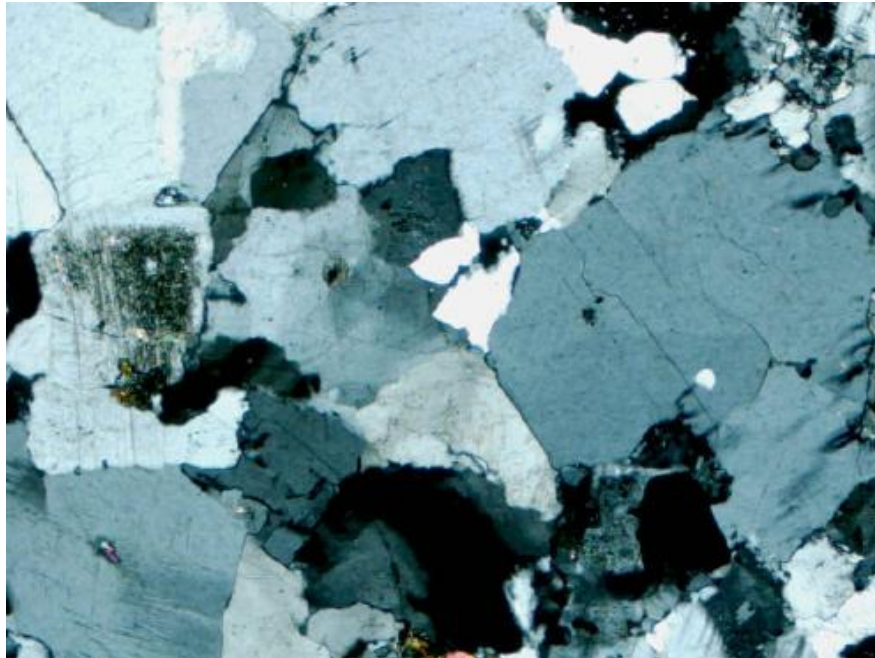


Granity a kontinentální kůra

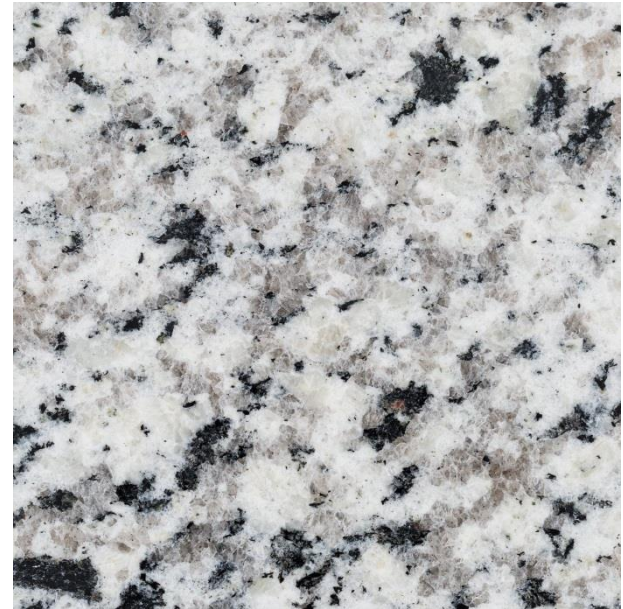
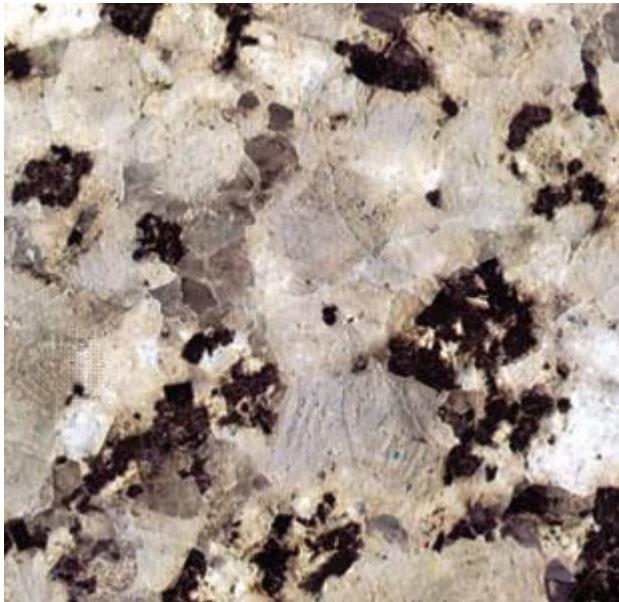
III

(Vznik S-typových granitů)

David Buriánek

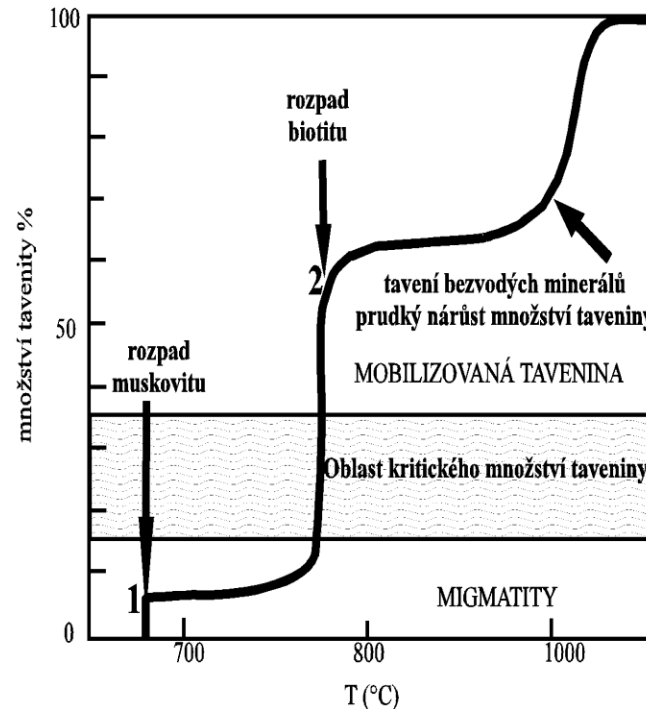
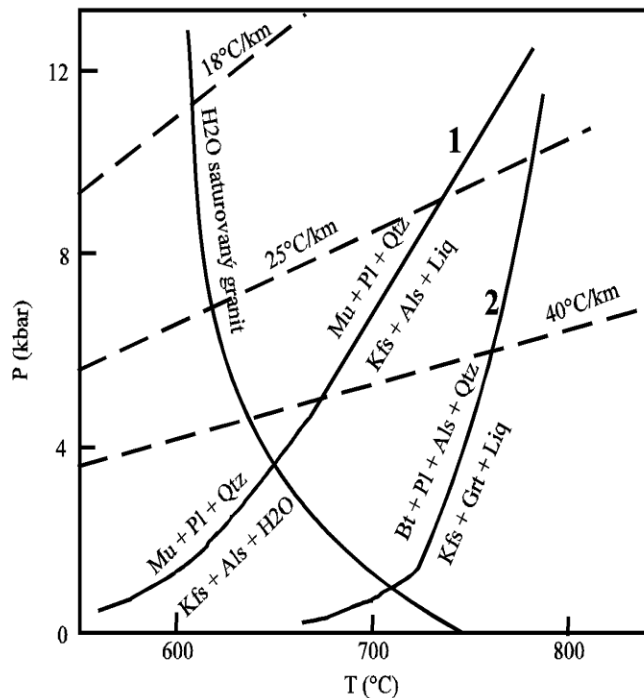


- **III. 1. Vznik granitové taveniny v kontinentální kůře**
- **III. 2. Vznik taveniny**
 - A. Muskovitové dehydratační tavení
 - B. Staurolitové dehydratační tavení
 - C. Biotitové dehydratační tavení
 - D. Epidotové dehydratační tavení
 - E. Amfibolové dehydratační tavení
 - F. Bezvodé tavení



III. 1. Vznik granitové taveniny v kontinentální kůře

- Voda je jako volná fluidní fáze v kontinentální kůře přítomna maximálně do hloubek několika kilometrů (Yardley a Valley, 1997).
- Výjimku tvoří pouze nízcce metamorfované horniny vtažené rychle do velkých hloubek (subdukční zóny).
- Jinak probíhá vznik granitového magmatu jen za podmínek dehydratačního tavení.
- Modelováním tavení v metapelitech, kde veškerá fluida vznikla dehydratací přítomných silikátů, se zabývali Spear et al. (1999). Autoři studovali chování metapelitů s minerální asociací granát + sillimanit + muskovit + plagioklas + křemen a sestavili modely chování metapelitů v průběhu různých typů metamorfóz.



PT diagram znázorňující dvě hlavní dehydratační reakce a jejich pozici vůči geotermálním gradientům 18, 25 a 40 °C/km. Druhý diagram znázorňuje přibližné množství taveniny, které je během dehydratačních reakcí produkováno. Je třeba upozornit, že diagram dává jen hrubý přehled o poměrném zastoupení taveniny produkované oběma reakcemi, protože množství vzniklé taveniny je závislé na modální m zastoupení muskovitu a biotitu ve zdrojové hornině. Diagram je převzat z práce Wintera (2001).

- kontinentální kůře je přítomna řada minerálů, které během svého rozpadu mohou produkovat taveninu. Podle významu je můžeme seřadit: biotit-amfibol-muskovit-epidot-staurolit.

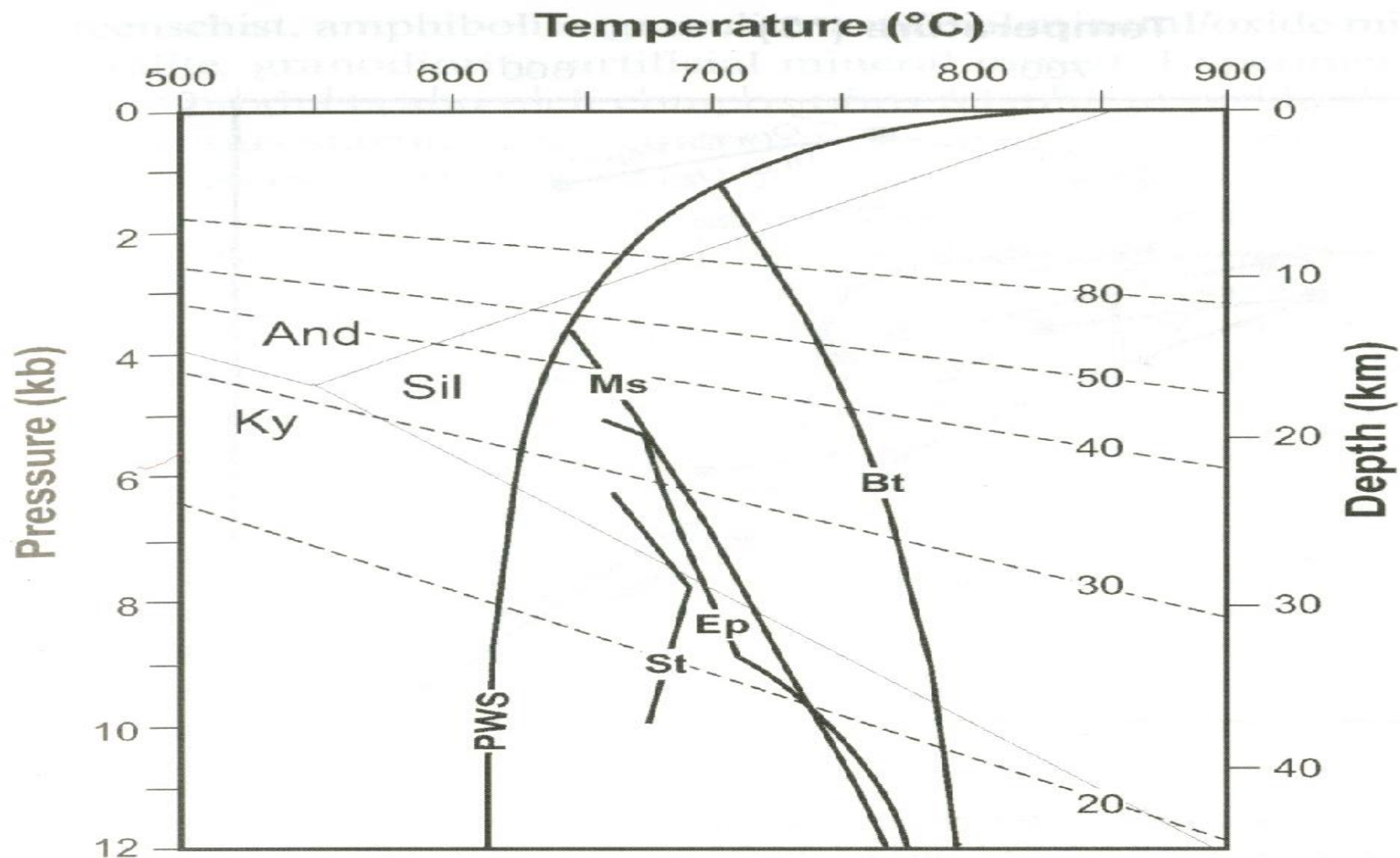


Figure 2.6. Stability curves for staurolite (after García-Casco et al. 2003) and epidote (in tonalite) (after Schmidt and Thompson 1996). PWS = Pelite wet solidus; Ms and Bt – muscovite and biotite-dehydration melting curves, respectively. Al-silicate stability fields after Pattison (1992). Labelled 20–80°C/km linear geothermal gradients are shown for reference.

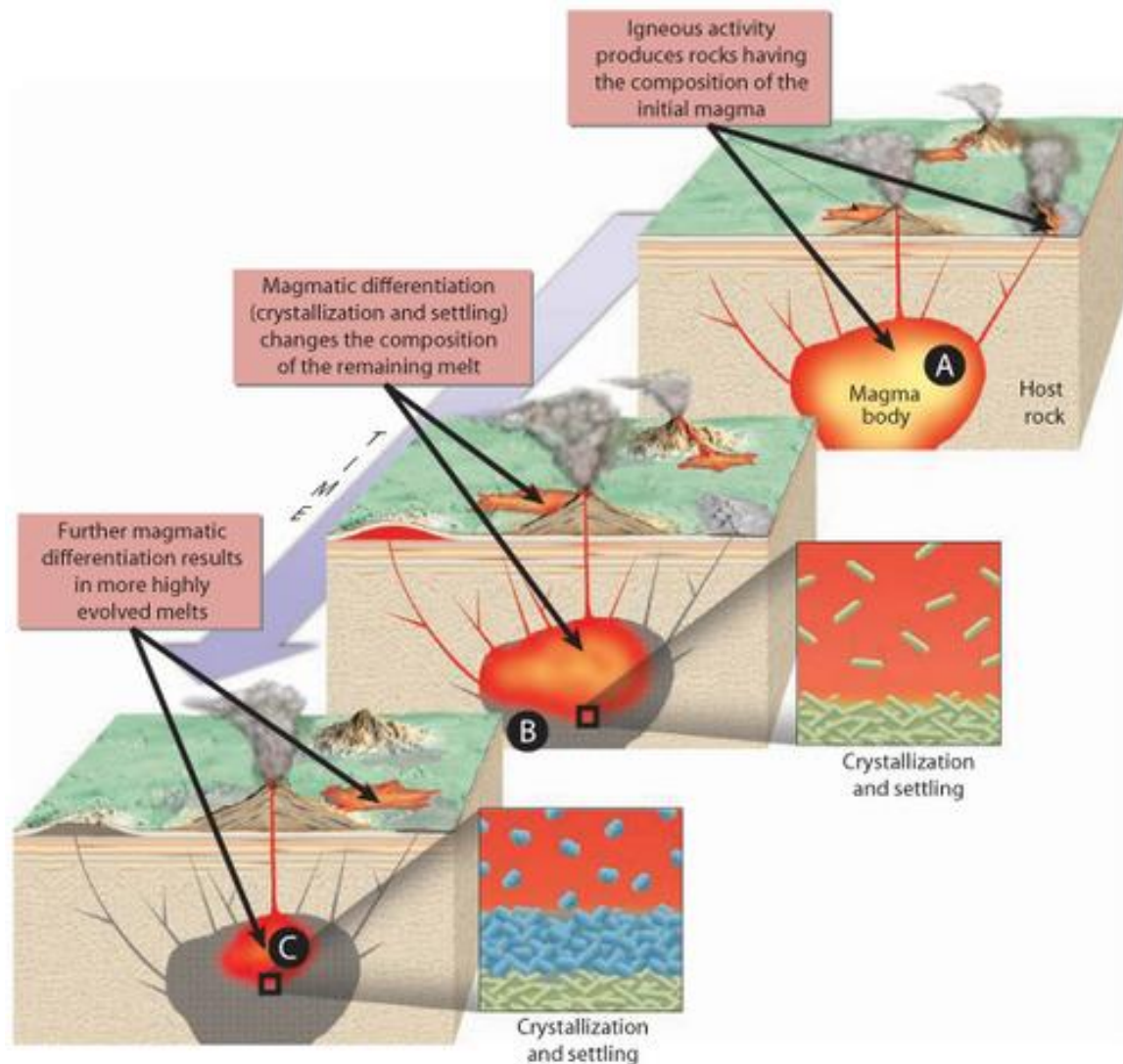
Granity jsou výsledkem řady po sobě jdoucích procesů :

1. zahřátí protolitu a vznik taveniny na hranici zrn
2. oddělení taveniny od protolitu
3. výstup taveniny k povrchu
4. frakcionace a diferenciacce

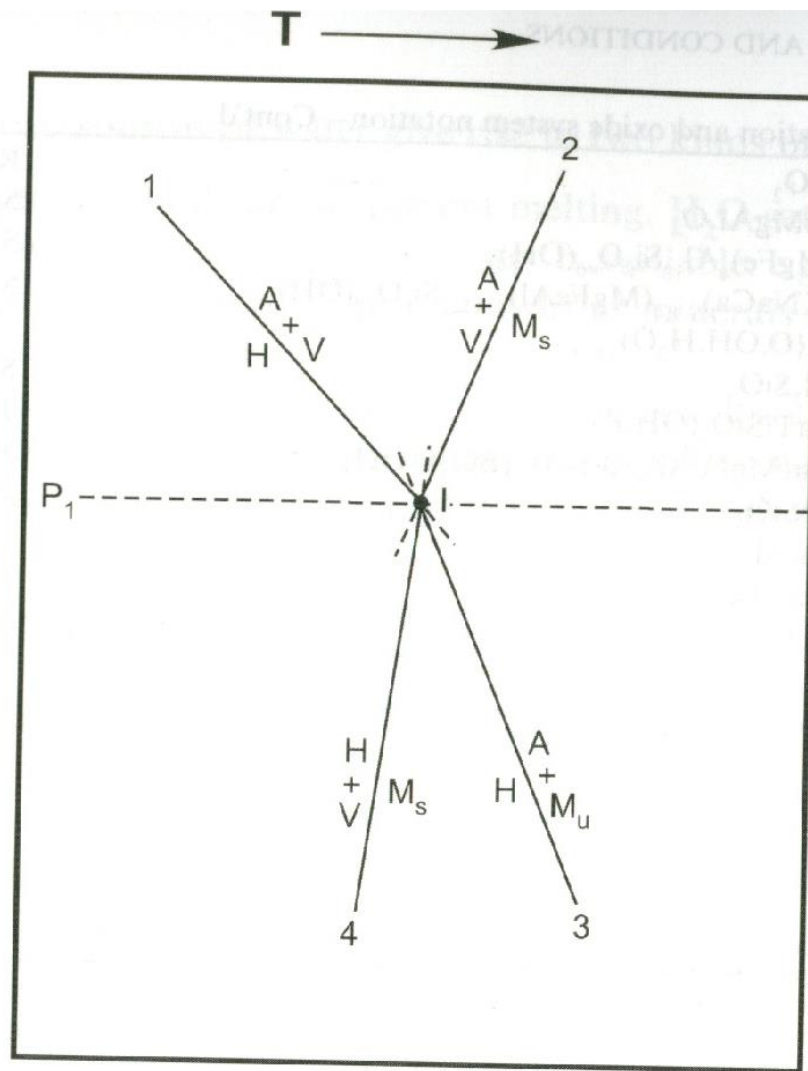
Vznik a výstup taveniny může být velmi rychlý i méně než 350 tisíc let

Ke vzniku granitové taveniny dochází velmi často až po vrcholu metamorfózy

Snižuje se tlak ale horniny mají stále vysokou teplotu (během exhumace orogénu)



III. 2. Vznik taveniny



PT diagram znázorňující schematický vztah mezi subsolidovou dehydratační reakcí, H₂O saturevaným dehydratačním tavením: H= hydratovaný minerál, A minerál bezvodý, V= voda, Ms= H₂O saturevaná tavenina, Mu= H₂O nesaturevaná tavenina, I= invariantní bod. Diagram je převzat z práce Chena a Grapes (2007).

- Typologické vztahy mezi subsolidovou dehydratační reakcí, vodou saturevaným tavením a dehydratečním tavením je vyjádřen na obrázku.
- 1) hydratovaný minerál se rozpadá na vodu + bezvodý minerál
- 2) voda + bezvodý minerál reagují za vzniku hydratované taveniny
- 3) hydratovaný minerál se rozpadá na bezvodý restit a H₂O nesaturevanou taveninu
- 4) hydratovaný minerál + voda produkují taveninu saturevanou vodou
- Tlak P₁ reprezentuje minimální tlak při němž hydratovaný minerál může koexistovat s taveninou

A. Muskovitové dehydratační tavení

- první tavenina v tomto systému $\text{Grt} + \text{Sill} + \text{Mu} + \text{Pl} + \text{Qtz}$ vzniká reakcí:

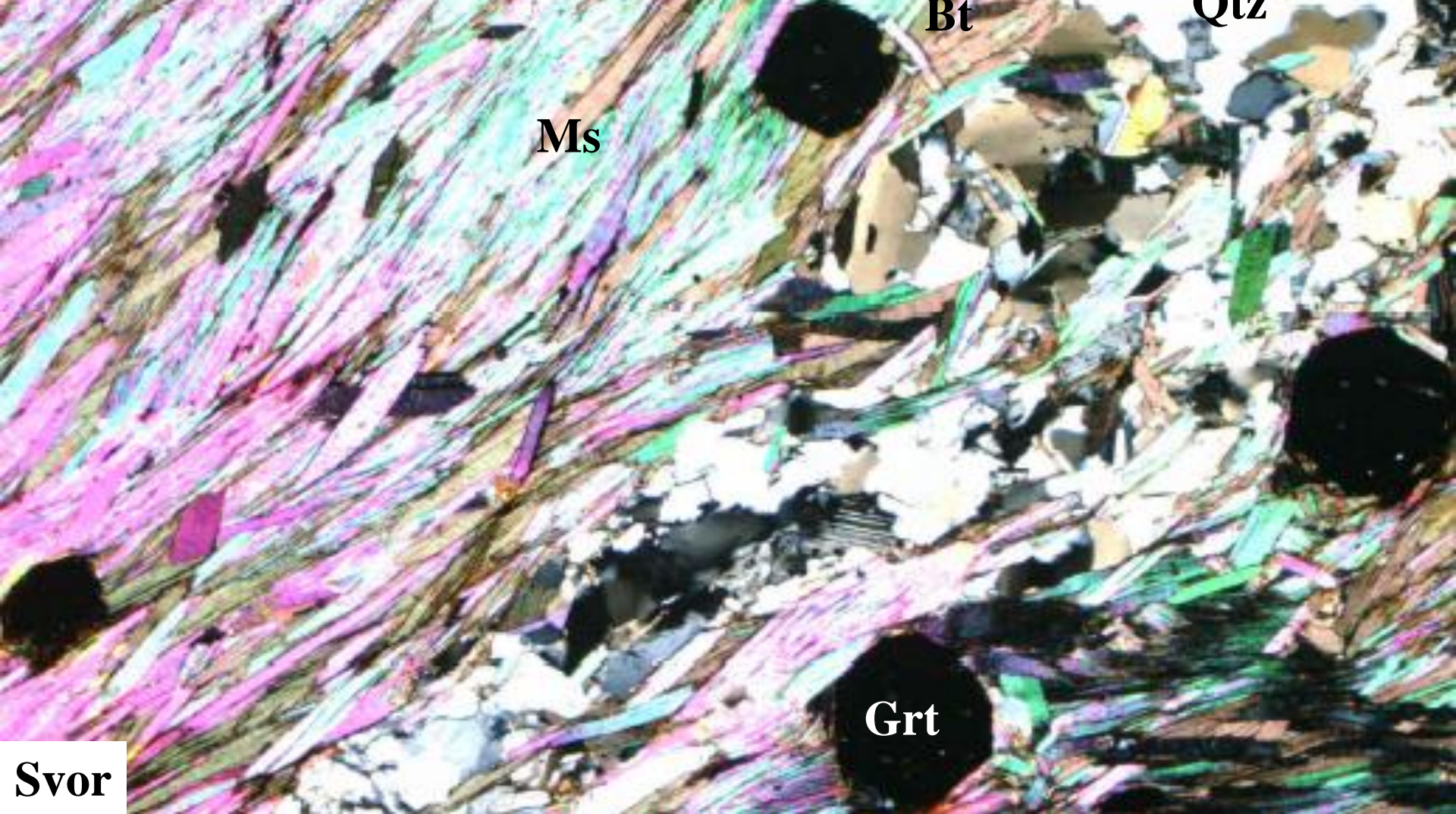
Paragonit + křemen = sillimanit + albit + tavenina (3)

- ale obsahy paragonitové komponenty v muskovitu bývají malé (20-5%), takže výsledné množství taveniny se pohybuje kolem 1-2 mod. %.
- tavenina je oproti typickému granitovému minimu obohacena na Na.
- poněkud větší množství taveniny produkuje reakce dehydratačního tavení muskovitu:

Muskovit+plagioklas+křemen = Al_2SiO_5 +draselný živec+tavenina (4)

- touto reakcí vzniká tavenina odpovídající objemově zhruba 70% původního muskovitu.
- typické pelity obsahují 10-20 modálních procent muskovitu může touto reakcí vznikat 7-14 mod. % taveniny
- přítomnost Ca v systému posouvá reakci do vyšších teplot (okolo 625-700 °C pro 5 kbar)
- když muskovit obsahuje Fe, Mg, a Ti bývá produktem reakce také cordierit, biotit a spinel

Muskovit (diokt.)
 $\text{KAl}_2[\text{AlSi}_3]\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ muskovit
 $\text{NaAl}_2[\text{AlSi}_3]\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ paragonit
 $\text{CaAl}_2[\text{Al}_2\text{Si}_2]\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ margarit
 $\text{K}[\text{MgAl}][\text{Si}_4]\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ Mg-Al-celadonit
 $\text{K}[\text{FeAl}][\text{Si}_4]\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ Fe-Al-celadonit



Bt

Qtz

Ms

Grt

Svor

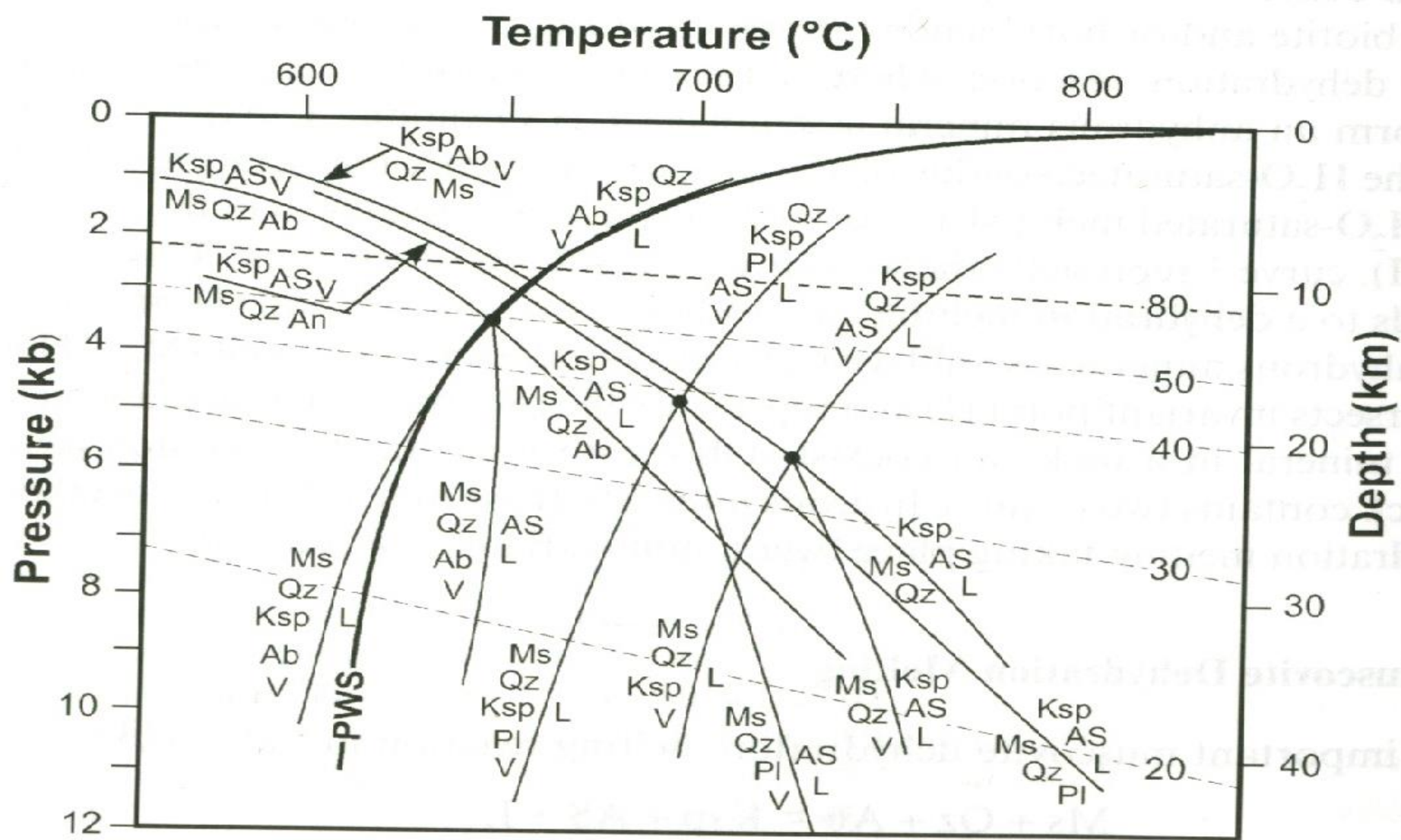
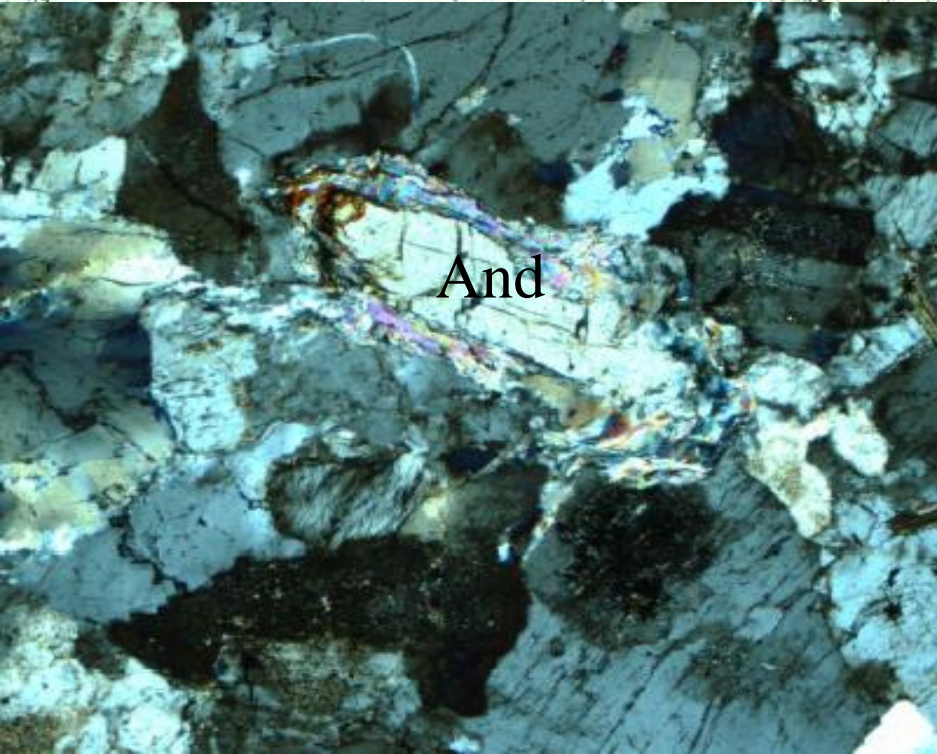
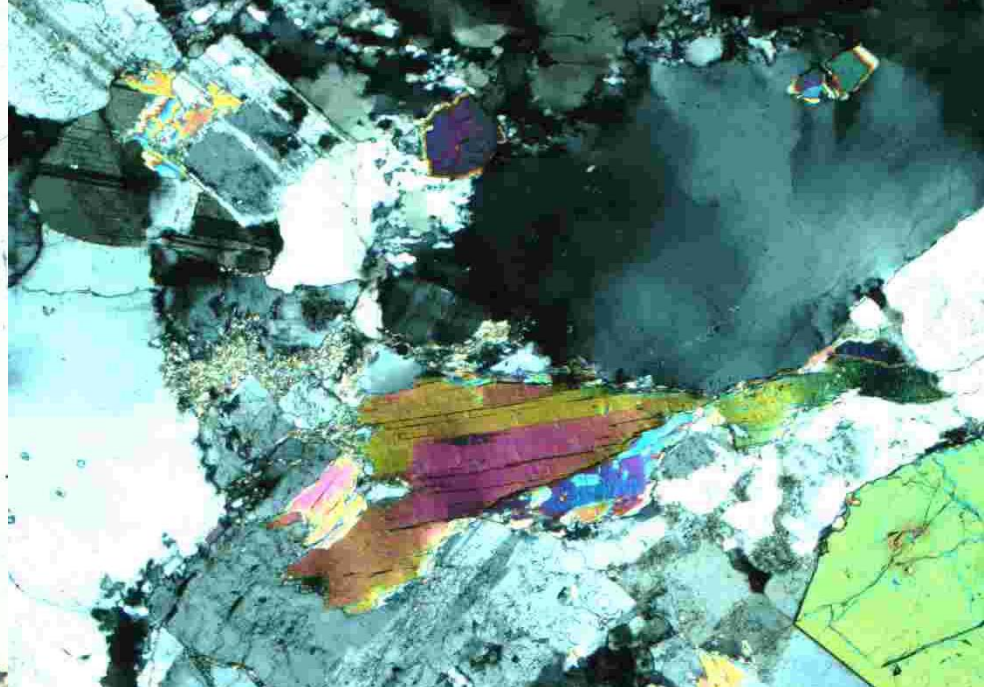
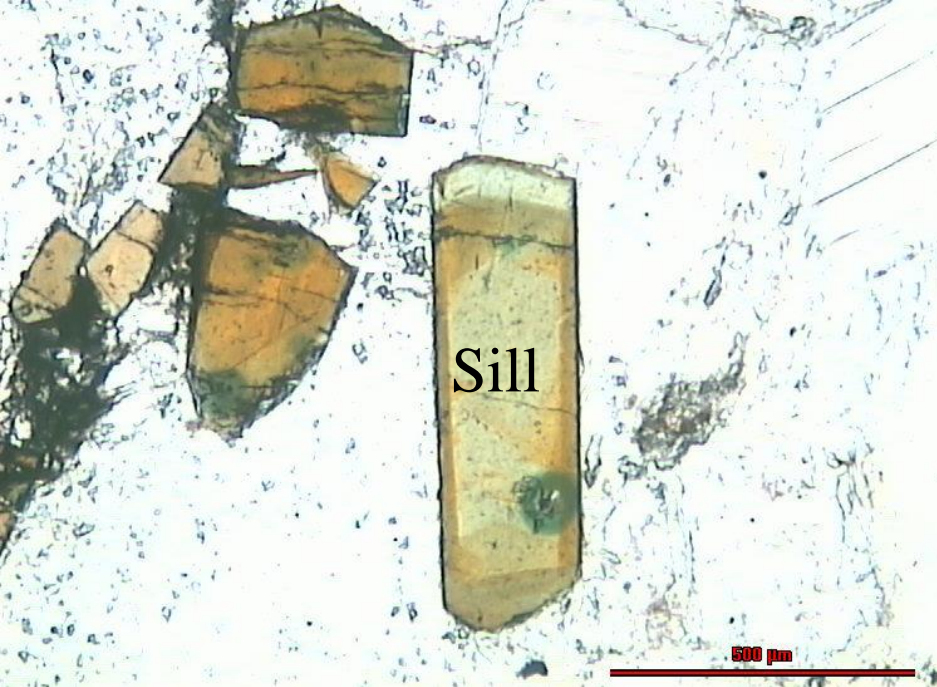


Figure 2.2. *P-T* diagram showing various subsolidus and suprasolidus muscovite breakdown reactions in the systems KASH, KNASH, and CKNASH (after Thompson and Algor 1977; Thompson and Tracy 1979). PWS = wet pelitic solidus after Thompson (1982). Labelled 20–80°C/km linear geothermal gradients are shown for reference. For chemical system and mineral abbreviations see Table 2.1.



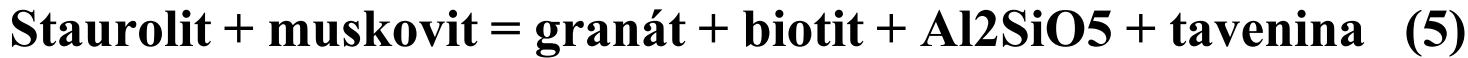
Metagranit s turmalínem (Stará Říše, M) Qtz+Fsp+Ms+Tu



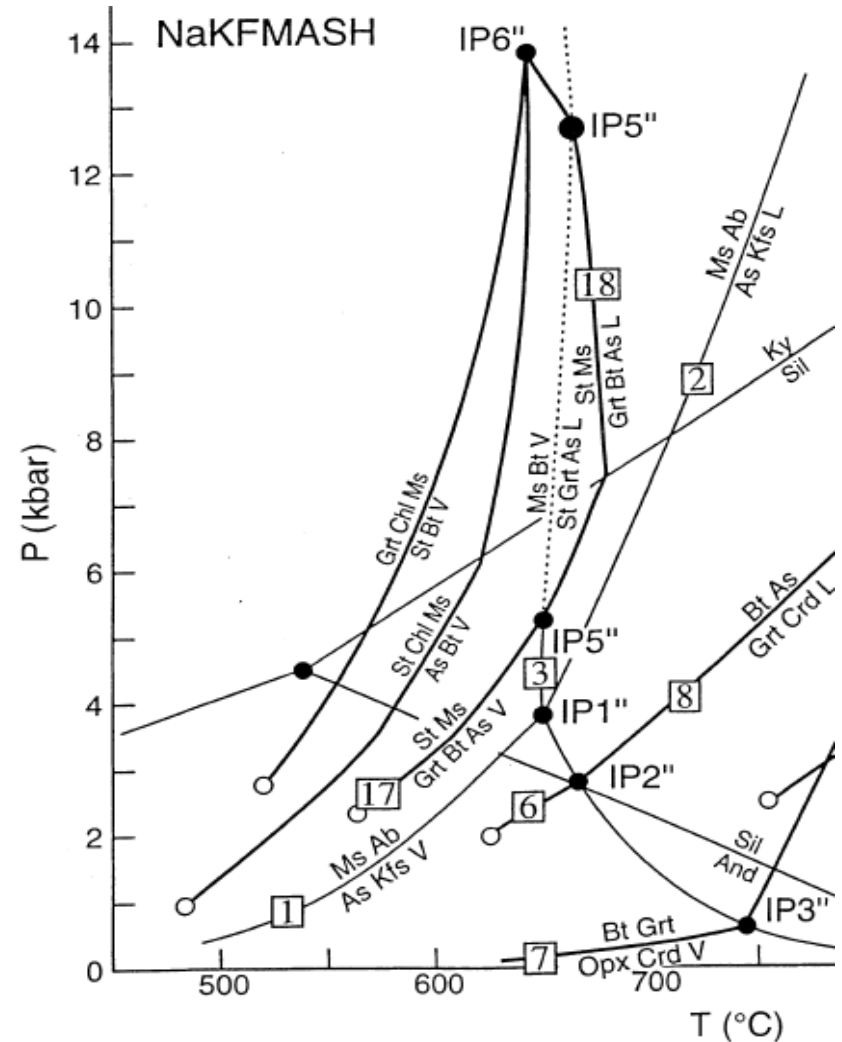
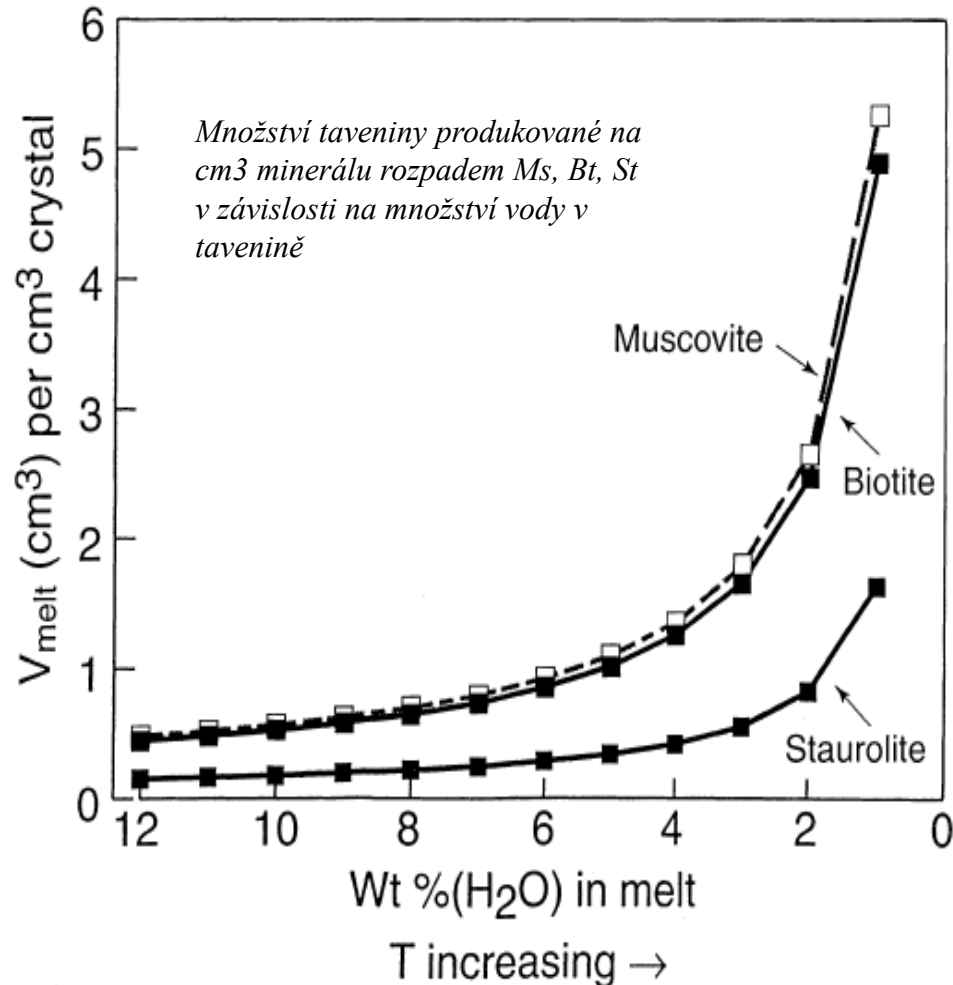
- $Pl+Kfs+Qtz+Ms\pm Bt\pm Tu \pm And$
- Akcesorické min.: apatit, zirkon, monazit, xenotim, ilmenit

B. Staurolitové dehydratační tavení

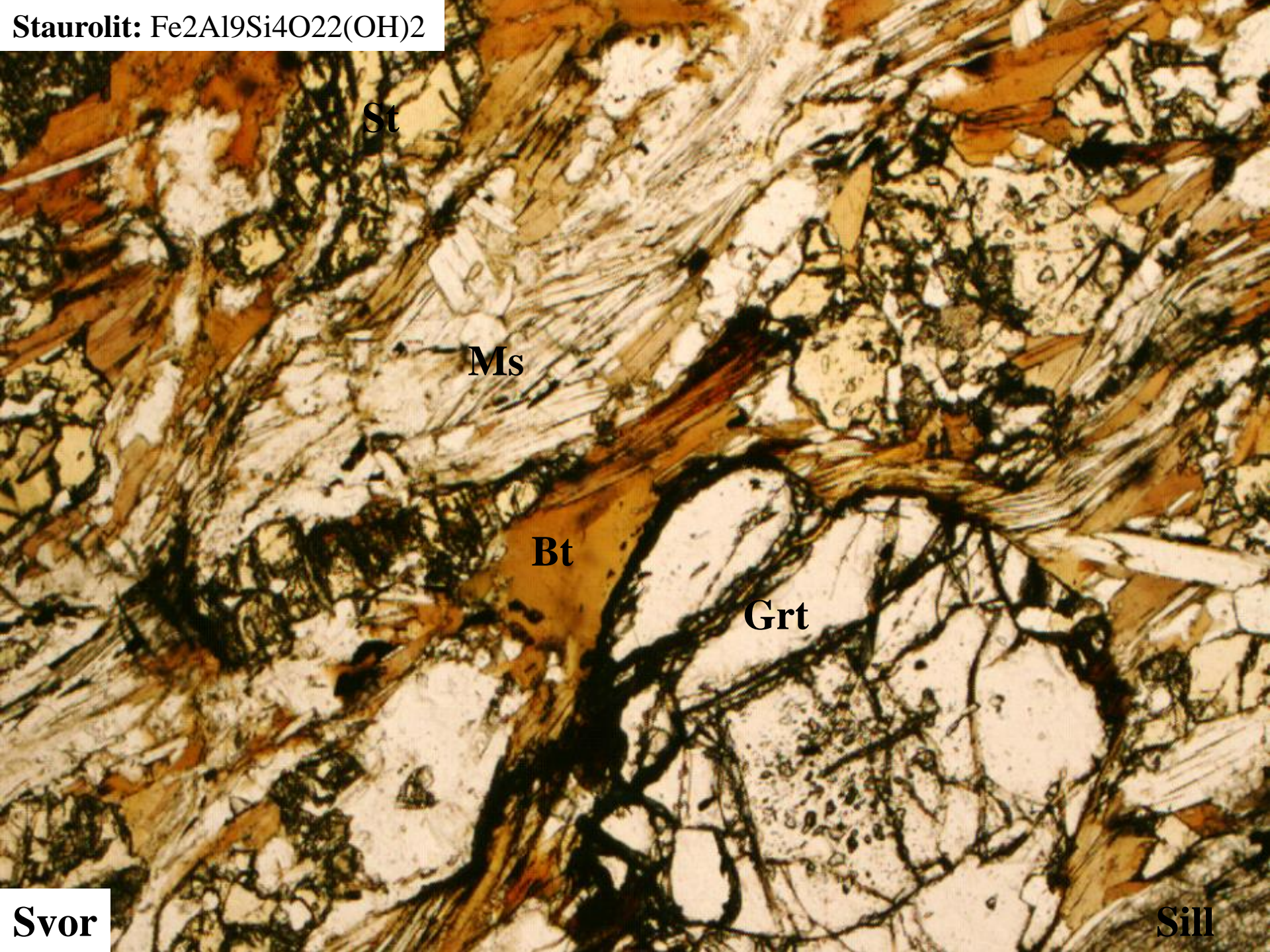
- malé množství taveniny může vznikat i rozpadem staurolitu:



- z 10 modálních procent staurolitu vzniknou 1,5-2 modální procenta taveniny.



Staurolit: $\text{Fe}_2\text{Al}_9\text{Si}_4\text{O}_{22}(\text{OH})_2$



St

Ms

Bt

Grt

Svor

Sill

C. Biotitové dehydratační tavení

- Další reakce produkující taveninu jsou založeny na rozpadu biotitu, k němuž může dojít několika způsoby z nichž nejběžnější jsou:

Biotit + Al_2SiO_5 + křemen = granát + cordierit + draselný živec + tavenina (6)

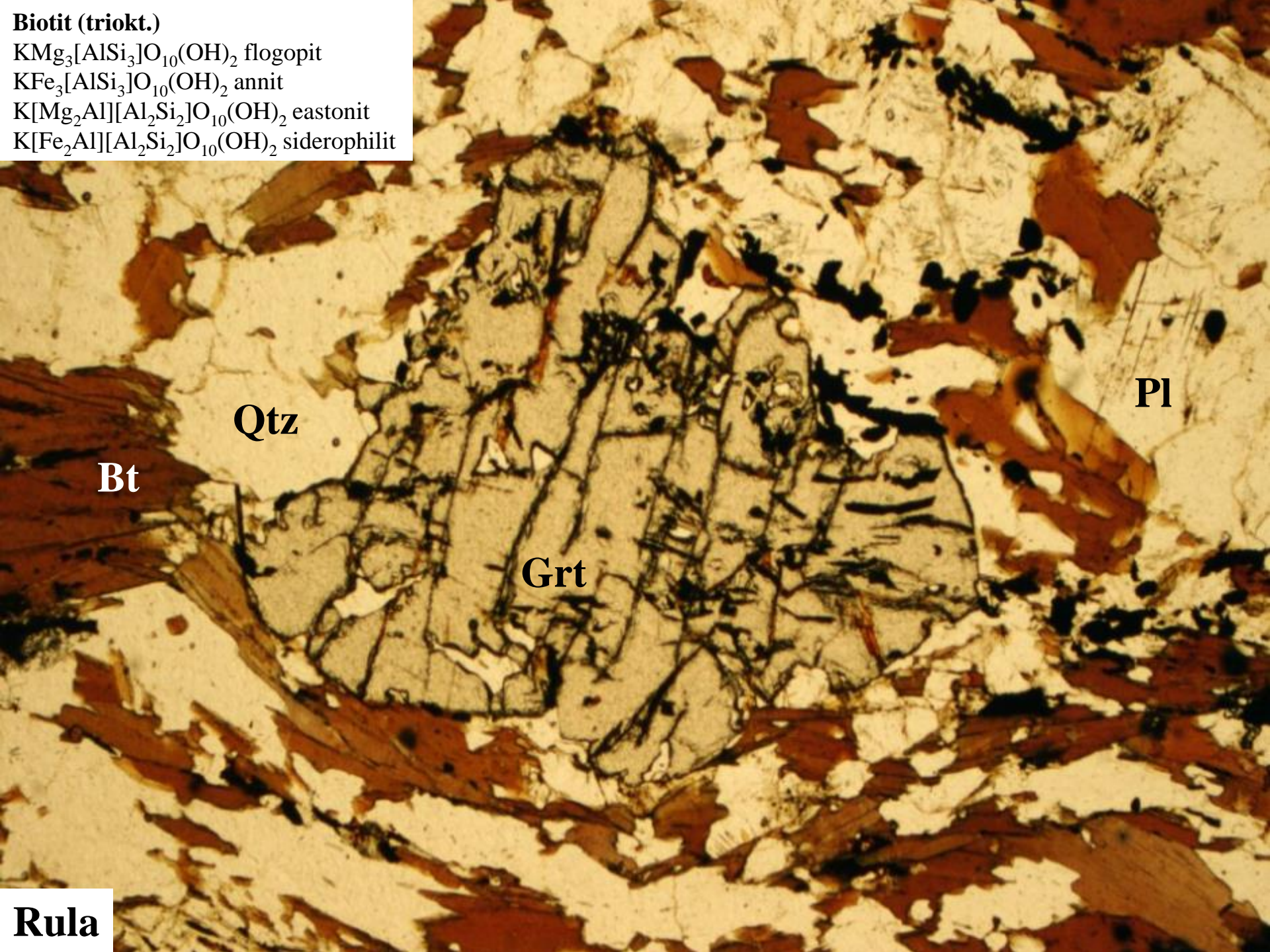
Biotit + sillimanit = granát + draselný živec + tavenina (7)

*Granit s granátem a
restitickými enklávami
(Třebíč)*

Qtz+Fsp+Ms+Bt+Grt



Biotit (triokt.)
 $\text{KMg}_3[\text{AlSi}_3]\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ flogopit
 $\text{KFe}_3[\text{AlSi}_3]\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ annit
 $\text{K}[\text{Mg}_2\text{Al}][\text{Al}_2\text{Si}_2]\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ eastonit
 $\text{K}[\text{Fe}_2\text{Al}][\text{Al}_2\text{Si}_2]\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ siderophilit



Qtz

Bt

Grt

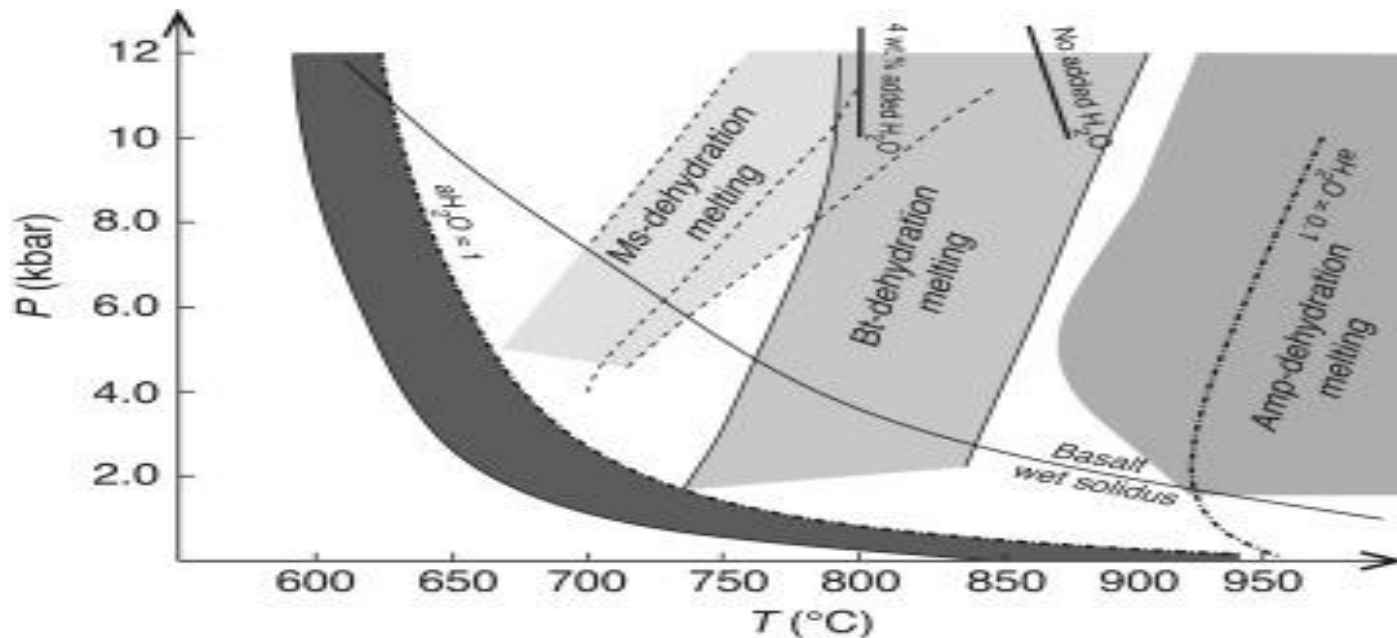
Pl

Rula

- Obecně můžeme reakce produkující taveninu rozpadem biotitu napsat takto:

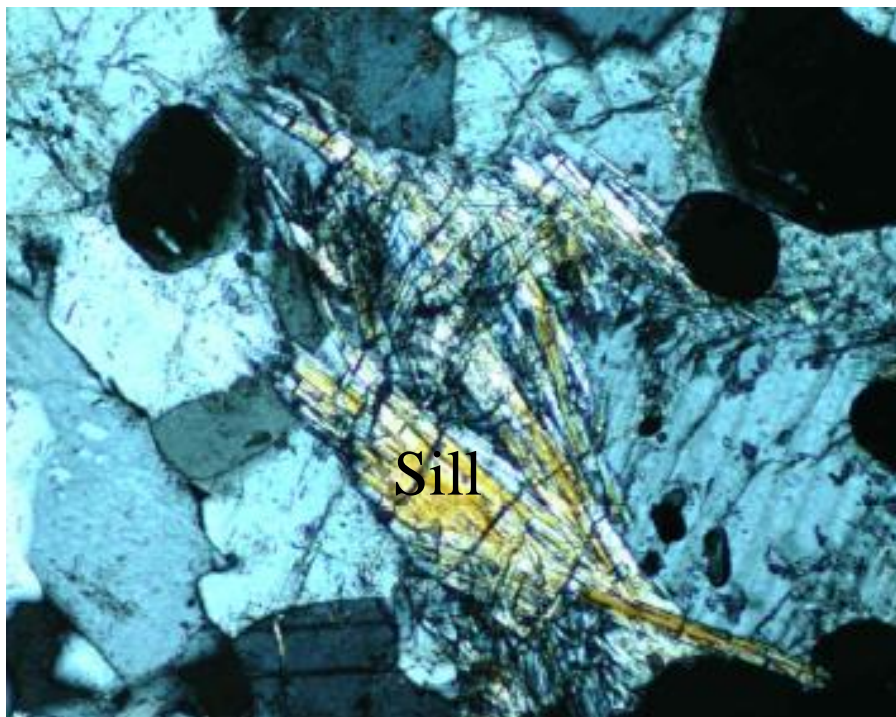
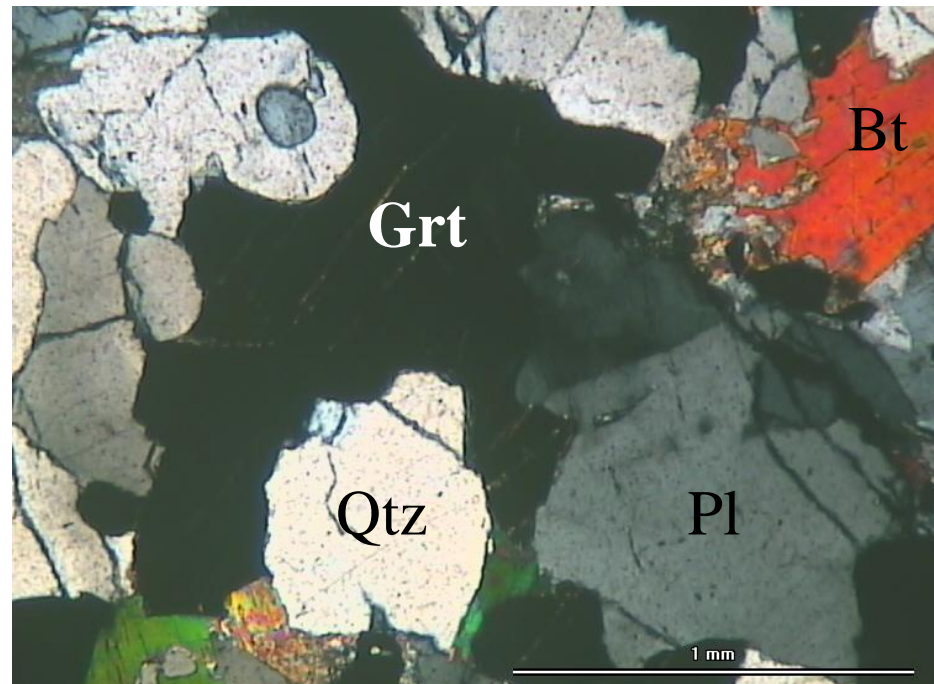
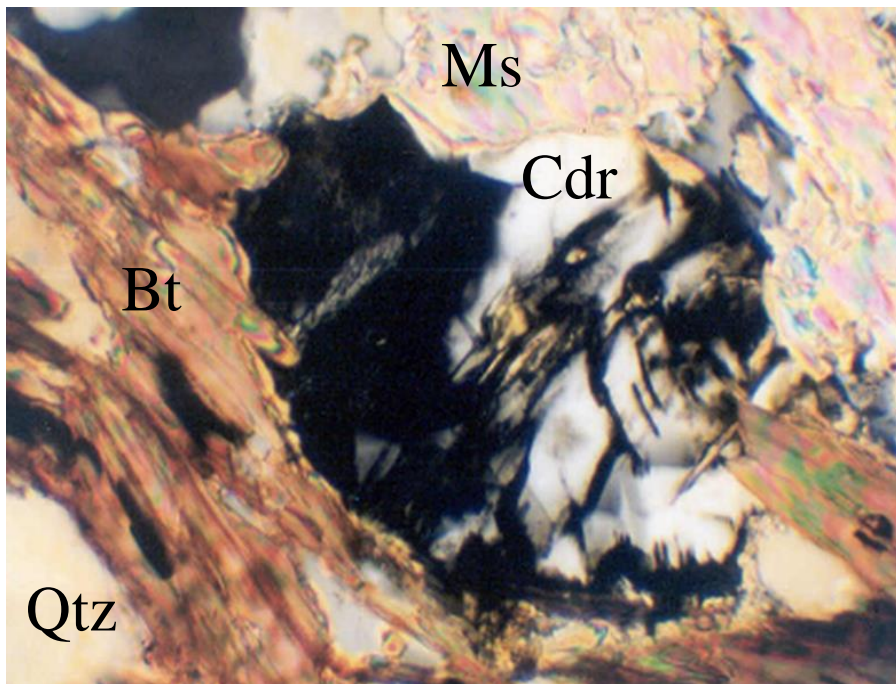


- Jako další produkty se objevují Fe-Mg spinel, Ti magnetit, ilmenit, rutil, biotit, ortoamfibol
- Pozice dehydratační křivky závisí na složení biotitu.
- Vyšší obsahy Mg/(Mg+Fe), F a Ti posouvají křivku do vyšších teplot.
- Větší variabilita chemického složení biotitu vede k tomu že dehydratační tavení biotitu probíhá v širším rozsahu teplot než muskovitové dehydratační tavení.





Metagranit s granátem a turmalínem (Bystré, PK) Qtz+Fsp+Ms+Bt+Grt



- $Pl + Kfs + Qtz + Bt \pm Ms \pm Grt \pm Tu \pm Sill$
- Akcesorické min.: apatit, zirkon, monazit, xenotim

D. Epidotové dehydratační tavení

- Při tlacích nad 10 kbar je epidot první minerál v bazaltech a andezitech jehož rozpadem může vznikat tavenina (Vielzeuf a Schmid, 2001).
- V běžném metabazitu je 5-15 wt % epidotu a zněj vznikne jen malé množství taveniny (pod 10 %):

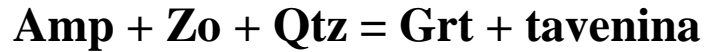
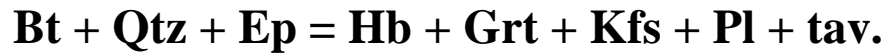
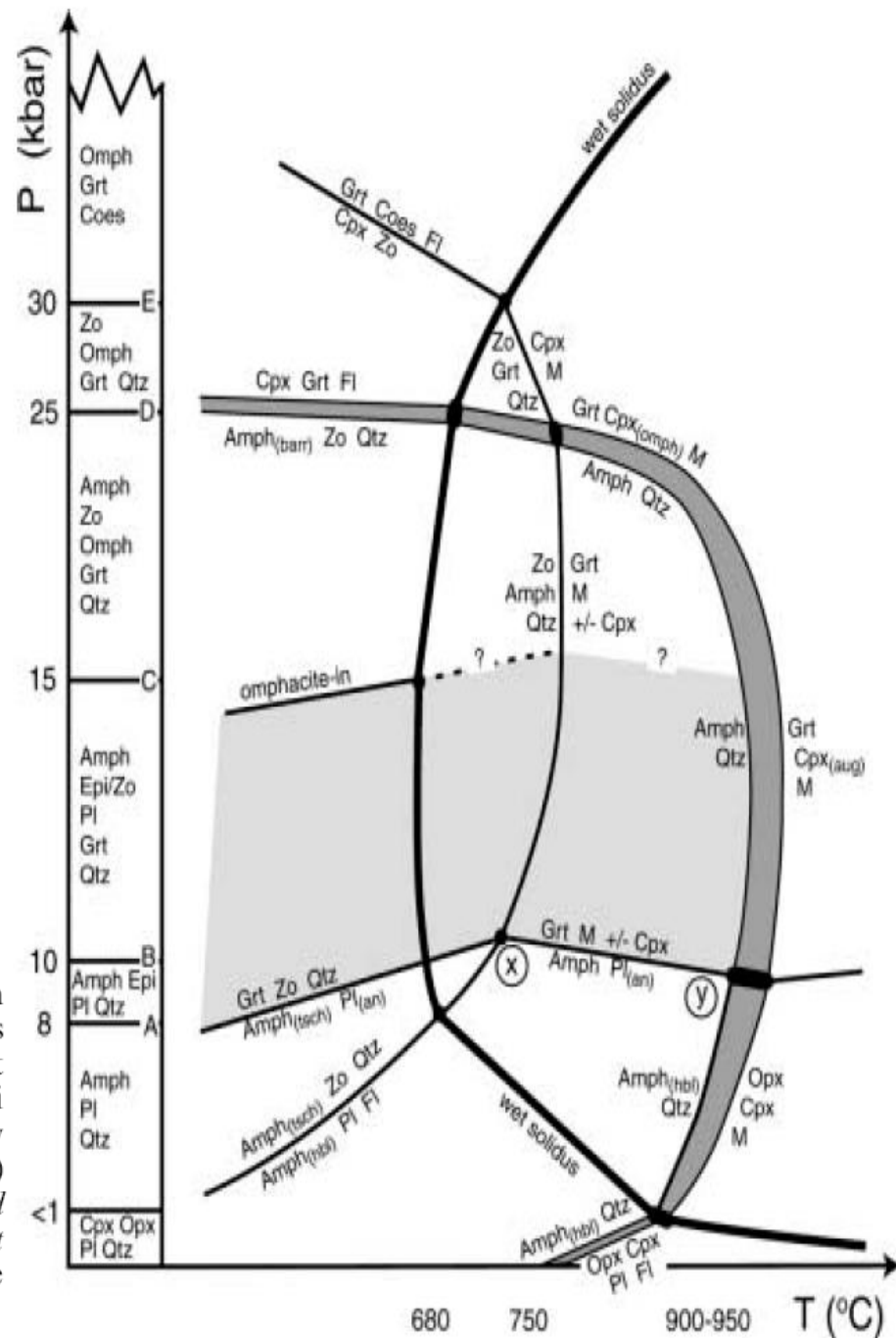


Fig. 5 Phase diagram for the fluid-absent melting of a mid ocean ridge basalt (MORB) saturated with quartz/coesite at subsolidus conditions. *Column to the left* Assemblages just below the wet solidus (*thick line*). References: *A* Apter and Liou (1983); *B* Poli (1993); *C* Lambert and Wyllie (1972), and Poli (1993); *D* Pawley and Holloway (1993), Poli (1993), and see also Zhang et al. (1995) for Dabie-Shan; *E* Poli and Schmidt (1995). *Dark shaded field* Narrow multivariant field of amphibole + quartz breakdown. *Light shaded area* Wide multivariant field of amphibole + plagioclase breakdown. *Subscripts* Predominant phase components



monoklinické
epidot: $\text{Ca}_2(\text{FeAl})\text{Al}_2(\text{SiO}_4)(\text{Si}_2\text{O}_7)\text{O}(\text{OH})$
klinozoisit: $\text{Ca}_2\text{Al}_3((\text{SiO}_4)(\text{Si}_2\text{O}_7)\text{O}(\text{OH}))$
kosočtverečný
zoisit: $\text{Ca}_2\text{Al}_3((\text{SiO}_4)(\text{Si}_2\text{O}_7)\text{O}(\text{OH}))$



Czo

Pl

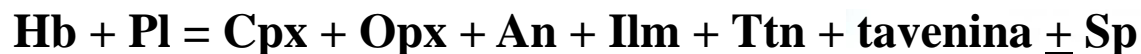
Amfibolit s klinozoisitem

E. Amfibolové dehydratační tavení

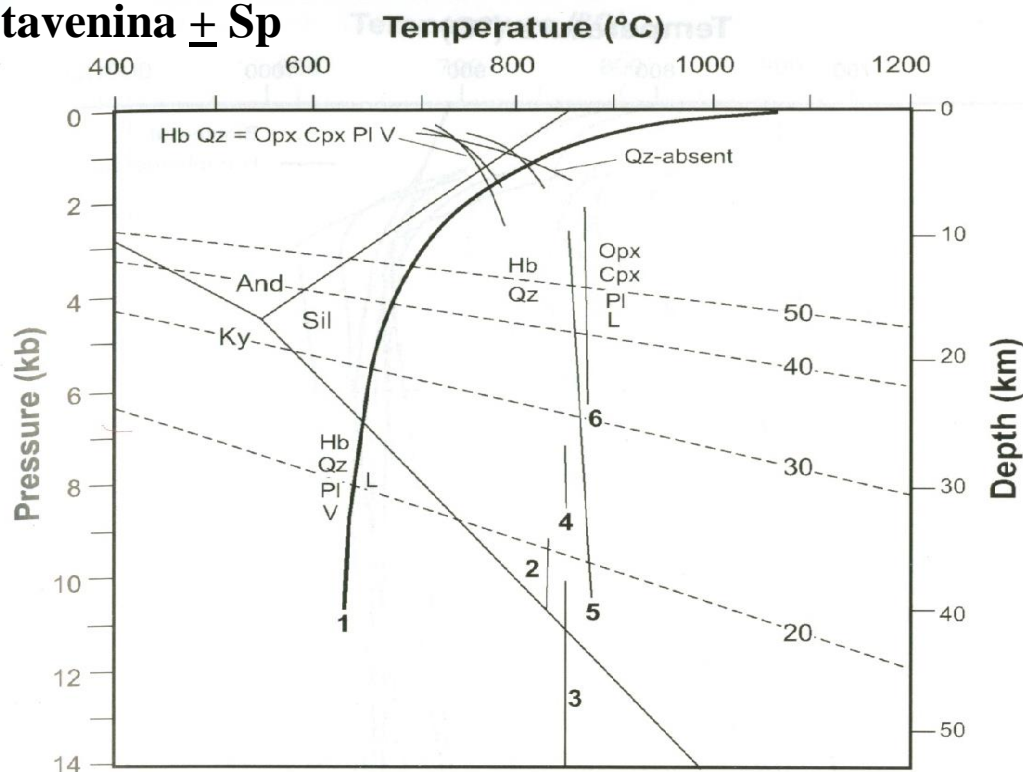
- Obecně můžeme reakce produkující taveninu rozpadem amfibolu napsat takto:



- Jako další produkty se objevují Fe-Mg spinel, titanit, ilmenit
- V systému kde není Qtz probíhá tavení za vyšších teplot reakcí:



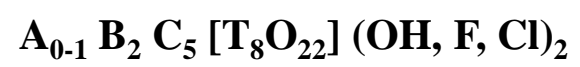
- Vyšší obsahy Mg/(Mg+Fe), F, Cl a Ti posouvají křivku tavení amfibolu do vyšších teplot.
- Biotity se při tlaku 5 kb rozpadají v rozsahu teplot 690-820 °C a amfiboly 920-970 °C v závislosti na složení.



Reakce dehydratačního tavení amfibolu

Hb + Qtz and Hb with no Qtz reaction curves from Choudhuri and Winkler (1967); Binns (1969); Spear (1981); 1. Piwinski (1968; tonalite 101); 2. Conrad et al. (1988); 3. Winther and Newton (1991); 4. Rushmer (1991); 5. Patiño-Douce and Beard (1995); 6. Beard and Lofgren (1991). Al-Silicate stability fields after Pattison (1992). Labelled 20–50°C/km linear geothermal gradients

Obecný vzorec amfibolu:

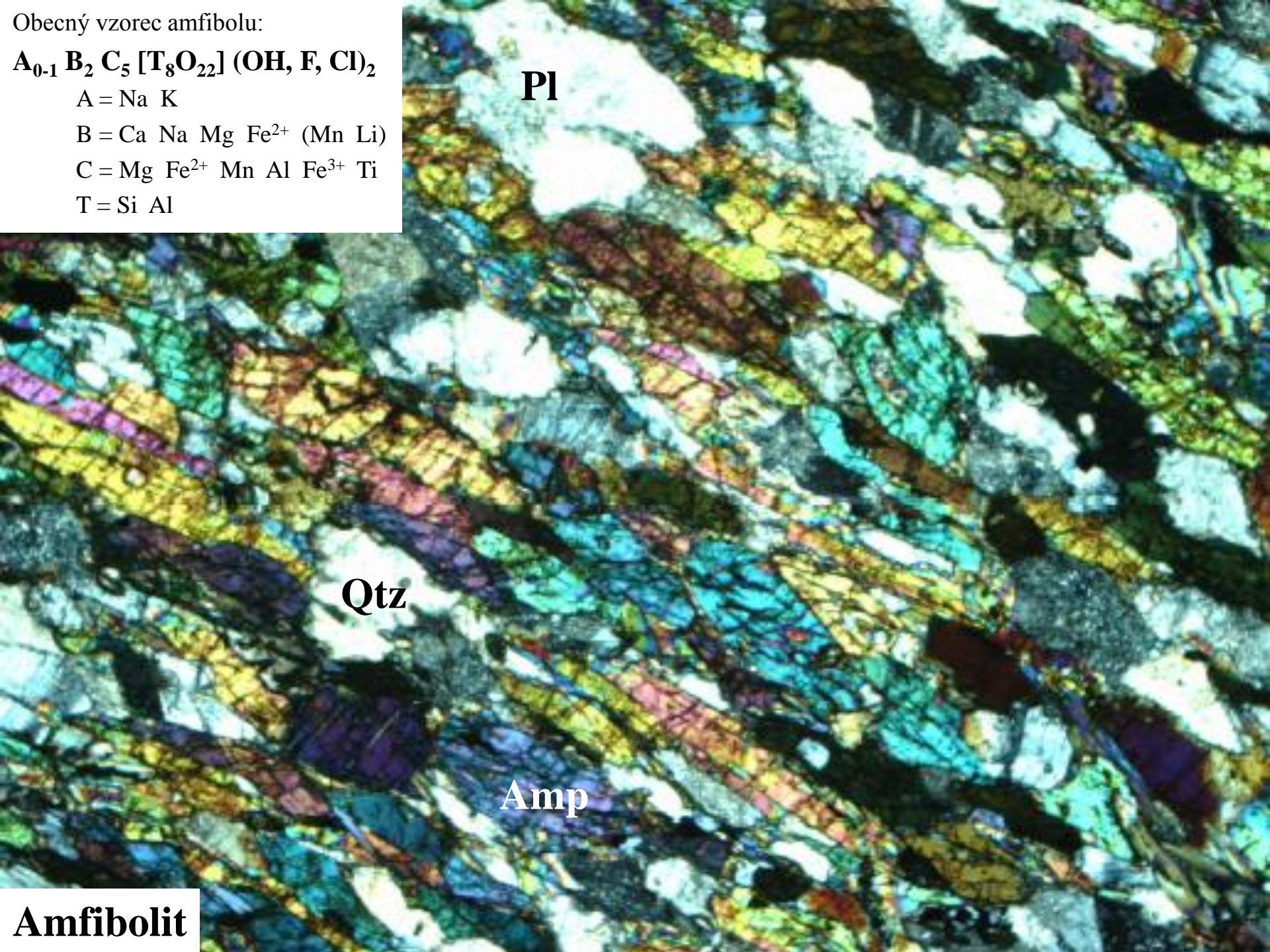


A = Na K

B = Ca Na Mg Fe²⁺ (Mn Li)

C = Mg Fe²⁺ Mn Al Fe³⁺ Ti

T = Si Al



Pl

Qtz

Amp

Amfibolit

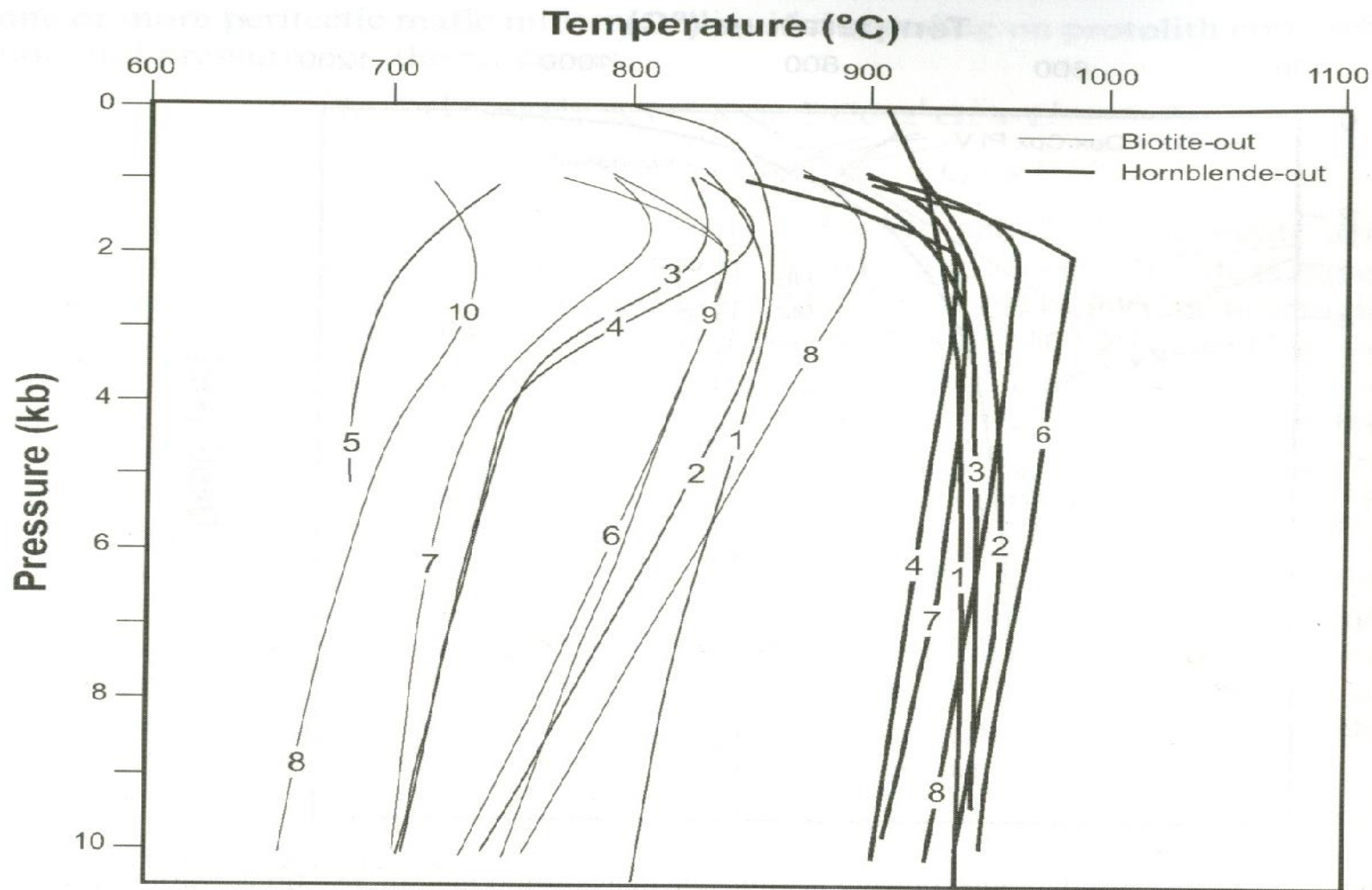
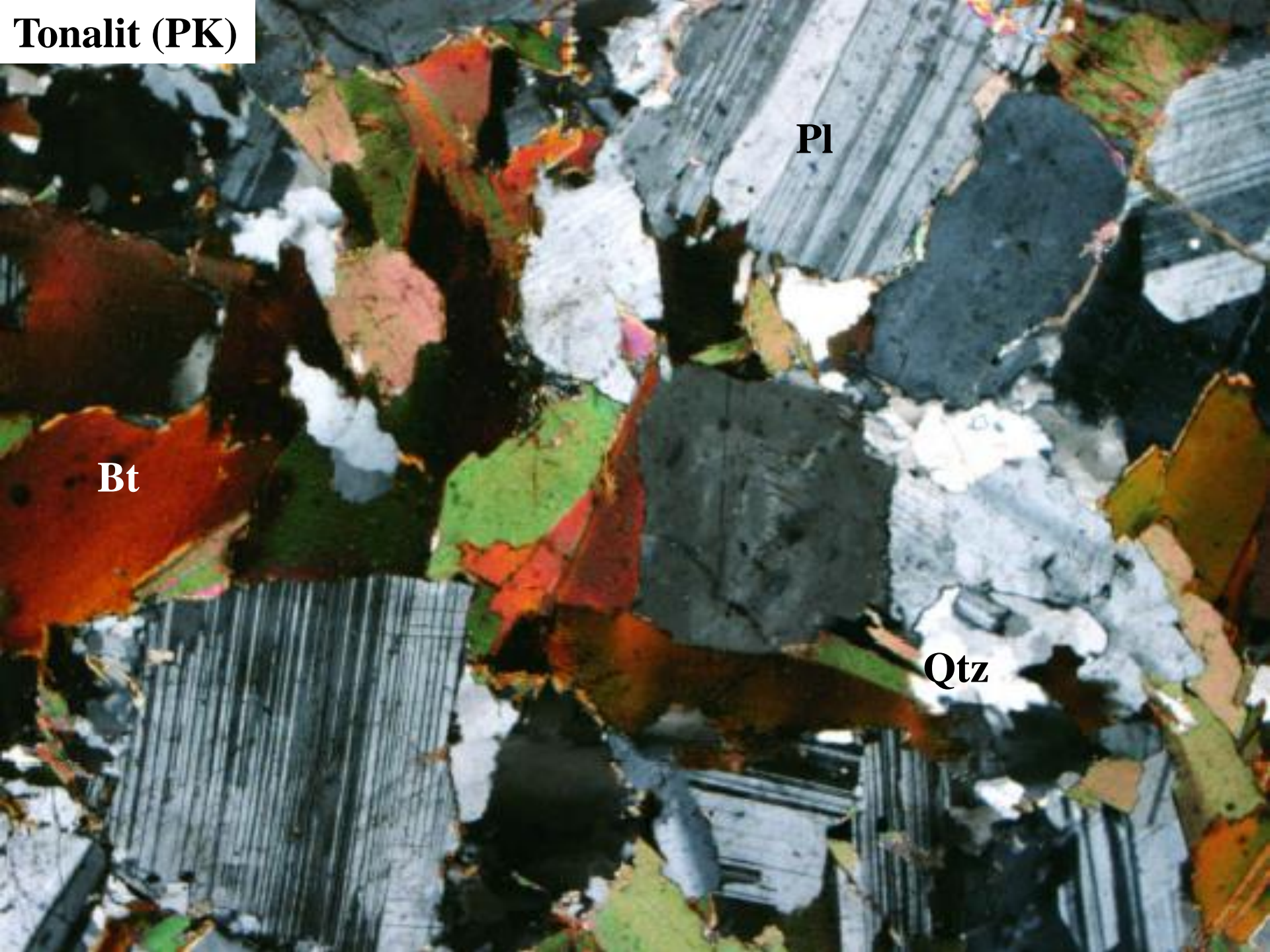


Figure 2.5. P-T diagram showing biotite- and hornblende-out reaction curves for various granitic compositions. 1. Tonalite (101) (Stern and Wyllie 1975); 2. Tonalite (101) (Piwinskii 1973a); 3. Granodiorite (103) (Piwinskii 1973a); 4. Granodiorite (102) (Piwinskii 1973a); 5. Granite (104) (Piwinskii 1973a); 6. Quartz diorite (DR510) (Piwinskii 1973b); 7. Quartz diorite (DR126) (Piwinskii 1973b); 8. Quartz diorite (CP2-1) (Piwinskii 1973b); 9. Granodiorite (JSP6-2) (Piwinskii 1973b); 10. Monzodiorite (MO-18) (Piwinskii 1973b).

Tonalit (PK)



Pl

Bt

Qtz

F. Bezvodé tavení

- reakce produkující taveninu mohou probíhat dokonce i když je zkonsumován všechnen biotit a muskovit, například reakcí:

Draselný živec + albit + křemen + Al_2SiO_5 + granát = tavenina (8)

- Po této reakci je množství vzniklé taveniny kolem 26 mod. %.
- takové množství taveniny se může uvolnit z matečné horniny a migrovat jako granitická tavenina.
- Clemens a Vielzeuf (1987) odhadují množství taveniny kritické pro zahájení její migrace na 20-35 obj. %
- jakmile v hornině nejsou další minerály, které by svým rozpadem mohly produkovat vodu a tavenina již opustila matečnou horninu, zastaví se i proces tavení probíhající díky reakci (8)

