

# Obecné základy týkající se magmatu

## 1. Ochlazování

## 2. Výstup a umístění magmat v kůře

felsické intruze

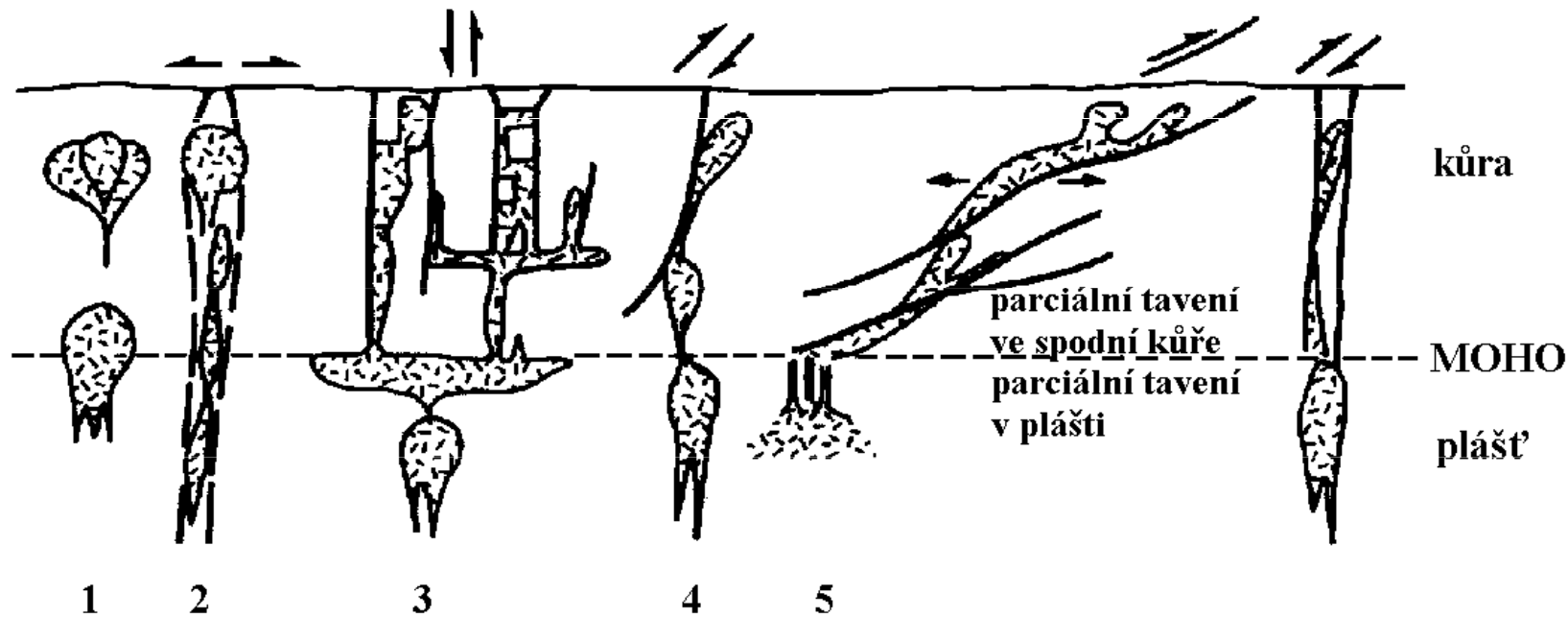
- magmatický stoping (stoped stock) zóna tavení
- kotlovitý pokles (cauldron subsidence)
- prstencové žíly (ring dykes)
- zvoncovitý pokles (pokles, sklenice) Bell-jar plutony
- střední (centrální) komplexy
- diapirový plutonismus

mafické intruze

- Paralelně uložené vrstvy)
- kuželovité vrstvy
- trubky, nálevky, komíny
- nálevkovité (komínovité, trubkovité) žíly
- prstencové žíly a prstencové komplexy

# Obecné základy týkající se magmatu

- *Teplota magmatu*
- Rychlost výstupu a ochlazování



# ***Historické klasifikační systémy***

## **Barevná stupnice**

- Felsické horniny
- Mafické horniny
- Ultramafické versus ultrabazické

**Kyselost - bazicita**, to znamená řadu hornin křemík (či oxid křemičitý) obsahující.

- Kyselé (acidní) > 66 hm.% SiO<sub>2</sub> : Granity ~ 72 hm. % SiO<sub>2</sub>, granodiority ~ 68 hm.% SiO<sub>2</sub>
- Intermediální (neutrální) - 52 až 66 hm.% SiO<sub>2</sub> : Andezit 57 hm.% SiO<sub>2</sub>
- Bazické - 45 až 52 hm. % SiO<sub>2</sub> : Bazalty mají rozpětí od 48 do 50 hm.%
- Ultrabazické - < 45 hm. % SiO<sub>2</sub> : Peridotity 41 až 42 hm.% SiO<sub>2</sub>

# Saturační pojetí saturace SiO<sub>2</sub>

- **kompatibilní** vyskytují se s primárním křemenem nebo primárními SiO<sub>2</sub>
- **Nasycené minerály (+Q)**
- Všechny živce
- všechny pyroxeny
- všechny amfiboly
- Slídy
- fayalit (Fe-bohatý olivín)
- spessartin  $Mn_3Al_2(SiO_4)_3$
- almandin  $Fe_3Al_2(SiO_4)_3$
- Titanit
- Zirkon
- Topaz
- Magnetit
- Ilmenit
- apatit
- **nekompatibilní** nevyskytují s primárním křemenem
- **Nenasycené minerály (-Q)**
- Leucit
- Nefelin
- sodalit
- Kankrinit
- Analcim
- forsterit (Mg-bohatý olivín)
- melanit (Ti-granát)
- andradit -  $Ca_3(Fe, Ti)_2(SiO_4)_3$
- pyrop -  $Mg_3Al_2(SiO_4)_3$
- Perovskit
- Melilit
- Korund
- kalcit

## Klasifikace hornin podle nasycení Si

Přesycené horniny – obsahující primární křemen (či jinou modifikaci SiO<sub>2</sub>)

Nasycené horniny - bez křemene a současně bez nenasycených minerálů

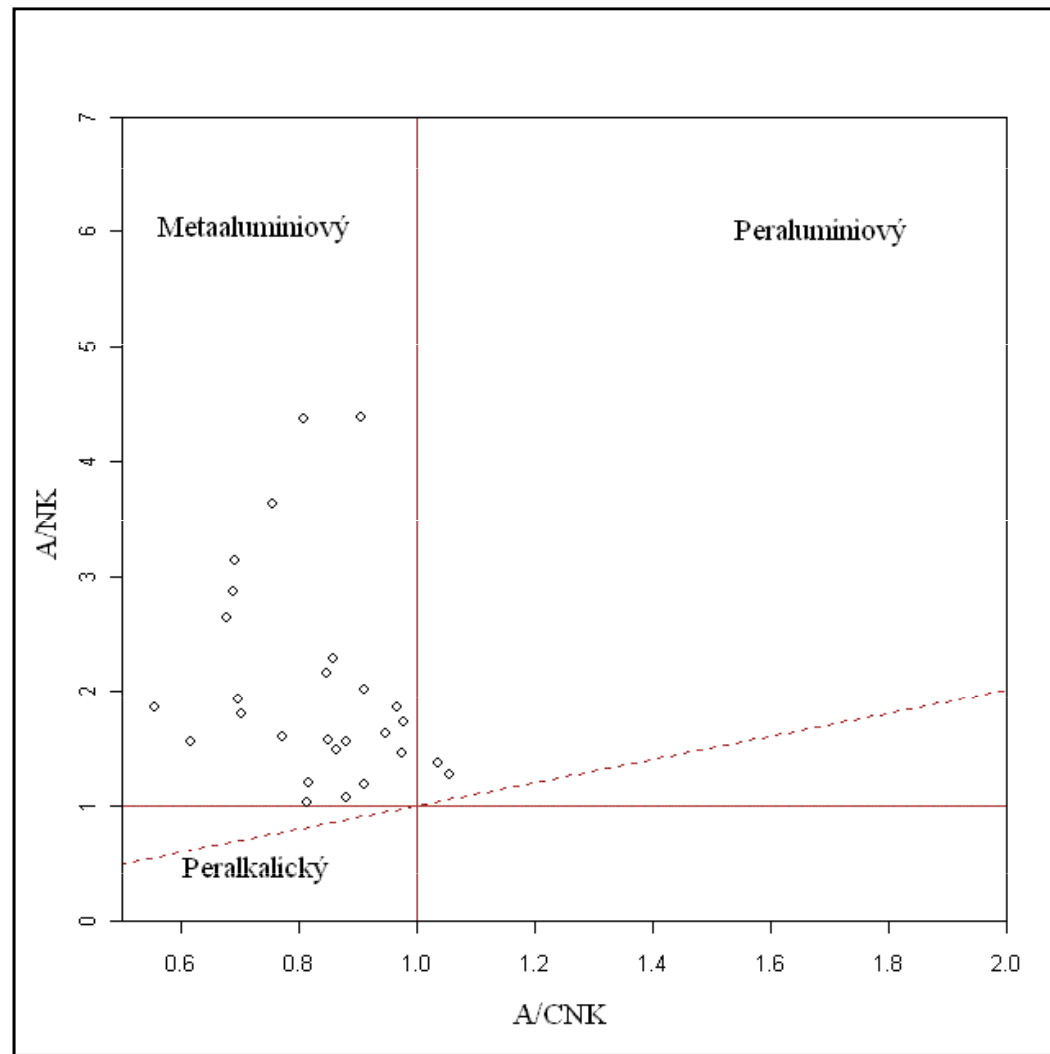
Nenasycené horniny – obsahující nenasycené minerály

- výskyt křemene a nenasyceného minerálu je případ reakce mezi dvěma minerály za vzniku minerálu nasyceného.
- $2\text{SiO}_2 + \text{NaAlSi}_3\text{O}_8 \rightleftharpoons \text{NaAlSi}_3\text{O}_8$
- $\text{Qtz} + \text{Ne} \rightleftharpoons \text{Albit}$
- $\text{SiO}_2 + \text{Mg}_2\text{SiO}_4 \rightleftharpoons 2\text{MgSiO}_3$
- $\text{Qtz} + \text{Ol} \rightleftharpoons \text{En}$

## Saturace alumiinem - Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nasycení

- Peraluminiové -  $Al_2O_3 > (Na_2O + K_2O + CaO)$
- Mezi normativními minerály se objevuje korund
- V horninách jsou přítomny minerály: muskovit, topaz, turmalín, spessartin-almandin, korund, andalusit a sillimanit.
- Metaluminiové -  $Al_2O_3 < (Na_2O + K_2O + CaO)$  ale  $Al_2O_3 > (Na_2O + K_2O)$
- V normě horniny se objevuje anortit
- Typické jsou Al-bohaté minerály, např. biotit, hornblend.
- Subaluminiové -  $Al_2O_3 = (Na_2O + K_2O)$
- Nízký obsah normativního anortitu
- Živce a zástupci živců, pouze minerály s podstatným podílem Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.
- Peralkalické -  $Al_2O_3 < (Na_2O + K_2O)$
- V normě se objevuje egirin, sodné a vzácněji draselné silikáty.
- Alkalické ferrohořečnaté minerály jsou běžné, tj. egirin, riebeckit, richerit.

# Saturace vybrané skupiny granitoidních hornin



# *IUGS klasifikace*

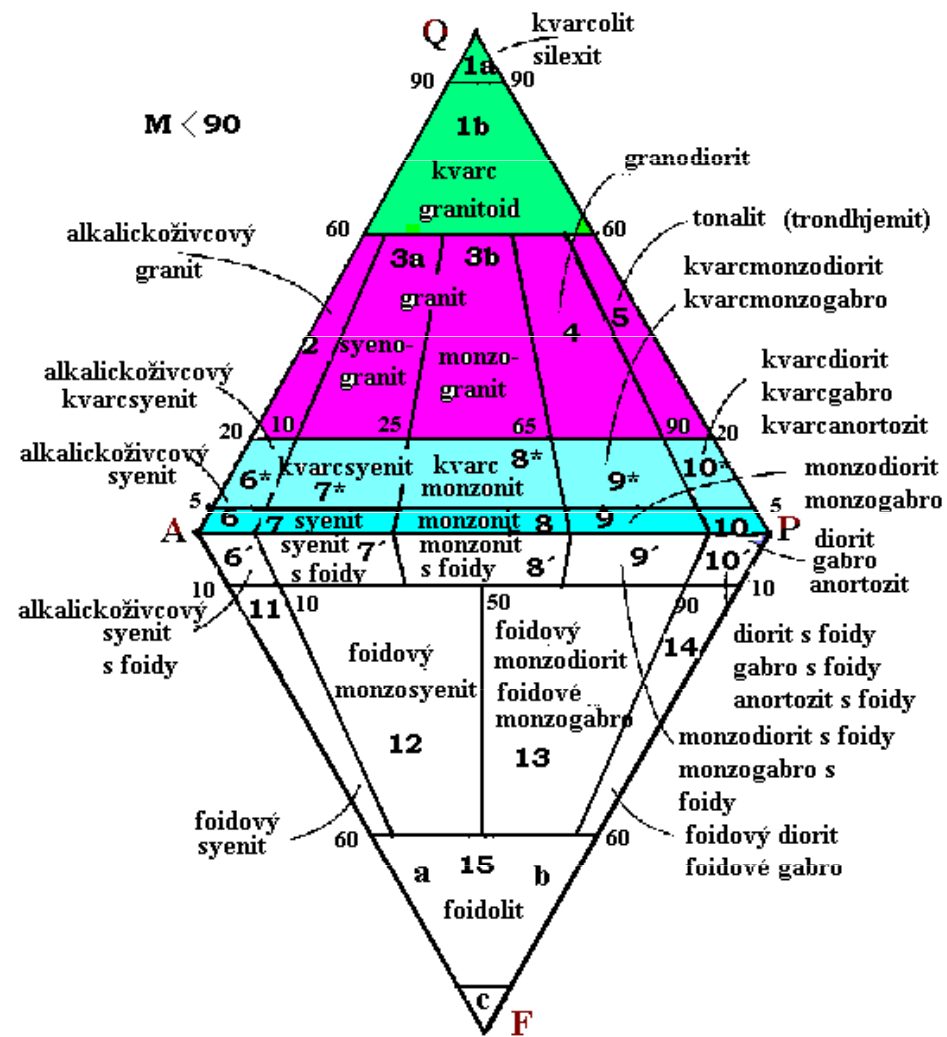
- modální minerální složení (**MODE** – nejmódnější znázornění distribuce pomocí minerálů vyjádřené v objemových procentech).
- Planimetrická analýza – způsoby stanovení modu horniny. Čím je hornina hruběji zrnitá tím větší plochu musíme analyzovat

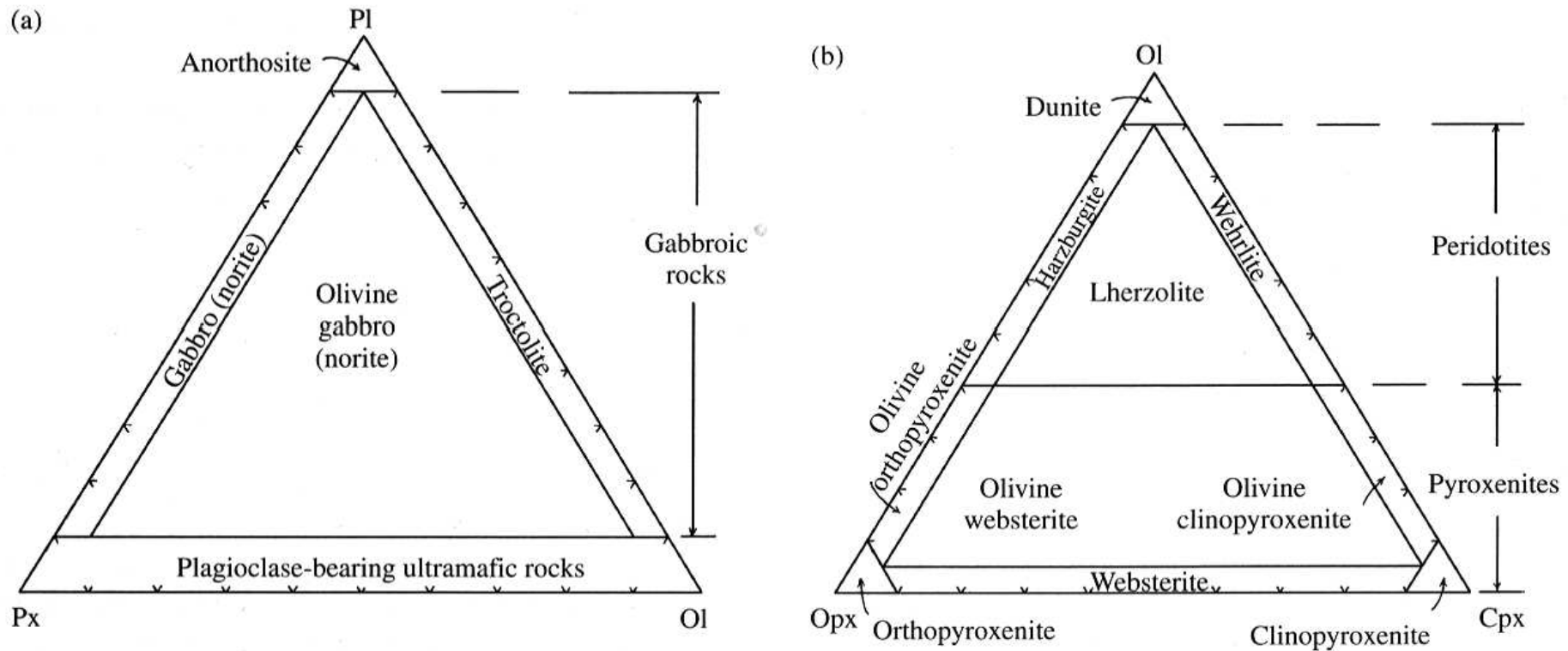
## optické modální analýzy

- ☞ Šroubovým integračním stolkem firmy Leitz, kdy se výbrus plynule posouvá jedním ze 6-8 šroubů, přičemž každým analyzujeme jeden minerál případně skupinu minerálů (např. akcesorické);
- ☞ bodovým integračním stolkem (např. ELTINOR nebo Glagolev), kde stlačením tlačítek, přiřazeným jednotlivým minerálům, posouváme výbrus poskokem jedním směrem (délku skoku můžeme regulovat podle zrnitosti horniny);
- ☞ nebo pomocí křížového stolku, upevněného na otočném stolku polarizačním mikroskopu, v kombinaci s hrubší mřížkou vsazenou do okuláru. Opticky identifikované minerály v jednotlivých polích mřížky vyhodnocujeme na PC s použitím speciálního programu, který je naprogramován tak, že sám určuje dostatečný počet bodů potřebných pro dosažení optimálního výsledku.



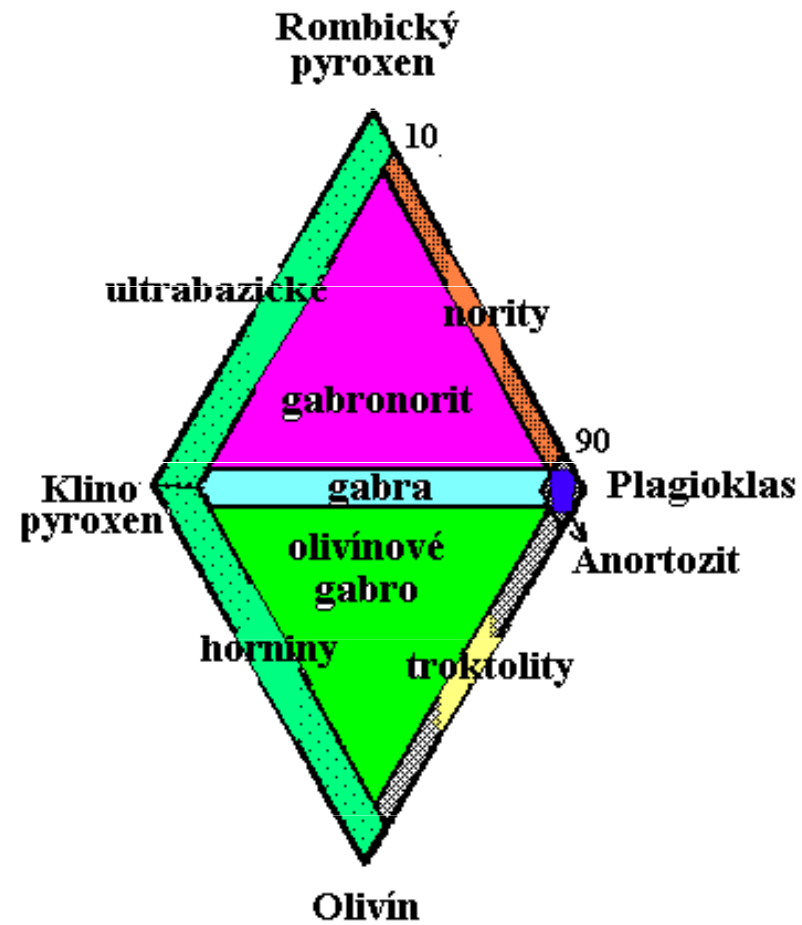
# QAPF zdvojený trojúhelníkový diagram pro plutonické horniny



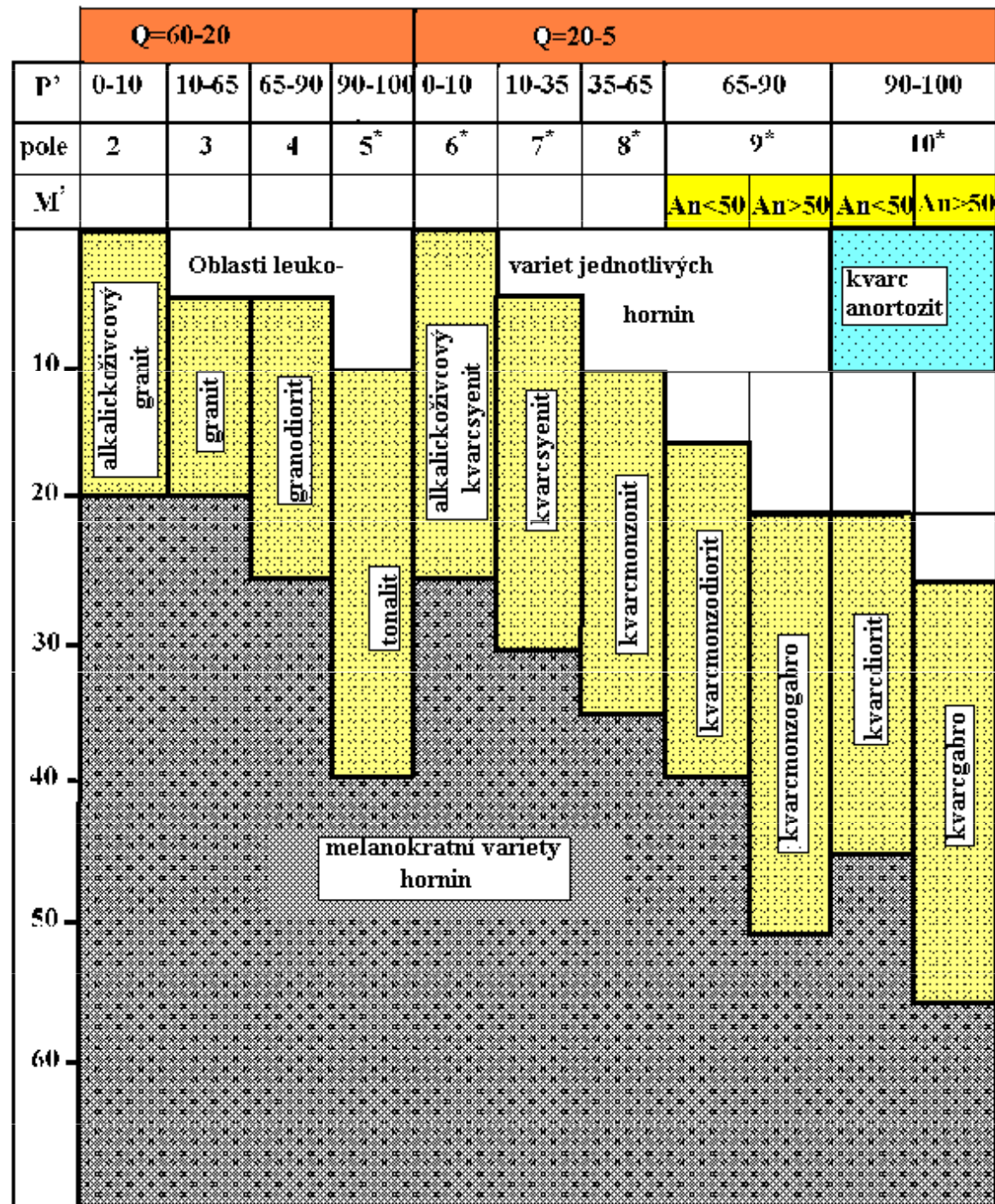


**2.10** IUGS classification of phaneritic mafic and ultramafic rock types. (a) Classification of mafic rocks (see gabbro in Figure 2.8 and its caption) based on the proportions of plagioclase, pyroxene, and olivine. **Norite** has more orthopyroxene than clinopyroxene (see Le Maitre, 1989, p. 17, for details). (b) Classification of **ultramafic** rocks that are composed of orthopyroxene, clinopyroxene, and olivine. For hornblende-bearing ultramafic rocks see Le Maitre, 1989, Figure B.8. (Redrawn from Le Maitre, 1989.)

# QAPF - gabroidní horniny



**QAPF – číslo tmavosti: nasycené SiO<sub>2</sub>**



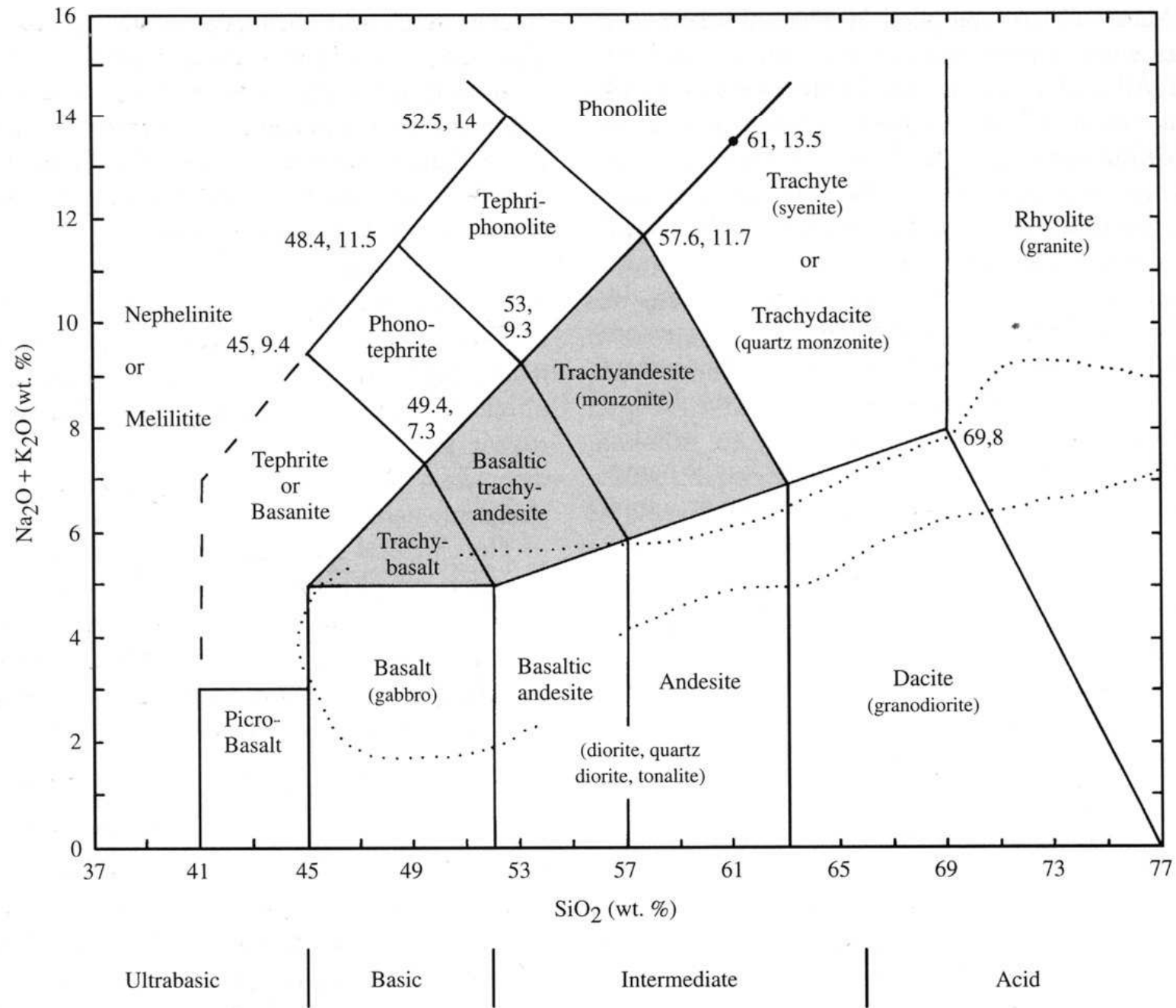


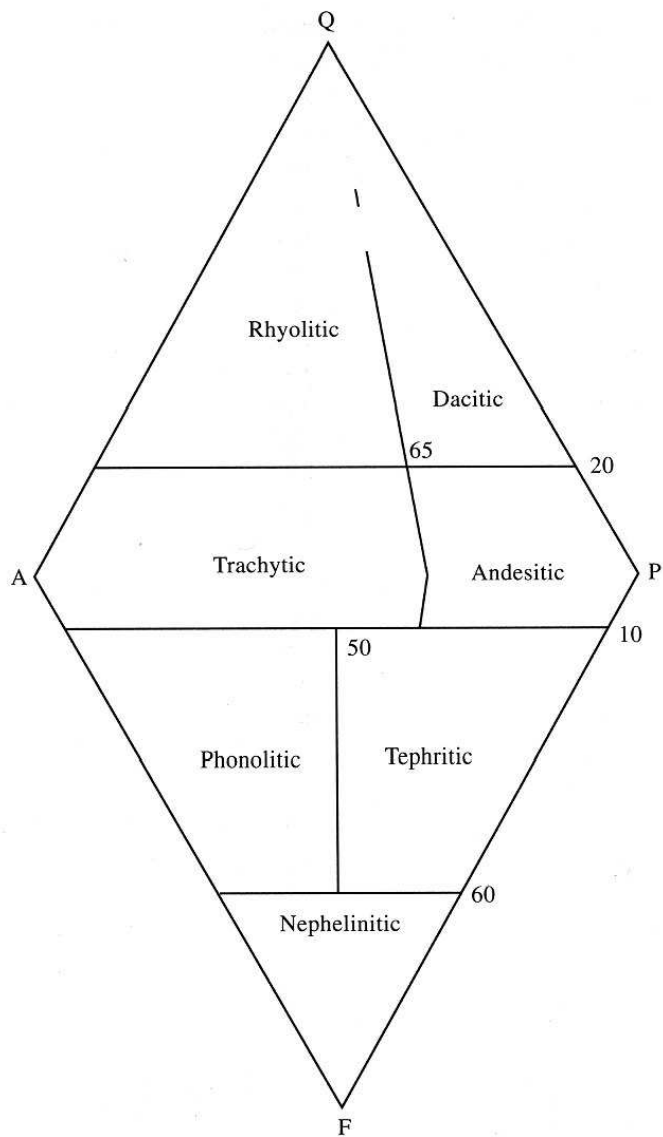


Tabulka 1. Přehled složení vyvřelých hornin

Geologické postavení		hlubinné	žilné		výlevné
Struktura		holokrystalická rovnoměrně zrnitá (porfyrická)	holokrystalická porfyrická (vyrostlice živeců)	holokrystalická rovnoměrně zrnitá (panalotriomorfní)	holokrystalická nebo hemikrystalická porfyrická
Složení					
obsah křemene a foidů ze světých součástí	obsah alk. živec a plagioklasu				
Horniny s křemenem (> 20 % ze světých součástí)	jen alk. živec (> 90 % z živeců)	alkalický granit (žula)	alkalický granitový porfyr	alkalický granitový aplit – pegmatit	alkalický ryolit
	alk. živec > = > = plagioklas (90 – 35 % z živeců)	granit (žula)	granitový porfyr	granitový aplit – pegmatit	ryolit
	alk. živec < < plagioklas (35 – 10 % z živeců)	granodiorit	granodioritový porfyr	granodioritový aplit	
	jen plagioklas (> 90 % z živeců)	tonalit	tonalitový porfyr		dacit
Horniny bez křemene a bez foidů	jen alk. živec (> 90 % z živeců)	(křemenný) alk. syenit (s foidy)	alkalický syenitový porfyr	alkalický syenitový aplit – pegmatit	(křemenný) alkalický trachyt (s foidy)
	alk. živec > > plagioklas (90 – 65 % z živeců)	(křemenný) syenit (s foidy)	(křemenný) syenitový porfyr (s foidy)	syenitový aplit – pegmatit	(křemenný) trachyt (s foidy)

(při obsahu 5 – 20 % křemene – křemenný...)	alk. živec = = plagioklas (65 – 35 % z živeců)	(křemenný) monzonit (s foidy)	(křemenný) monzonitový porfyr (s foidy)		(křemenný) latit (s foidy)	
(při obsahu 0 – 5 % foidů – ... s foidy)	alk. živec < < plagioklas (35 – 10 % z živeců)	(křemenný) monzodiorit (s foidy)			trachyandezit	
jen pla- gioklas (> 90 % z živeců)	An < 50 %	(křemenný) diorit (s foidy)	(křemenný) dioritový porfyr	malchit dioritový pegmatit	andezit	
	An > 50 %	(křemenný) gabro (s foidy)	(křemenný) gabrový porfyr	beerbachit gabrový pegmatit	bazalt	
	křemen i živec chybějí (< 10 % souč.)	ultramafity dunit, pyroxenity ap.	pikrit (olivín)		komatiit (olivín)	
Horniny s foidy (> 5 % ze světých součástí)	jen alk. živec (> 90 % z živeců)	foidický syenit	foidický syenitový porfyr	foidický syenitový aplit – pegmatit	fonolit	
	alk. živec > > plagioklas (90 – 50 % z živeců)	foidický monzosyenit			tefritický fonolit	
	alk. živec < < plagioklas (50 – 10 % z živeců)	essexit	essexitový porfyr		fonolitický tefrit	
	jen pla- gioklas (> 90 % z živeců)	An < 50 %	foidický diorit			tefrit
		An > 50 %	foidické gabro = thermalit	těšinit		bazanit (+ olivín)
	jen foidy (živec chybějí)	foidolity (ijolit, fergusit aj.)	ijolitový porfyr ap.	ijolitový pegmatit	foidity (nefelinity, leucicity)	



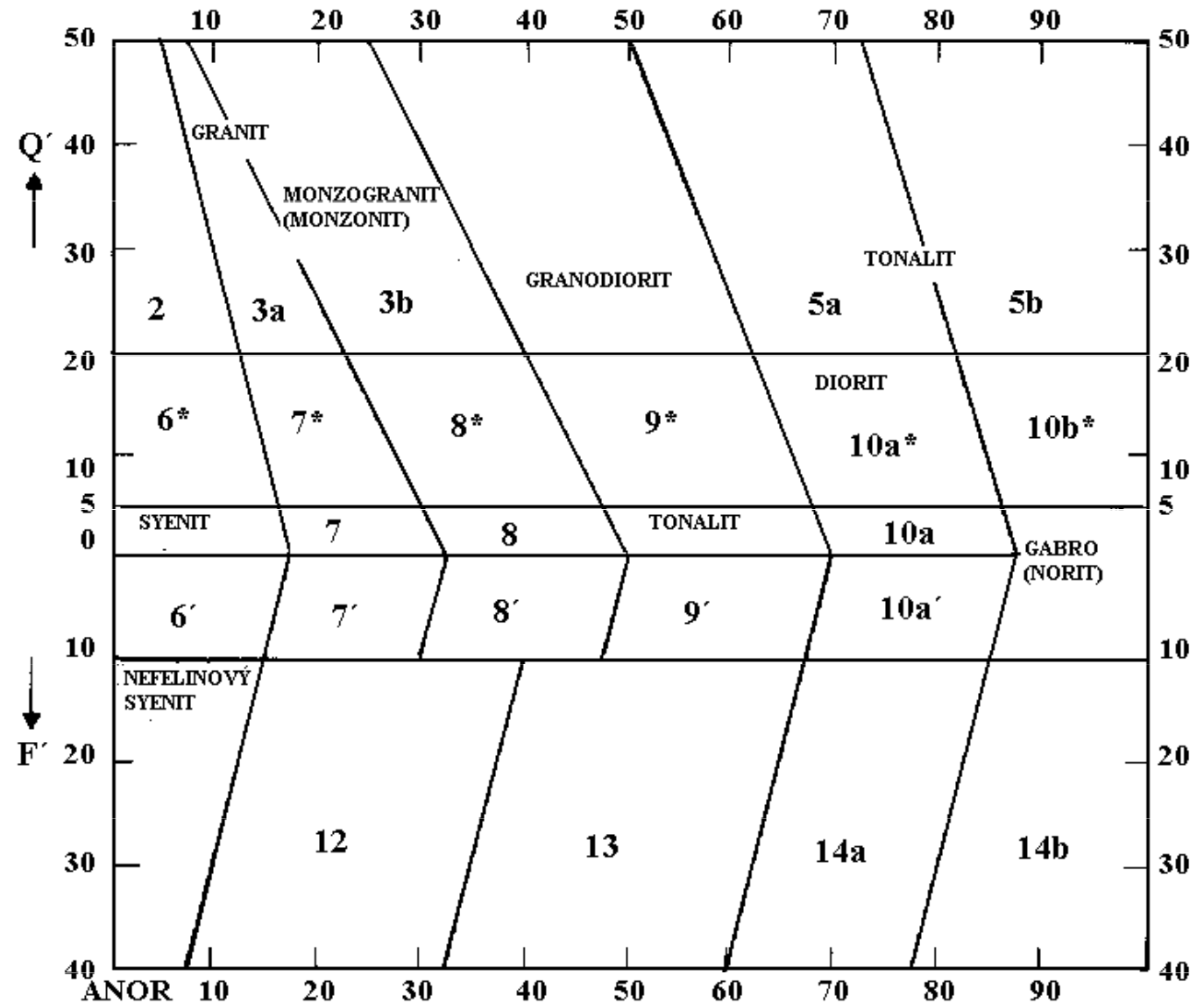


**2.13** Preliminary classification of aphanitic and glassy rock types for use in cases in which an accurate chemical analysis is not available. This is a useful classification of rocks in the field or in thin section based upon the proportions of phenocrysts. Some rocks that are chemically rhyolite or dacite (Figure 2.12) contain quartz as the only phenocryst. (Redrawn from Le Maitre, 1989.)



# Normativní klasifikace , norma horniny , normativní minerály

- Normativní minerální složení - analýzy – vyžadující chemickou analýzu a přepočet na normativní (standardní minerální buňky) – norma horniny



# Analýzy prvků pro petrogenetické studie

- **Hlavní prvky** (horninotvorné prvky, horninotvorné oxidy) které tvoří třináct hlavních oxidů, jejichž obsah je uváděn ve hmotnostních %:  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (ferri),  $\text{FeO}$  (ferro),  $\text{MnO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{H}_2\text{O}_+$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{CO}_2$
- **Podružné nebo stopové prvky**
- Hodnoty pro tyto prvky jsou uváděny v rozpětí ppm a pouze zřídka je jejich obsah v hm. %. Zahrnují prvky:
  - Li, Be, Sc, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Ga
  - Rb, Sr, Y, Zr, Nb
  - Ba, Pb
  - plus F, Cl, S.
- **Prvky vzácných zemin** - Rare Earth Elements (REE nebo lantanidy od atomového čísla 57 do 71), jsou uváděny v ppm nebo mg/g. Prvky REE jsou důležité pro petrogenetické studie, protože skupina REE je koherentní. Nejsou zahrnovány do celkové sumy 100% hlavních oxidů.

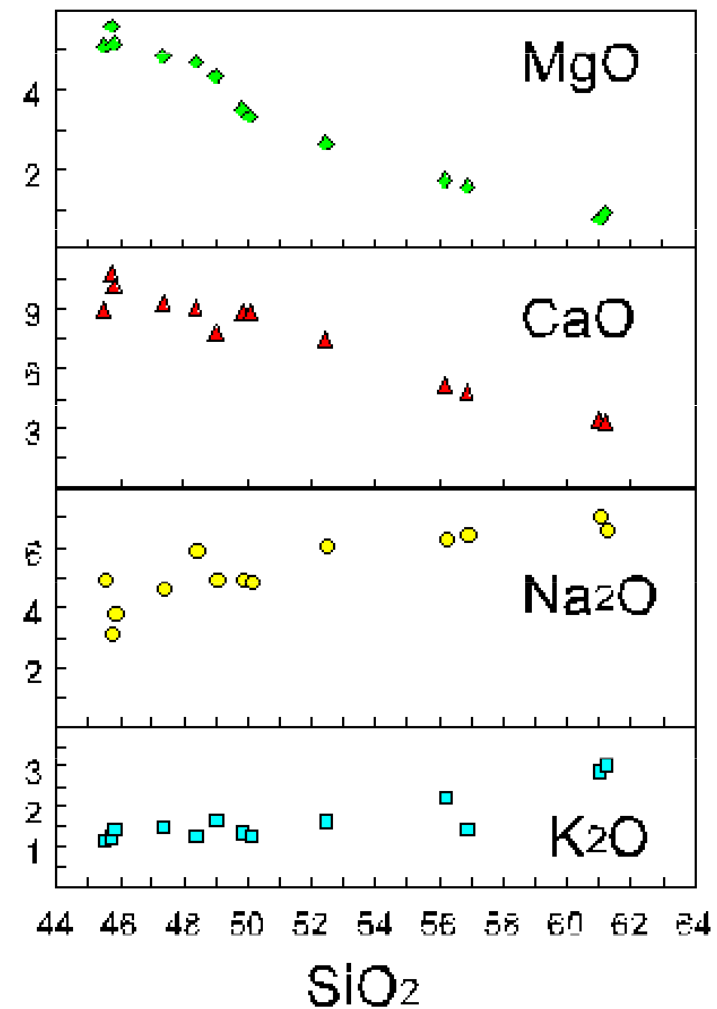
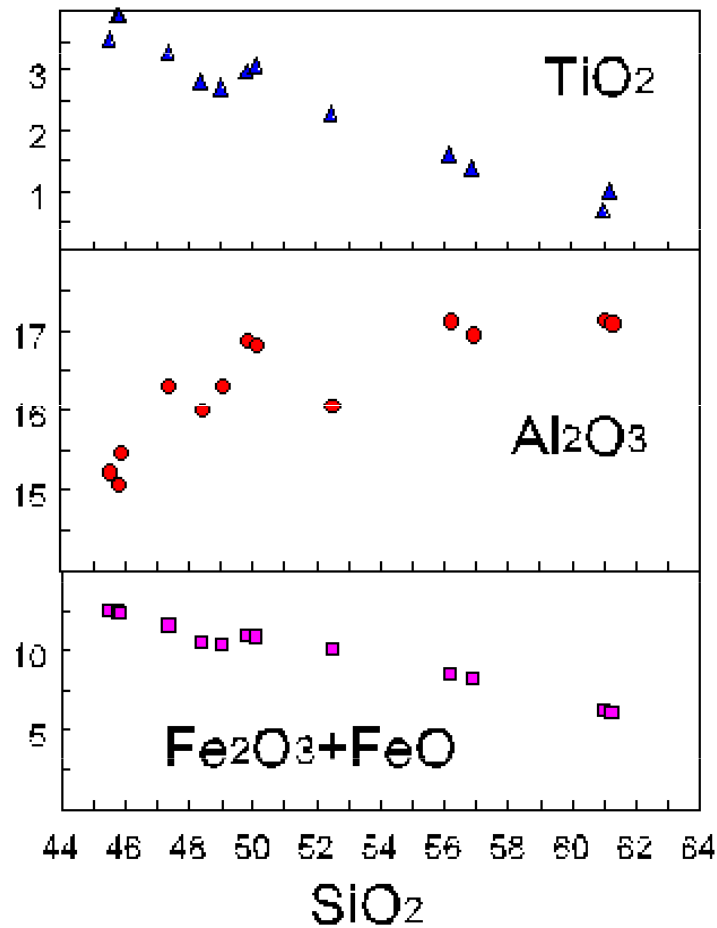
## Normativní analýzy (stanovení normativního složení) – norma horniny

- oficiální metoda doporučené klasifikace a nomenklatury vyvřelých hornin (Le Maitre 1982) výpočet normativního složení (mesonorma) horniny se provádí přepočtem složení chemického
- nevýhodou normativního přepočtu je, že norma složení nepostihuje rovnoměrně všechny základní znaky minerálního složení vyvřelých hornin
- Jde o hmotnostní normu na rozdíl od „molekulární normy“, Niggliho (1936)
- Nejužívanější a nejrozšířenější formou přepočtu chemického složení vyvřelých hornin na normativní minerály představuje CIPW norma (název podle autorů: Cross, Iddings, Pirsson, Washington 1903).

# Variační diagramy - Variace složení

## Harkerovy diagramy

CaO	5	1	2	3	4	8	8	7	9	10	11	12	13
Na <sub>2</sub> O	5	1	2	3	8	7	8	▲	9	10	11	13	12

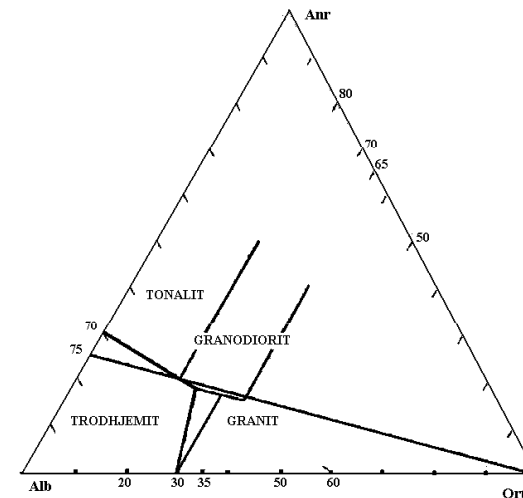
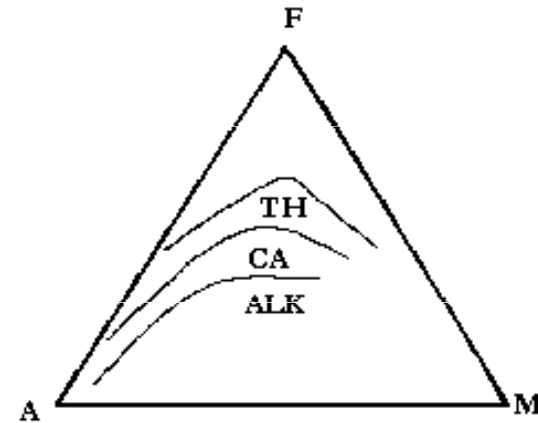


# Znaky frakcionace

- MgO index
- Poměr Mg-Fe
  - $\text{MgO}/\text{MgO}+\text{FeO}$  (ferro-)
  - $\text{MgO}/\text{MgO}+\text{FeO}+\text{Fe}_2\text{O}_3$  (ferri-)
  - $\text{Mg}/\text{Mg}+\text{Fe}$  (vyjadřuje atomární nebo kationové poměry).
- Normativní poměr Ab/Ab+An
- Index tuhnutí (Kuno, 1959)
  - $\text{SI} = 100 \text{ MgO}/(\text{MgO}+\text{FeO}+\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$
- Diferenciační index :
  - Larsenův index
  - $\text{Di}_L = 1/3 \text{ SiO}_2 + \text{K}_2\text{O} - (\text{CaO} + \text{MgO} + \text{FeO})$
  - $\text{Di}_L = 1/3 (\text{Si} + \text{K}) - (\text{Ca} + \text{Mg})$
- Thornton- Tuttleho index: pro felsické horniny
  - $\text{Di}_{\text{TT}} = \text{Qtz} + \text{Ort} + \text{Alb} + \text{Nep} + \text{Lec} + \text{Kms}$
- Thornton- Tuttleho index: pro mafické horniny
  - $\text{Di}_{\text{TT}} = \text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 / \text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO}$  .

# Trojúhelníkové variační diagramy

- **AFM** – Především pro mafické horniny
  - A =  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$
  - F =  $\text{FeO} (+\text{Fe}_2\text{O}_3)$
  - M =  $\text{MgO}$
  - Vynášejí se údaje buď v molekulových nebo hmotnostních procentech.
- **CNK** - především pro felsické horniny (granitoidní):
  - vrcholy odpovídají:  $\text{Na}_2\text{O} - \text{K}_2\text{O} - \text{CaO}$ , nebo zdrojem pro vyhotovení odpovídajícího trojúhelníkového diagramu mohou být i normativní minerály Alb, Anr a Ort



# magmatický proces

- Magmatický proces zahrnuje:
- **vznik** magmatu natavením nebo roztavením pevných hornin,
- **výstup** do svrchních částí zemské kůry (případně až na zemský povrch),
- **diferenciaci a krystalizaci.**
- Základní složky magmatu jsou:
- SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, FeO, CaO, MgO, Na<sub>2</sub>O a K<sub>2</sub>O;
- v magmatu je přítomna i plynná fáze - H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, HCl, HF, H<sub>2</sub>S, H<sub>2</sub>, CO, SO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub> a N<sub>2</sub> (tyto látky jsou zčásti absorbovány v kapalně fázi, zčásti jsou v ní vázány chemicky). ***Magma může obsahovat do cca 10 % pevné fáze***

# Typy magmat

- **v zásadě jde o čtyři základní typy magmat:**

- **bazické** magma (často označované jako **bazaltové** magma),
- **kyselé** magma (**granitové** magma),
- magma **intermediárního** složení (andezitové magma) a
- **ultrabazické** (pikritové) magma.

- Mezi procesy vzniku magmat patří:
- Možnost vzniku magmatické taveniny z rozdílných zdrojů.
- Různý stupeň parciálního tavení z jediného zdroje.
- Frakční krystalizace
- Míšení dvou nebo více magmat
- Asimilace/kontaminace magmat horninami kůry
- Původ magmatu
  - Primární bazaltová magmata
  - Diferenciace
  - Anatexe
  - Parciální tavení
- Krystalizace magmatu



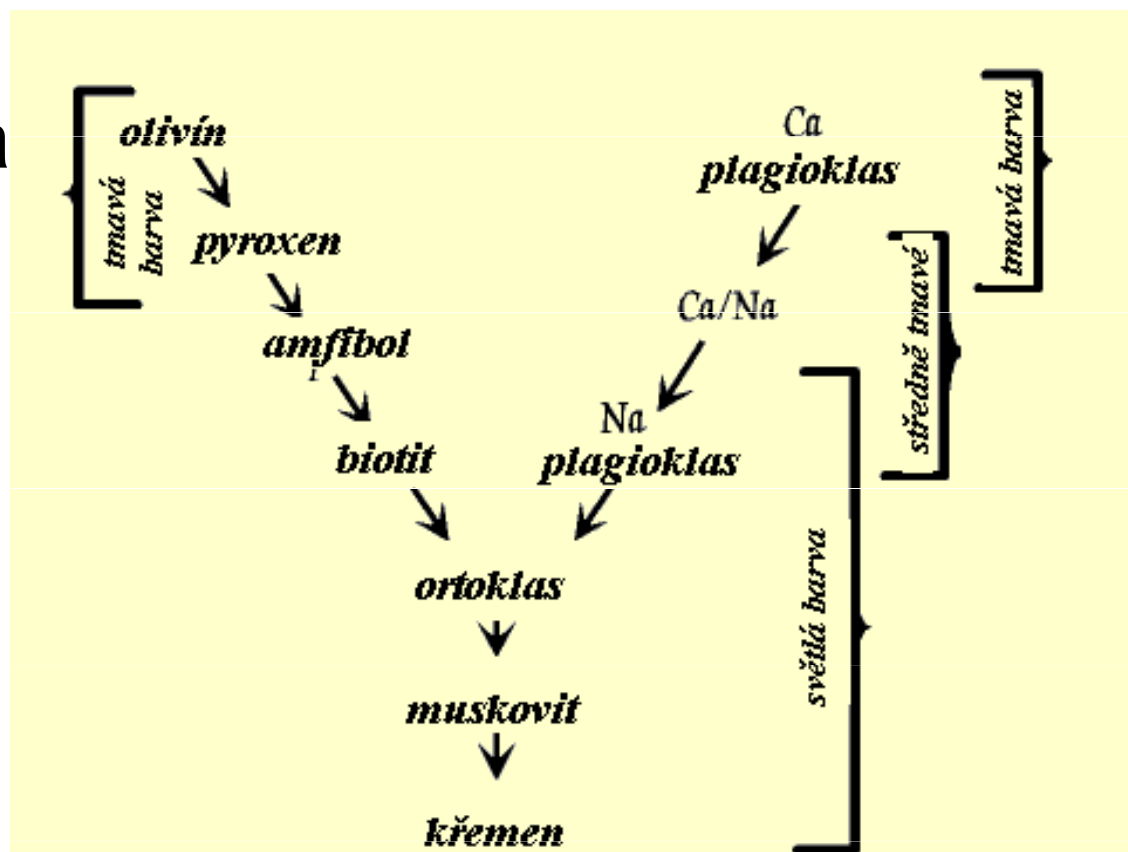
## Procesy diferenciace magmatu

- diferenciace likvací,
- plyným přenosem
- projevy difuze a diferenciace
- krystalizační diferenciace
- asimilace, syntexe a kontaminace

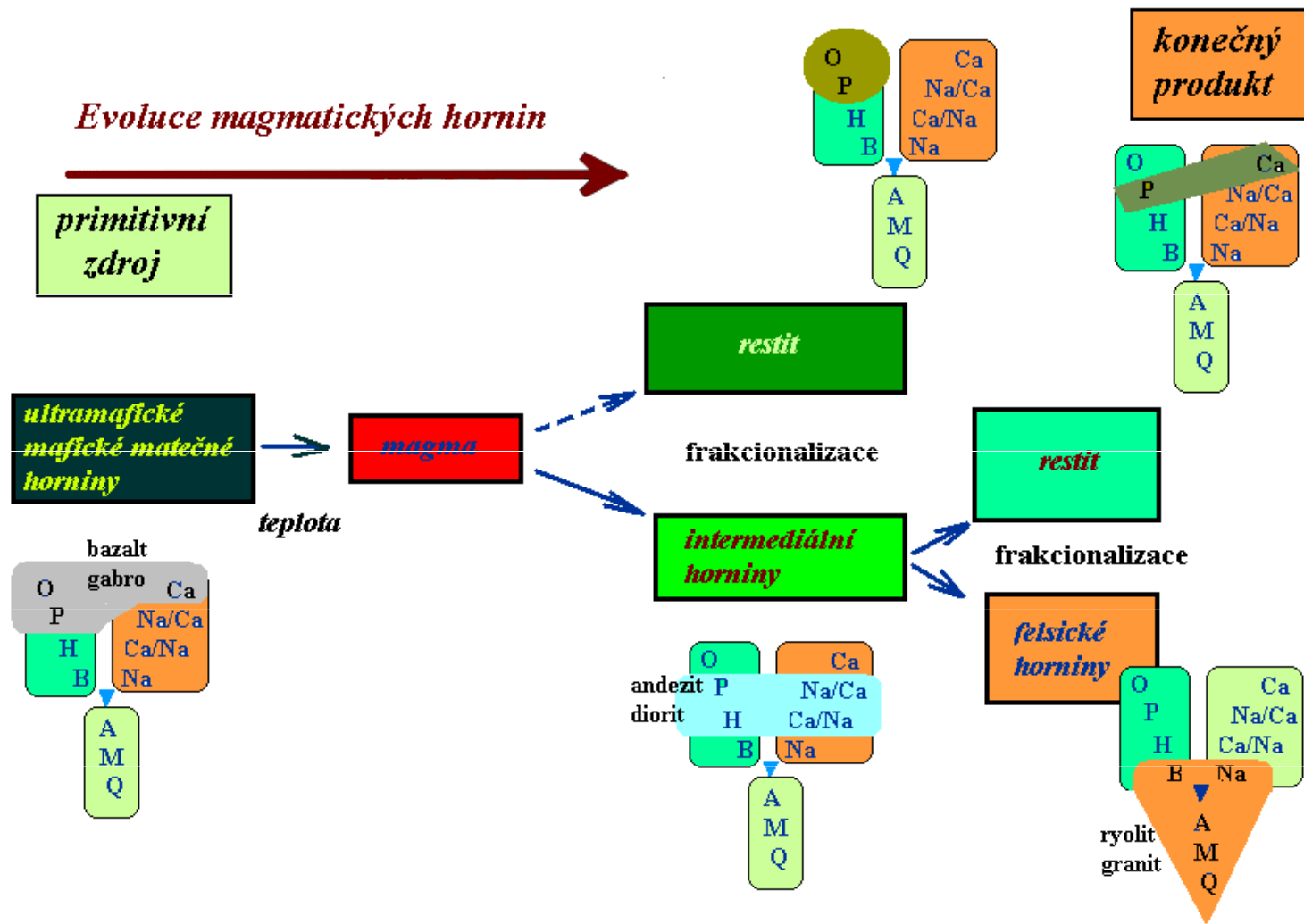
Diferenciace zahrnuje skupiny procesů, které probíhají v magmatických tělesech a jejichž výsledkem je vznik dvou nebo více magmat, nebo hornin, z jednoho homogenního primárního magmatu (zdroje).

# Bowenovo krystalizační schema – a navazující

- Kontinuální a diskontinuální řada

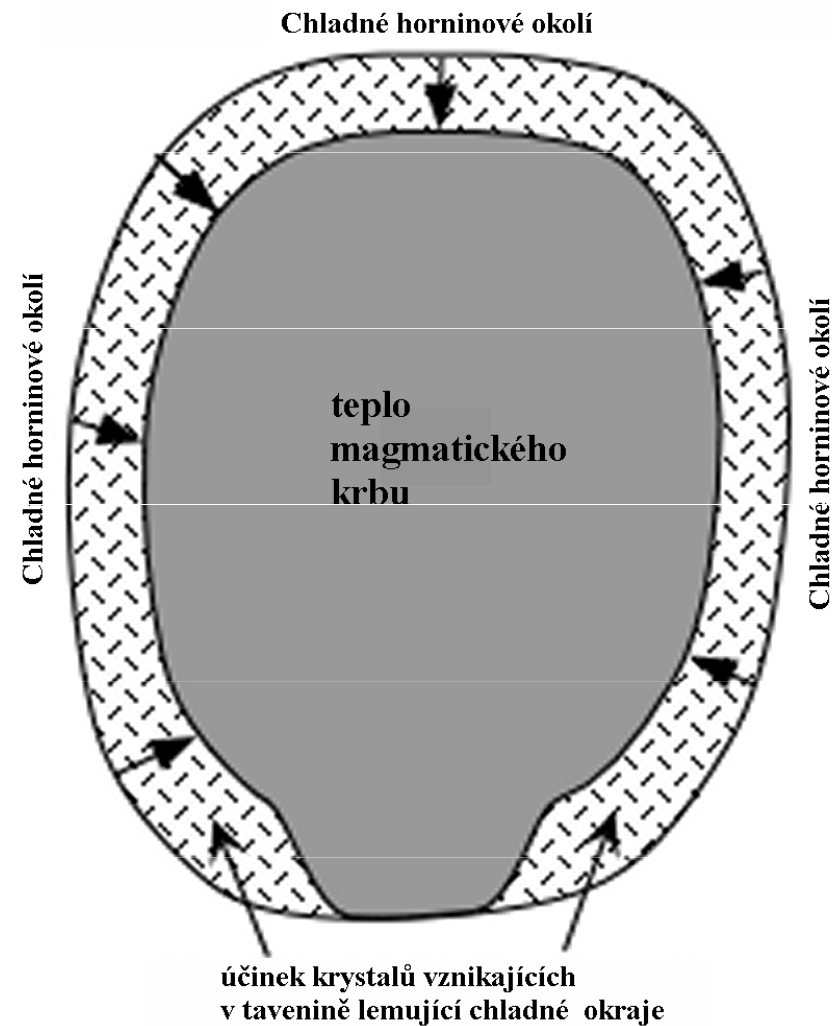


# Postupná frakcionace magmatu s uplatněním Bowenova reakčního schématu a příklady odpovídajících frakcí hornin



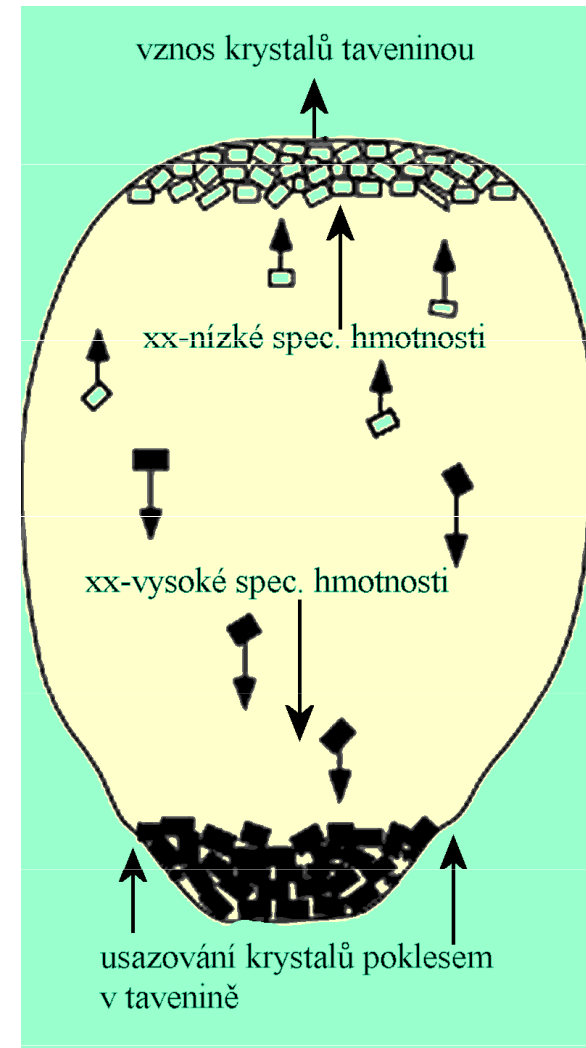
# Difuze a diferenciace

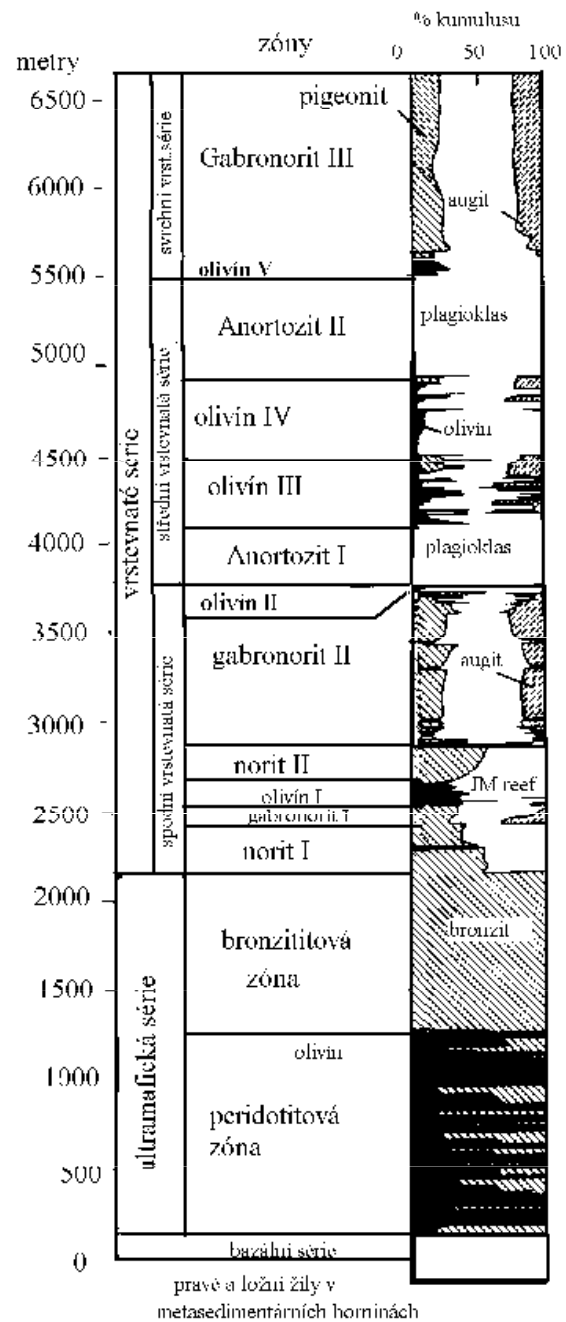
- **Diferenciace magmatu vlivem tepelného proudění – zjednodušený model.**
- **Migrace prvků vyvolaná změnou teploty - Soretův efekt:**
  - **koncentrace v různých místech běžných roztoků je závislá na teplotě**
  - při ochlazování jen od okrajů musí docházet k difuzi rozpuštěných látek a nakonec k nerovnoměrné koncentraci
  - směrem k ochlazujícím se okrajům látky difundují nejhůře rozpustné látky



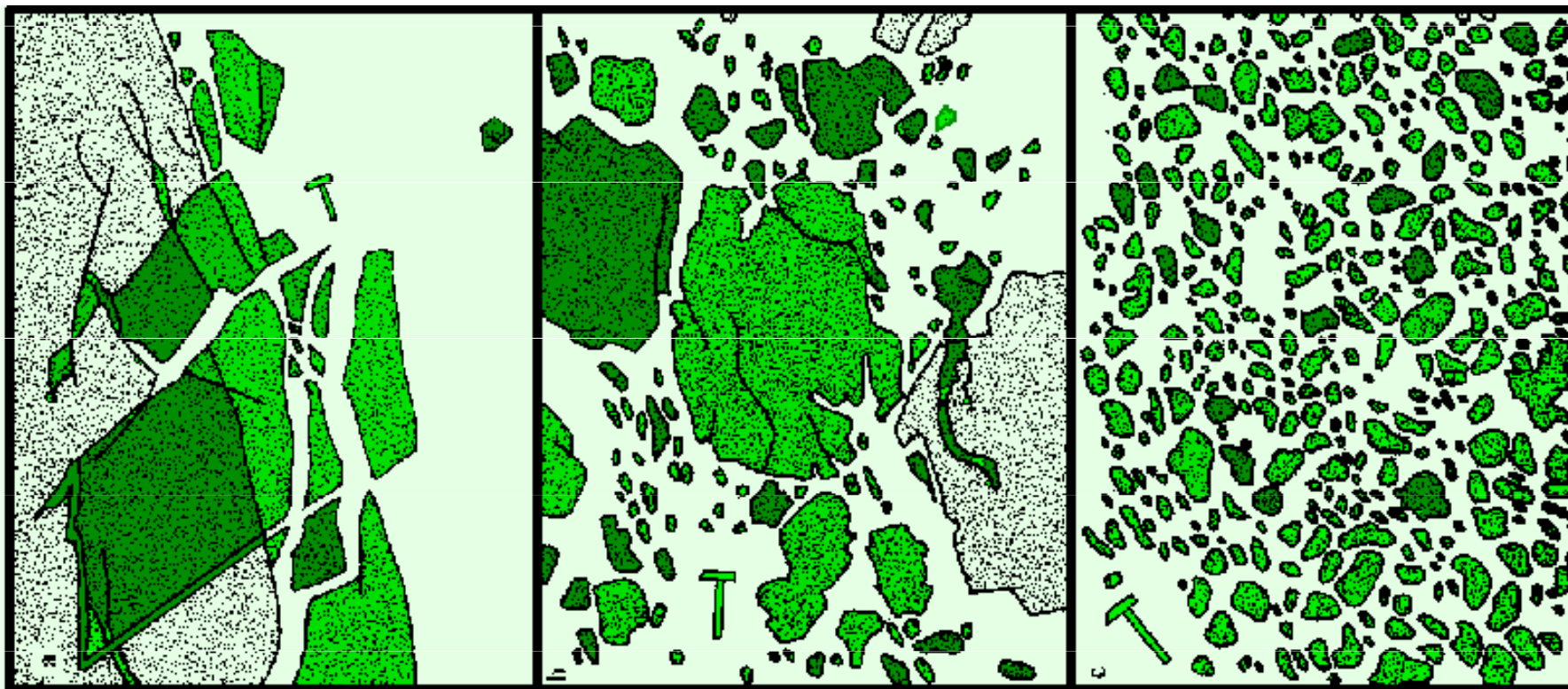
# Gravitační diferenciace filtrační diferenciace

- vznikající krystaly mohou být od taveniny odděleny vlivem gravitace - **gravitační diferenciace**. Při gravitační diferenciaci minerály s vyšší specifickou hmotností
- V případě filtrační diferenciace je tavenina oddělena od krystalů tlakem.
- zbytková tavenina může být ze „sítě“ krystalů vymačkána vhodně působícím tlakem. Jde o proces, který si můžeme přirovnat k vyždímání houby nasáklé vodou.





# Asimilace, syntexe a kontaminace



Deskriptivní označení	Felsická	Intermediální	Mafická	Ultramafická
Intruzivní				
(plutonit)	Granit	Diorit	Gabro	Peridotit
Extruzivní (vulkanit)	Ryolit	Andesit	Bazalt	Komatiit (velmi vzácný)
Průměrné složení	SiO <sub>2</sub> - 72%	SiO <sub>2</sub> - 58%	SiO <sub>2</sub> - 50%	SiO <sub>2</sub> - 45%
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> - 14%	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> - 17%	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> - 16%	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> - 4%
	MgO - 1%	MgO - 3%	MgO - 7%	MgO - 31%
	FeO - 3%	FeO - 7%	FeO - 11%	FeO - 10%
ostatní	10% (K <sub>2</sub> O, Na <sub>2</sub> O)	15% (CaO, Na <sub>2</sub> O)	16% (CaO a Na <sub>2</sub> O)	10% (CaO)
Minerální složení	Křemen, alkalické živce, kyselé plagioklasy  Slídy, amfibol	Ca-Na plagioklasy, Amfibol, ±pyroxen ± křemen	Ca-plagioklasy Pyroxen,  ±Amfibol,  ± Olivín	Olivín, Pyroxen,  Ca-plagioklasy
Barva	Velmi světlá	Středně šedá až zelená	Tmavě šedá až černá	Velmi tmavě zelená až černá
Specifická hmotnost (g/cm <sup>3</sup> )	2.7(nejnižší)	II.85	3.0	3.3(nejvyšší)
Umístění	Většina kontinentů	Většina magmatických (vulkanických) oblouků (kontinentální a ostrovních oblouků)	Oceánské hřbety, oceánské ostrovy a kontinentální platóbazalty	Plášť
Teplota tavení (°C)	600° - 800°C (nízká)	800°- 1000°C	1000°- 1250°C	Více než 1600°C (vysoká)
Obsah plynů	Vysoký	Střední	Nízký	nízký
Viskozita	Vysoká	Střední	Nízká	Velmi nízká
Průběh erupce	Velmi explozivní	Explozivní i efuzivní	Převážně efuzivní	Nebyl pozorován
Typický charakter terénu	Kontinentální řetězce, kaldery, kužely, lávové kupoly	Stratovulkány (smíšené vulkanické kužely)	Štítové vulkány (např. Havaj), zlomové a deskové proudy plató bazaltů (např. platóbazalty Columbia River).	



# Teorie deskové tektoniky

