Petrografie pro analytické geochemiky

Magmatické horniny

Jak poznat magmatické horniny?

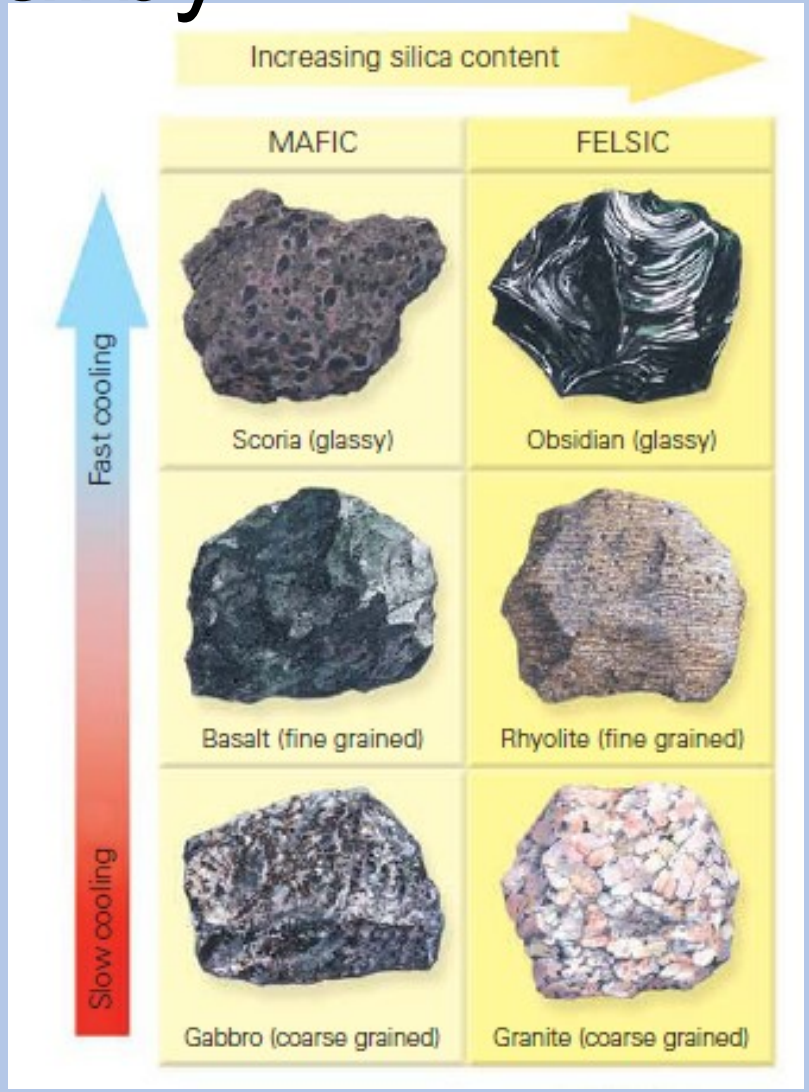
- **Sedimentární** – zkameněliny, vrstevnatost, klastické sedimenty mají viditelné úlomky nebo jsou velmi jemné (jíl), často málo zpevněné, sedimentární struktury (bahenní praskliny, čeřiny apod.)
- **Magmatické** – sklo, bubliny, omezené krystalky, tabulky živců, víceméně všesměrné, nebo usměrněné (dle toku tavenin)
- **Metamorfované** – mají foliaci ≈ břidličnatost (vzniklou deformací), specifické minerály (granát, staurolit, kyanit)

Vyvřeliny podle stavby

Zrnitost – ukazuje na rychlost chladnutí

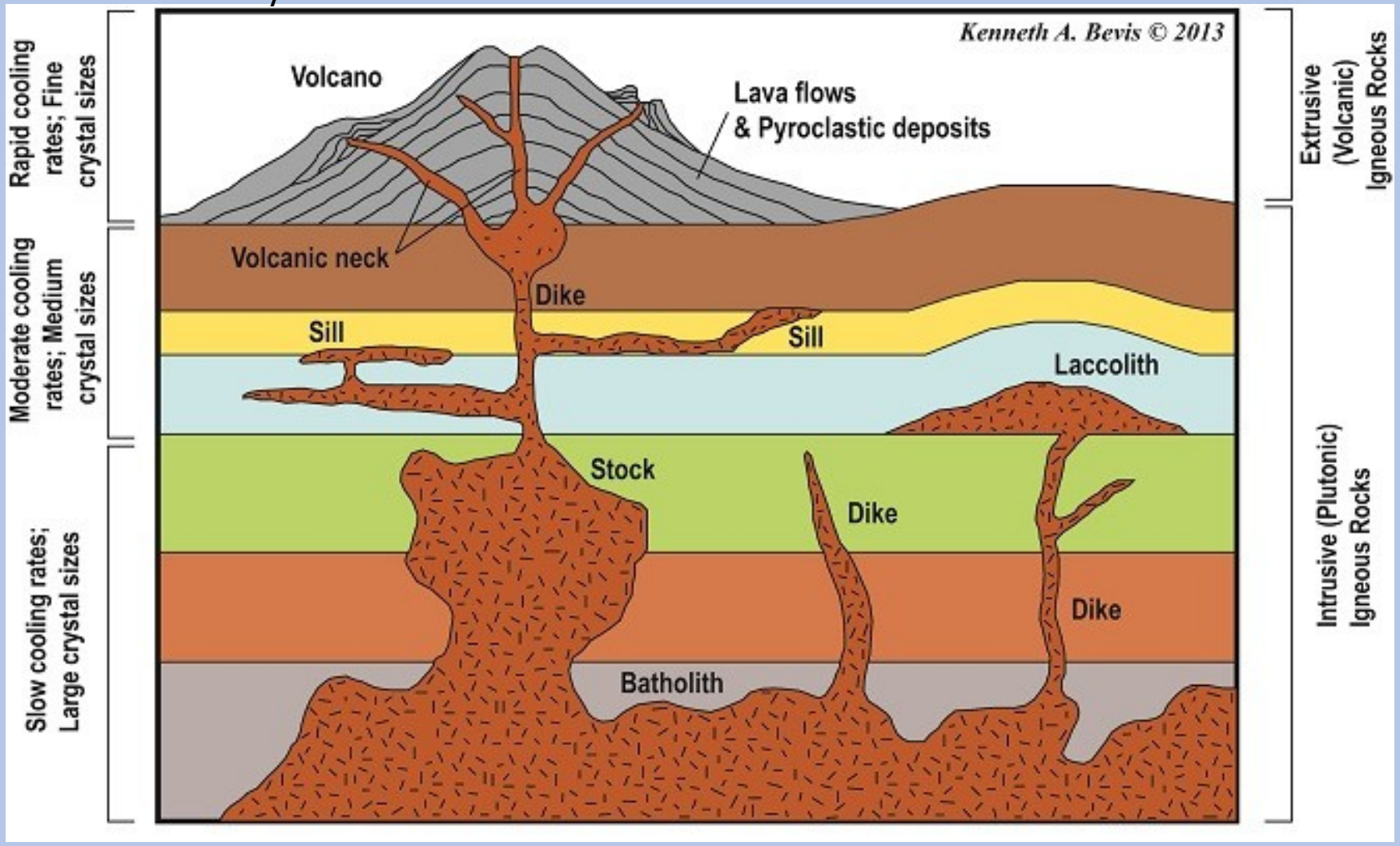
- **Sklo**, struska = super-rychle
- **Jemná** hmota = rychlé chladnutí (vulkanity - výlevné)
- **Hrubá** hmota = pomalé chladnutí (plutonity – hlubinné)

- Velké krystaly v jemnější hmotě = **porfyrická** struktura – nejprve v hloubce pomalu, pak rychleji



Extruzivní a intruzivní magmatické horniny

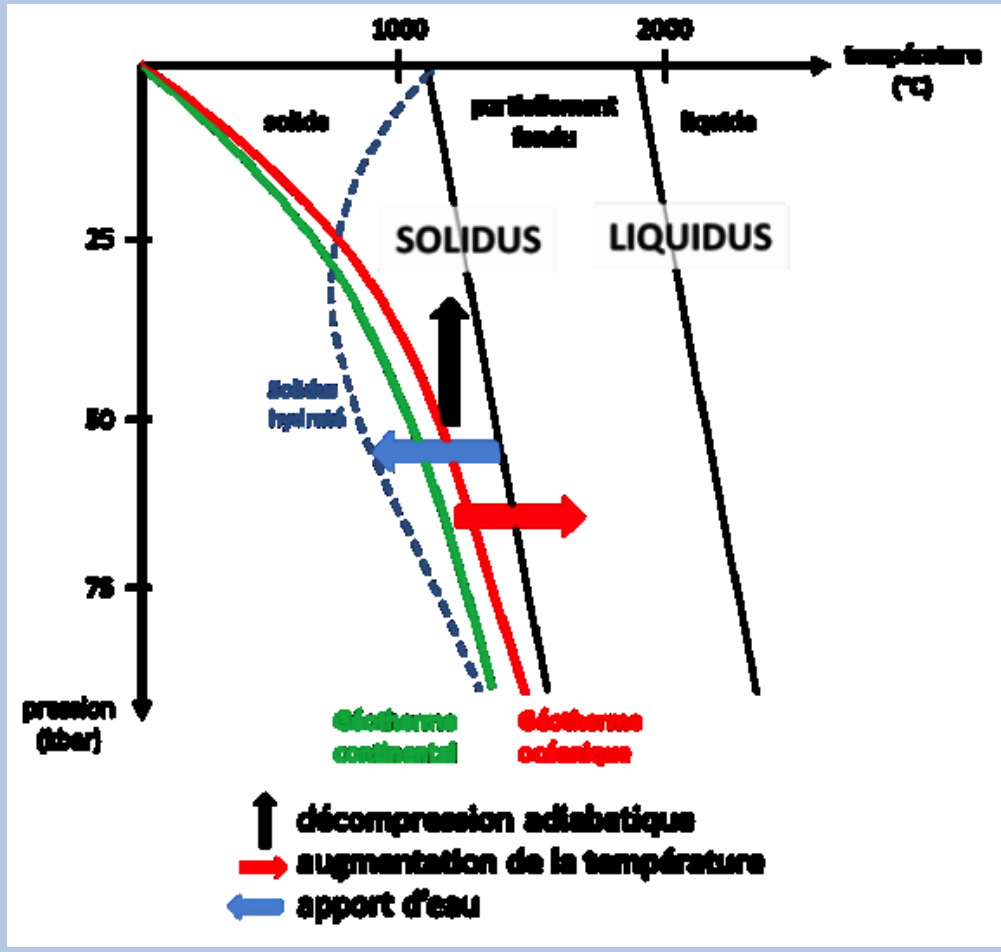
Extruzivní horniny – utuhlá láva a pyroklastika (ukládání vulkanických klastů)
Intruzivní horniny – různá tělesa v závislosti na velikosti a tvaru intruze



Vznik tavenin

Možnosti roztavení

- **Zahřátím** a roztavením –
  - Zasunutím do hloubky a počkáním
  - Intruzí žhavějšího magmatu
- **Snížením tlaku** při stejné teplotě – když horké horniny stoupají nahoru: na riftech, na horkých skvrnách
- **Přidáním tavidla** (vody, CO_2, sodíku) – na subdukčních zónách
- **Dehydratační tavení** – napr. metamorfóza pelitů (kolize kontinent – kontinent; subdukce oceán-kontinent)

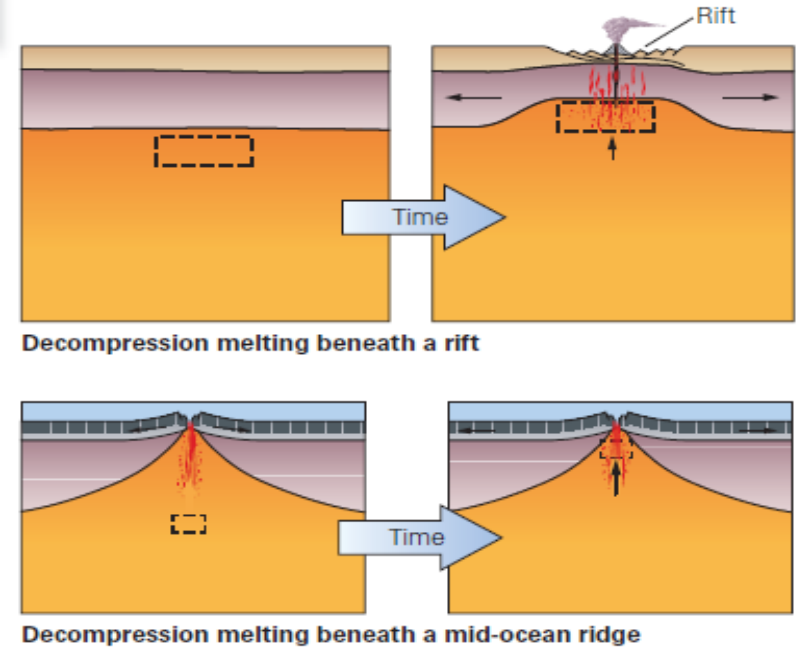


Pozice suchého a vlhkého solidu a liquidu a možnosti tavení plášťě (peridotitů)

Vznik tavenin

Výzdvih (dekomprese)

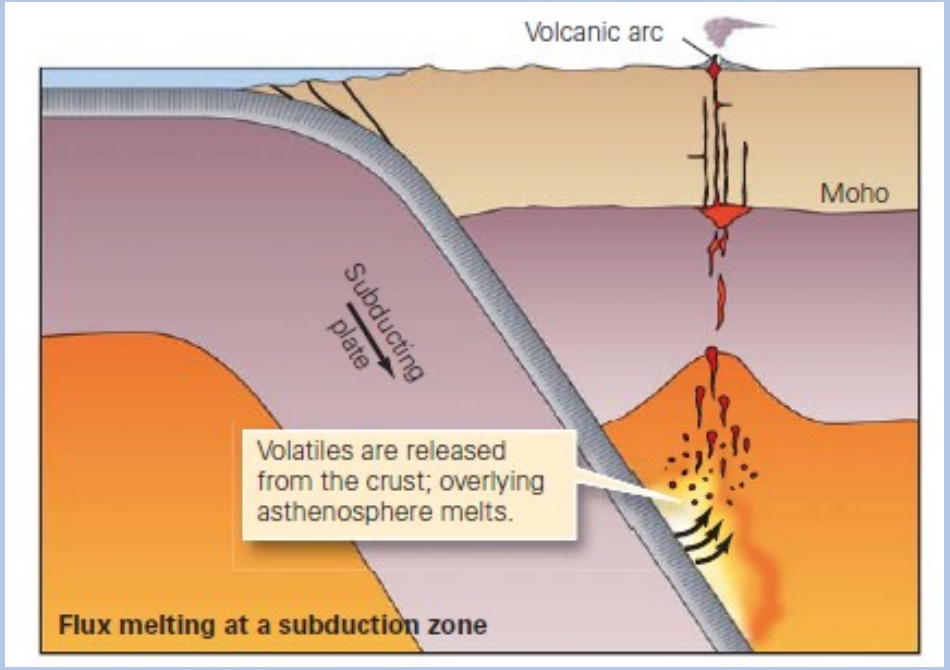
Kontinentální rift



Oceánský rift

Přidání tavidla
+ intruze žhavější taveniny

Subdukční zóna oceán-kontinent



Vznik tavenin

Dehydratační tavení hornin (nejčastěji metapelitů) - kolize kontinent-kontinent (při metamorfóze – amfibolitová/granulitová facie a tavení hornin) a
subdukce oceán – kontinent (facie modrých břidlic/eklogitová – tavení subdukované oceánské kůry

Dehydratační tavení metapelitů

Protože v metapelitech (amfibolitová/granulitová facie), v nichž dochází k natavení, množství fluid v hornině nízké, je nutná pro tavení přítomnost minerálu se zvýšeným obsahem vody, většinou slíd.

Např. reakce v subsolidu při metamorfóze hornin s biotitem (biotit zaniká) uvolňuje vodu

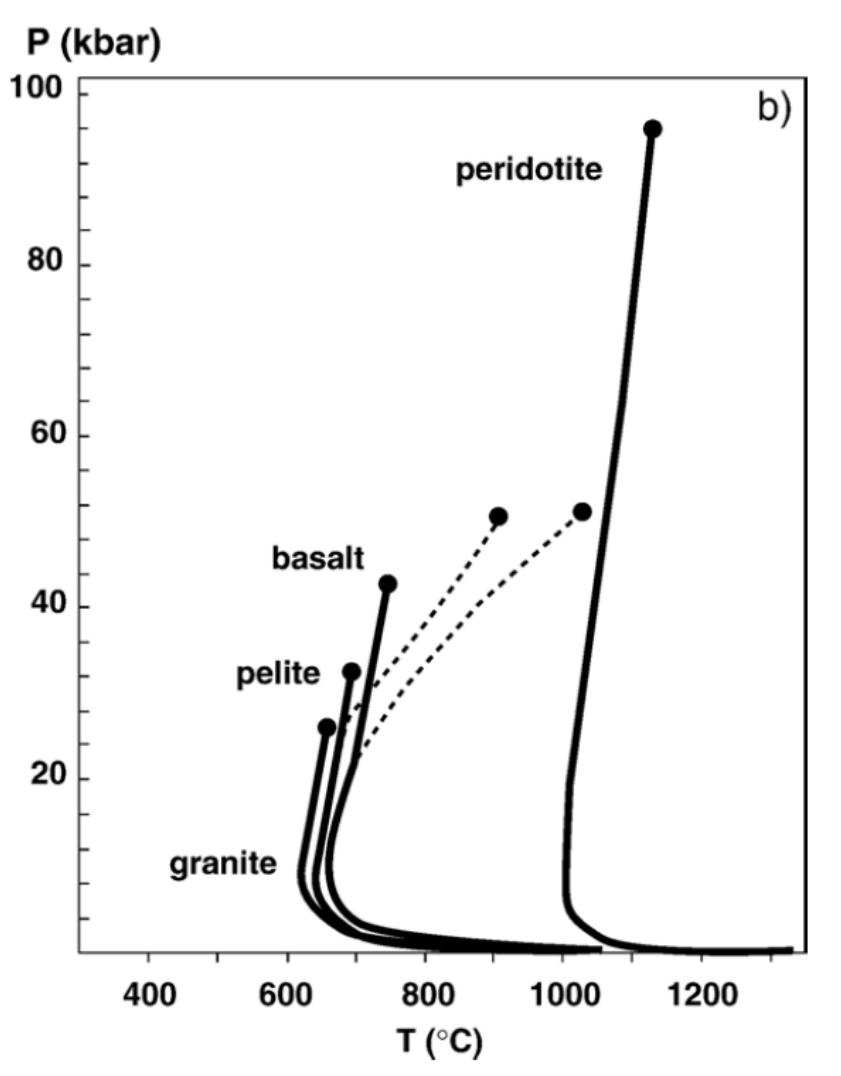
$$Qz + Bt + Ab = Kfs + Opx + H_2O$$

V metapelitu může vznikat 30-60 % taveniny při teplotě 800-900 °C a tlaku asi 7 kbar, metadroby vyžadují pro efektivní tavení asi o 100 ° vyšší teploty.

Granát, ortopyroxen, cordierit a spinel jsou typické produkty natavení (tzv. restit, zbytek po tavení) a tak vznikají Al bohaté granulity a tavenina (v případě tavení metapelitů kyselá).

Při dehydratačním tavení oceánské kůry – uvolnění vody z epidotu, amfibolu, antigoritu (serp, sk)

Vznik tavenin



Křivky vlhkého solidu pro různé typy hornin

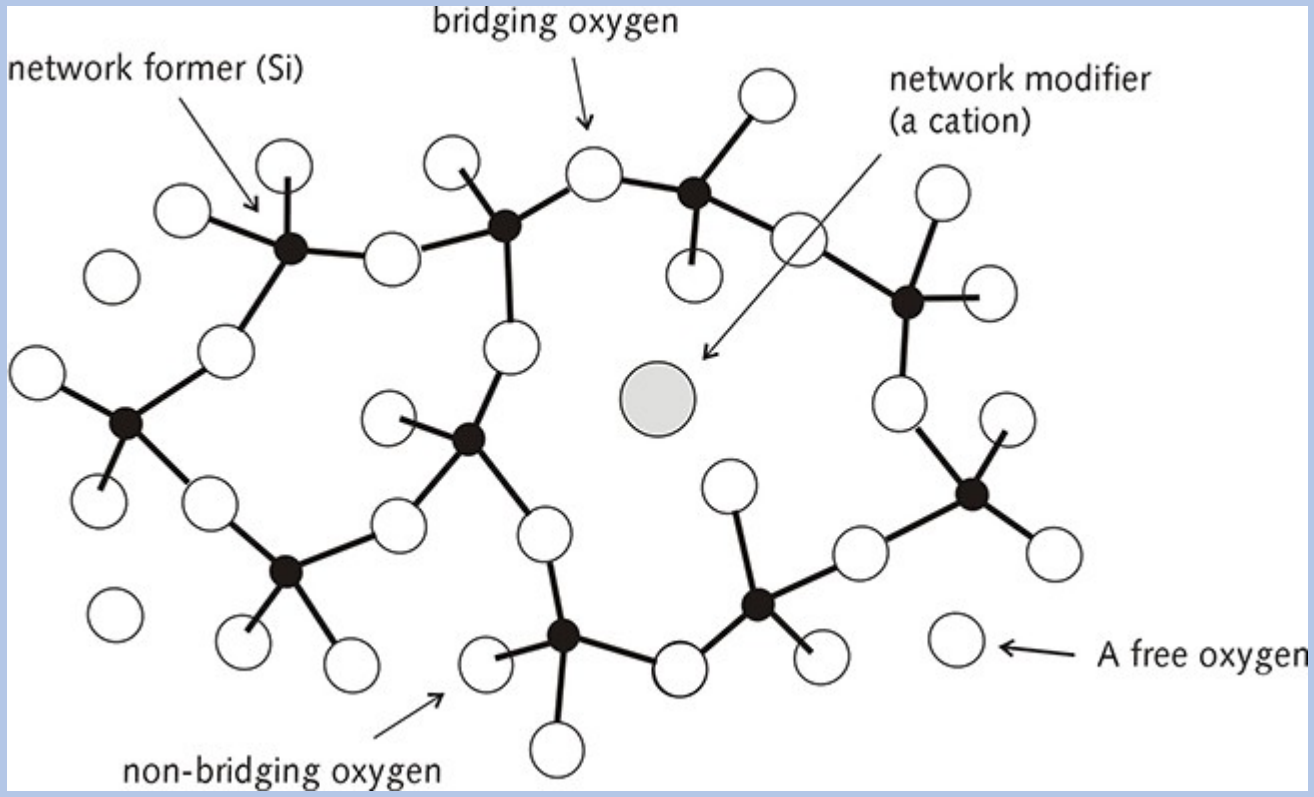
Bazická magmata vznikají tavením pláště (peridotitu). Teplota tavení pláště je vysoká.

Felsická magmata vznikají parciálním tavením korových hornin,
nebo frakcionačními procesy z magmat bazických (pocházejících z pláště).

V zemské kůře lze nejsnáze tavit některé metasedimenty (metapelitového a metadrobového složení) a křemen-živcové horniny (např. granit, arkóza), za vyšších teplot i horniny mafické (bazalt).

Struktura silikátové taveniny

Struktura silikátové taveniny je blízká silikátům, tvořená 3D sítí spojených tetraedrů SiO_4^{4-}. Ovšem struktura taveniny je více neuspořádaná.



Viskozita magmatu

Vliv PT

Rostoucí T napomáhá depolymerizaci silikátové taveniny (rostoucí kinetická en. atomů usnadňuje rozbití vazeb). Teplejší magma je více depolymerizované, méně viskózní. Pokles teploty má obrácený efekt. Rostoucí P napomáhá polymerizaci silikátové taveniny, při stlačování vznikají nové vazby. Rostoucí tlak zvyšuje viskozitu magmatu.

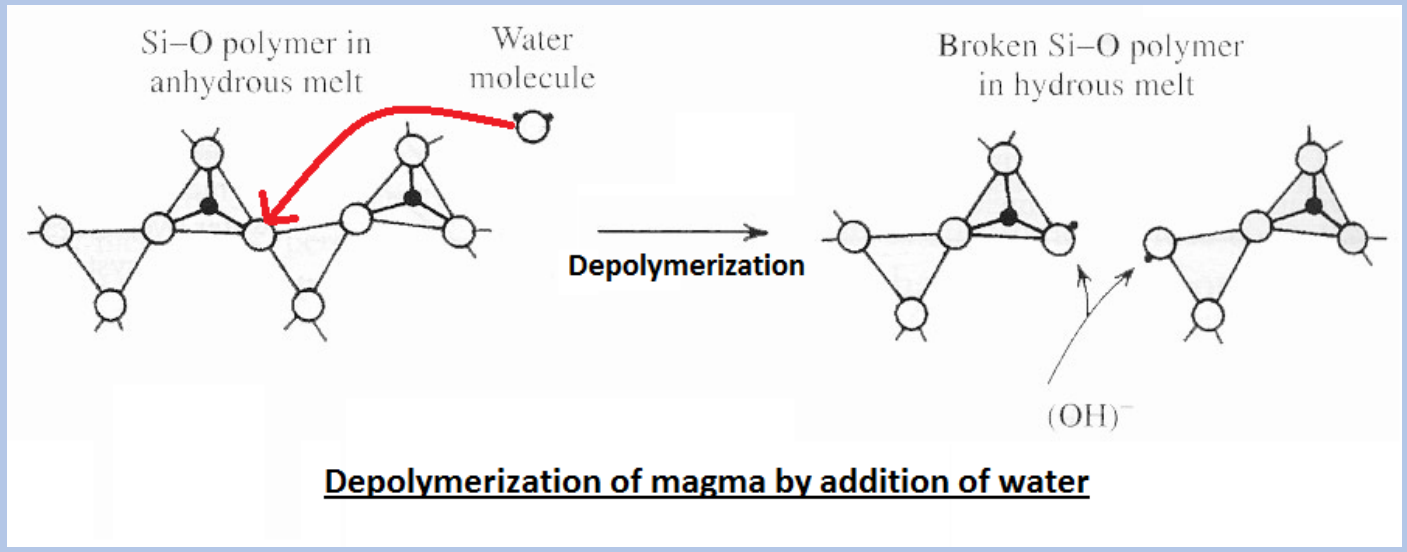
Obsah SiO2

rostoucí obsah SiO2 vyšuje polymerizaci taveniny, protože je dostupných více tetraedrů SiO_4^{4-} , které tuto síť budují. Kyselá magmata jsou viskóznější než bazická magmata.

Volatilie

Volatilie jako CO_2 a H_2O (F, Cl) jsou velice důležité, snižují teplotu tavení.

Rozpouštění H_2O v silikátové tavenině vede k rozbití silikátové sítě (vznik OH molecul, kde se H naváže na kyslík) a způsobuje depolymerizaci taveniny. Vede tedy ke snížení viskozity.



Depolymerization of magma by addition of water

Viskozita magmatu

Kyselé magma (hodně SiO_2)

- Viskózní, neteče
- Aby teklo, musí se dodat voda
- Při poklesu tlaku klesá rozpustnost vody v tavenině, voda utíká, láva rychle zvyšuje viskozitu a bouchá; vede k silným explozím
- Typicky cirkumpacifický pás
- Vznik kyselých plutonických (v hloubce) a vulkanických hornin, tufů a skla (na povrchu)

Bazické magma (málo SiO_2)

- Tekuté, teče rychle
- Obsahuje dost tavidel (vody)
- Riftové zóny, hot spots (Hawajské ostrovy, Island)
- Vznik bazických plutonických (v hloubce) a vulkanických hornin a skla (na povrchu)
- Magma bazické derivované tavením pláště

Klasifikace magmatických hornin

Hlavní typy magmatických hornin

Nejjednodušší klasifikace magmatických hornin založená na obsahu SiO_2 v hornině.

Weight % of SiO_2	Plutonic rock type	Volcanic rock equivalent
45-53	Gabbro	Basalt
53-63	Diorite	Andesite
63-68	Granodiorite	Dacite
68-75	Granite	Rhyolite

Kombinovaná klasifikace na základě chemického složení a mineralogických parametrů:

- **felsické** m.h. - vysoký obsah SiO_2, > 63% SiO_2, granit, granodiorit/ryolit, dacit
- **intermediální** m.h. – obsah SiO_2 52 – 63%, diorit/andesit
- **mafické** m.h. – nízký obsah SiO_2 45 – 52% a vysoký obsah Fe a Mg; gabro/bazalt
- **ultramafické** m.h. – méně než 45% SiO_2; peridotit/pikrit, komatiit
- **alkalické** m.h. – vysoký obsah alkálií 5 – 15% $K_2O + Na_2O$ nebo a molární poměr alkálií ku křemíku větší než 1:6.

Klasifikace magmatických hornin

Chemical classification also extends to differentiating rocks which are chemically similar:

- Ultrapotassic/vysoce draselné; horniny s molárním poměrem K_2O/Na_2O >3

- Peralkaline/peralkalické; horniny s molárním poměrem $(K_2O + Na_2O)/ Al_2O_3$ >1
- Peraluminous/peraluminózní; horniny s molárním poměrem $(K_2O + Na_2O)/ Al_2O_3$ <1

Vyvřeliny podle složení

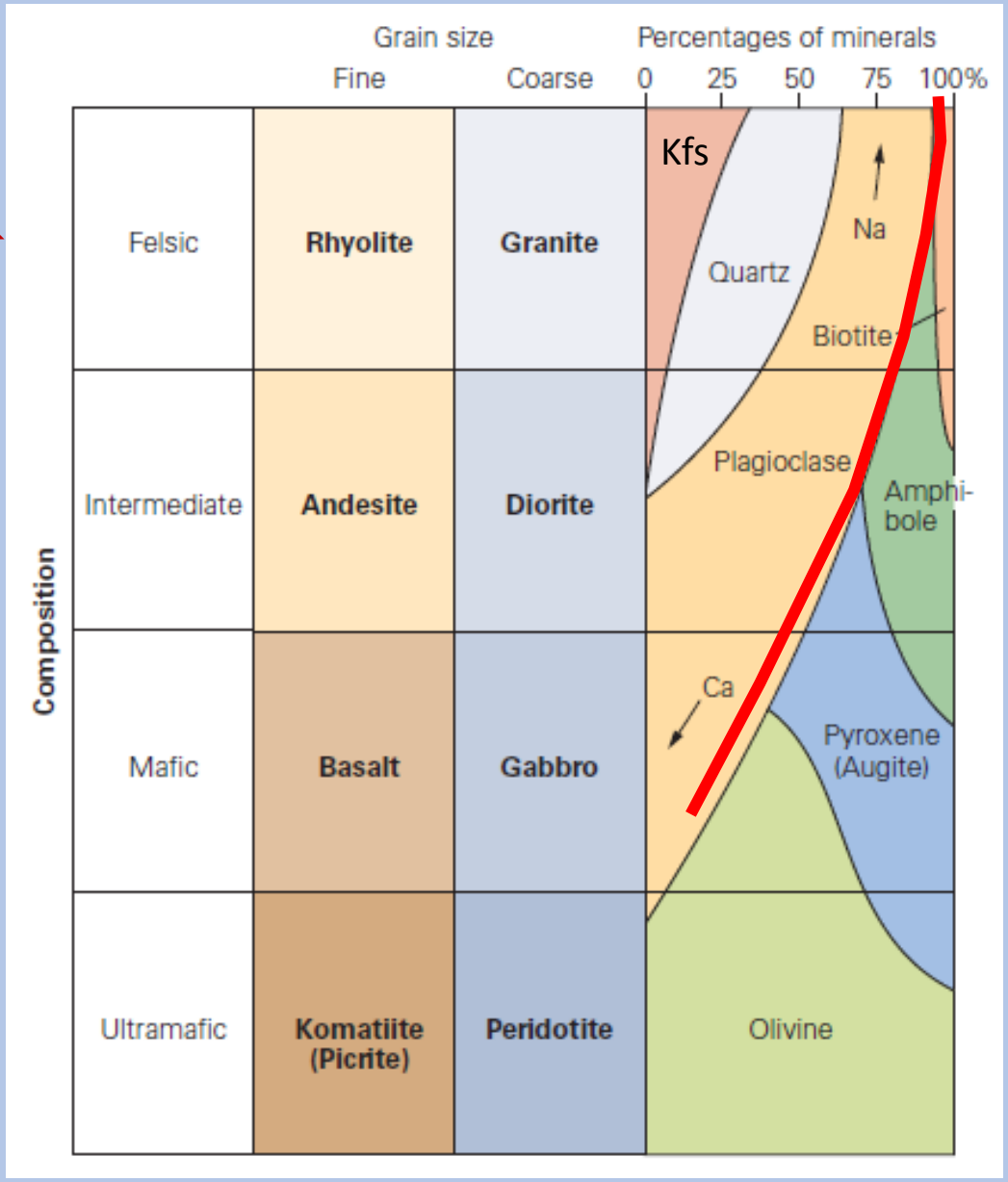
Minerály tmavé = mafické

zabarvené Fe

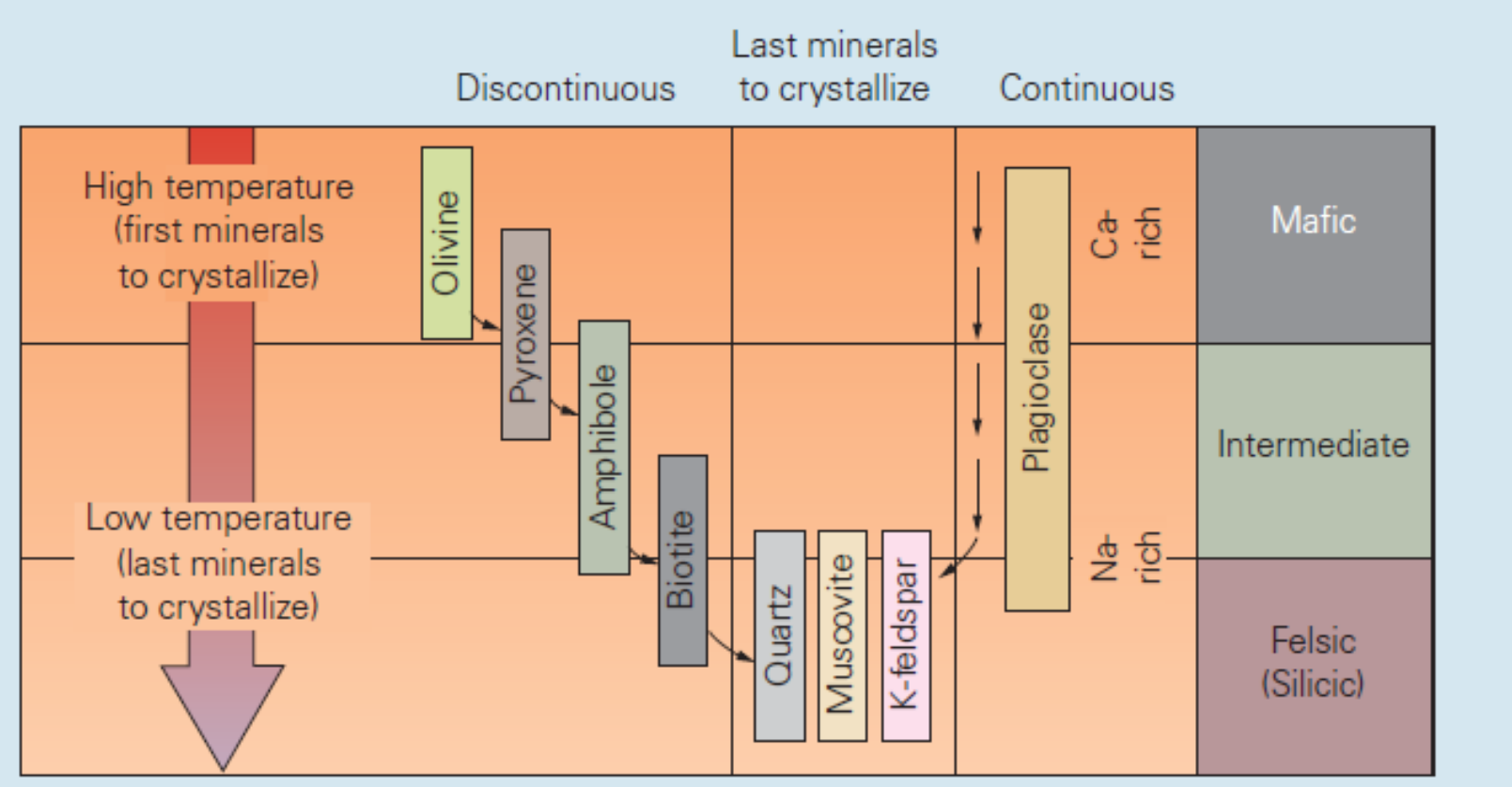
Minerály světlé = felzické

ionty K-Na-Ca-Mg-Al-Si-O jsou bez barvy

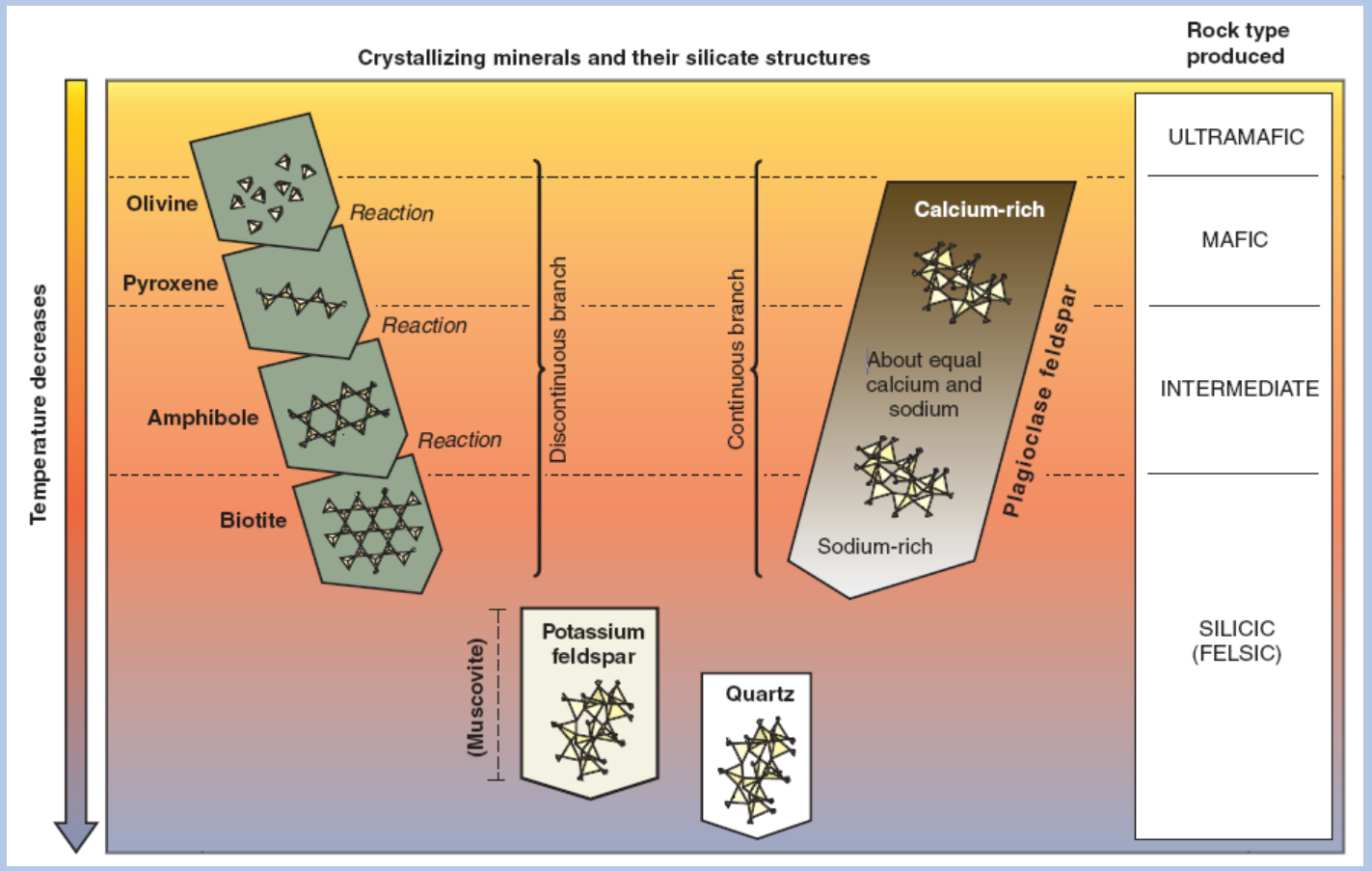
Stoupá obsah SiO_2



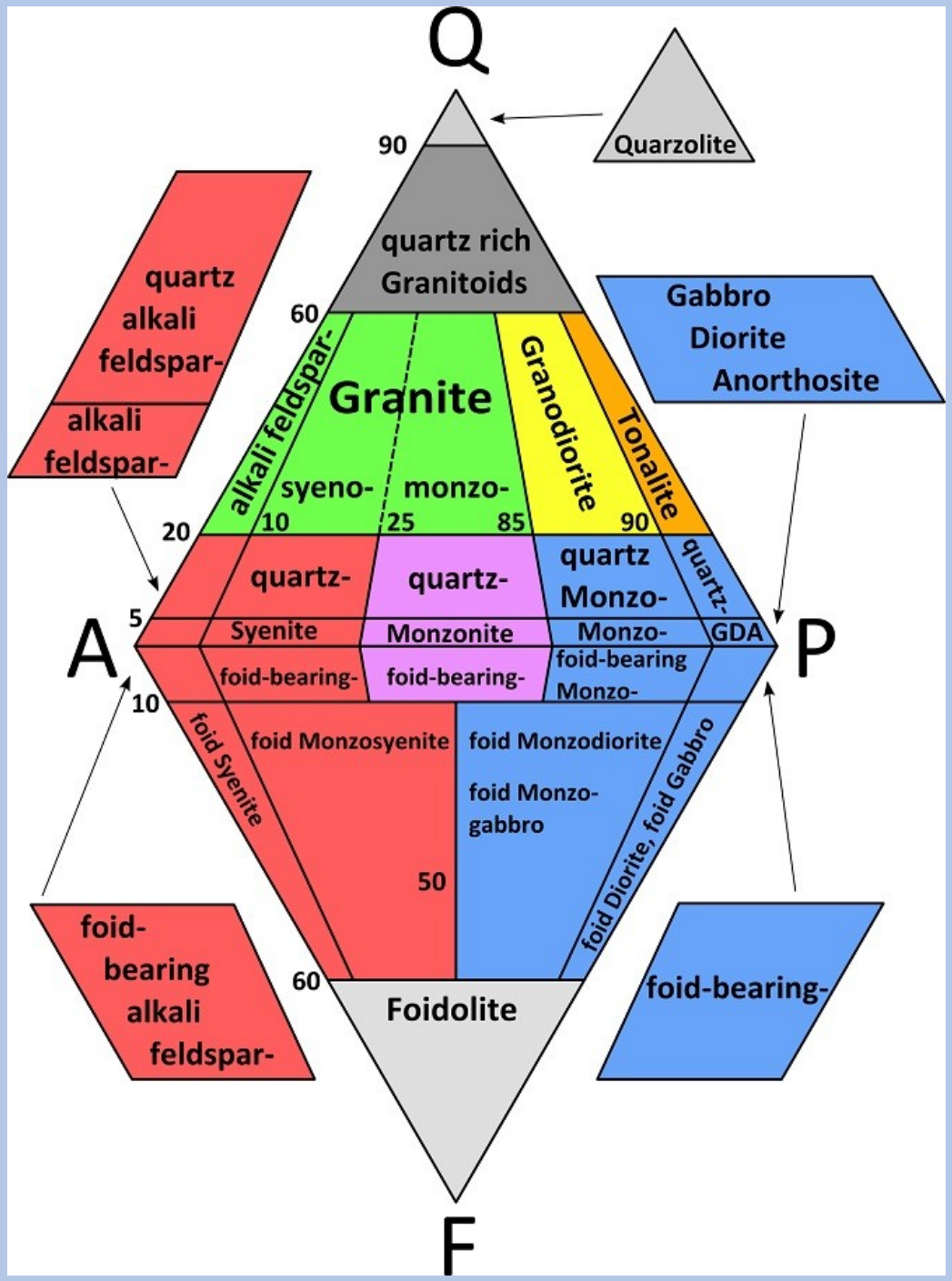
Krystalizace z magmatu – Bowenovo schéma



Krystalizace z magmatu – Bowenovo schéma



QAPF diagram pro plutonické horniny



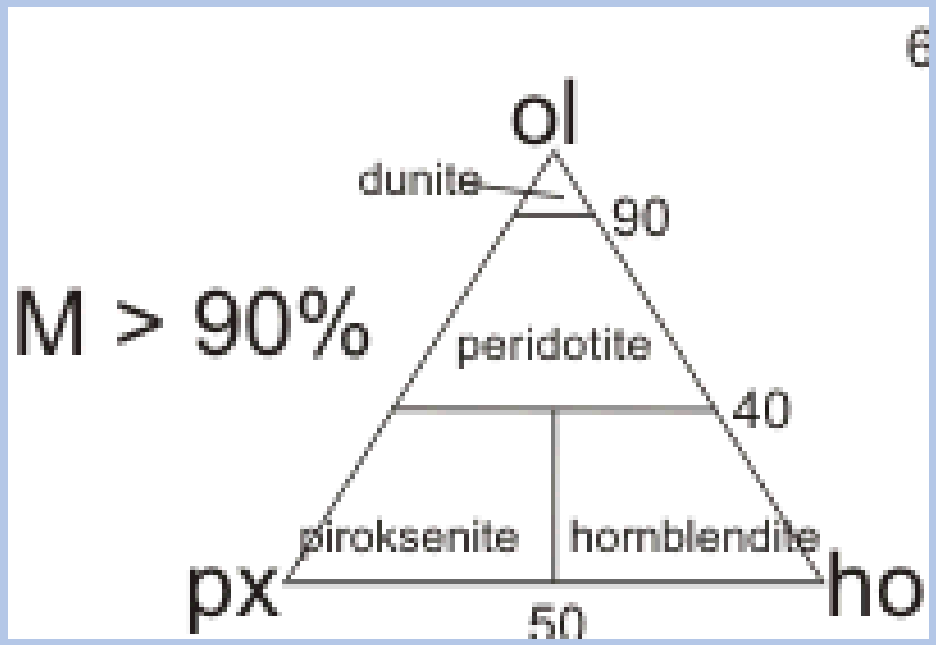
IUCG (The International Union of Geological Sciences) klasifikace plutonických hornin

založená na základě poměru minerálů (světlých; křemene, alkalických živců, plagioklasů a foidů).

Používá se pro všechny horniny s obsahem tmavých minerálů pod 90% (ne tedy pro ultramafické horniny).

Pro horniny ultramafické je jiné klasifikační schéma.

Klasifikace ultramafických plutonických hornin



Pro všechny horniny s obsahem tmavých minerálů nad 90% (pro ultramafické horniny).

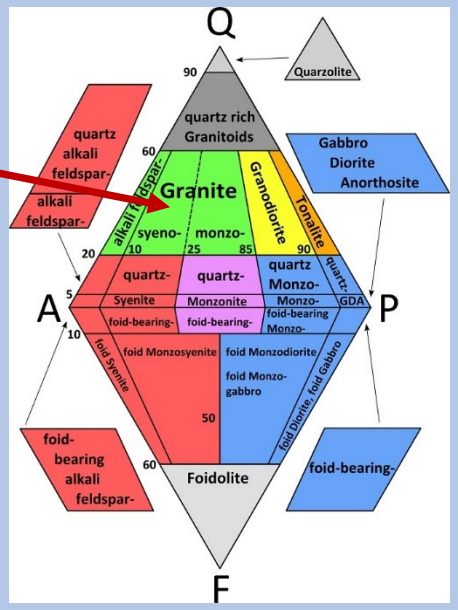
Na základě poměru tmavých minerálů tedy: olivínu, pyroxenu (clino i orto) a amfibolu se rozlišují

dunity, peridotity (převaha Ol)

pyroxenity (převaha Px)

amfibolovce (převaha Hb) – neplést s metamorfovanou horninou v amfibolitové facii - amfibolitem

Granity



- Střednězrnná až hrubozrnná kyselá hornina s Qz (>20%) a živci, přičemž alkalické živce tvoří 100 - 35% z živců, dále jsou přítomné tmavé minerály (vedlejší množství).
- Tmavé minerály: njčastější Hbl, Bt, méně Ms. Dále Px, And, Tur, Grt, topaz.
- na základě poměru plagioklasů a alkalických živců se rozlišují monzogranity (65-35% alkali feldspar), syenogranity (90-65% alkali feldspar), and alkalické granity (>90% alkali feldspar). Cca 70% of granitů jsou monzogranity.
- Výlevný ekvivalent je ryolit.
- Aplity – žilné, světlé (malý podíl mafických minerálů), většinou jemnozrnné granitoidní horniny.
- Pegmatity jsou žilné, hrubozrnné až velmi hrubozrnné, silně frakcionované horniny s malým podílem tmavých minerálů a vysokým obsahem neobvyklých minerálů s korovými prvky. Specifické textury.

Další klasifikace granitů

Další dělení na základě poměru $Al_2O_3/(Na_2O + K_2O + CaO)$.

peraluminické:

$Al_2O_3 > (Na_2O + K_2O + CaO)$

Z tmavých minerálů jsou typické Al-bohaté fáze: Ms, může být Grt, Tur. Dále běžný Bt

metaluminické:

$Al_2O_3 < (Na_2O + K_2O + CaO)$;

$Al_2O_3 > (Na_2O + K_2O)$

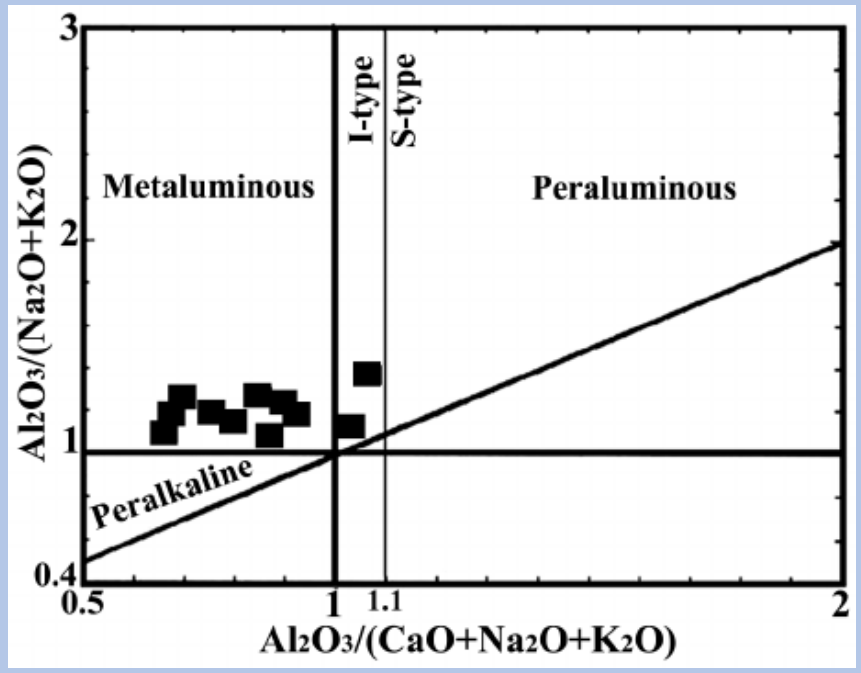
Z tmavých minerálů je typický Bt; častý Hbl, může být i Px

peralkalické:

$Al_2O_3 < (Na_2O + K_2O)$;

$Al_2O_3/(Na_2O + K_2O + CaO) << 1.0$;

bez křemene (nebo málo); hojný K-živec, zástupci živců.



Další klasifikace granitů

Dělení na základě geneze I-typ, S-typ, M-typ and A-typ (Chappell & White)

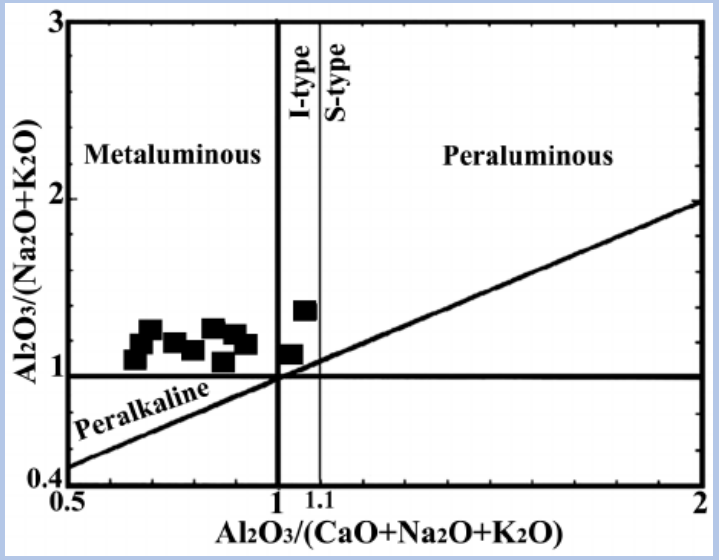
I-typ a S-typ - tavením vysoce metamorfovaných hornin, buďto jiného granitu či intruzivních mafických horńin (I-typ) nebo metasedimentů (S-typ). Typické pro subdukční zóny (oceán-kontinent; I-typ) a kolizi kontinent-kontinent (S-typy, I-typy).

I-typ - magmatický protolit; obvykle metaluminózní granity; absence peraluminózních a peralkalických minerálů. Hlavní mafické minerály Bt, Hbl. Akcesorie allanit, titanit

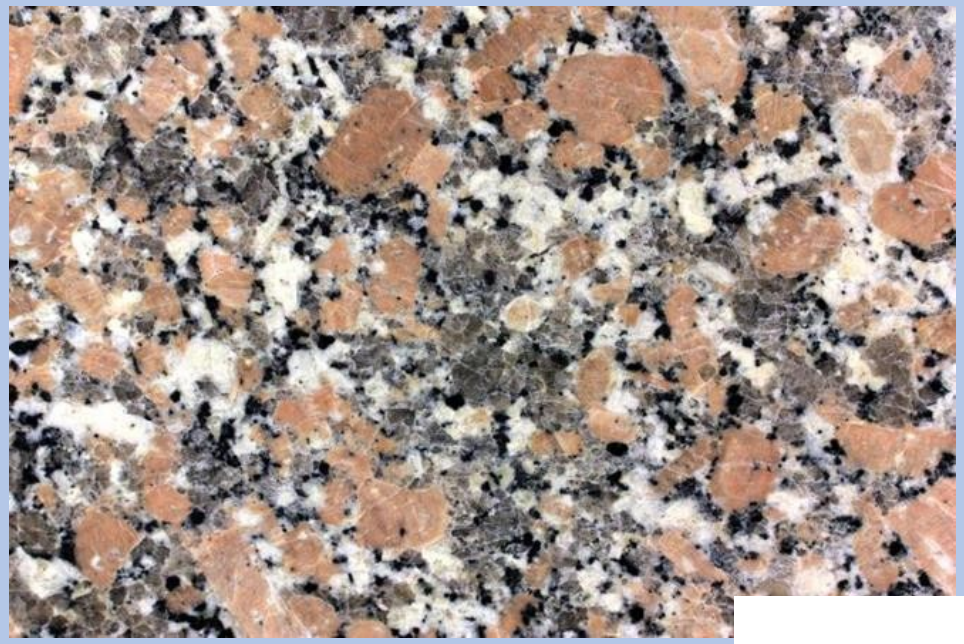
S-typ - sedimentární protolith; protože sedimentární horniny jsou obvykle bohaté Al_2O_3 (nejčastěji tavením metapelitů), tak S-typové granity jsou obvykle peraluminické (molární poměr Al_2O_3 /(CaO + Na_2O + K_2O) >1,1). Přítomnost peraluminických minerálů: obvykle Ms, dále Grt, Tur, andaluzit, topaz, korund. Akcesorie zirkon, monazite, xenotim, apatit.

M-typ – granit derivovaný z pláště; frakční krystalizací z mafických magmat generovaných tavením pláště. Jsou vzácné, protože málokdy frakcionace bazických tavenin dojde až ke granitu.

A-typ - anorogenní granity; v oblastech kontinentálních riftů (extenzní režim, výzdvih astenosféry a ztenčení litosféry), nemají vztak k orogenezi, vznikají tavením spodní kůry. Mají specifickou geochemii i mineralogii (nabohacení na korové prvky). Obvykle peralkalické (Na_2O + K_2O) > Al_2O_3. Na amphiboly a Na pyroxeny – (aegerine).



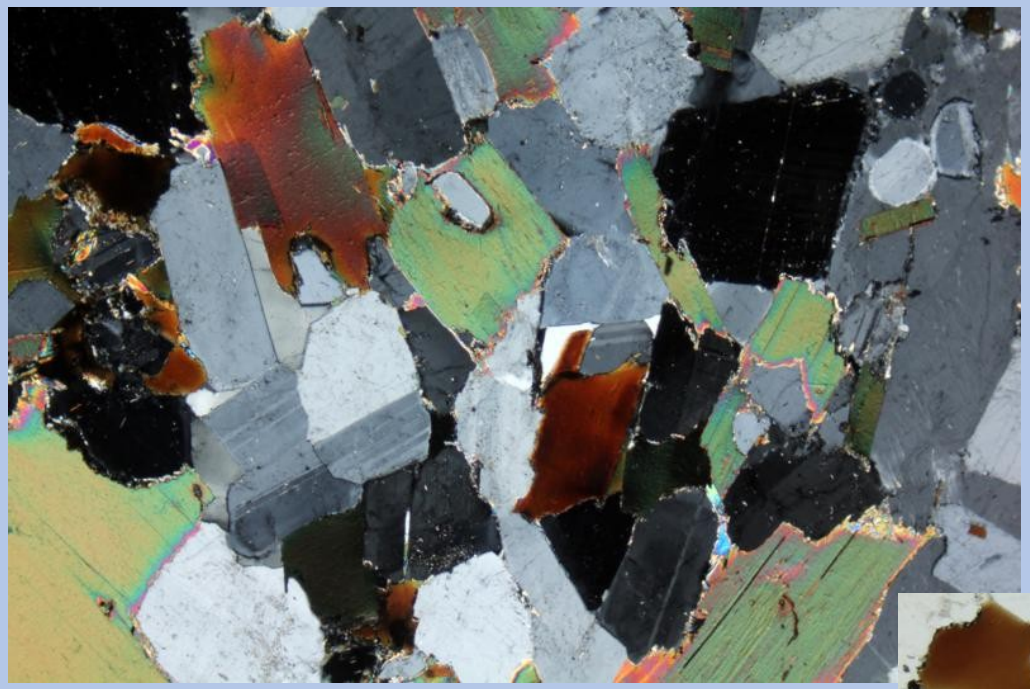
Granit



Granite with alkali feldspar (pink), plagioclase (white), quartz (glassy-grey) and biotite (brown).

Peraluminous granite (S-type) with muscovite and red garnet phenocrysts.

Granit

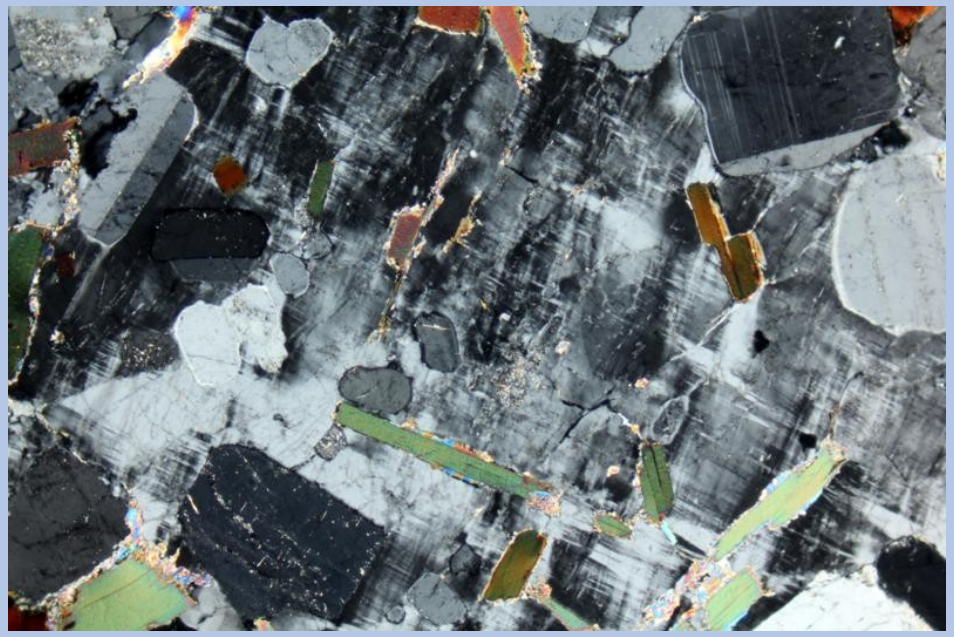


XPL image

Plagioclase, biotite and quartz in a granite.

PPL image

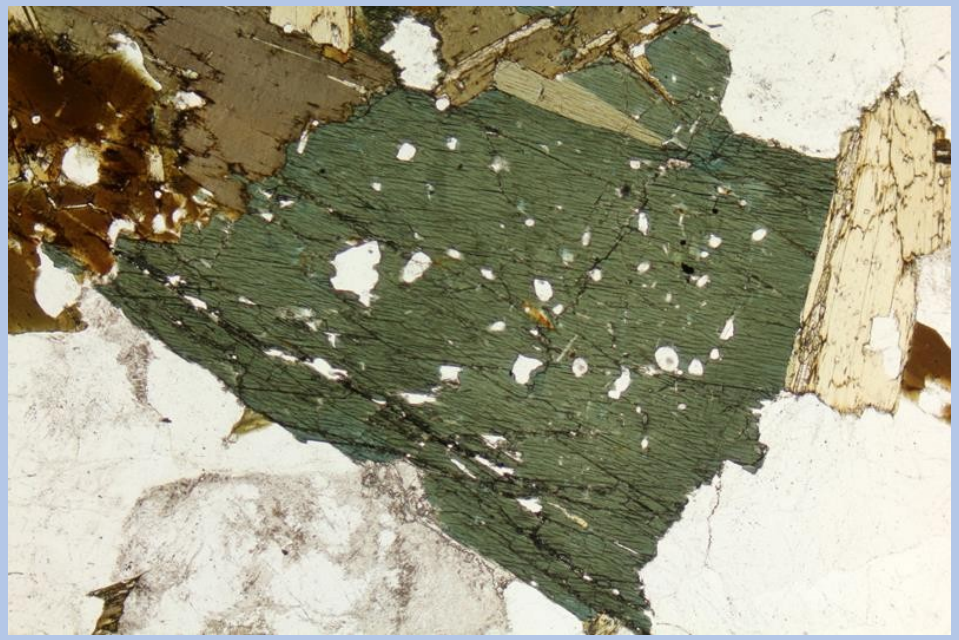
Granit

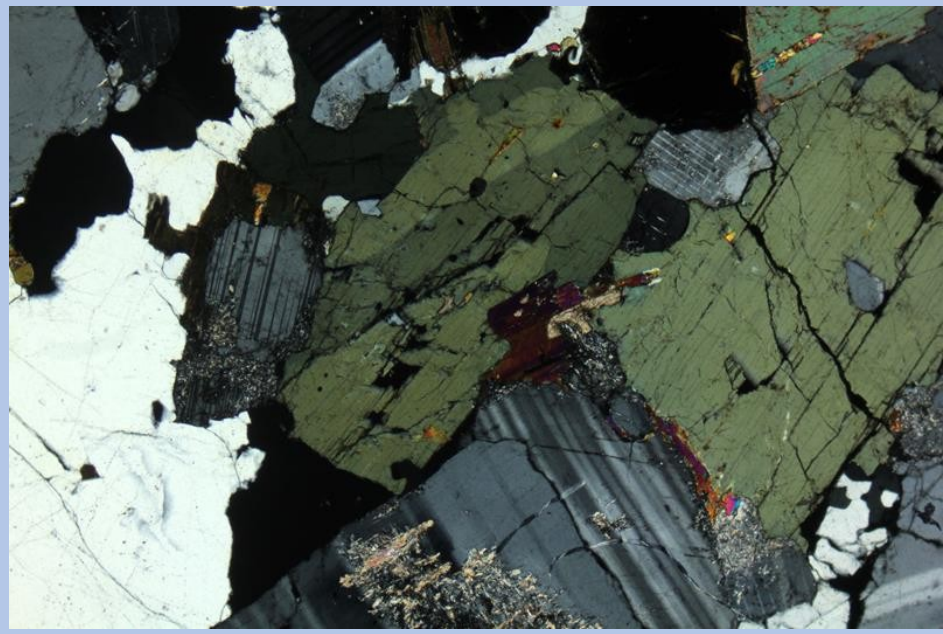


Plagioclase, K-feldspar, biotite and quartz in a granite.
XPL image

Hbl a Bt v granitu

PPL image (vlevo) XPL image (vpravo)

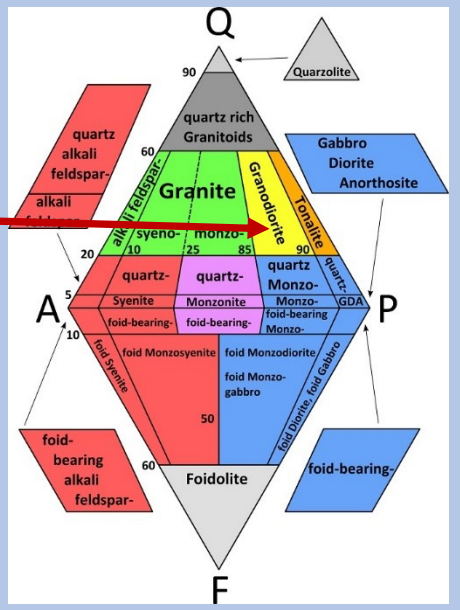




Granodiorit/tonalit

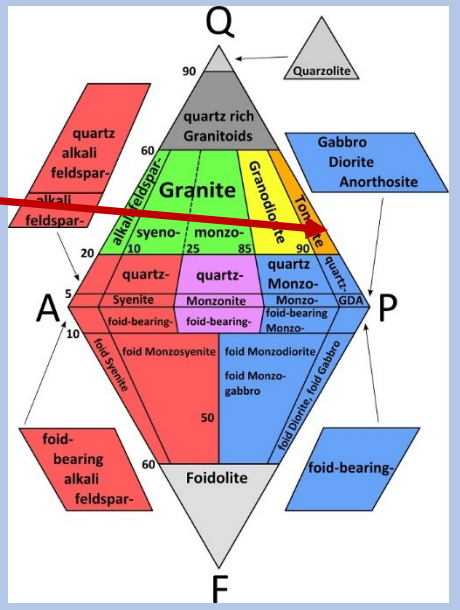
Granodiorit - intruzivní hornina blízká granitu, ale obsahuje více Pl a méně Kfs. Hornina s křemenem > 20%.

- Felsická až intermediální. Intruzivní ekvivalent je dacit.
- Z tmavých minerálů převažuje Bt, Hbl.
- Vyšší podíl tmavých minerálů než v granitu.
- Muscovit je vzácný
- Akcesoricky: magnetit, ilmenit, titanit, allanit, apatit, sulfidy.
- Hojné, nejčastěji s I-typovými granity



Tonalit – intermediální hornina blízká granodioritu s výraznou převahou Pl nad Kfs. Hornina s křemenem > 20%.

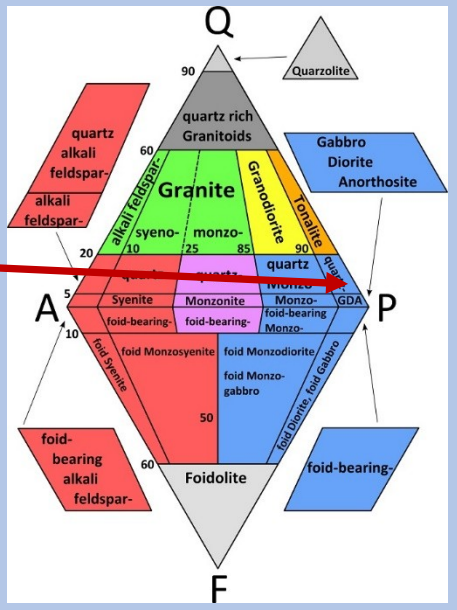
- Z tmavých minerálů převažuje Bt, Hbl. Px
- Vzácnější než granity a granodiority



Granodiorit s Bt a Hbl

Tonalit (Pl, Bt, Qz)

Diorit



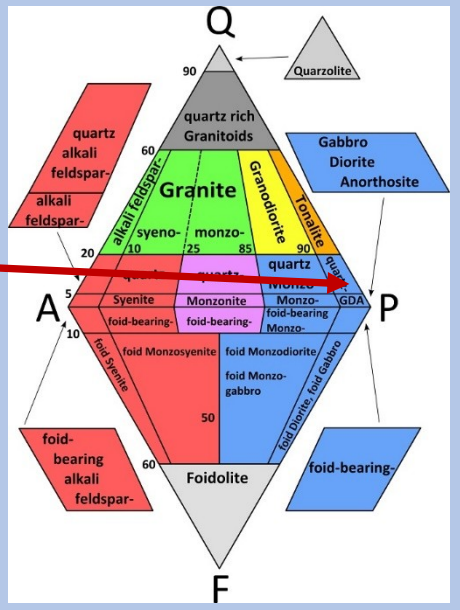
Diorit – intruzivní hornina tvořená plagioklasem, biotitem, amfibolem, případně pyroxenem, malé množství křemene. Intermediální hornina mezi granitem a gabrem. Vulkanický ekvivalent **andezit.**

Klasifikace gaber

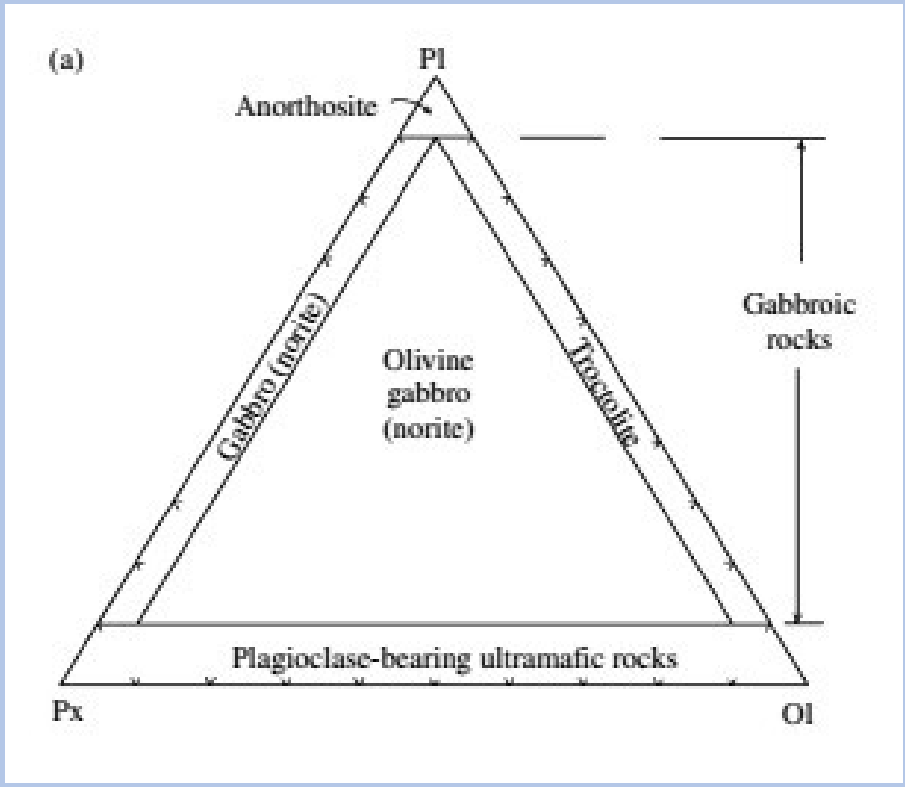
Gabro (širší pojetí) - SiO_2 chudá, bazická, intruzivní hornina. Výlevný ekvivalent je bazalt.

Středně- až hrubě-zrnná, tmavá.

hornina tvořená plagioklasem, pyroxenem, a olivínem



- **Gabro (strict sense)**: augite (clinopyroxene), calcic plagioklase
- **Norit:** hypersten (ortopyroxen), calcic plagioclase
- **Olivinické gabro**: augite, olivine, calcic plagioklase
- **Troktolit:** olivine, calcic plagioklase
- **Anorthosite:** calcic plagioklase (labradority)



Gabro

Hrubozrnné gabro (Cpx, Pl)

středně-zrnité gabro (Pl, Px, Ol)

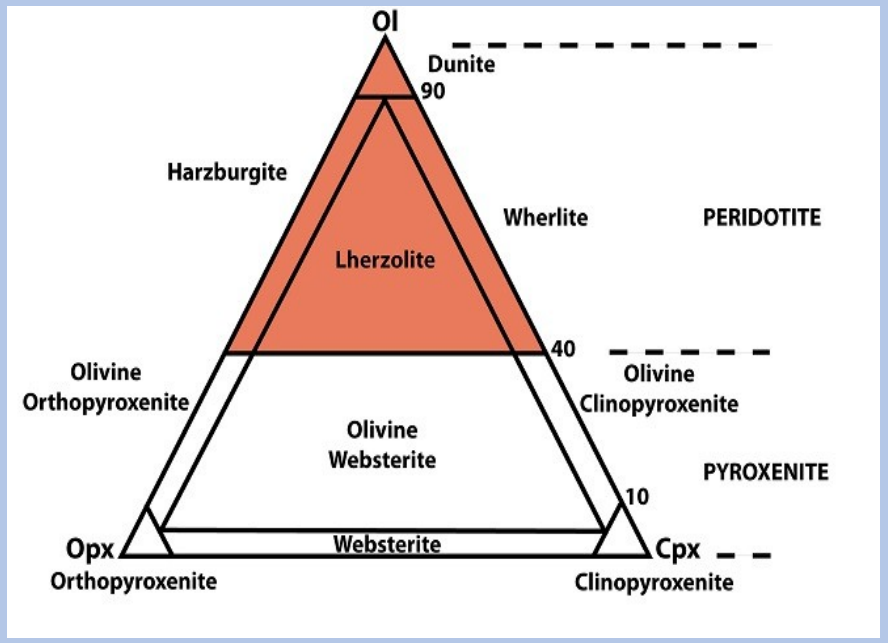
Klasifikace ultramafických hornin

- ultramafická hornina – obsahuje < 10 modálních % felsických minerálů.
- Podle převahy Ol či Px se rozlišují peridotity a pyroxenity

Peridotity > 40 vol% olivinu (zbytek pyroxeny). Akcesoricky: Grt, spinel-chromit, Pl, ilmenit, magnetit.

- Peridotity budují svrchní plášť (vynesené na povrch jako xenolity v magmatu; nebo vyvlečené kusy pláště při kolizích desek na povrch). Al-bohaté minerály peridotitu: Pl-nízké P; spinel – střední P; Grt – vysoké P. Mnoho plášťových peridotitů představují rezidua po parciálním tavení pláště nebo krystalizovaly z parciálních tavenin pláště.
- Méně jako tzv. kumuláty krystalizací z bazické taveniny ve vrstevnatých bazických intruzích (Ol, Px, Pl, Chr, Hbl)

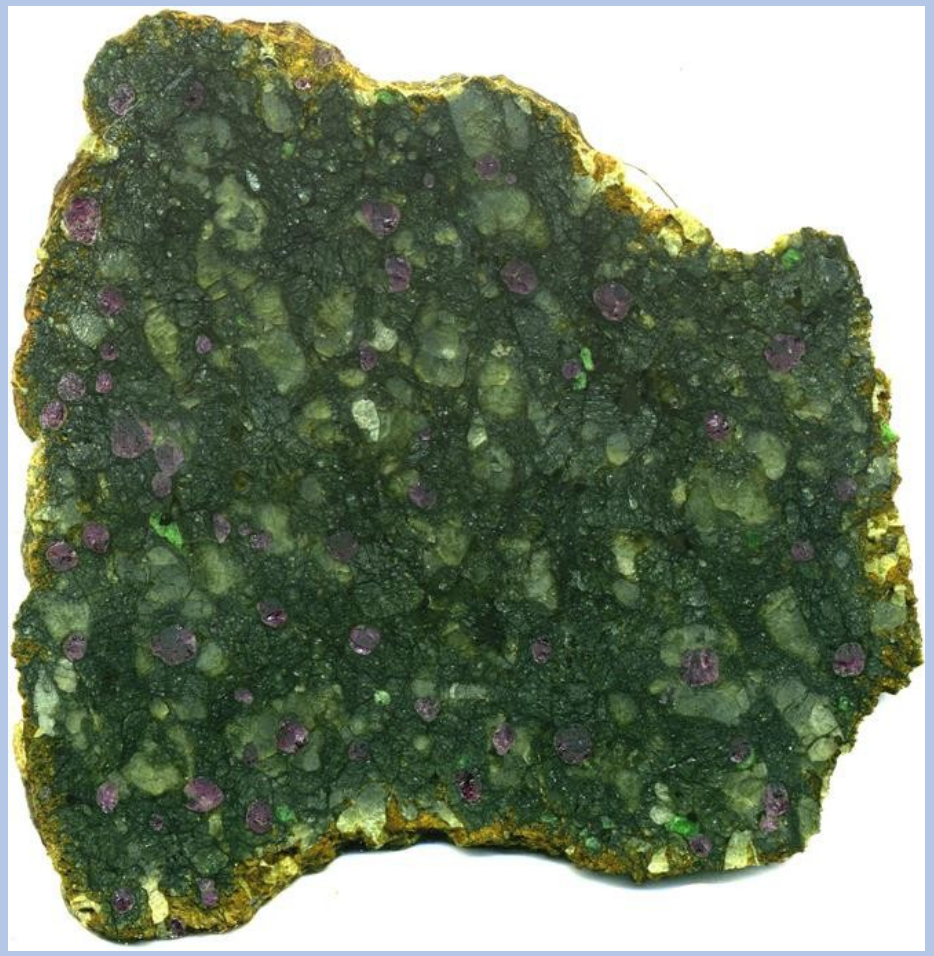
Parciální tavení peridotitů produkuje taveniny jejichž chemismus se vyvíjív závislosti na stupni tavení (nejčastěji 1-20%) a chemickém složení taveného peridotitu od karbonatických, přes karbonát-silikátových (kimberlitové) po bazaltické (peridotit je zdroj bazaltů).
K tavení nejčastěji dojde, když vystupující plášť protne křivku solidu peridotitu nebo s přísunem fluid do pláště na subdukční zónou.



Ultramafic rocks. Peridotites field in red

Peridotity

Xenolit dunitu v basaltu (Hawaii).

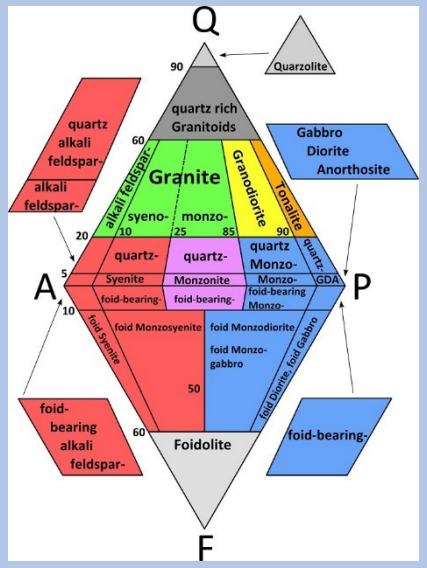


Granátický lherzolit se zachovalými krystaly olivínu

Ve výchozech olivín v peridotitech velice rychle zvětrává a stává se černý (Fe oxidy) až světle zelený (serpentin)

Syenit

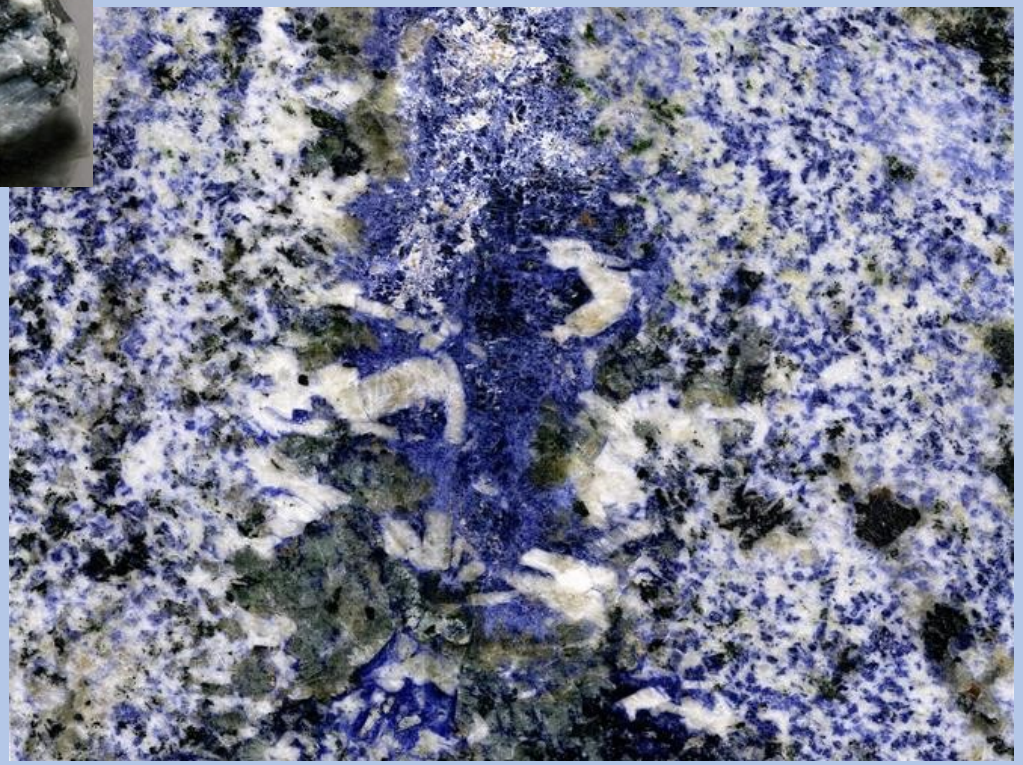
- Syenit (červené pole) hrubozrnná intruzivní hornina blízká granitu, avšak bez křemene či s nízkých obsahem křemene(<5%- syenit/<20% křemenný syenit). Můžou obsahovat i zástupce živců (foidy)
- Živce převažují alkalické (obvykle ortoclas). Plagioclas obvykle v menší míře.
- Syenity jsou obvykle peralkalické s převahou alkálií nad Al2O3
- Některé syenity interpretované jako produkt frakční krystalizace bazaltické taveniny.
- Jiné jako mísení tavenin generovaných z pláště s korovým materiálem.
- Z tmavých minerálů obvykle Bt, Hbl, Px amfiboly i pyroxeny mohou být alkalické (Na)



Syenit

Syenit; alkalický živec (albit) a amfibol (černý).

Modrý sodalit (zástupci živců, foidy) v syenitu. Brazílie



Durbachit

- hlubinná magmatická vyvřelina, řazená k ultradraselným horninám
- melanokratní (vyšší obsah tmavých min.) amfibol-biotitický či pyroxen-biotitický syenit
- hojný v českém masívu (středočeský pluton, třebíčký a jihlavský pluton)
- předpokládá se zdroj taveniny ve svrchním zemském plášti v kombinaci s významnou kontaminací horninovým materiálem zemské kůry.

Durbachit (výrostlice – bílý K-živec, dále plagioklas, biotit, amfibol/pyroxen)

Magmatické série vulkanických hornin

Rozlišení sérií založeno na obsahu alkálií ($Na_2O + K_2O$) a obsahu SiO_2, rozděluje se do dvou skupin subalkalická a alkalická série a jejich horniny

Subalkalické série:

Horniny nasycené SiO_2; mají normativní ortopyroxen a křemen a nemají nefelín (zástupci živců, foidy) a olivín (při přítomnosti křemene). Basické členy jají oba typy pyroxenů (ortopyroxen i clinopyroxen = augit). Běžné jsou výrostlice plagioklasu a obvykle i v matrix.

Tholeiitická a vápenato-alkalická série

Tholeitická magmatická série – redukční; a méně Al_2O_3 a SiO_2 (43-63 %); chybí výrostlice biotitu a amfibolu.

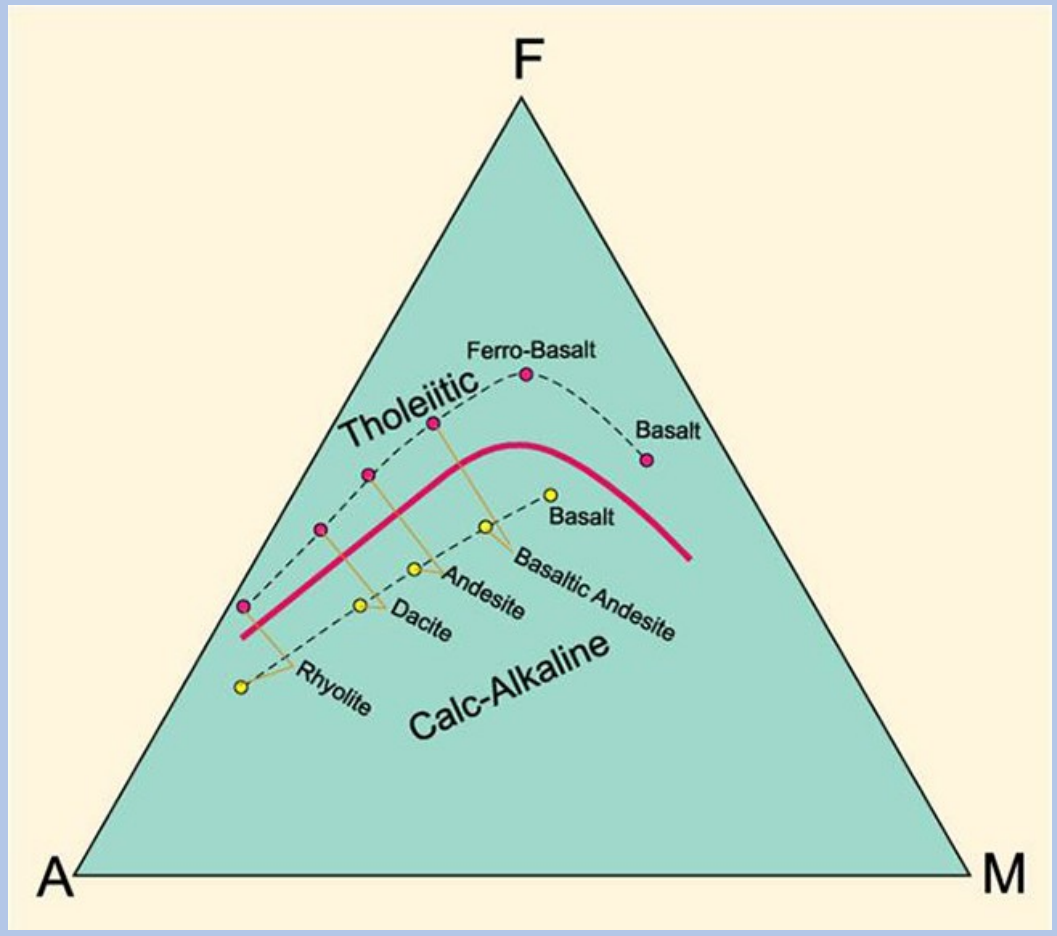
Během krystalizace (olivín, pyroxen) v tholeitické sérii je významný nárůst obsahu Fe ve zbytkové tavenině.

Vápenato-alkalická magmatická série – oxidační; a vyšší obsah Al_2O_3 (16-20 %) a SiO_2 (48-75 %).; běžné výrostlice biotitu a amfibolu (andezity, dacity).

Ve vápenato-alkalických magmatech může vznikat významný podíl magnetitu a takto Fe obsah v průběhu krystalizace ve zbytkovém magmatu příliš neroste.

Subalkalické magmatické série

Rozdíly mezi subalkalickými magmatickými sériemi (tholeitickou a vápenato-alkalickou) v AFM diagramu, s vrcholy $Na_2O + K_2O$ (A), $FeO + Fe_2O_3$ (F), and MgO (M).



Při postupném chladnutí a krystalizaci taveniny, se vyvíjí chemické složení zbytkové taveniny (stává se bohatší alkáliemi a chudší Mg a Fe, tedy vede k vývoji směrem k vrcholu a alkáliemi.

U vápenato-alkalické série s přibližně konstantních Mg/Fe poměrem při krystalizaci magnetitu.

U tholeitické série nejprve s poklesem Mg/Fe poměru a potom již k vrcholu s alkáliemi.

Magmatické série

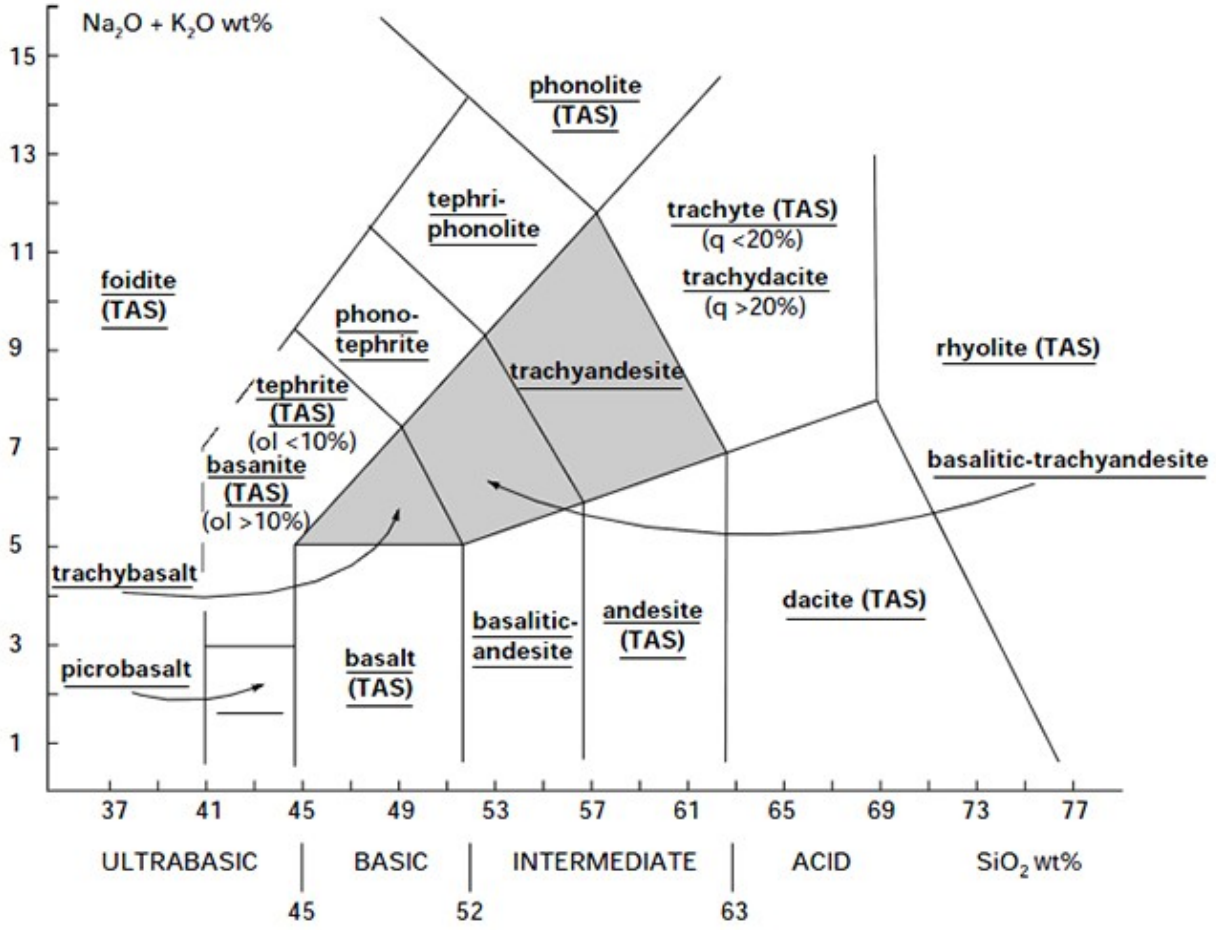
Alkalická série

Alkalické horniny – oceánské ostrovy (hot spots; obvykle v pozdějších stádiích, po tholeitických erupcích) a v prostředí kontinentálních riftů (extenzní režim; Východoafrická příkopová propadlina; rift v podkrušnohoří).

Na základě poměru mezi obsahem Na_2O a K_2O se dělí na sodnou a draselnou sérii.

Magma nenasycené SiO_2; chybí v horninách normativní ortopyroxen a křemen a je přítomen normativní nefelín (foidy, zástupci živců).
Obvykle v bazaltech hojné výrostlice olivínu, z pyroxenů jen clinopyroxen (augit – obvykle Ti-bohatý) a plagioklas.

Klasifikace vulkanických hornin



Further subdivisions of shaded fields	trachybasalt	basaltic-trachyandesite	trachyandesite
$Na_2O - 2.0 \geq K_2O$	hawaiite	mugearite	benmoreite
$Na_2O - 2.0 \leq K_2O$	potassic-trachybasalt	shoshonite	latite (TAS)

TAS diagram (total alkali silica)
Le Bas et al., 1986.

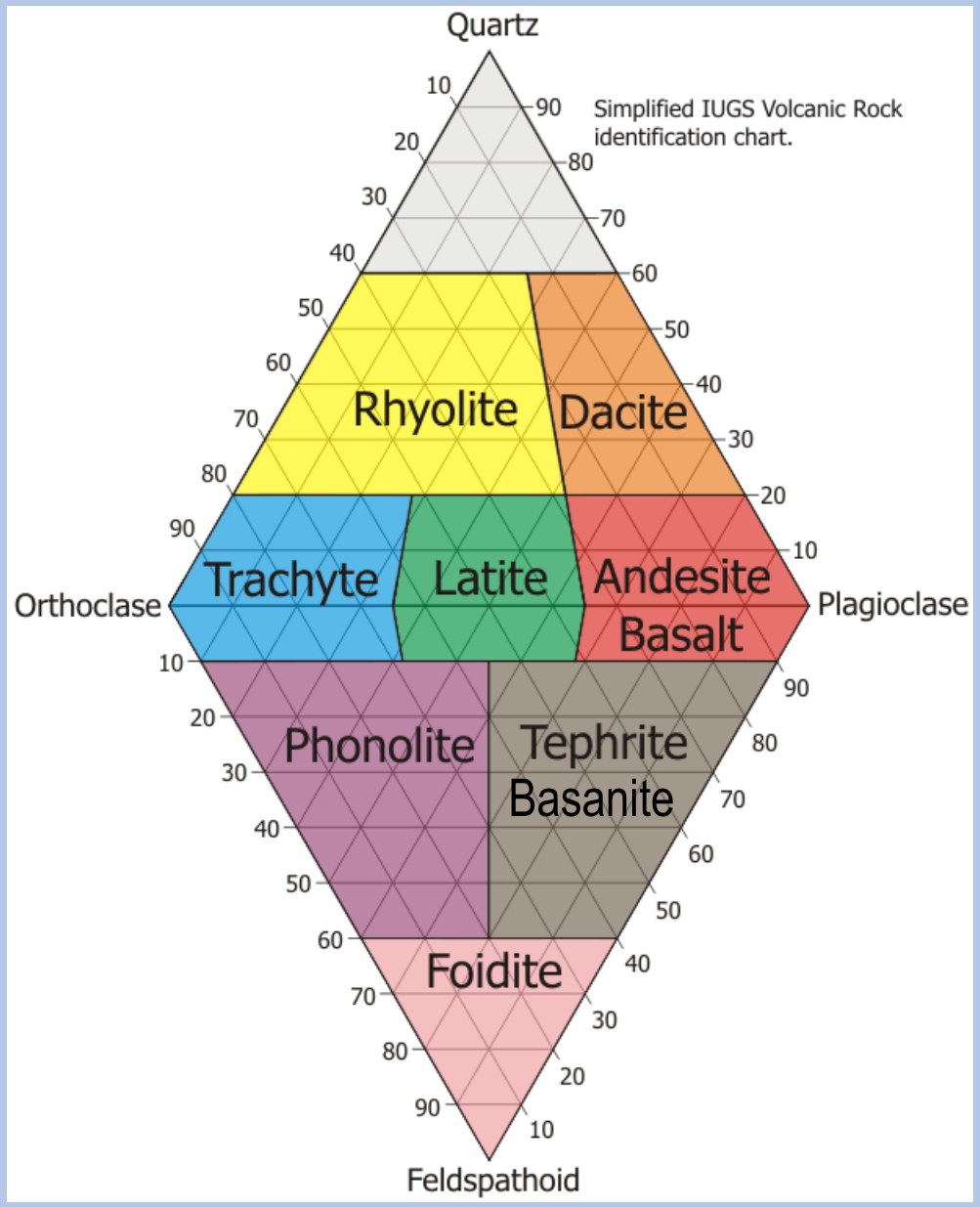
Klasifikace založená na obsahu alkálií (Na_2O+K_2O) a obsahu SiO_2 v hornině.

Dále se používá obsah normativních minerálů (po rozpočtu z chemické analýzy, ne na základě modálního zastoupení minerálů v hornině).
q = normativní křemen;
ol = normativní olivín.

Horniny spadající do šedého pole mohou být dále klasifikovány v souladu s tabulkou dole.

Klasifikace vulkanických hornin

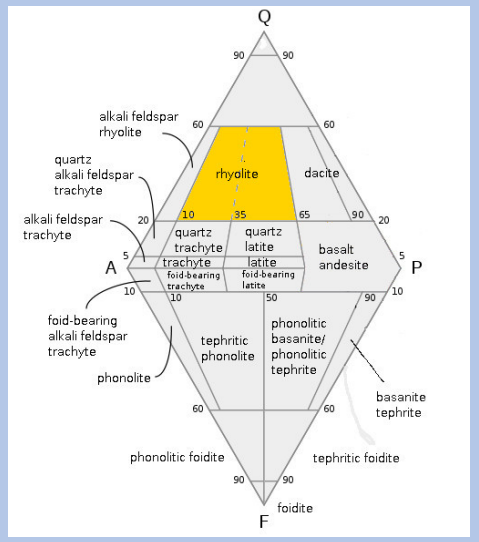
QAPF klasifikační diagram pro vulkanické horniny (Le Maitre et al. 1989)

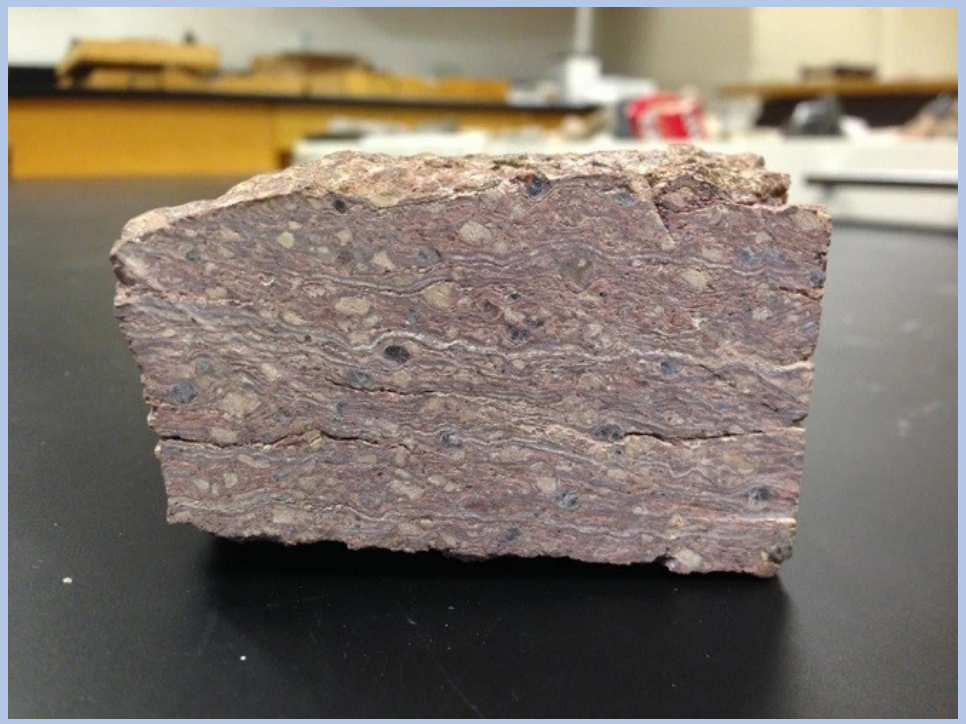


Ryolity

- Kyselé vulkanické horniny (chemické složení granitu) s výrostlicemi křemene a alkalických živců, často minoritně plagioklas, biotit.
- Základní hmota sklovitá (devitrifikace často) až mikrokrystalická
- Vysoký obsah SiO_2 , nízká teplota taveniny – vysoká viskozita taveniny vede k silným erupcím (často krystalizuje ještě před výlevem a utuhává jako tzv. dómy = nevylévá se na povrch jako lávové proudy)
- Provází je často silné exploze (např. Mt Pelé typ) s uvolněním žhavých mračen (potencionálně bude silný výbuch ryolitového magmatu - Yellowstone)
- Horniny aktivních okrajů kontinentů

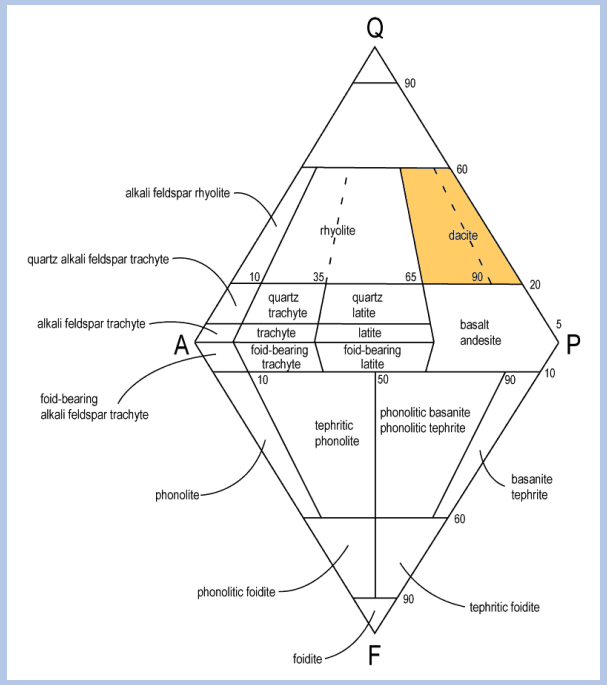
  vápenato-alkalické série





Dacity

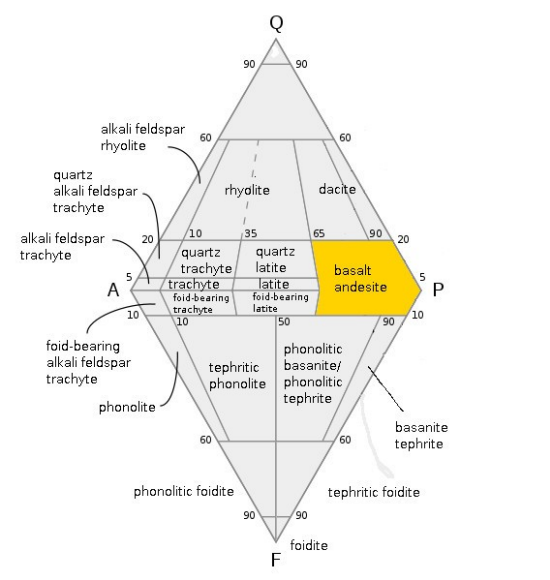
- Křemenná varieta andezitu, obvykle v asociaci s andezity a ryolity tvoří lávové proudy, žíly i intruze v centru vulkánů (dómy).
- Tvořené plagioklasem (střední An), biotitem, amfibolem, augitem (Cpx), enstatitem (Opx) s porfyritickou stavbou. Významný obsah křemene jako výrostlice i v základní hmotě. S rostoucím obsahem sanidinu (Kfs) přechází do ryolitů.
- Vázána na prostředí subdukce oceánské kůry pod kontinent (tavení hydrotermálně alterované oceánské kůry výstup taveniny nahoru a interakce s nadložním subkontinentálním pláštěm)



Dacit s výrostlicemi Pl a Hbl

Andezity

- Typická hornina vápenato-alkalické série aktivních okrajů kontinentů (společně s vápenato-alkalickými bazalty, dacity a ryolity)
- Porfyritická stavba nejčastěji s výrostlicemi plagioklasu méně augitu (klinopyroxenu), ortopyroxenu (bronzit, hypersten), amfibolu (hornblend).
- Akcesoricky ilmenit, magnetit (Ti bohatý)



Andezit s výrostlicemi Pl a Hbl

Bazalty (čediče)

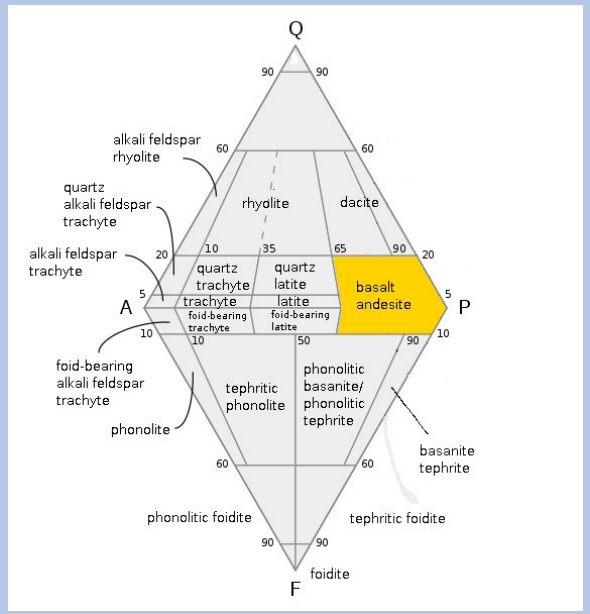
- **Mid Ocean Ridge Basalts (MORBs)=** bazalty středooceánských hřbetů; středooceánské rifty = největší produkce magmat na zemi; tholeitické bazalty
- **OIB** (Ocean island basalts = bazalty oceánských ostrovů); vývoj složení od tholeiitických bazaltů po alkalické basalty (nikdy ne vápenato-alkalické)
- **Orogenní bazalty**
  vázány na konvergentní rozhraní desek, ostrovní oblouky, kontinentální okraje. Druhý hlavní producent magmatu na zemi. Velká diverzita magmatických hornin. Nejčastěji:
  a) Island-arc basalt association (IAB) = bazalty ostrovních oblouků
  b) Calc-alkaline association – vápenato-alkalické bazalty aktivních okrajů kontinentů

Minerální složení: Pl (vysoké An), Cpx (augit), Opx, olivín, amfibol, magnetit

Obvykle porfyritické

Výrostlice - Olivín, pyroxeneny, plagioklas

Matrix – sklovitá, devitrifikované sklo, drobné krystalky



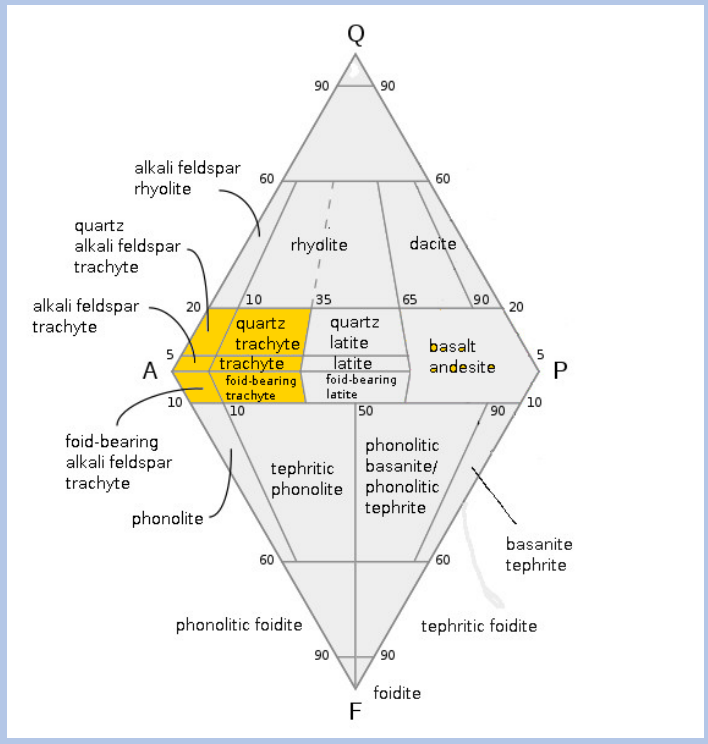
Bazalty (čediče)

Pórovitý olivinický bazalt

Bazalt s výrostlicemi Pl a augitu (Cpx)

Odlučnost sloupcovitá u bazaltů

Trachyty



- Trachyt je jemnozrnná, světlá vulkanická hornina. Vulkanický ekvivalent syenitu.
- Složené z alkalických živců, menší množství tmavých minerálů (biotit, amfibol, pyroxen – diopsid či Na bohatý).
- Většinou porfyritická stavba s velkými fenokrysty (sanidin či ortoklas; a jemnozrnnou až sklovitou základní hmotou.
- Frakcionací z bazaltického magmatu.

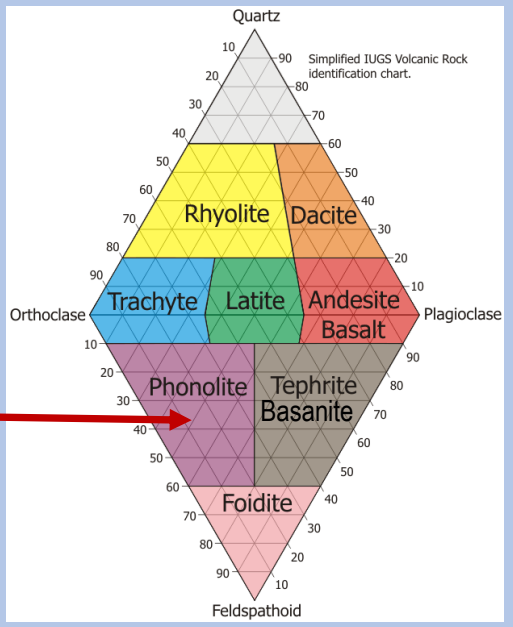
- Dva hlavní typy trachytů. Draselné, se sanidinem (orthoclasem), plagioclasem (obvykle An 5-20). Sodné, alkalické živce (albit) a tmavé minerály jsou Na bohaté.
- Si bohaté trachyty mohou mít malé množství křemene (tridymit a cristobalit). S nárůstem Si přechází do ryolitů.
- Si-chudé jsou se zástupci živců (leucit, nefelín, sodalit) a přechází do fonotitů.

Trachyty

Trachyt s výrostlicí sanidinu

Fonolity

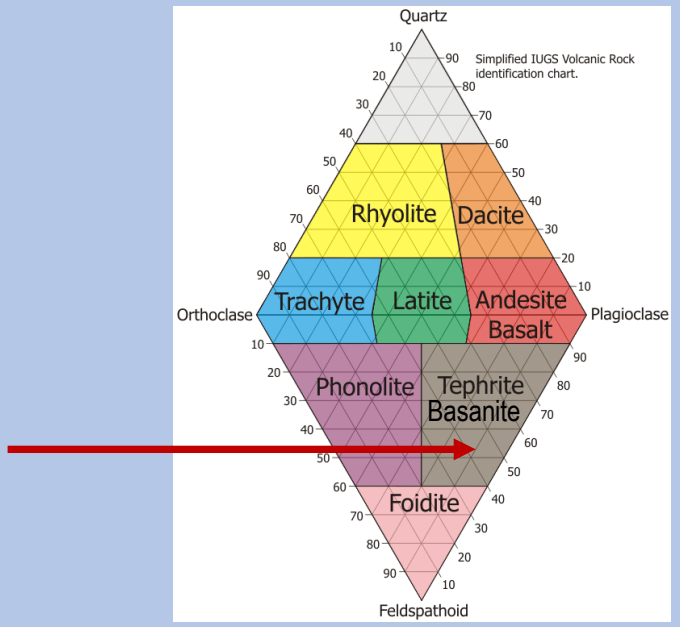
- Intermediální horniny alkalické série, poměrně vzácné, nejčastěji vnitrokontinentální rifty (kontinentální hot spots),
- vznik – nízkoprocentní tavení spodní kontinentální kůry nad plášťových chocholem
- Často spojené s A-typovými intruzemi
- Fonolit je jemnozrnný výlevný ekvivalent nefelinického syenitu.
- Minerální asociace: zástupci živců (nefelín, sodalit, leucit) a alkalické živce (sanidin, ortoklas), plagioklasy vzácné.
- Tmavé minerály: biotite, Na-amfiboly, Na-pyroxeny, olivín (Fe bohatý)



Obvykle šedo-zelená hornina s výrostlicemi

Bazanity a tefrity

- Bazické horniny alkalických magmatických sérií (kontinentální rifty či pozdější vývojová stádia oceánských ostrovů (hot spots))
- Horniny SiO2 chudá (bez křemene), bohatá alkáliemi a se zástupci živců (foidy) a plagioklasem
- Z tmavých minerálů hlavně Cpx (Ti augit), Opx
- Bazanit – hornina s olivínem/ tefrit – hornina bez olivínu



Bazanit s výrostlicemi Cpx (augitu)

Vulkanická skla

Amorfní (nekrystalické) produkty rychlého chladnutí magmatu. Chemické složení skla se mění v závislosti na chemismu taveniny a obsah SiO2 kolísá stejně jako u taveniny (40-77 hm% of SiO_2), vyjma ultramafických tavenin (nejsou výlevné). Klasifikace a názvy skel jsou založeny na strukturních znacích.

- **Obsidian:** černí, masivní sklo, sklovitý lesk, lasturnatý lom. Ryolitové sklo s malým obsahem vody (<0.5 %).

- **Perlite:** šedé až hnědé sklo, křehké, koncentrické praskliny. Výsledek hydratace obsidiánu.

- **Pemza:** pórovité, vypadající jako pěna.