

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)

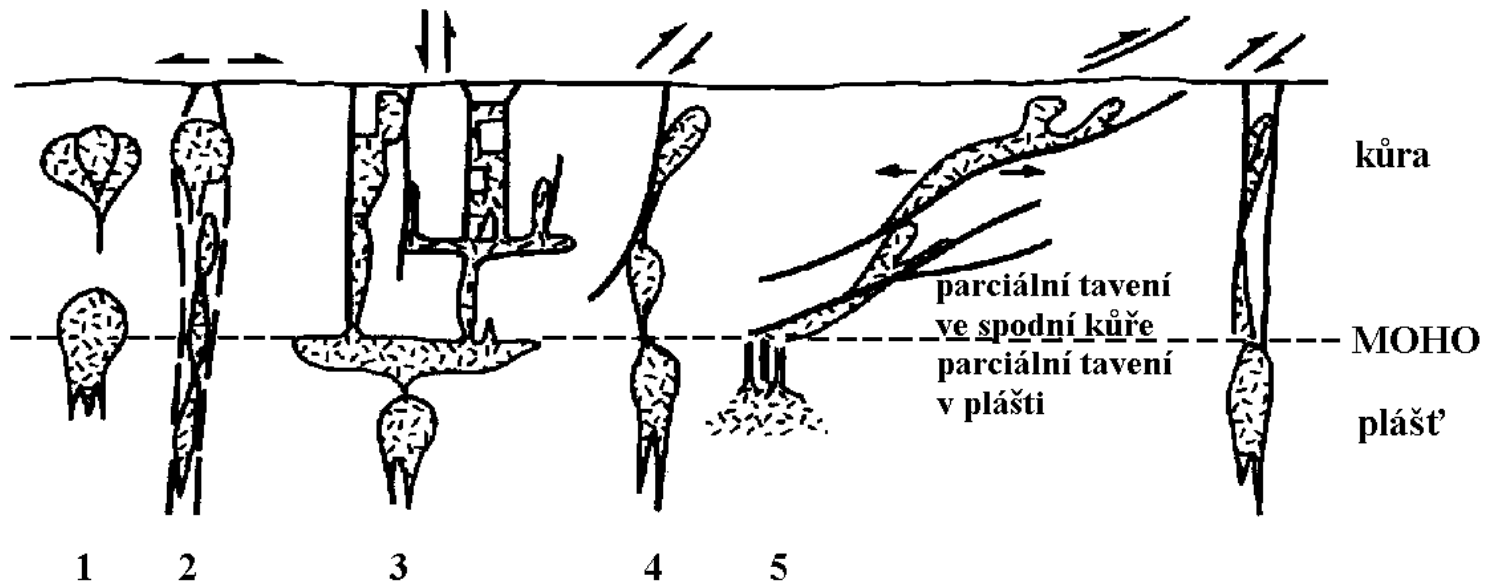
- zvoncovitý pokles (pokles, sklenice) Bell-jar plutony
- střední (centrální) komplexy
- diapirový plutonismus

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
- **Nasyčené 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

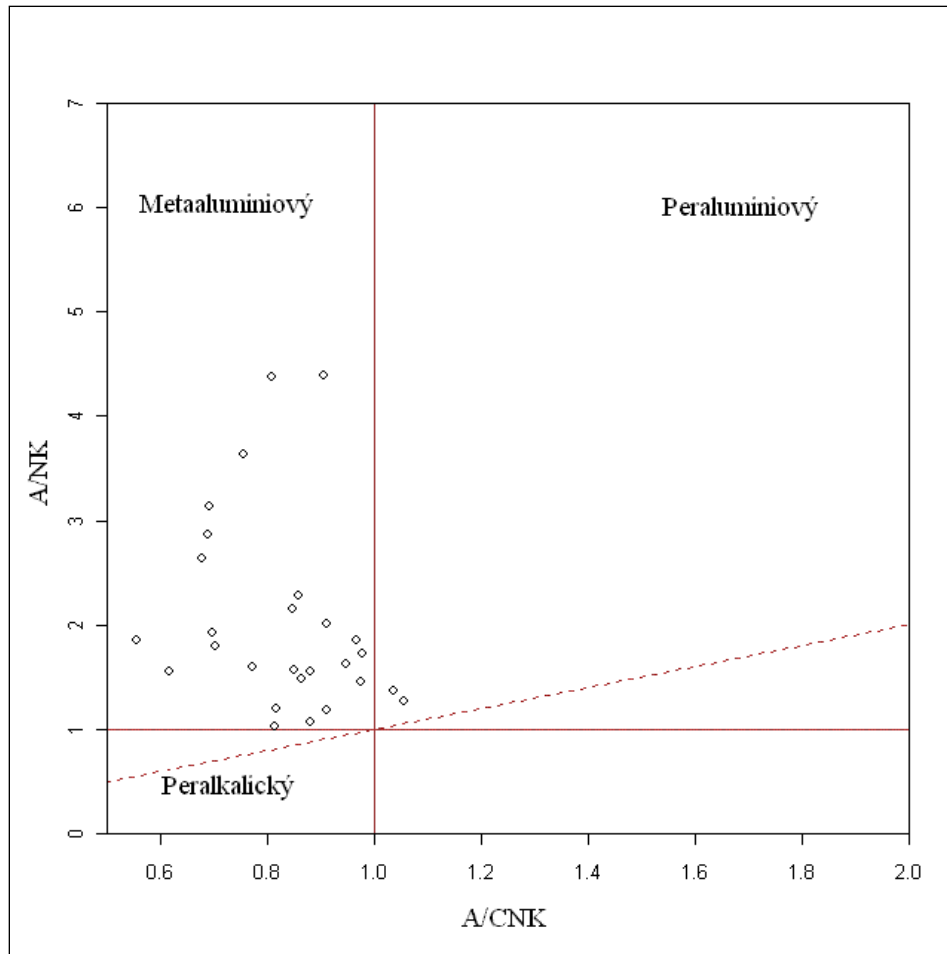
Nenasycené horniny – obsahující nenasycené minerály

- 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 - Al₂O₂ > (Na₂O + K₂O + CaO)
- Mezi normativními minerály se objevuje korund
- V horninách jsou přítomny minerály: muskovit, topaz, turmalín, spessartin-almandin, korund, andalusit a sillimanit.
- Metaluminiové - Al₂O₃ < (Na₂O + K₂O + CaO) ale Al₂O₃ > (Na₂O + K₂O)
- V normě horniny se objevuje anortit
- Typické jsou Al-bohaté minerály, např. biotit, hornblend.
- Subaluminiové - Al₂O₃ = (Na₂O + K₂O)
- Nízký obsah normativního anortitu
- Živce a zástupci živců, pouze minerály s podstatným podílem Al₂O₃.
- Peralkalické - Al₂O₃ < (Na₂O + K₂O)
- V normě se objevuje egirin, sodné a vzácněji draselné silikáty.
- Alkalické ferrohořečnaté minerály jsou běžné, tj. egirin, riebeckit, richerit.

Saturace vybrané skupiny granitoidních hornin



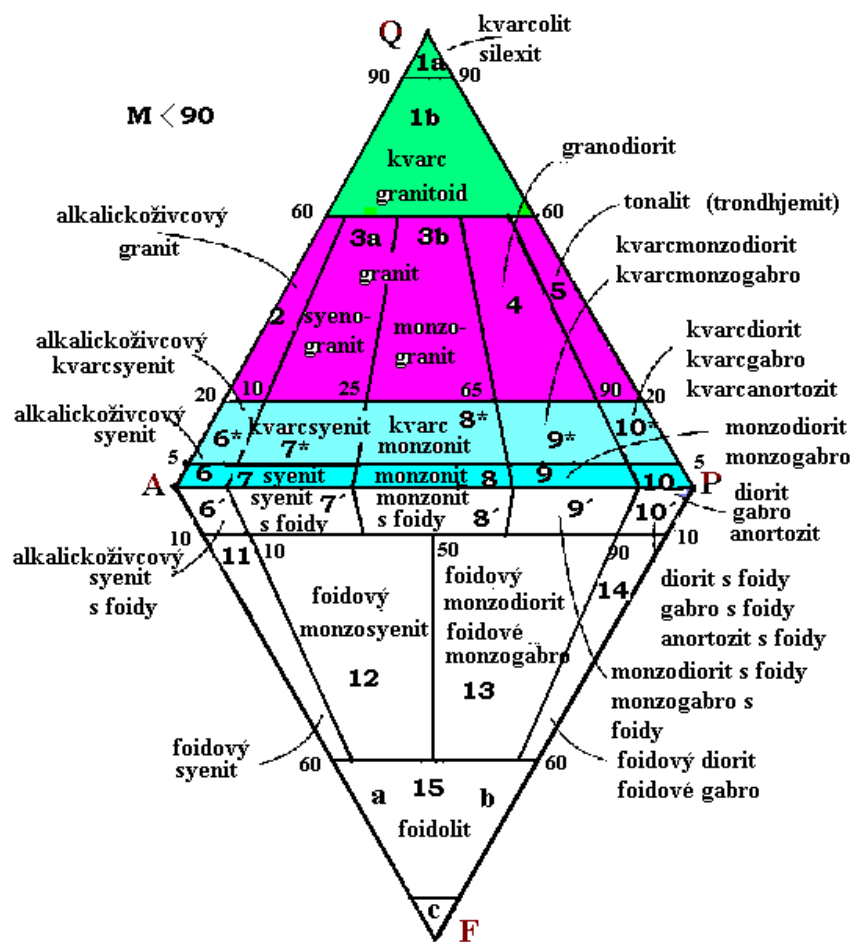
IUGS klasifikace

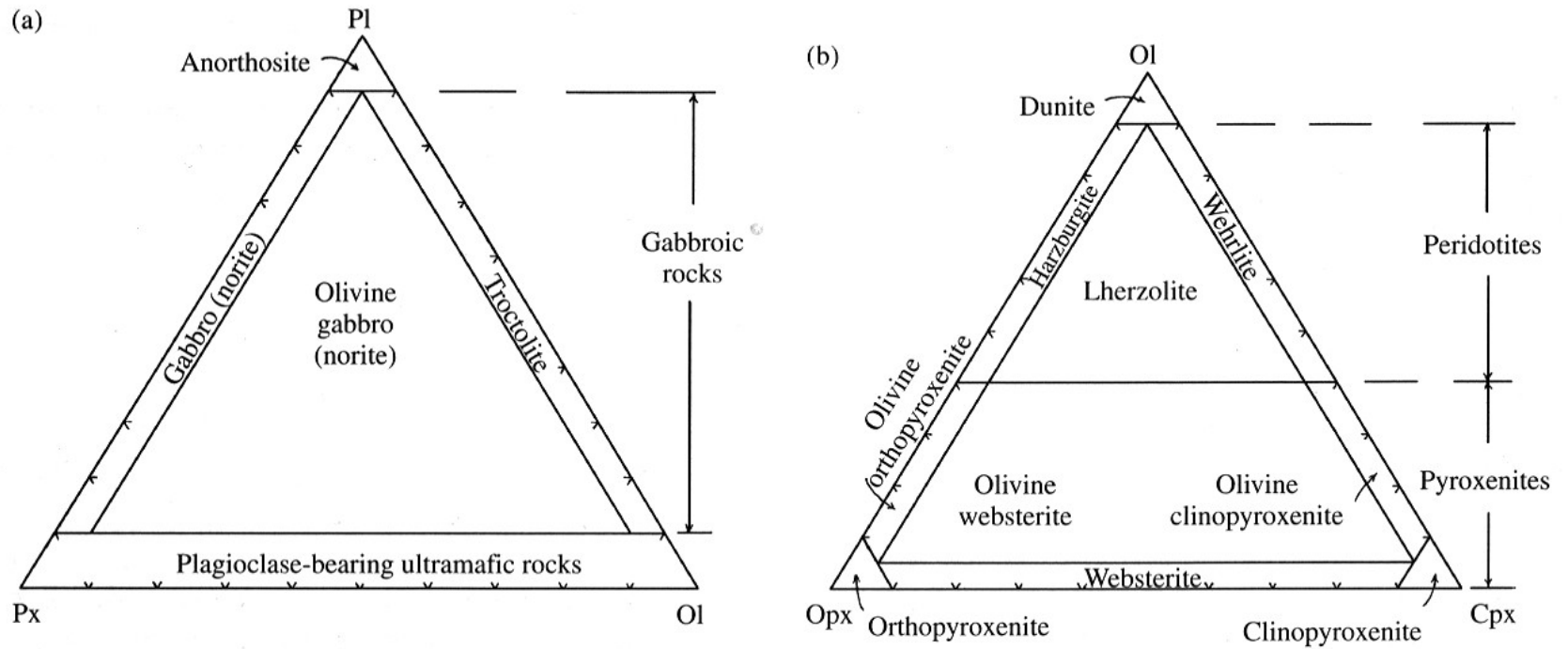
- modální minerální složení (**MODE** – nejvýstižnější znázornění distribuce pomocí minerálů vyjádřené v objemových procentech).
- Planimetrická analýza – způsoby stanovení modu horniny. Čím je hornina hruběji zrnitá tím větší plochu musíme analyzovat

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.

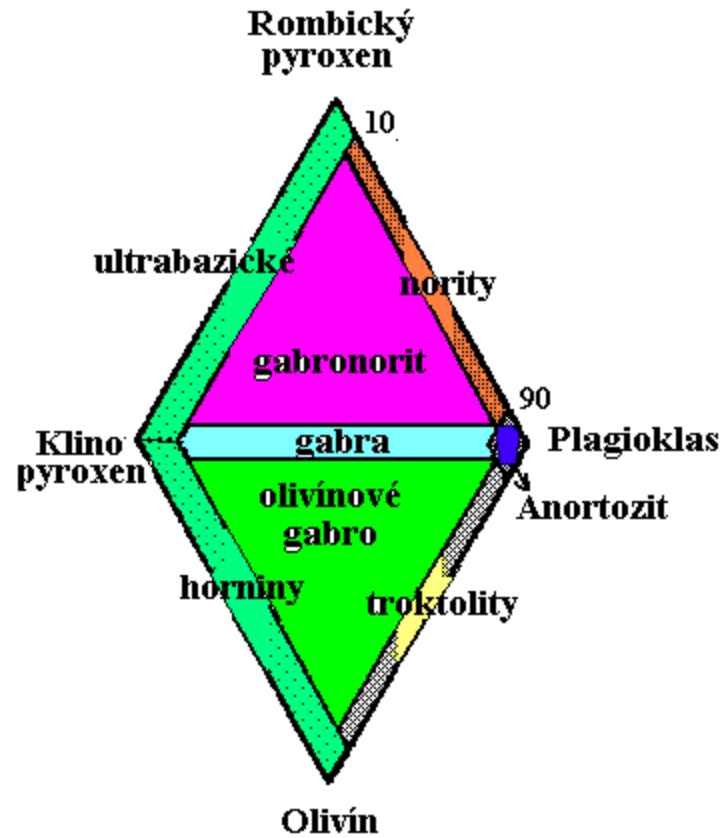
QAPF zdvojený trojúhelníkový diagram pro plutonické horniny





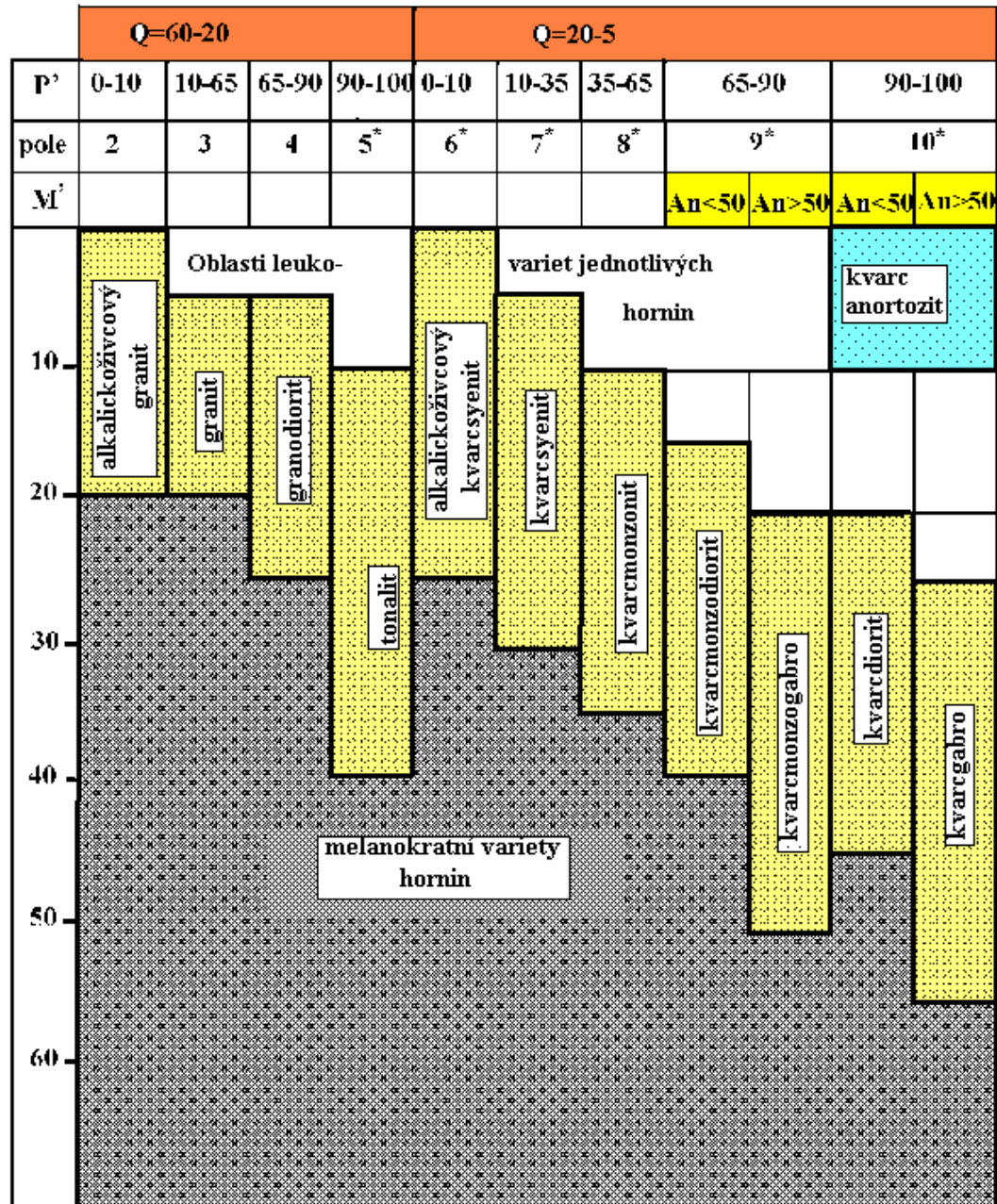
2.10 IUGS classification of phaneritic mafic and ultramafic rock types. (a) Classification of mafic rocks (see gabbro in Figure 2.8 and its caption) based on the proportions of plagioclase, pyroxene, and olivine. **Norite** has more orthopyroxene than clinopyroxene (see Le Maitre, 1989, p. 17, for details). (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

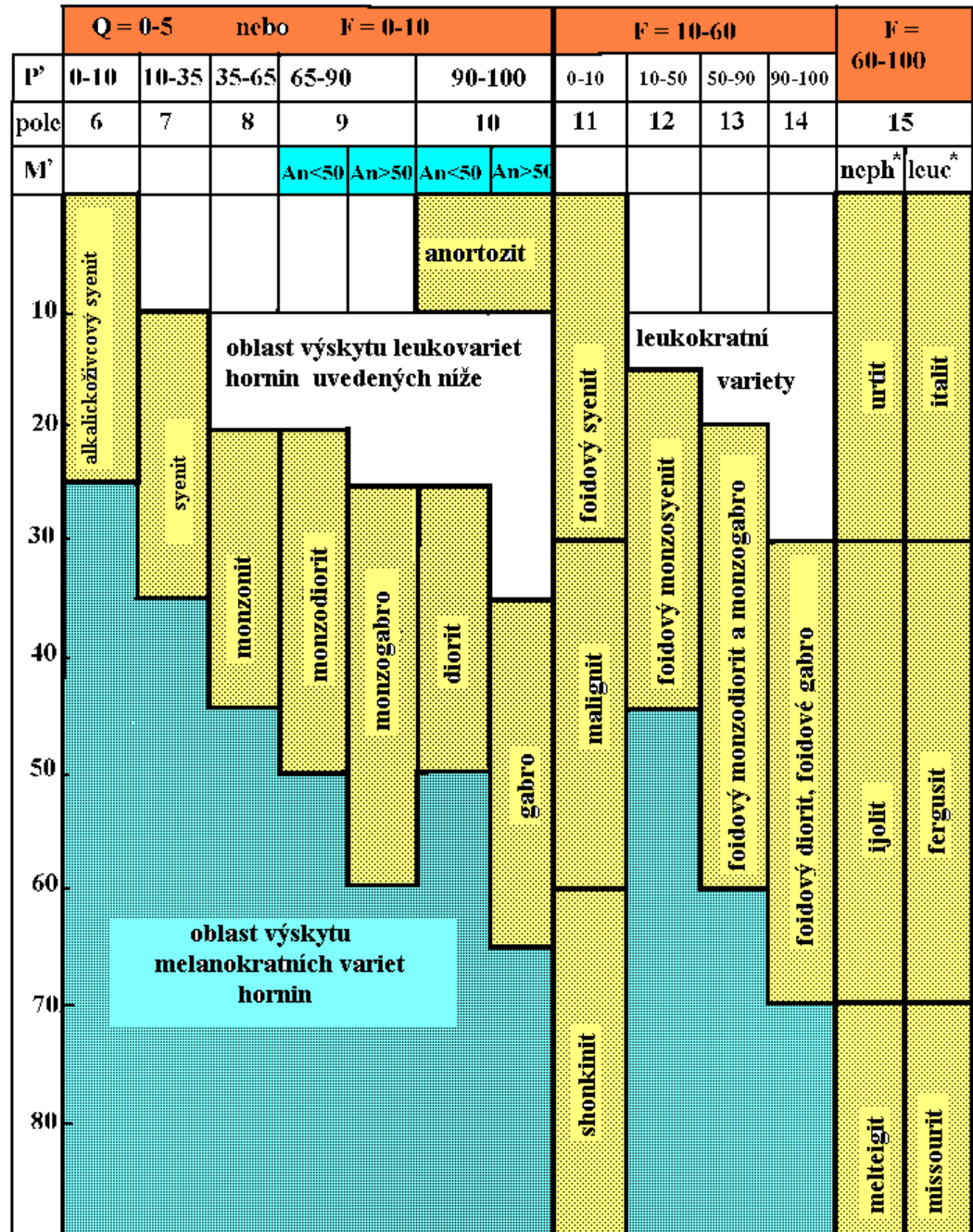


QAPF – číslo

tmavosti:
nasycené SiO₂



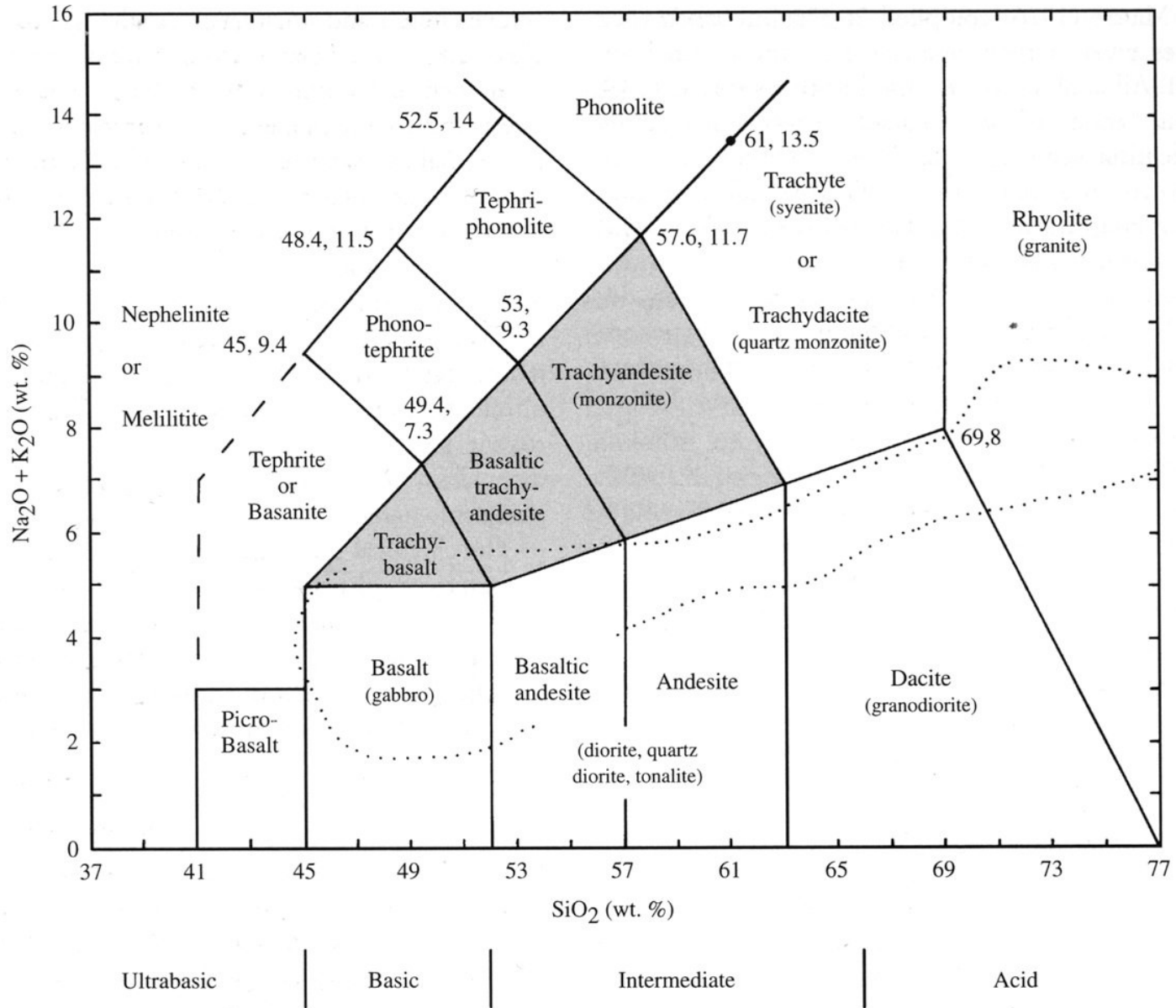
QAPF – číslo tmavosti: podsyčené SiO₂

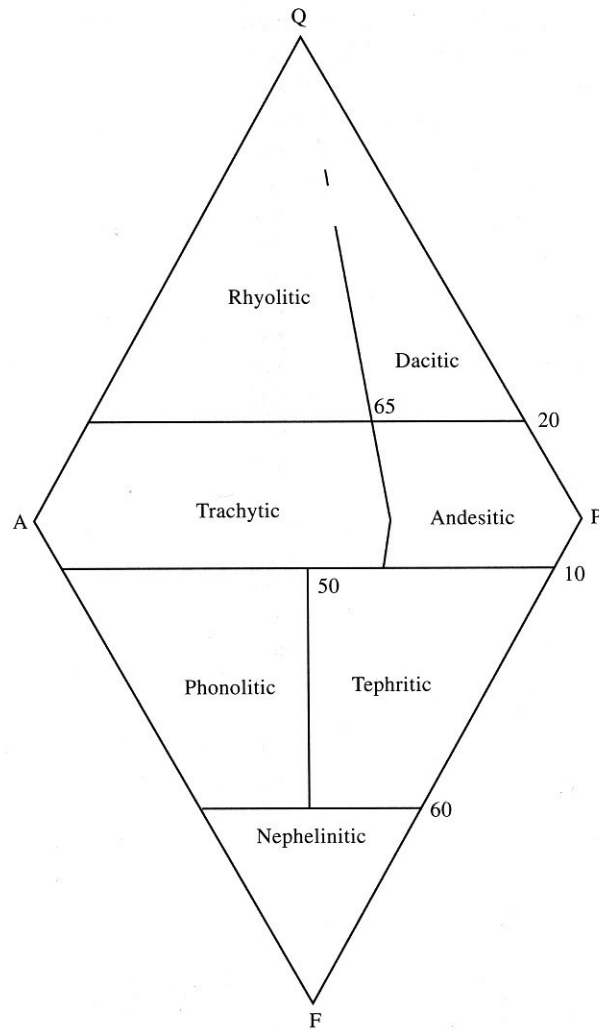


Tabulka 1. Přehled složení vyvřelých hornin

| 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 foiditů ze světých součástí | obsah alk. živec a plagioklasu | | | | | |
| Horniny s křememem (> 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 foiditů | 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) | |
| | alk. živec < < plagioklas (35 – 10 % z živeců) | (křemenný) monzodiorit (s foidy) | | | trachyandezit | |
| při obsahu 0 – 5 % foiditů – ... s foidy) | jen plagioklas (> 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 plagioklas (> 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) |

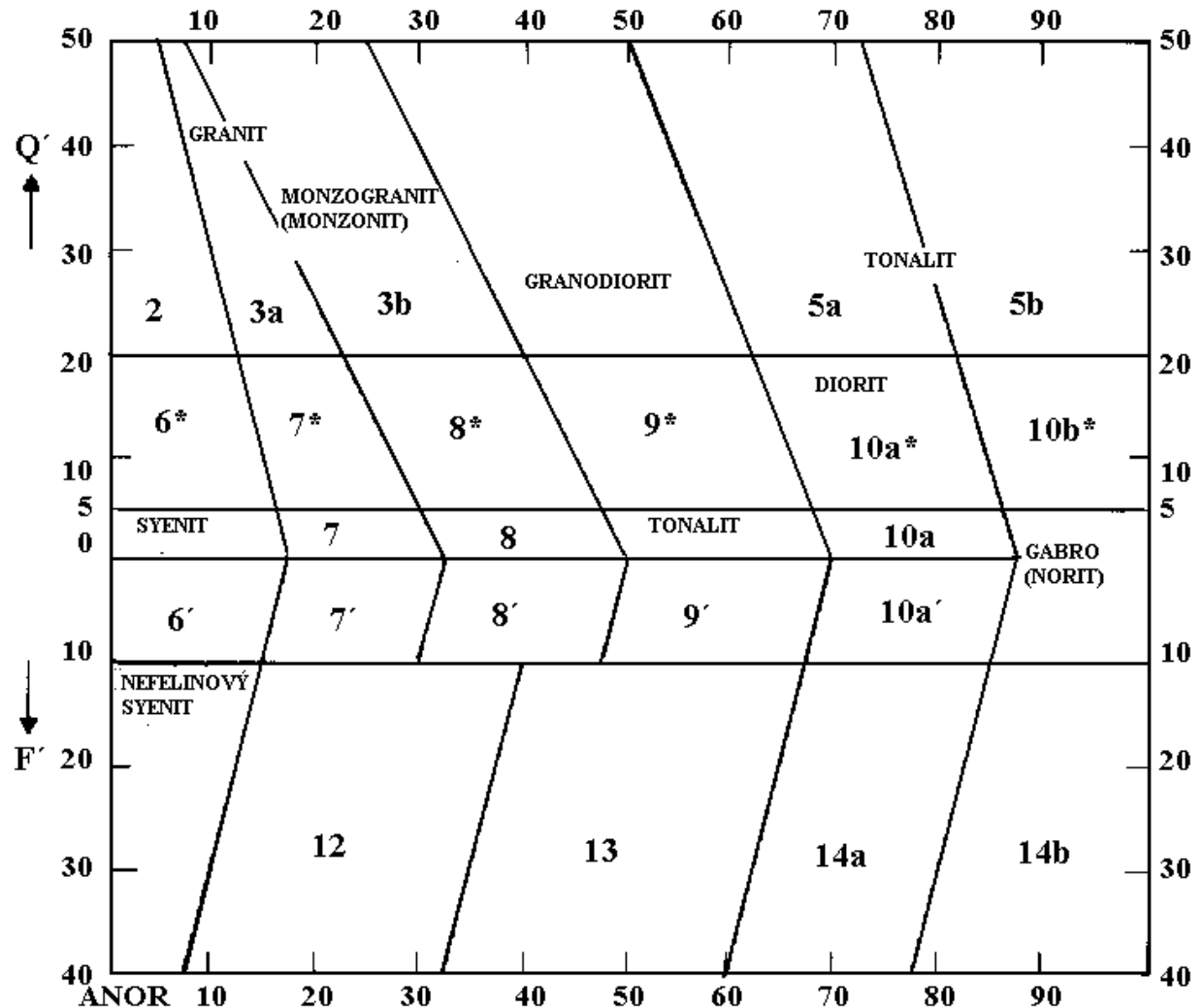




2.13 Preliminary classification of aphanitic and glassy rock types for use in cases in which an accurate chemical analysis is not available. This is a useful classification of rocks in the field or in thin section based upon the proportions of phenocrysts. Some rocks that are chemically rhyolite or dacite (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 přepočítání 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.

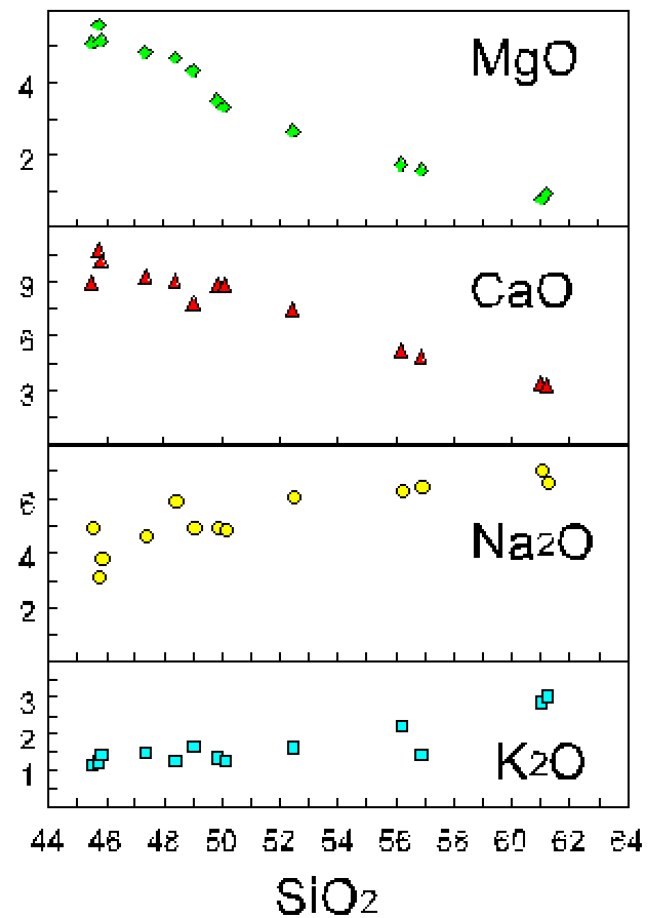
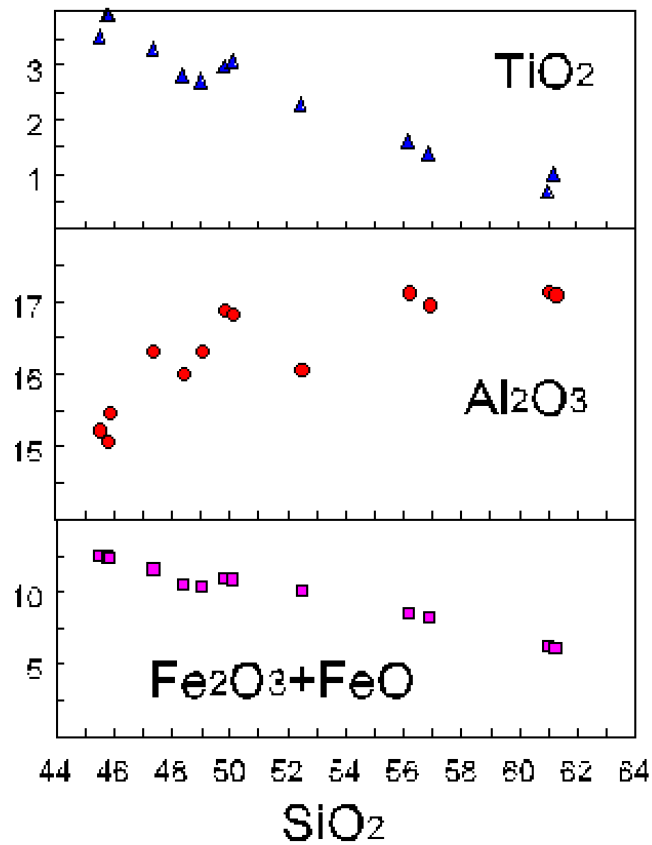
Normativní analýzy (stanovení normativního složení) – norma horniny

- 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 | 6 | 1 | 2 | 3 | 8 | 7 | 8 | 4 | 9 | 10 | 11 | 13 | 12 |

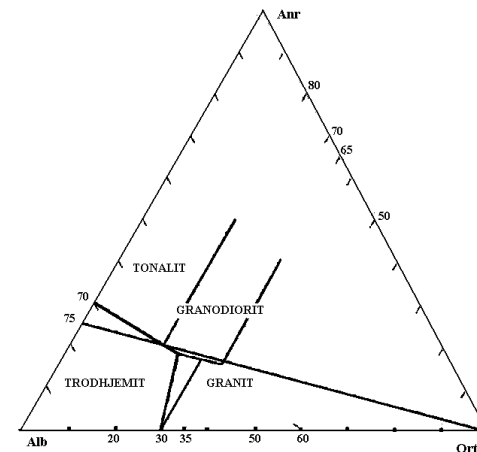
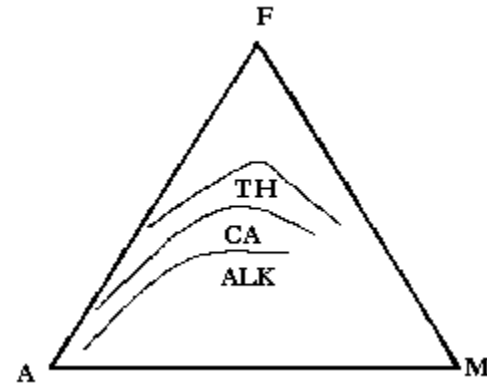


Znaky frakcionace

- 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:
- SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, FeO, CaO, MgO, Na₂O a K₂O;
- v magmatu je přítomna i plynná fáze - H₂O, CO₂, HCl, HF, H₂S, H₂, CO, SO₂, SO₃ a N₂ (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

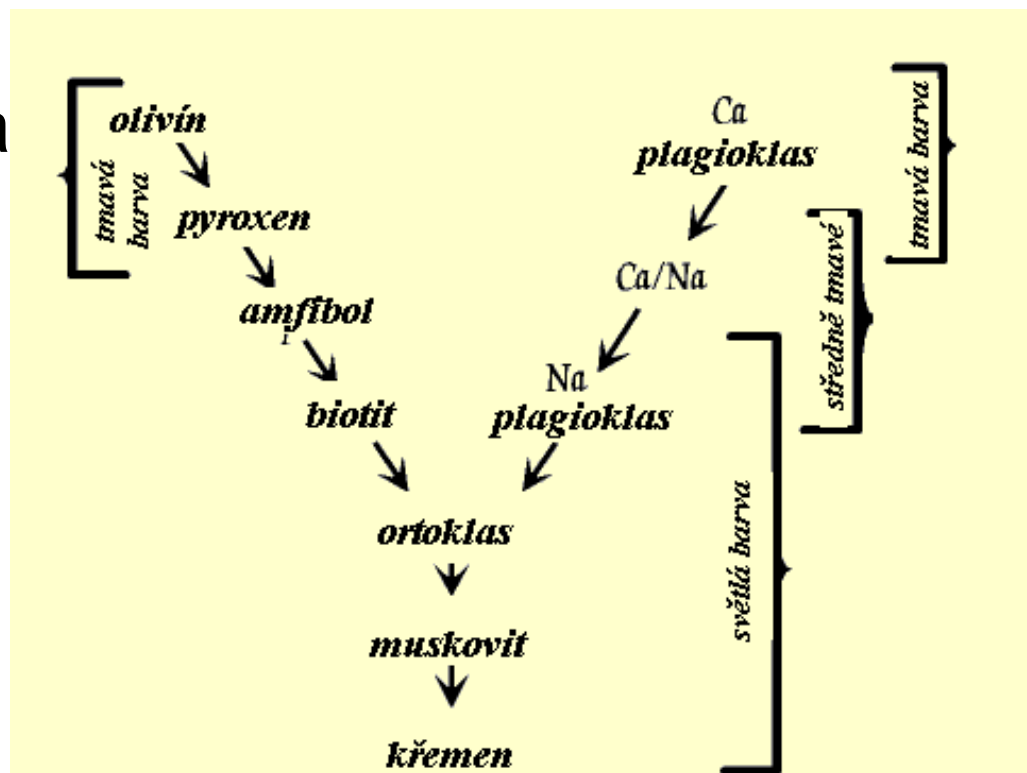
Procesy diferenciacie magmatu

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

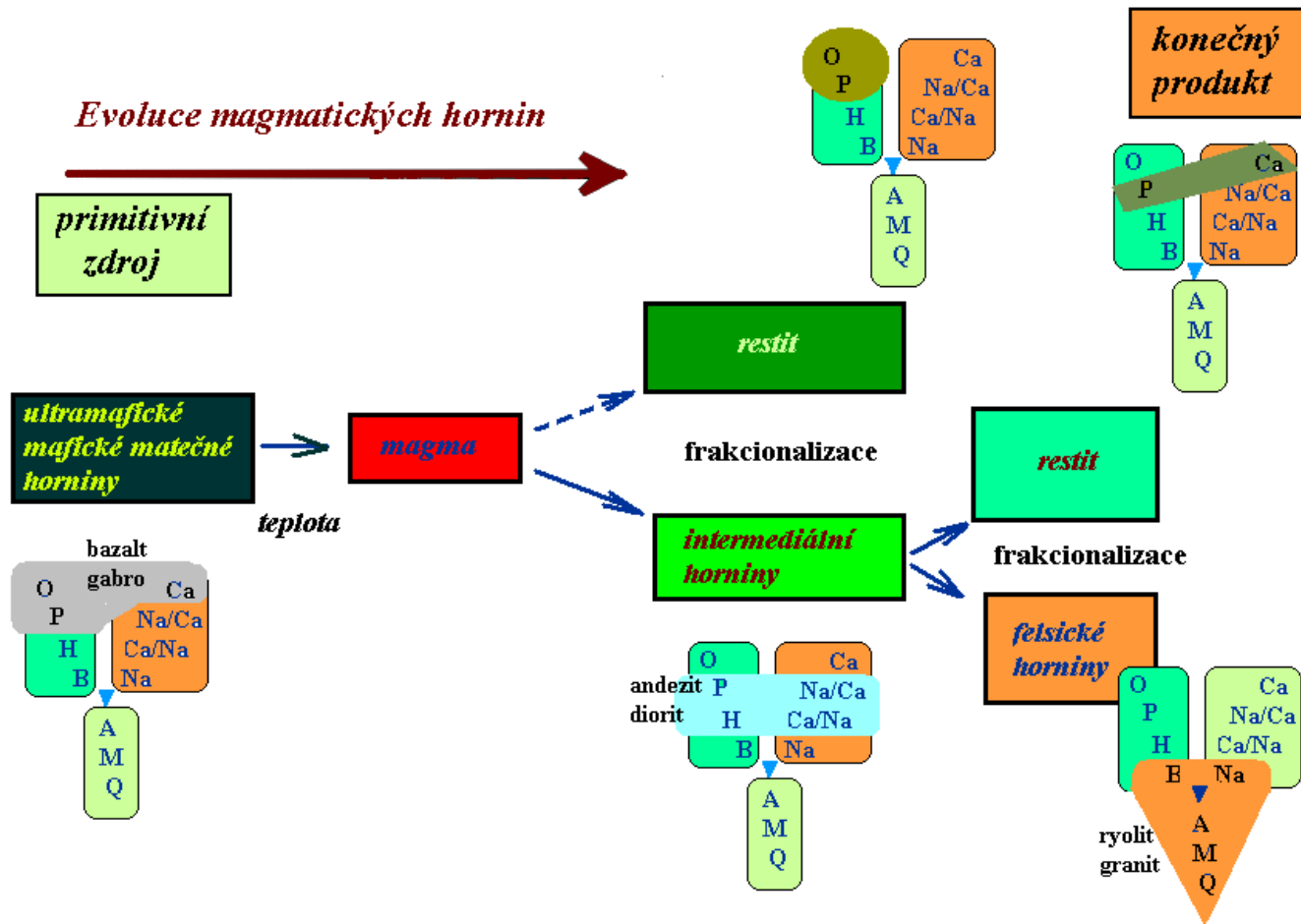
Diferenciacie zahrnuje skupiny procesů, které probíhají v magmatických tělesech a jejichž výsledkem je vznik dvou nebo více magmat, nebo hornin, z jedno homogenního primárního magmatu (zdroje).

Bowenovo krystalizační schema – a navazující

- Kontinuítní a diskontinuítní řada

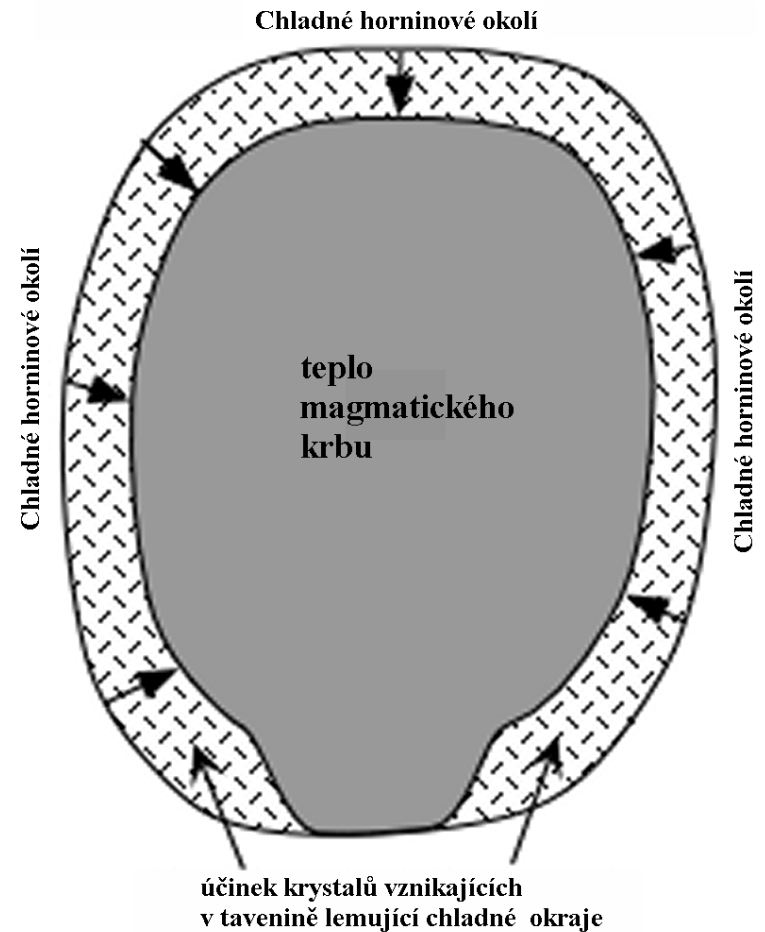


Postupná frakcionace magmatu s uplatněním Bowenova reakčního schématu a příklady odpovídajících frakcí hornin



Difuze a diferenciacie

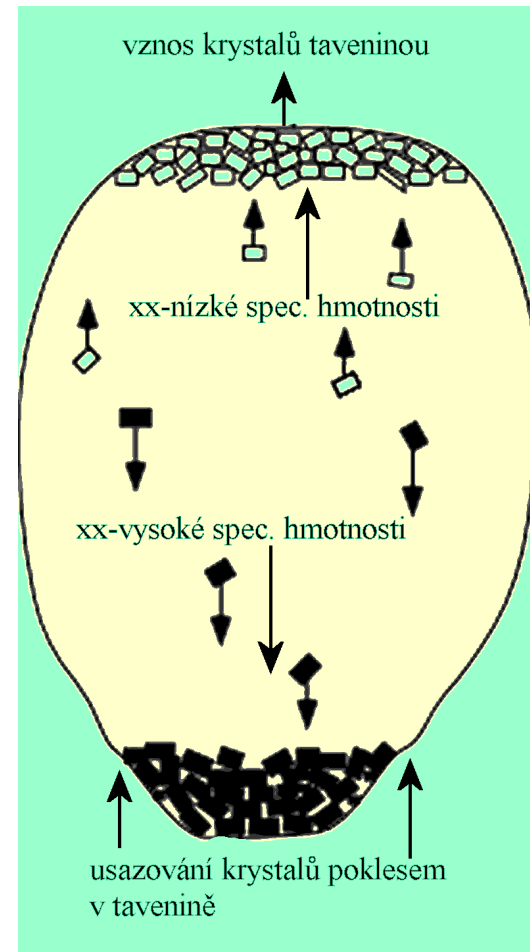
- Diferenciacie magmatu vlivem tepelného proudění – zjednodušený model.
- Migrace prvků vyvolaná změnou teploty - Soretův efekt:
 - koncentrace v různých místech běžných roztoků je závislá na teplotě
 - při ochlazování jen od okrajů musí docházet k difuzi rozpuštěných látek a nakonec k nerovnoměrné koncentraci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

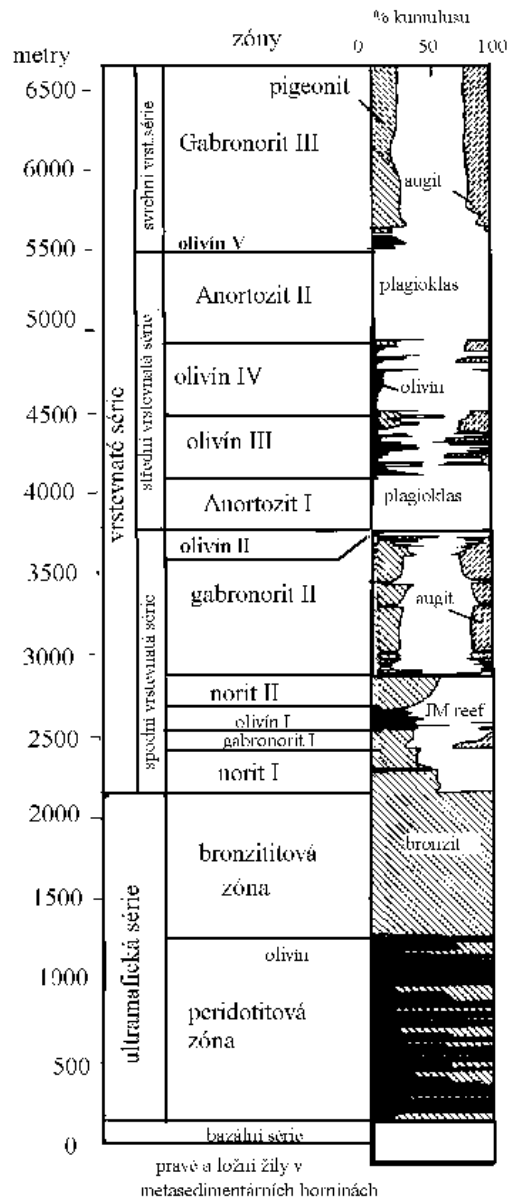


Gravitační diferenciacie

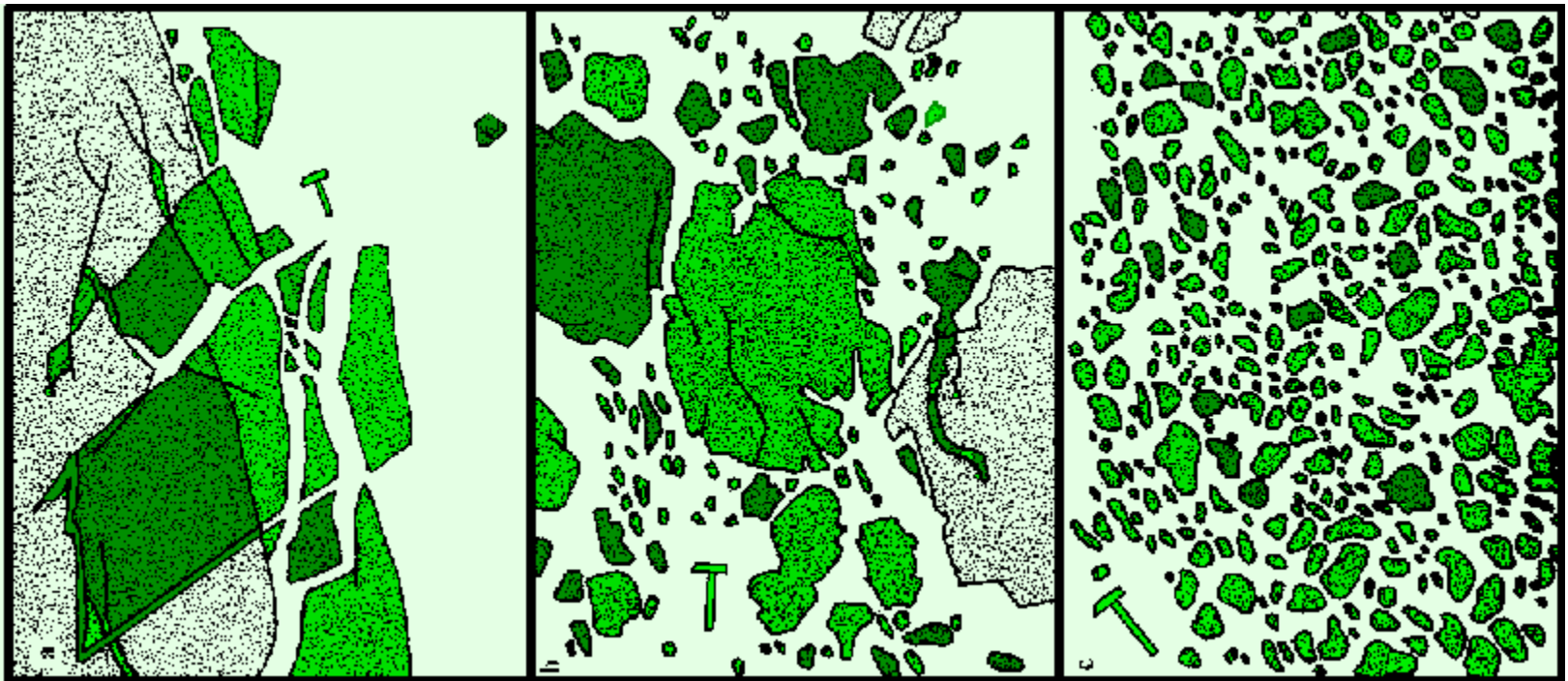
filtrační diferenciacie

- vznikající krystaly mohou být od taveniny odděleny vlivem gravitace - **gravitační diferenciacie**. Při gravitační diferenciaci minerály s vyšší specifickou hmotností
- V případě filtrační diferenciacie 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) |
| 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 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 platobazalty | 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 |
| Viskosita | 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 platů bazaltů (např. platobazalty Columbia River). | |

Teorie deskové tektoniky

