

Obecné základy týkající se magmatu

1. Ochlazování

2. Výstup a umístění magmat v kůře

felsické intruze

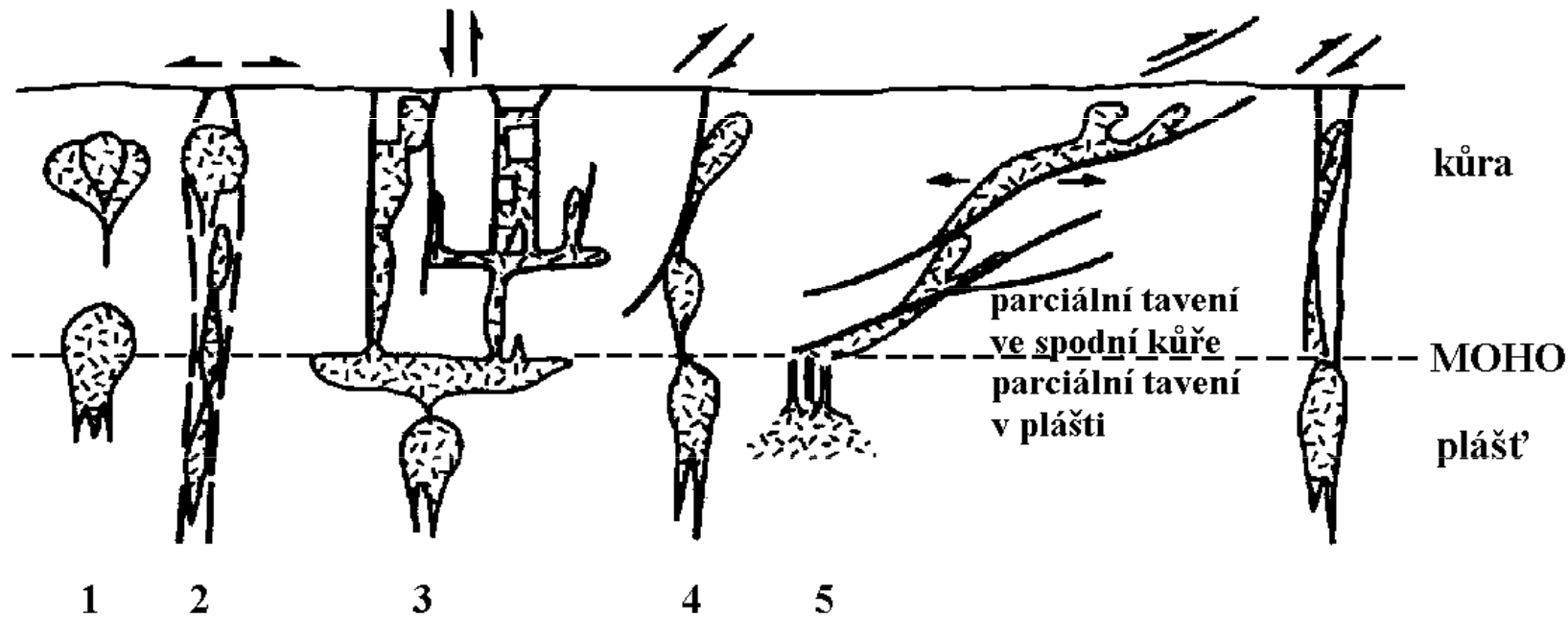
- magmatický stoping (stoped stock) zóna tavení
- kotlovitý pokles (cauldron subsidence)
- prstencové žíly (ring dykes)
- zvoncovitý pokles (pokles, sklenice) Bell-jar plutony
- střední (centrální) komplexy
- diapirový plutonismus

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.% SiO₂ : Granity ~ 72 hm. % SiO₂, granodiority ~ 68 hm.% SiO₂
- Intermediální (neutrální) - 52 až 66 hm.% SiO₂ : Andezit 57 hm.% SiO₂
- Bazické - 45 až 52 hm. % SiO₂ : Bazalty mají rozpětí od 48 do 50 hm.%
- Ultrabazické - < 45 hm. % SiO₂ : Peridotity 41 až 42 hm.% SiO₂

Saturační pojetí saturace SiO₂

- **kompatibilní** vyskytují se s primárním křemenem nebo primárními SiO₂
- **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 SiO₂)

Nasycené horniny - bez křemene a současně bez nenasycených minerálů

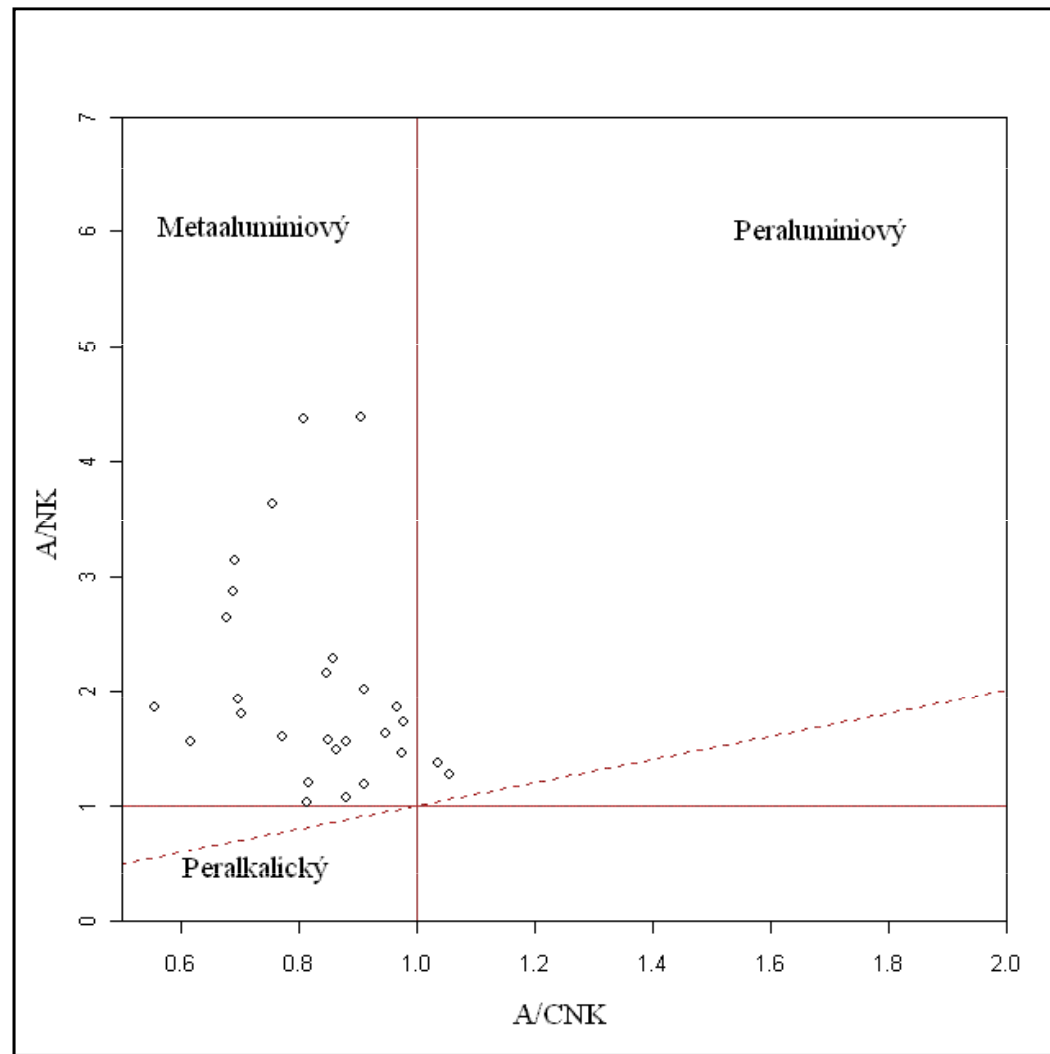
Nenasycené horniny – obsahující nenasycené minerály

- 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 - Al₂O₃ 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 Al₂O₃.
- 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



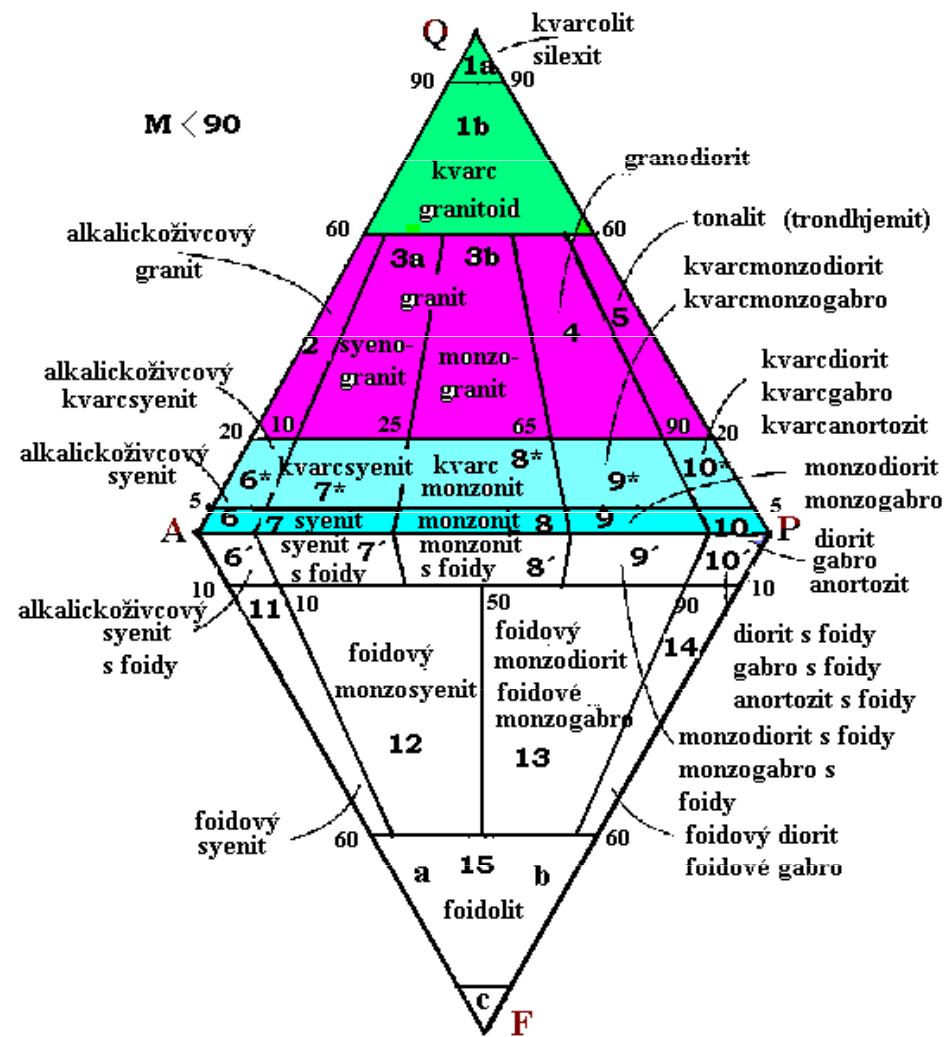
IUGS klasifikace

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

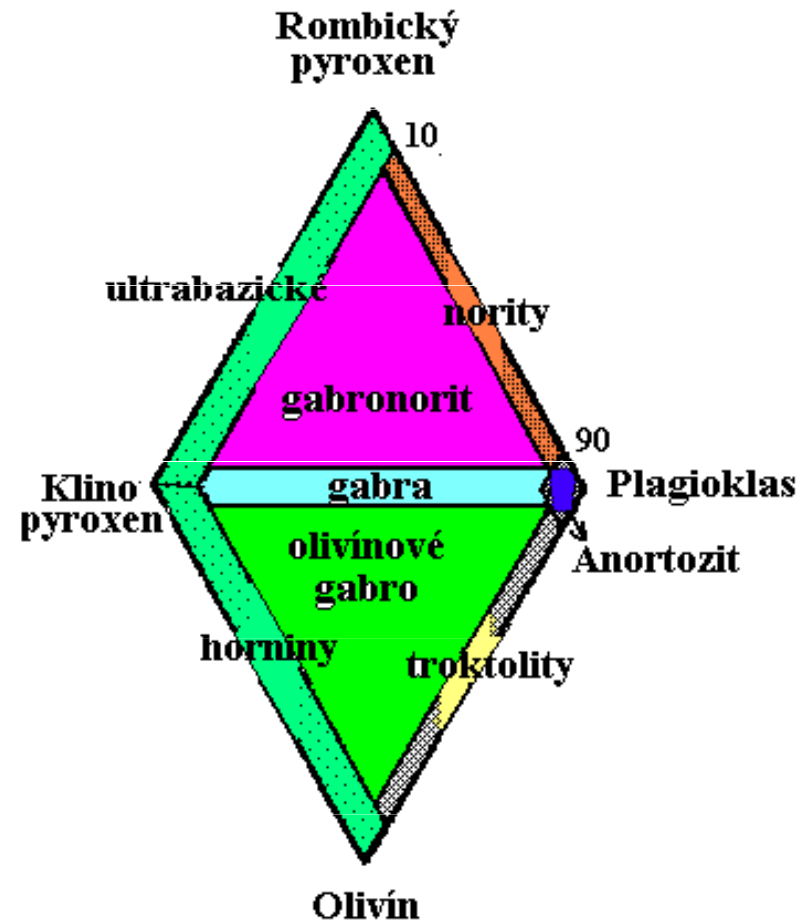
optické modální analýzy

- ☞ 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.

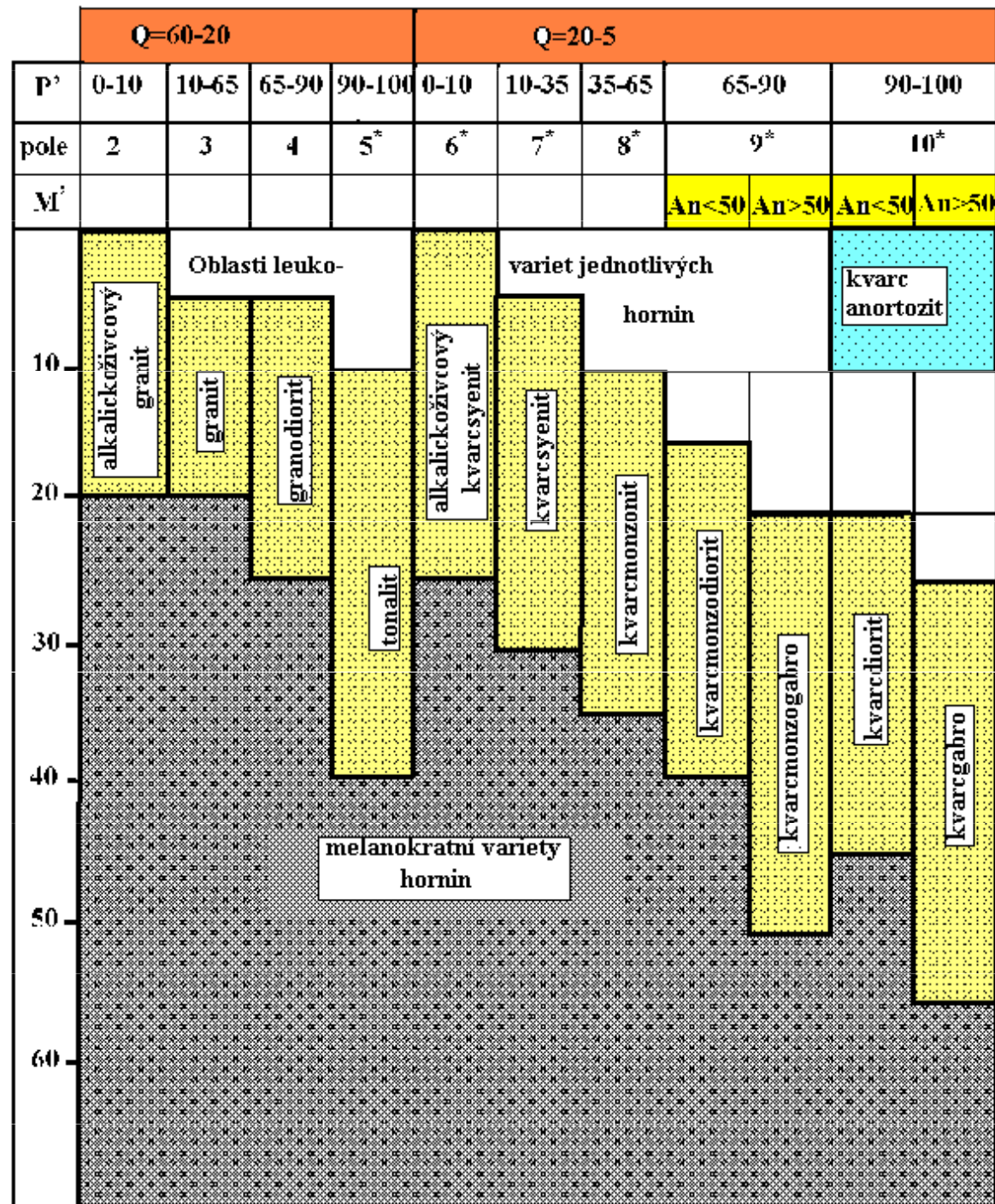
QAPF zdvojený trojúhelníkový diagram pro plutonické horniny



QAPF - gabroidní horniny

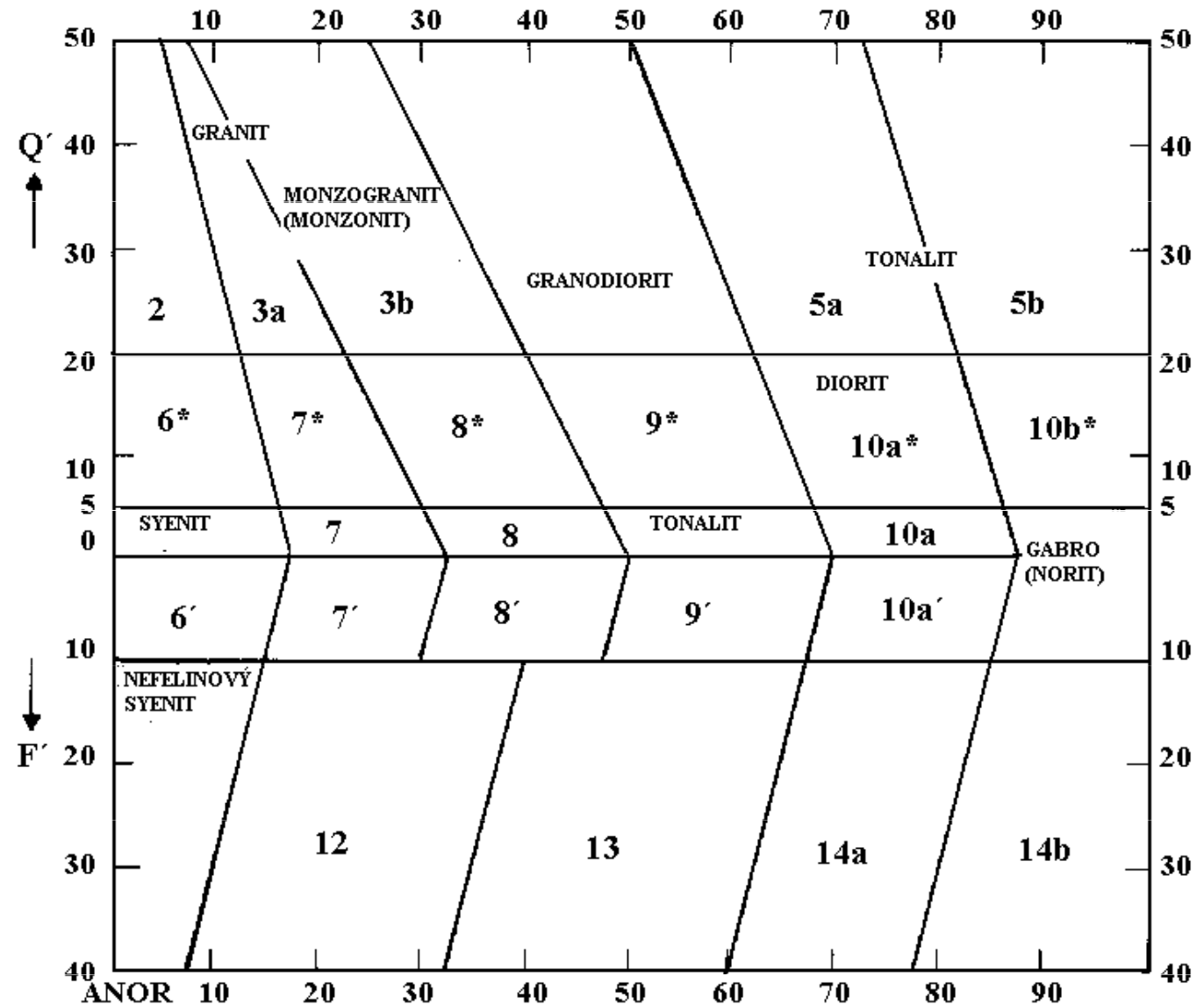


QAPF – číslo tmavosti: nasycené SiO₂



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 %: SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 (ferri), FeO (ferro), MnO , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , H_2O_+ , P_2O_5 , 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.

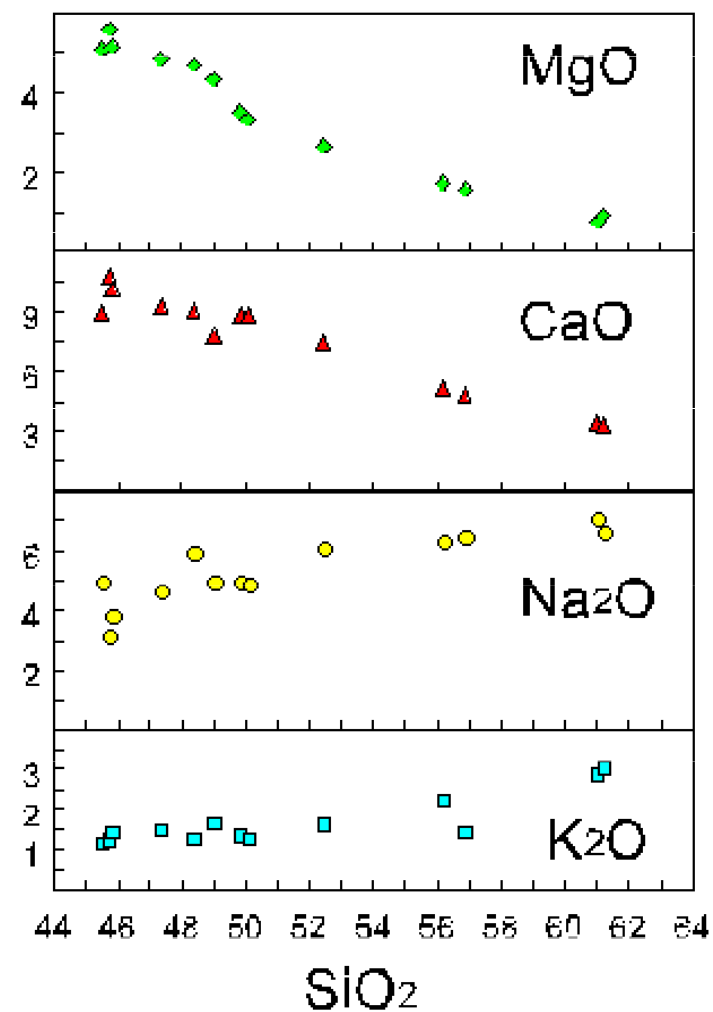
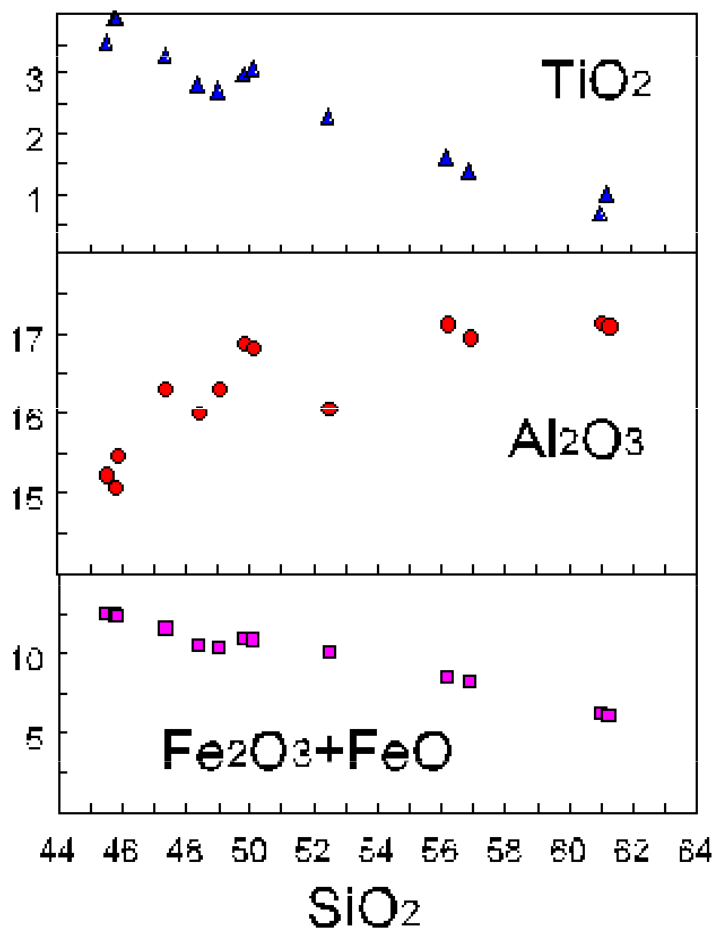
Normativní analýzy (stanovení normativního složení) – norma horniny

- 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 ₂ O	5	1	2	3	8	7	6	▲	9	10	11	13	12

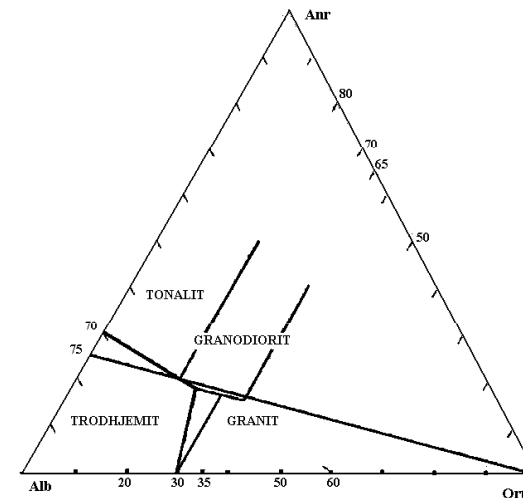
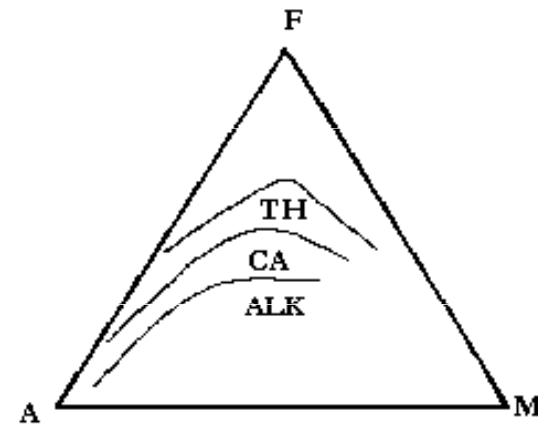


Znaky frakcionace

- 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 = Na₂O + K₂O
 - F = FeO (+Fe₂O₃)
 - M = MgO
 - Vynášejí se údaje buď v molekulových nebo hmotnostních procentech.
- **CNK** - především pro felsické horniny (granitoidní):
 - vrcholy odpovídají: Na₂O - K₂O – 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_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , FeO , CaO , MgO , Na_2O a K_2O ;
- v magmatu je přítomna i plynná fáze - H_2O , CO_2 , HCl , HF , H_2S , H_2 , CO , SO_2 , SO_3 a N_2 (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

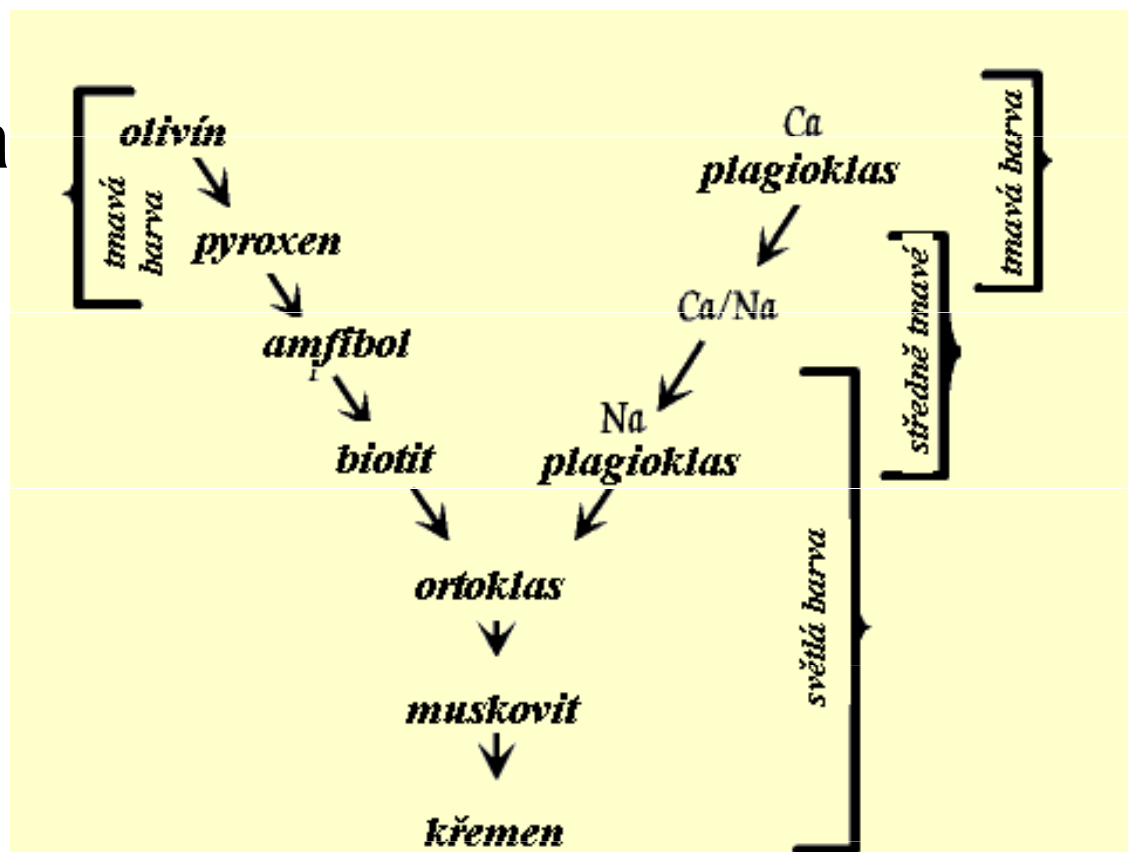
Procesy diferenciace magmatu

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

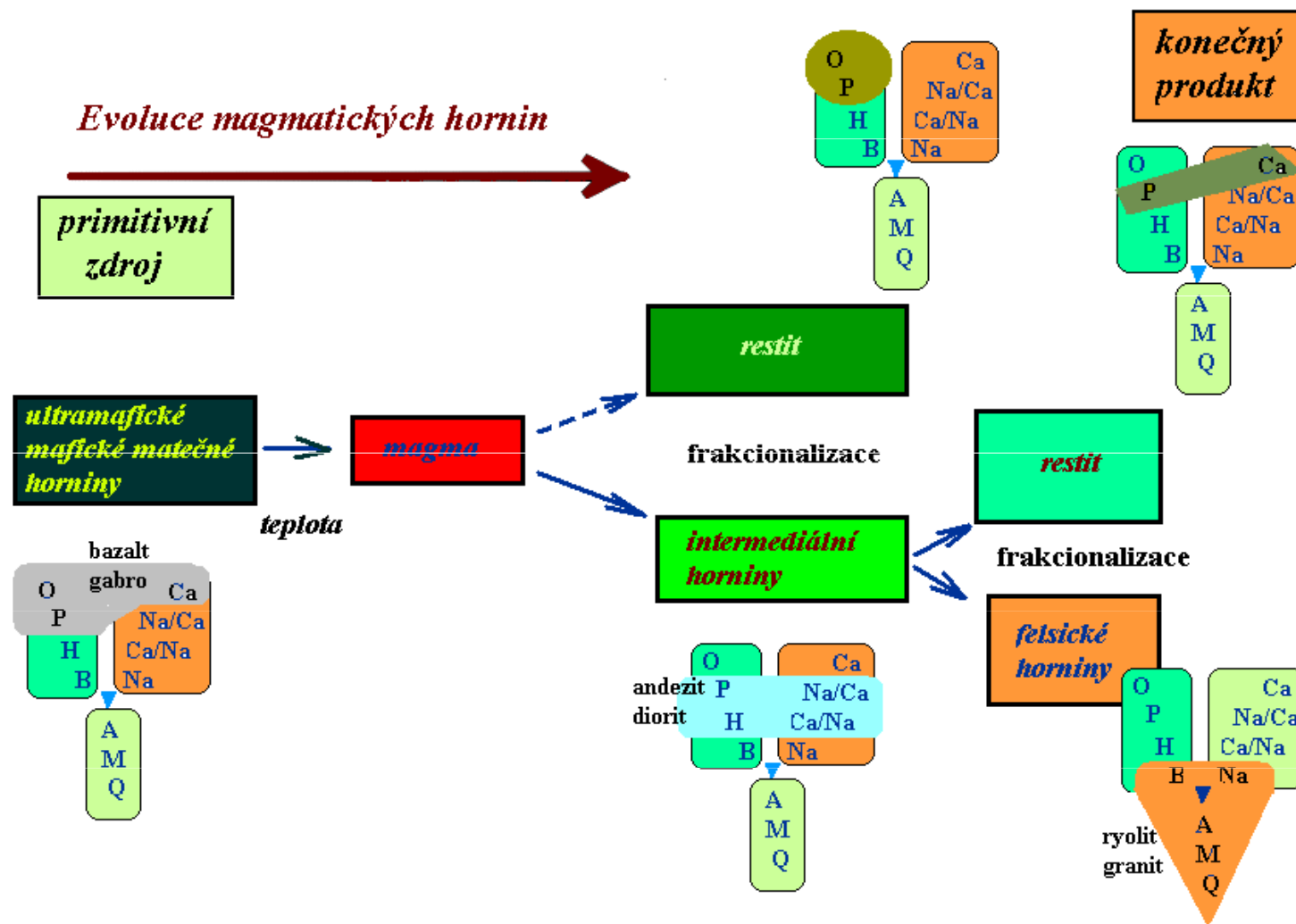
Diferenciace zahrnuje skupiny procesů, které probíhají v magmatických tělesech a jejichž výsledkem je vznik dvou nebo více magmat, nebo hornin, z jednoho homogenního primárního magmatu (zdroje).

Bowenovo krystalizační schema – a navazující

- Kontinuální a diskontinuální řada

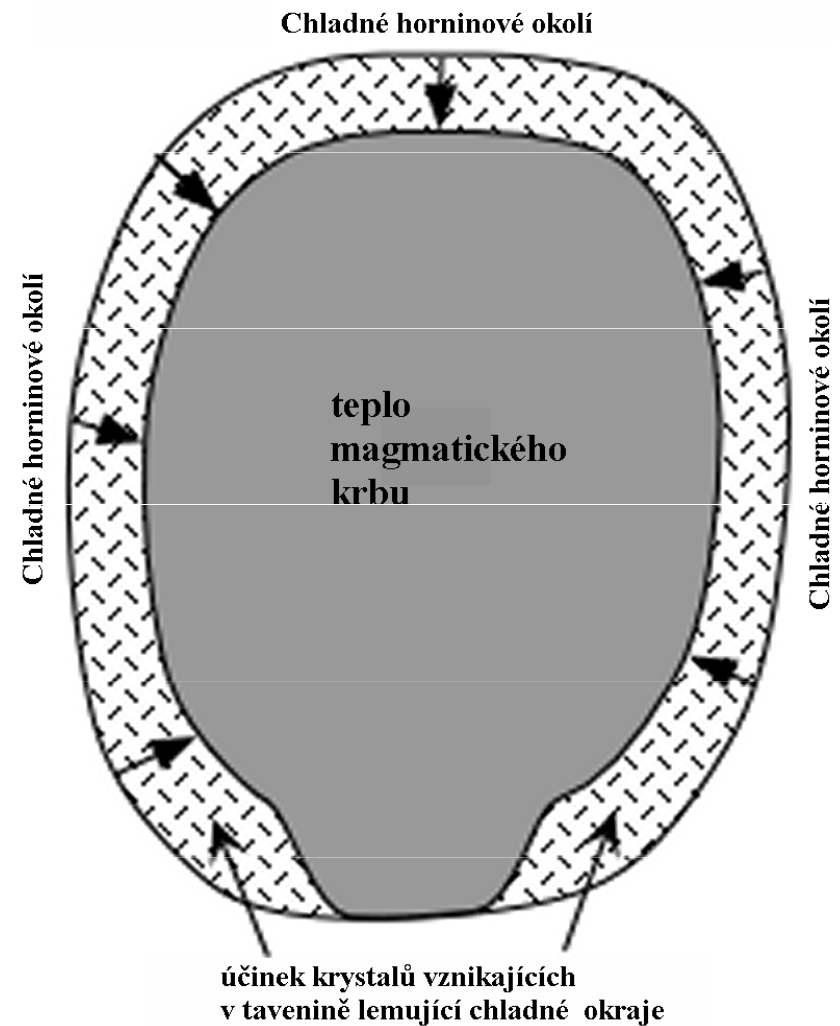


Postupná frakcionace magmatu s uplatněním Bowenova reakčního schématu a příklady odpovídajících frakcí hornin



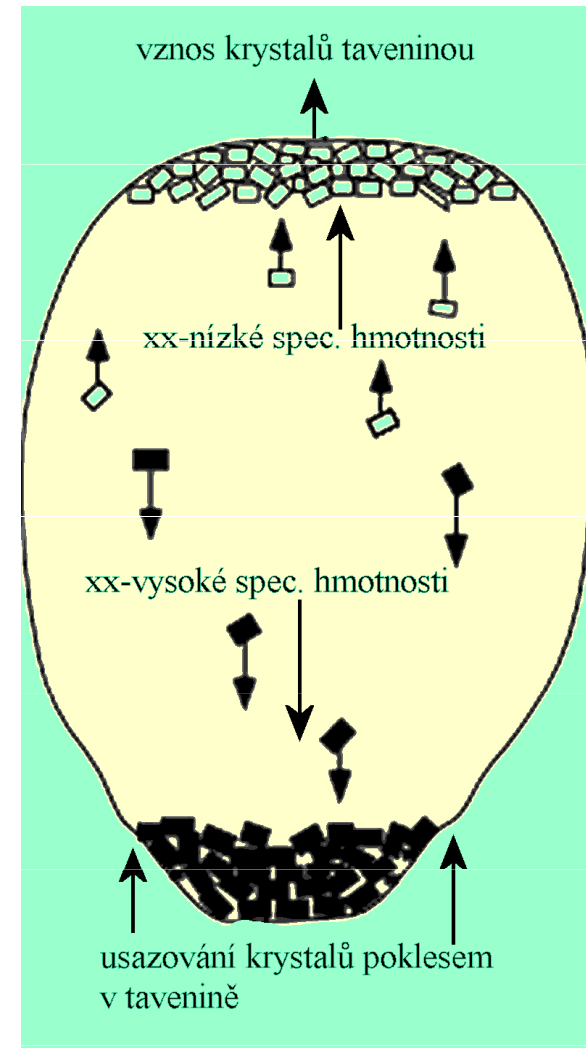
Difuze a diferenciace

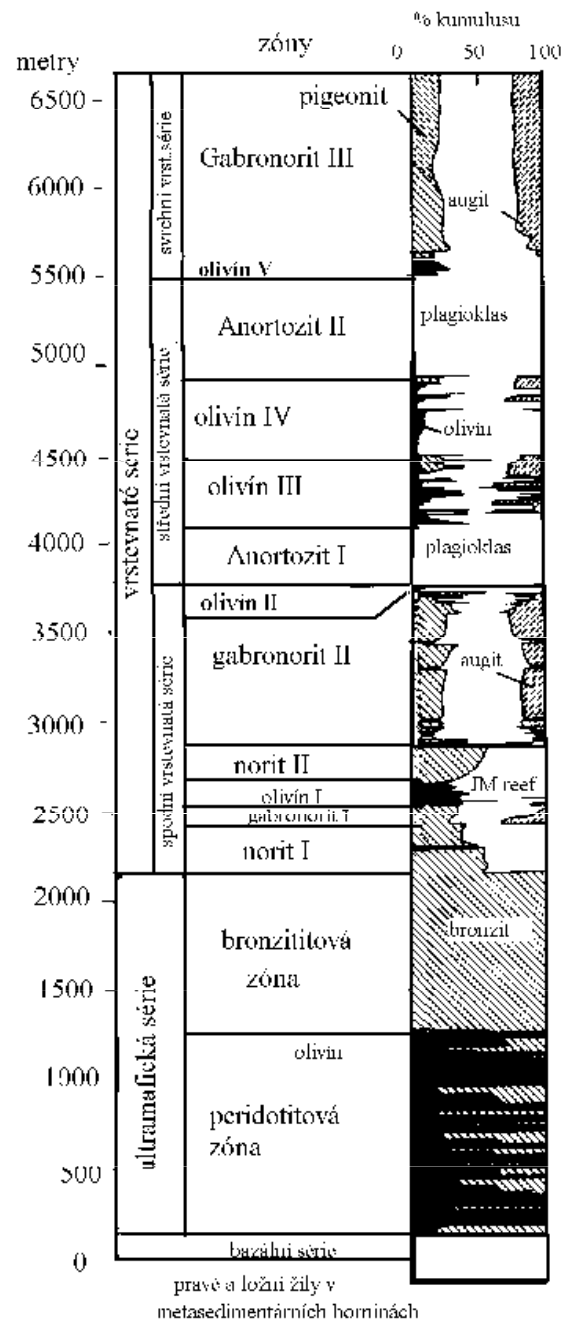
- **Diferenciace magmatu vlivem tepelného proudění – zjednodušený model.**
- **Migrace prvků vyvolaná změnou teploty - Soretův efekt:**
 - **koncentrace v různých místech běžných roztoků je závislá na teplotě**
 - při ochlazování jen od okrajů musí docházet k difuzi rozpuštěných látek a nakonec k nerovnoměrné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



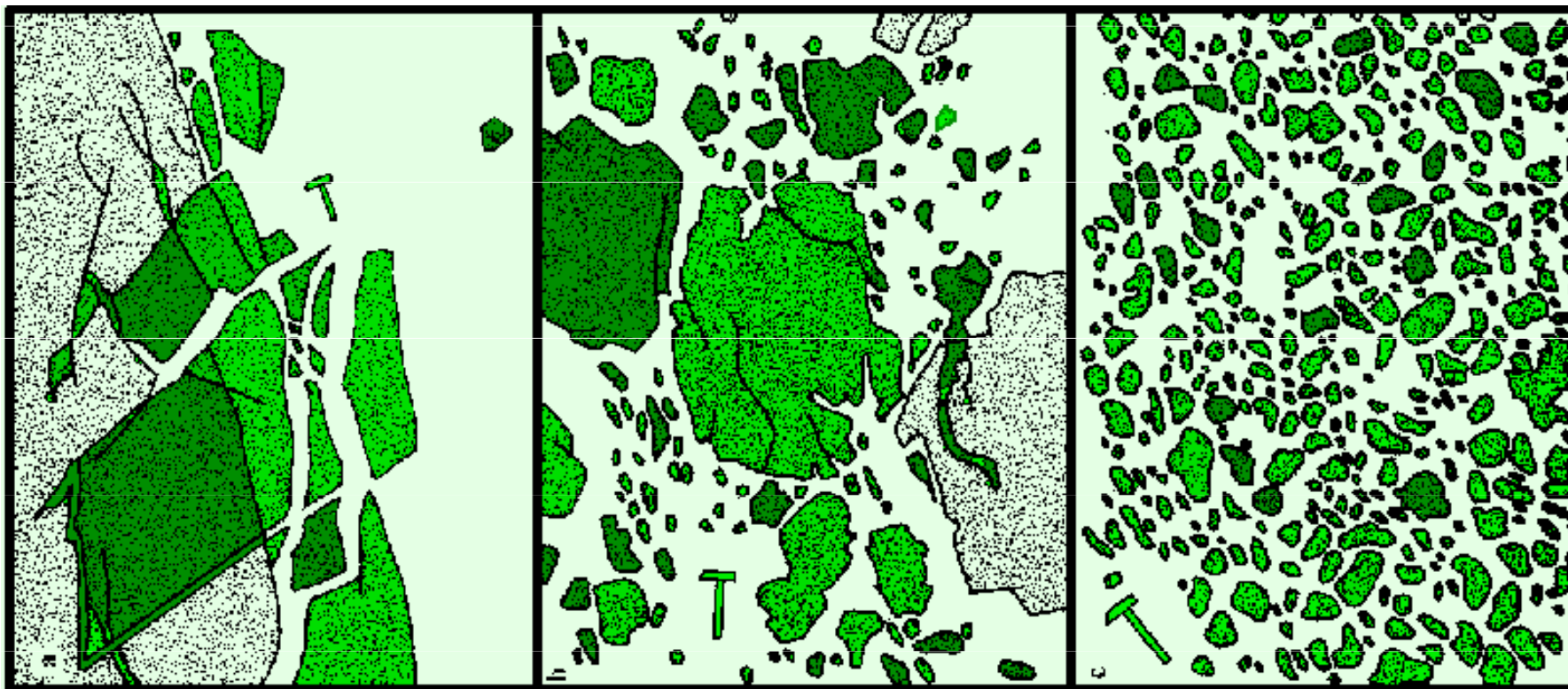
Gravitační diferenciace filtrační diferenciace

- 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 ₂ - 72%	SiO ₂ - 58%	SiO ₂ - 50%	SiO ₂ - 45%
	Al ₂ O ₃ - 14%	Al ₂ O ₃ - 17%	Al ₂ O ₃ - 16%	Al ₂ O ₃ - 4%
	MgO - 1%	MgO - 3%	MgO - 7%	MgO - 31%
	FeO - 3%	FeO - 7%	FeO - 11%	FeO - 10%
ostatní	10% (K ₂ O, Na ₂ O)	15% (CaO, Na ₂ O)	16% (CaO a Na ₂ O)	10% (CaO)
Mínérální 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 ³)	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

