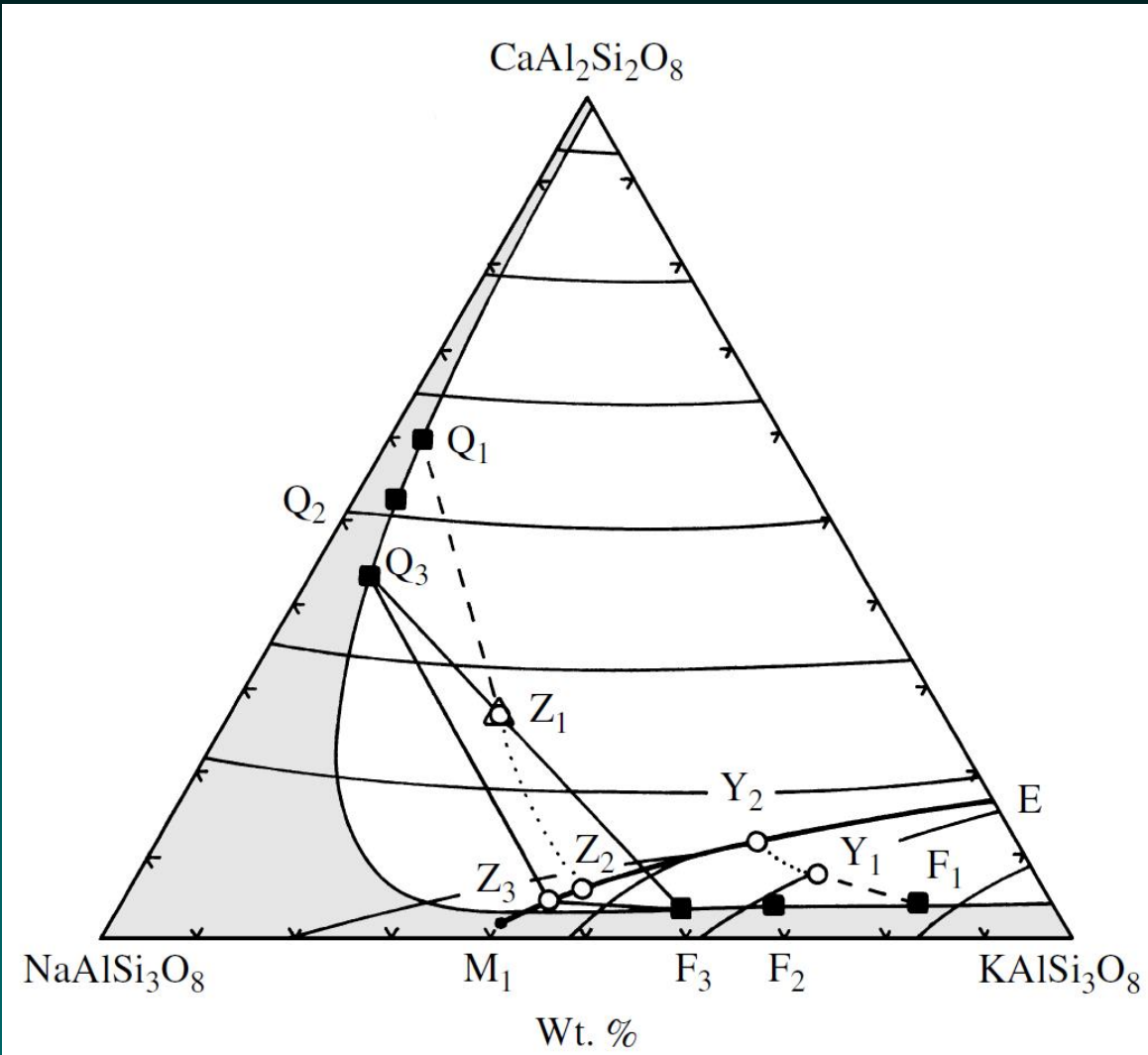
Ternární systém Kf-Ab-An



Fázové diagramy živců

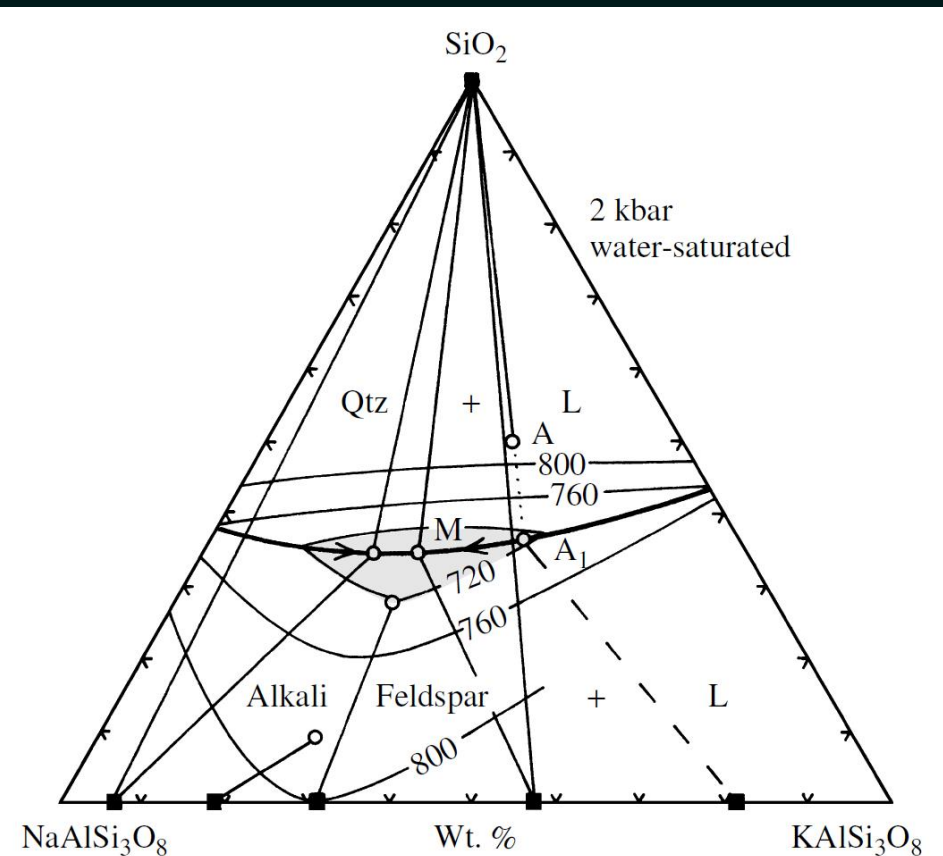
Ternární systém Kf-Ab-An

krystalizace

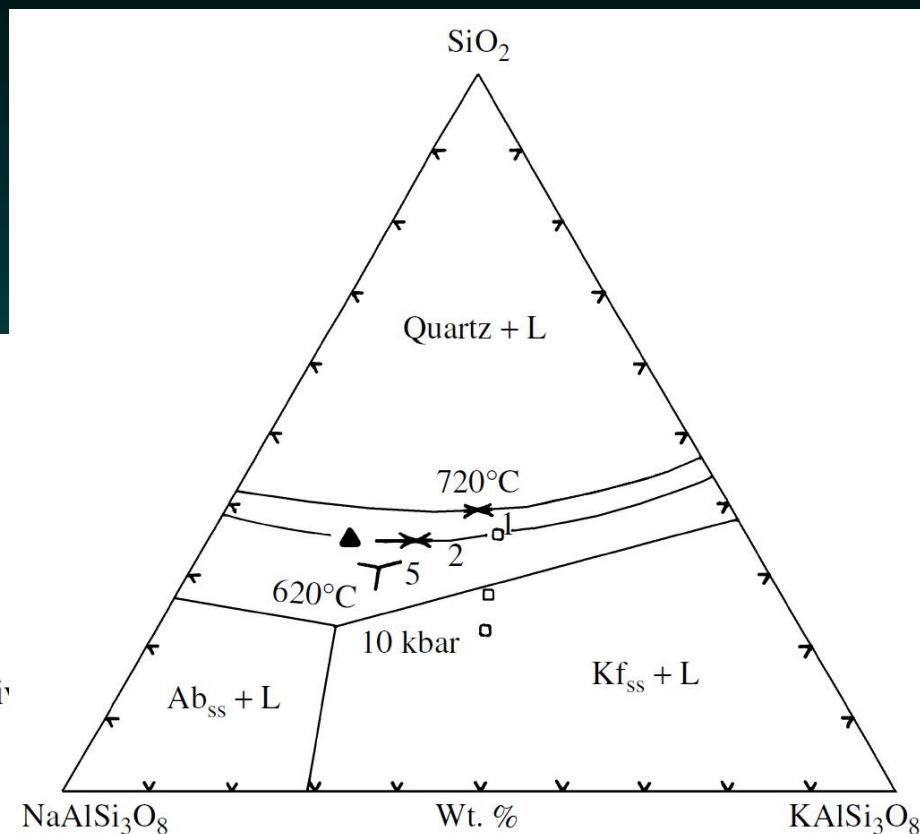
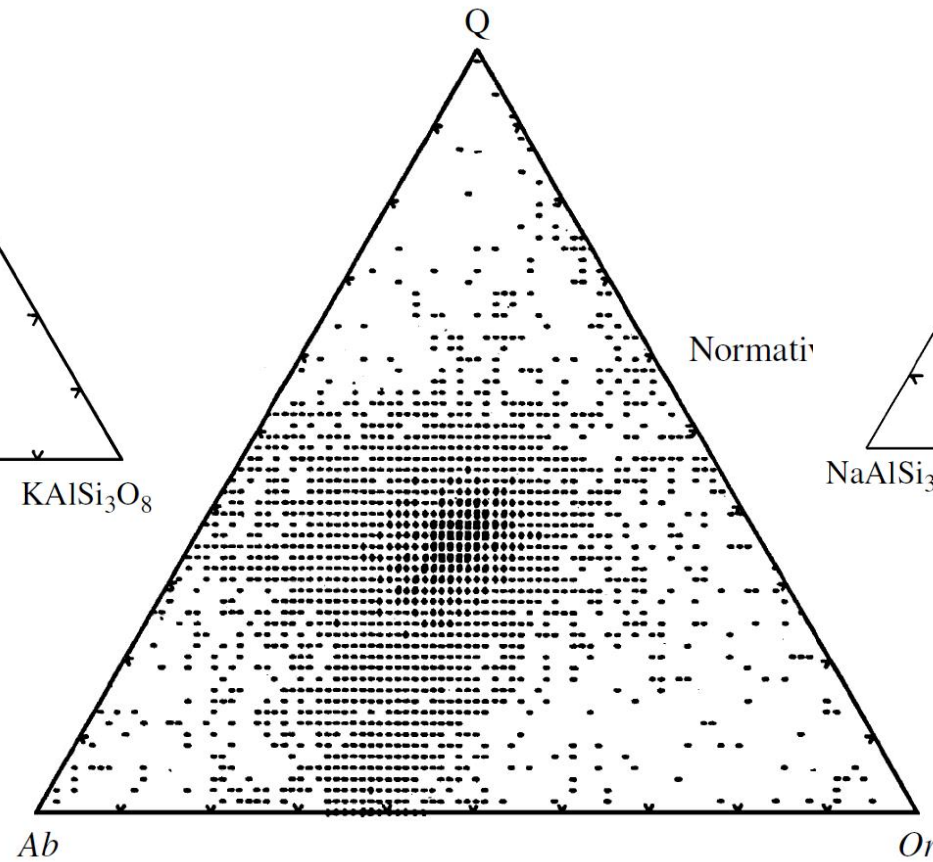


Fázové diagramy živců

Ternární systém Kf-Ab-SiO₂



vliv vody



7 659 granitických hornin (Le Maitre, University of Melbourne)

Výsledek magmatické krystalizace ovlivněn

velikost krystalů a povrchové napětí (dodatková G^E funkce)

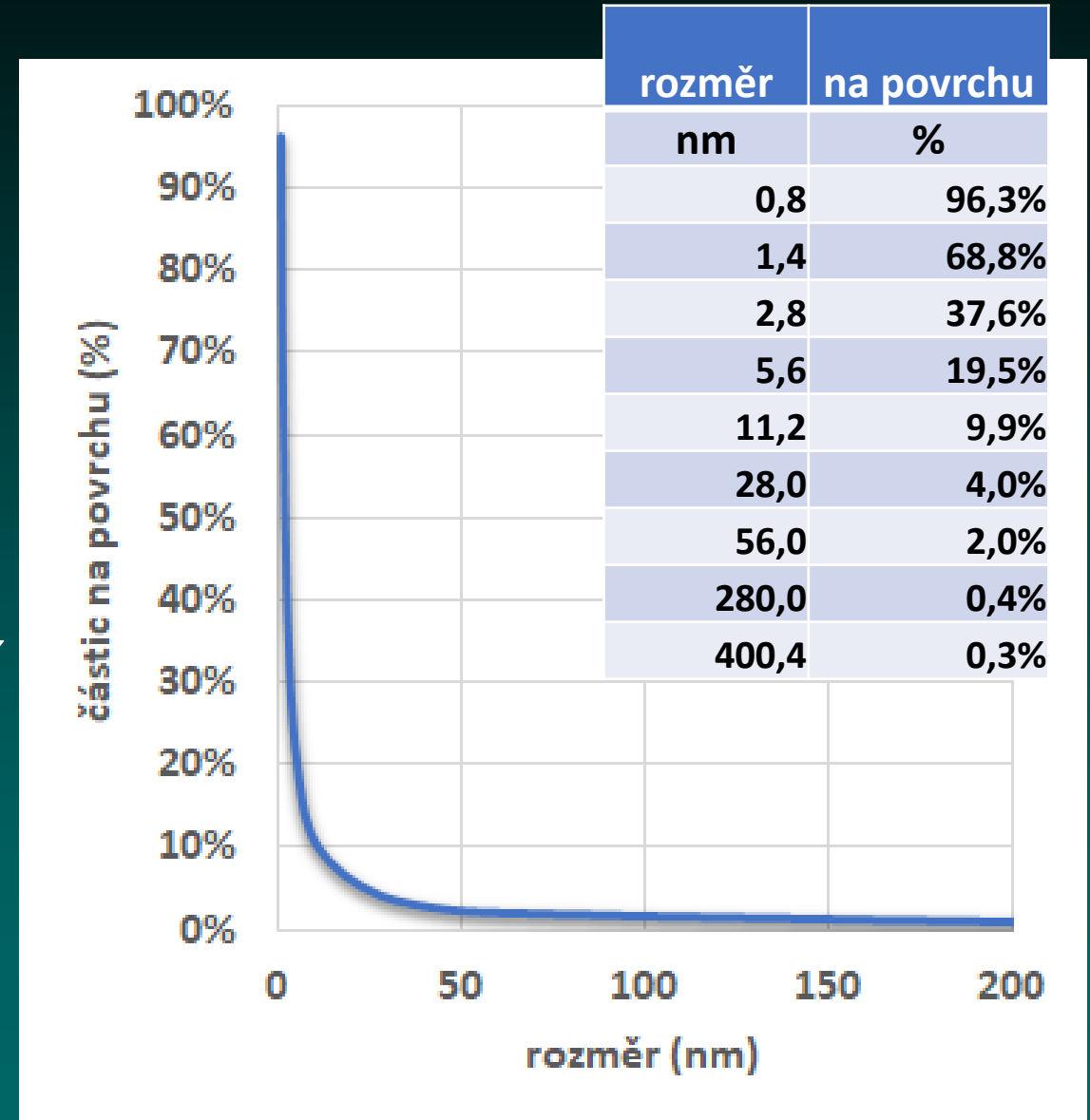
$$\Delta \bar{G}_{krystal-tavenina} = \bar{G}_{kryst} - \bar{G}_{tavenina}$$

$$\bar{G}_{malý\ kr.} = \bar{G}_{kryst} + \bar{G}_{povrch}$$

$$\bar{G}_{kryst} = \frac{4}{3}\pi r^3 \bar{G}_{kryst}$$

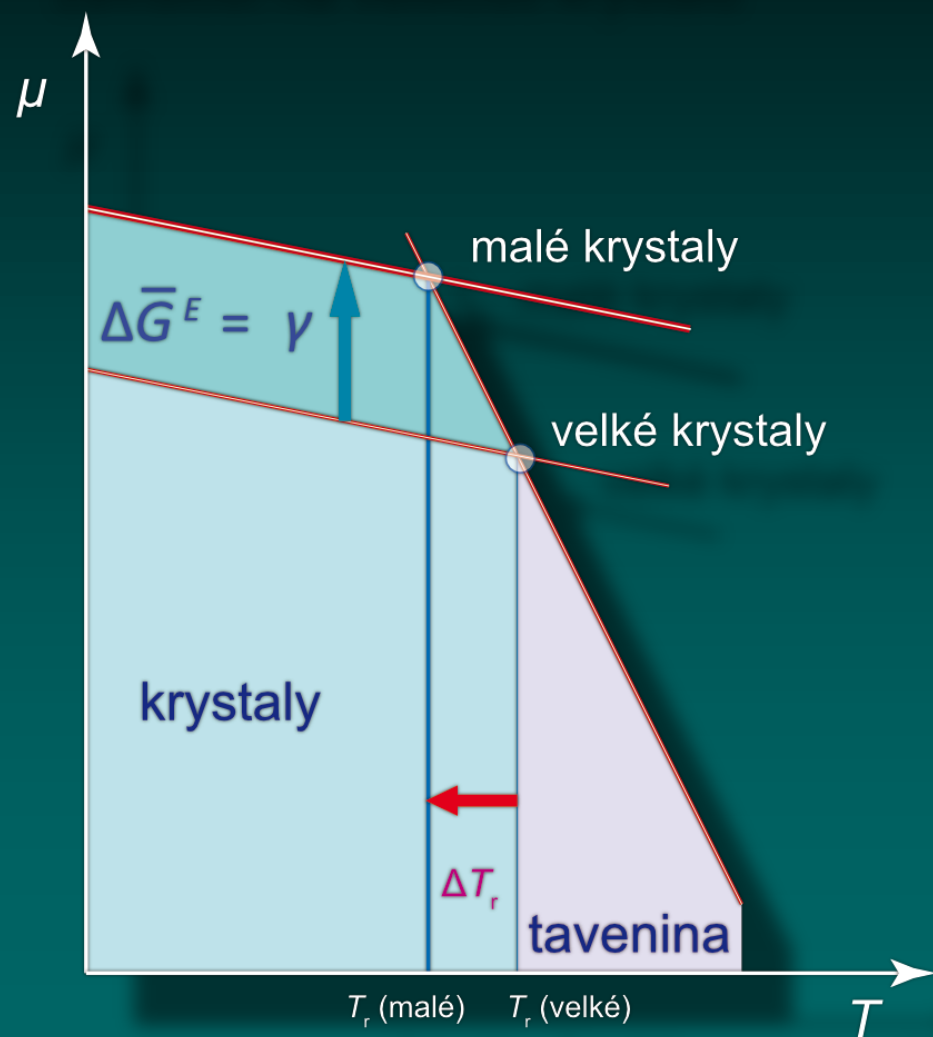
$$\bar{G}_{povrch} = 4\pi r^2 \gamma (= \bar{G}^E)$$

$$\Delta \bar{G}_{krystal-tavenina} = \frac{4}{3}\pi r^3 (\bar{G}_{kryst} - \bar{G}_{tavenina}) + 4\pi r^2 \gamma$$

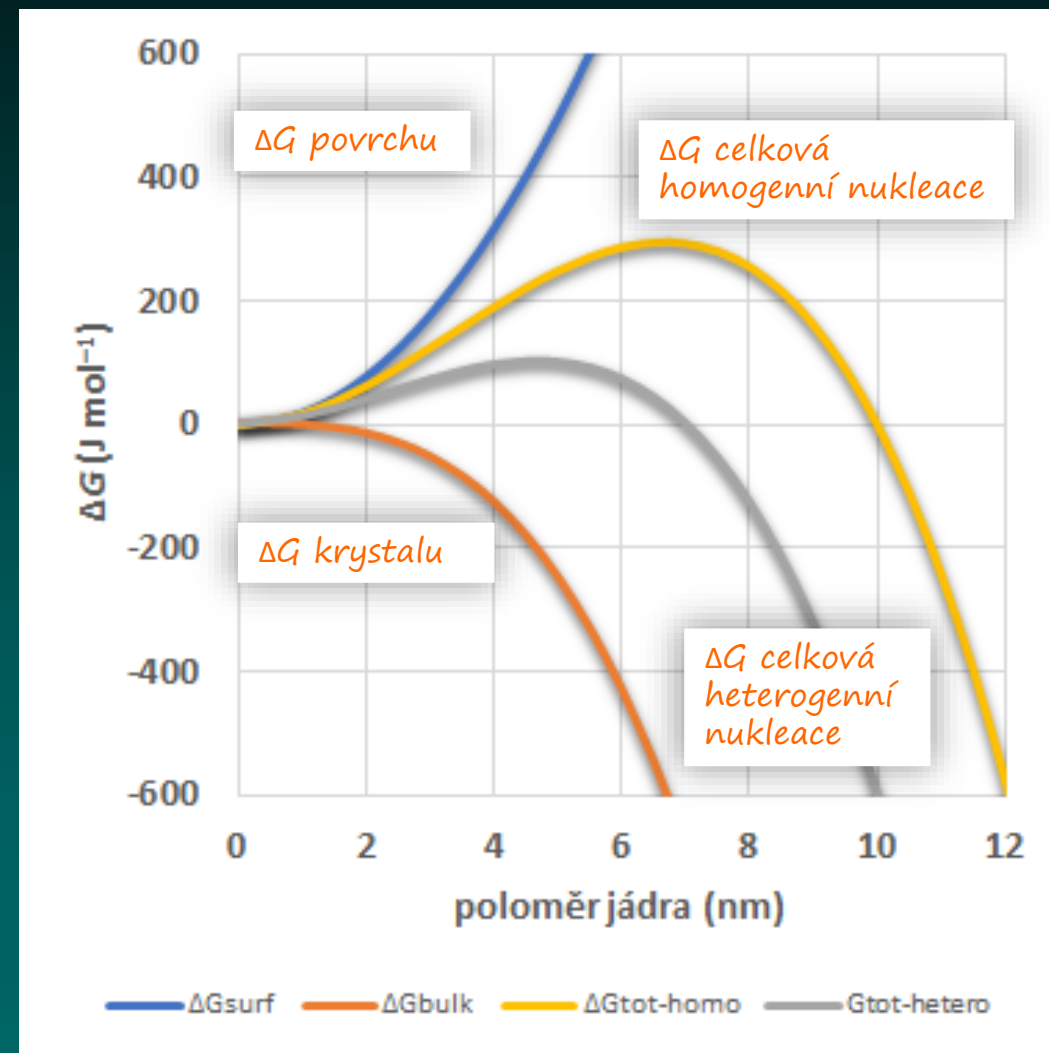


Výsledek magmatické krystalizace ovlivněn

závislost na velikosti krystalů

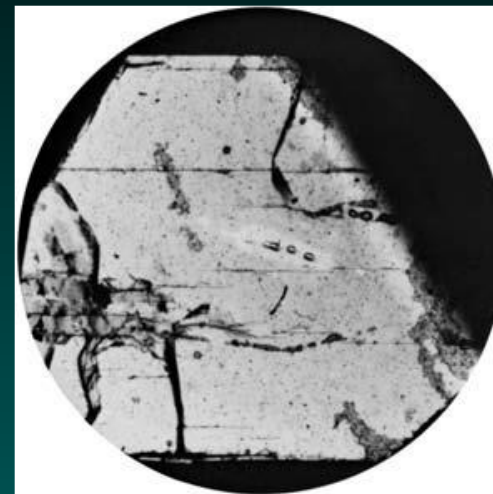
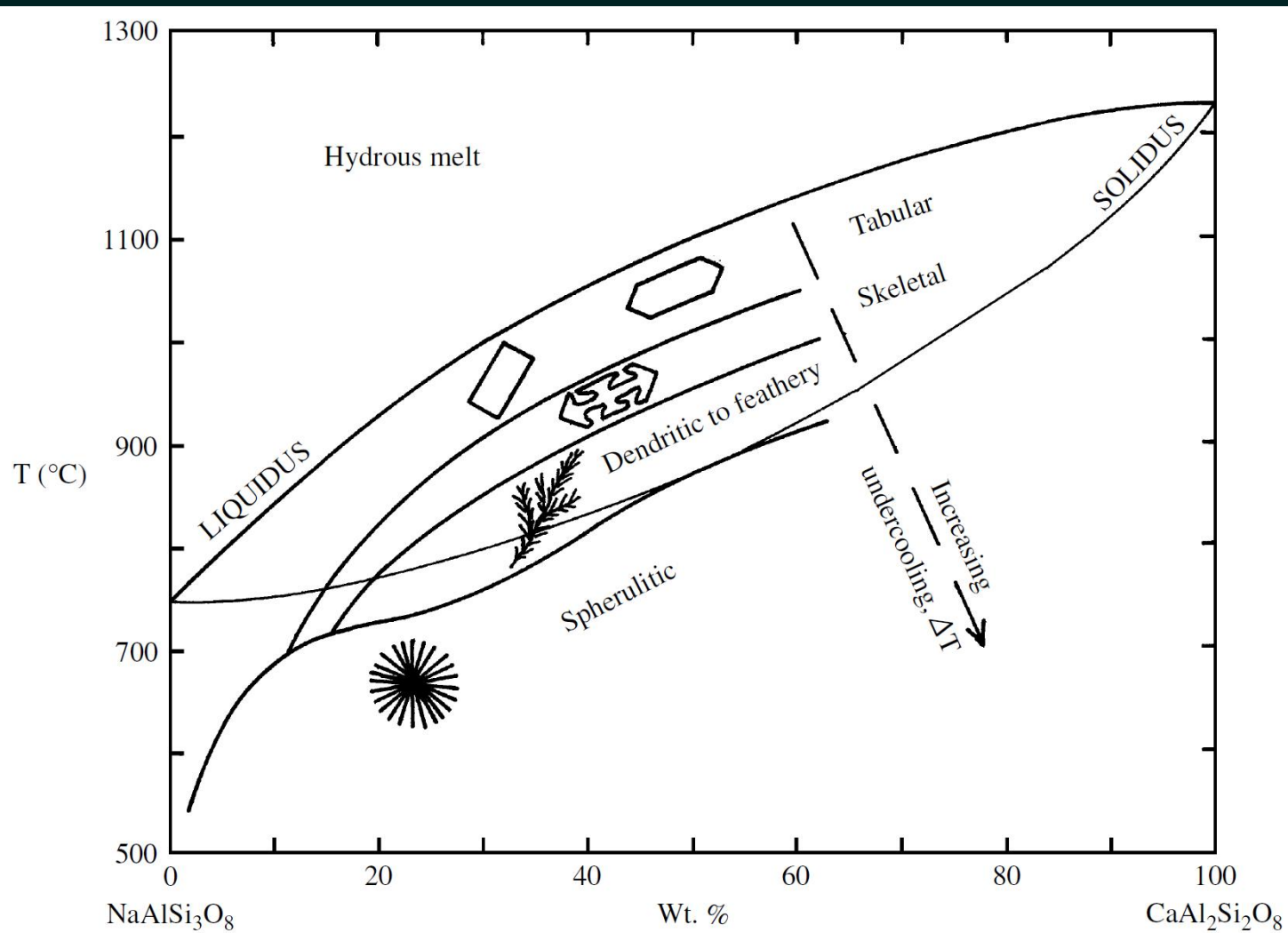


rychlost tvorby zárodků

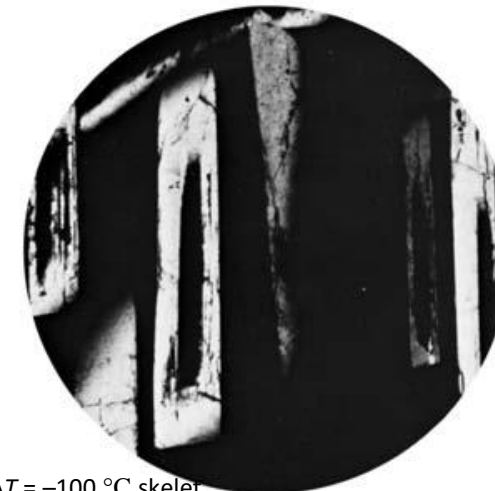


Výsledek magmatické krystalizace ovlivněn

velikost podchlazení a rychlost difuze



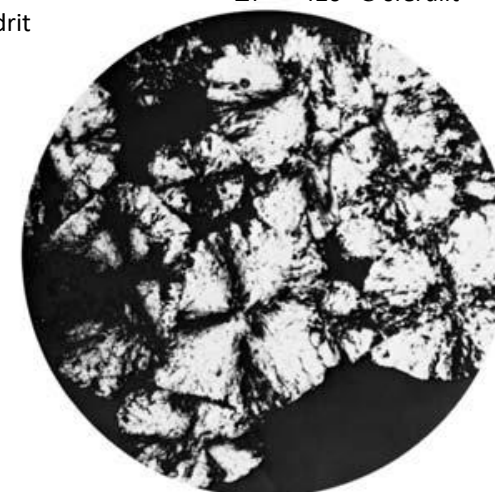
$\Delta T = -50\text{ }^{\circ}\text{C}$ normální



$\Delta T = -100\text{ }^{\circ}\text{C}$ skelet



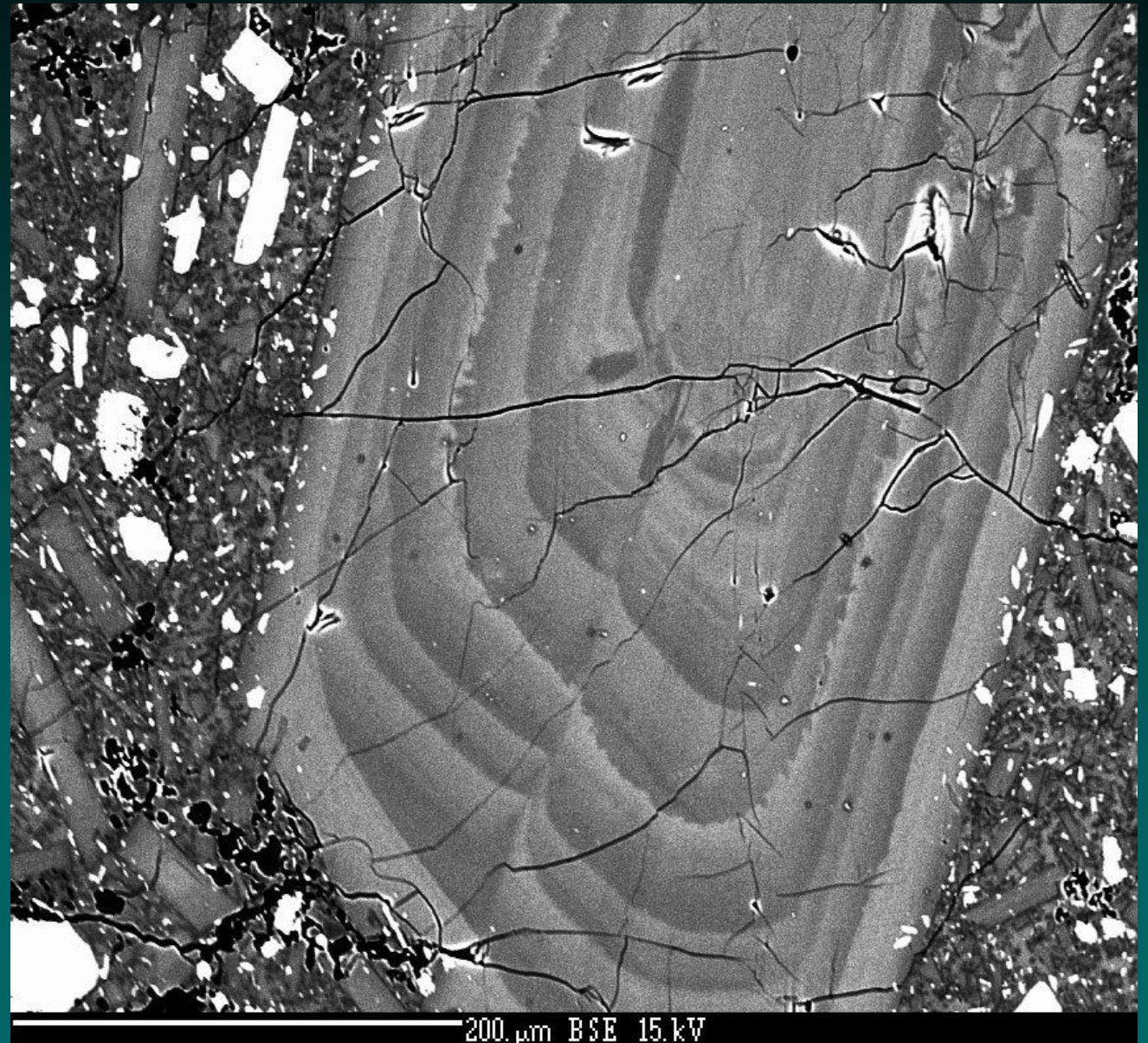
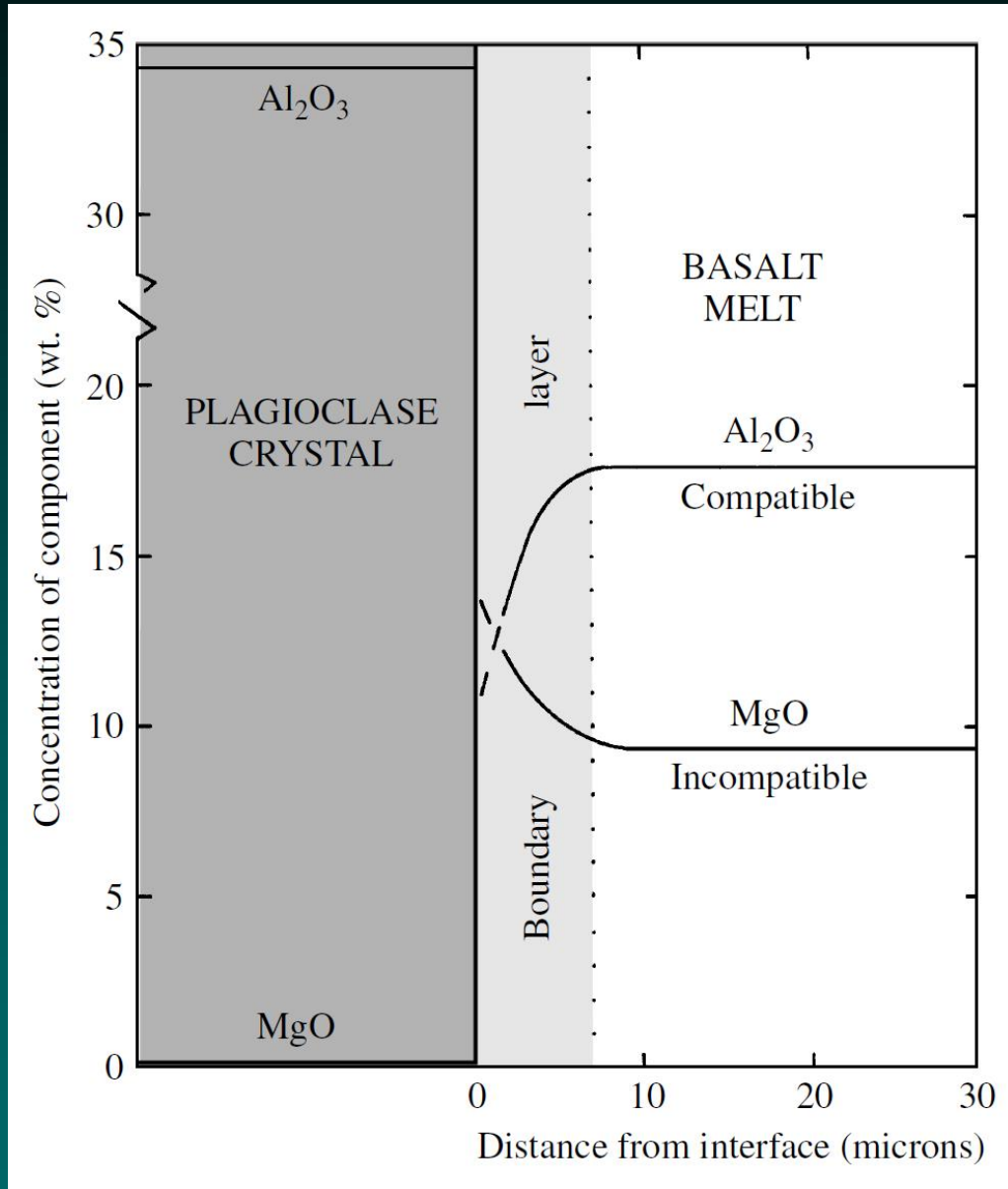
$\Delta T = -200\text{ }^{\circ}\text{C}$ dendrit



$\Delta T = -420\text{ }^{\circ}\text{C}$ sférlit

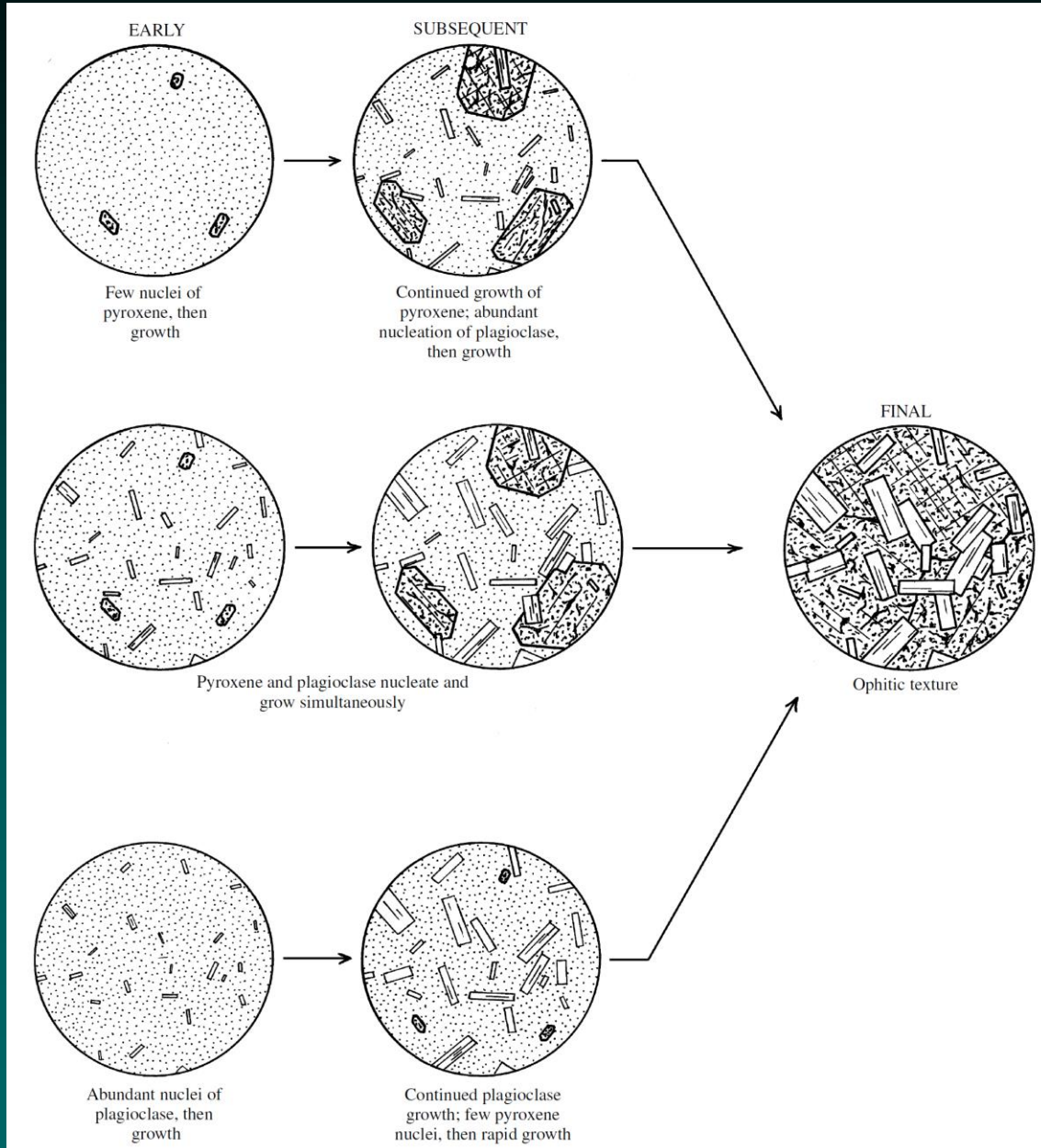
Výsledek magmatické krystalizace ovlivněn

difuze k povrchu

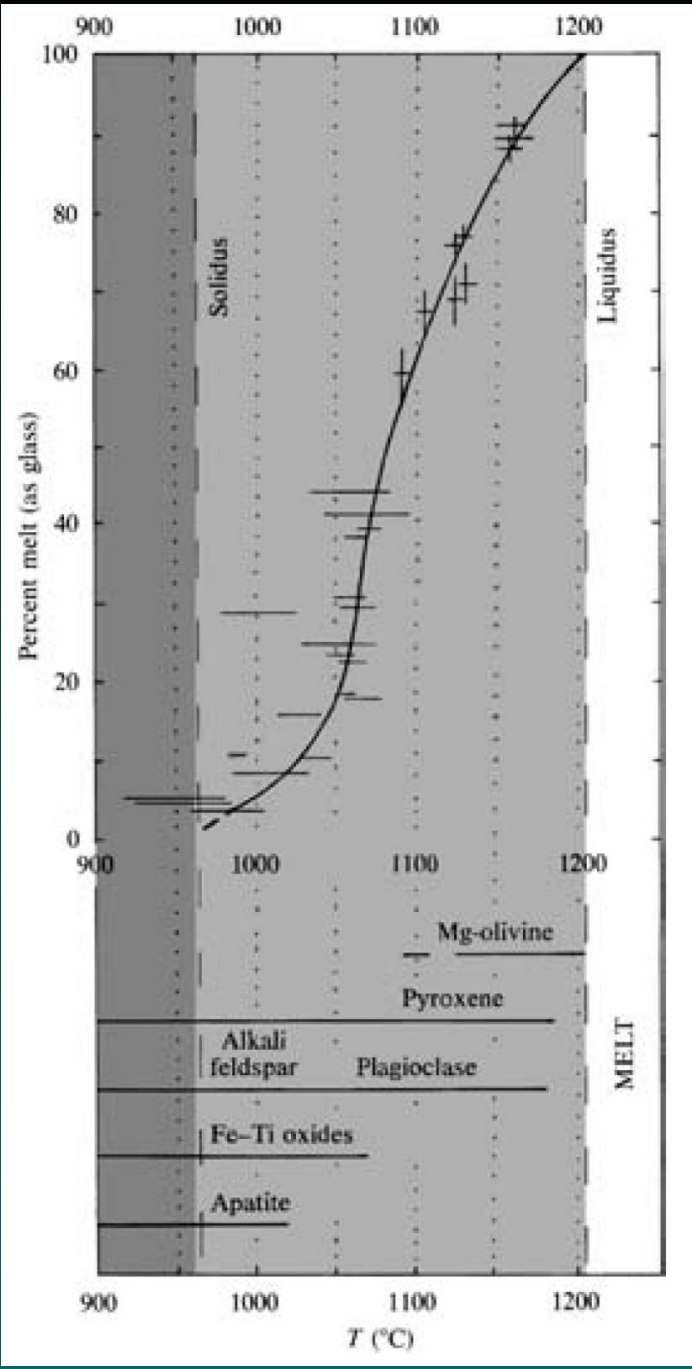


Interpretace textur

stejná stavba horniny může vznikat
různou posloupností krystalizace



Krystalizace reálných bazaltových magmat



Makaopuhi bazalt
 1963 Kilauea, Hawaii –
 Makaopuhi kráter