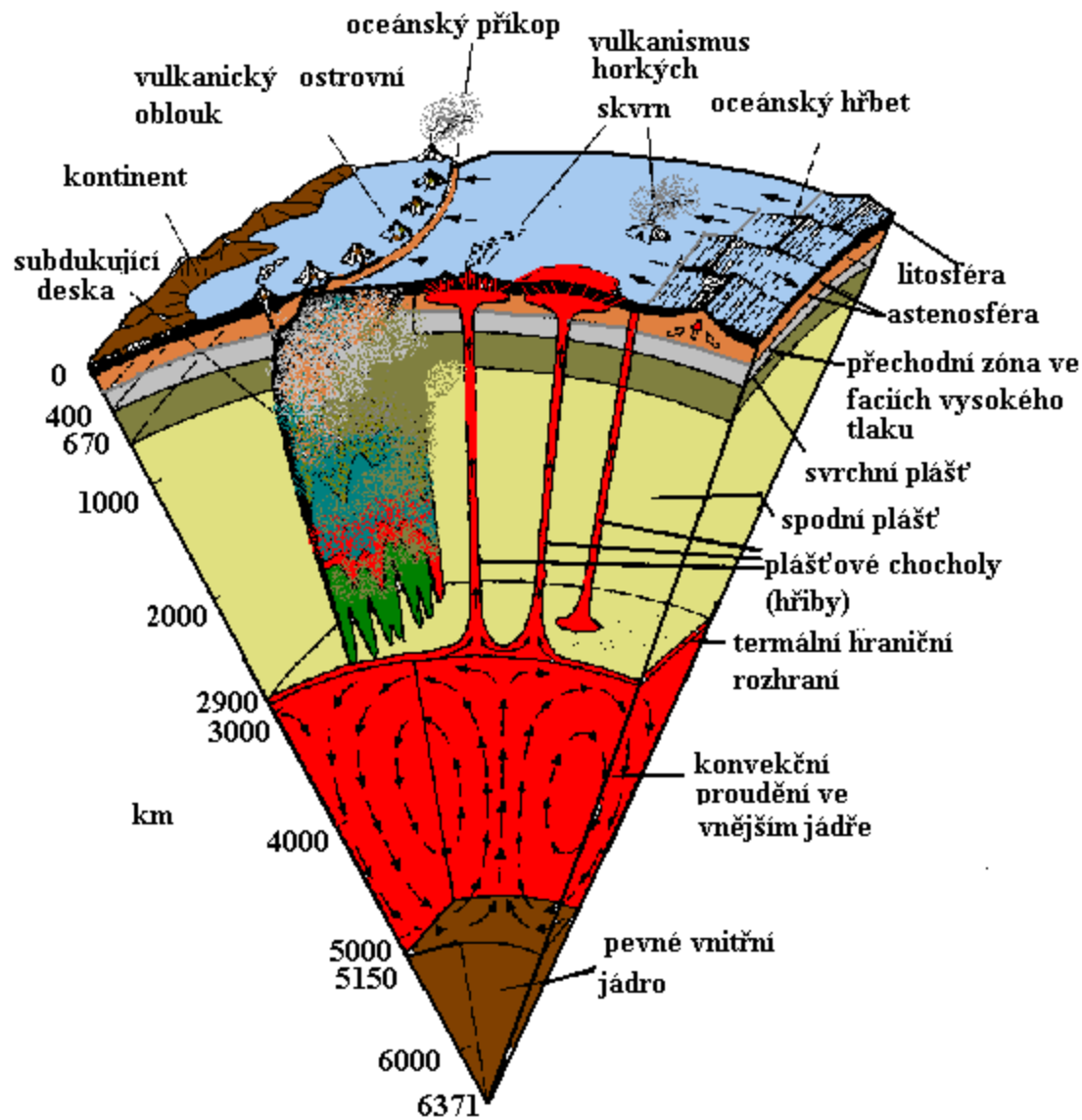


# Tektogeneze magmatických hornin



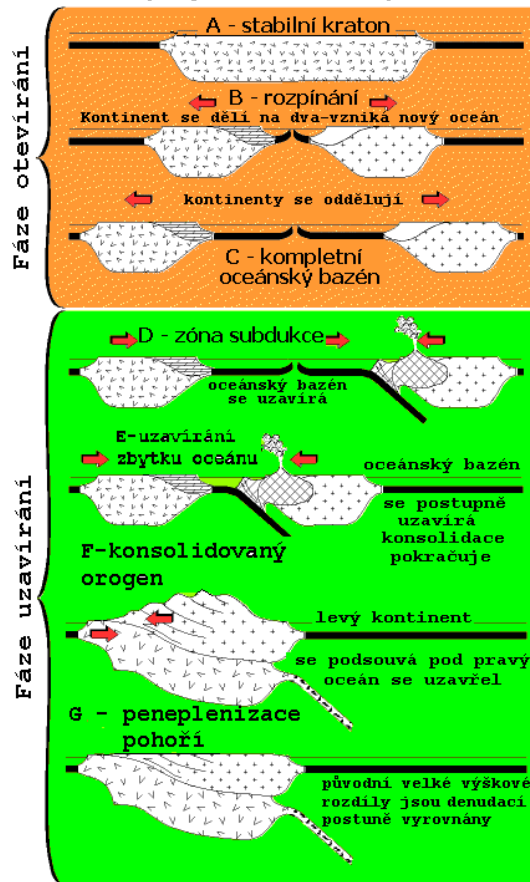


# Magmatické procesy

## Typy kůry a rozdíly

- **oceánská kůra:** 70% zemského povrchu, 10-12km, monotónní složení (tholeitické bazalty), vyšší hustota-2,9, menší stáří.
- Oblasti tvorby oceánské kůry: středooceánské hřbety, abyssální plošiny, příkopy, kontinentální okraje (šelf + svah).
- Složení: vrstva sedimentů, vrstva pillow láv, vrstva gaber + bazaltové žíly, vrstva kumulátů. Chemické složení (průměr): SiO<sub>2</sub> 47-51%, vysoké obsahy MgO a CaO, málo litofilních prvků (Cs, Rb, K). Druhy bazaltů: MORB, tholeitický bazalt ostrovních oblouků, vápenato-alkalický bazalt ostrovních oblouků, alkalické bazalty oceánských ostrovů
- **kontinentální kůra:** 39% zemského povrchu, 20-90km, nižší hustota-2,8, velké stáří.
- Oblasti výskytu kontinentální kůry: štíty, platformy, pásemná pohoří. Složení: vrstva sedimentů (10-15km), vrstva bazických granulitů a bazaltů. Chemické složení (průměr): SiO<sub>2</sub> 58-63%, nízké obsahy MgO a CaO a více TiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>O a K<sub>2</sub>O než oceánská kůra, vysoké obsahy litofilních prvků ve spodní části kontinentální kůry

**Wilsonův cyklus**  
vznik-vývoj-zánik oceánských bazénů



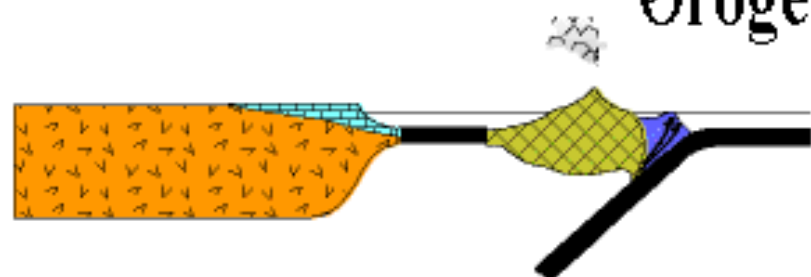
- Formace kontinentální kůry

- štítové oblasti
- platformní oblasti
- pásemná pohoří

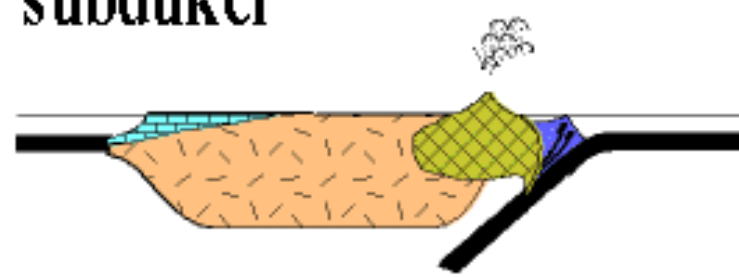
Formace oceánské kůry

- středooceánské hřbety
- transformní zlomy
- subdukční zóny
- ostrovní oblouky
- aktivní kontinentální okraje

## Orogeneze subdukcí



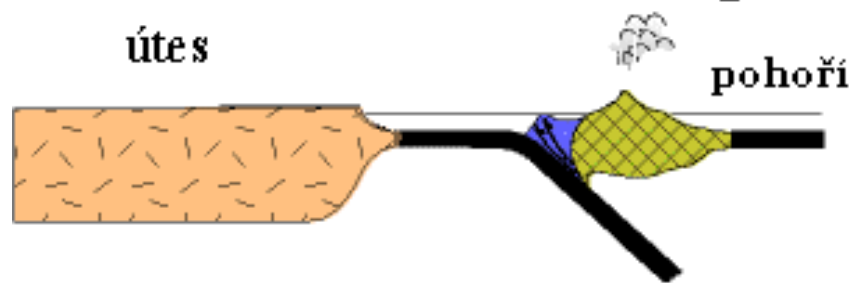
Typ ostrovního oblouku



Typ pásmenného pohoří (kordilérský)

## Orogeneze kolizí

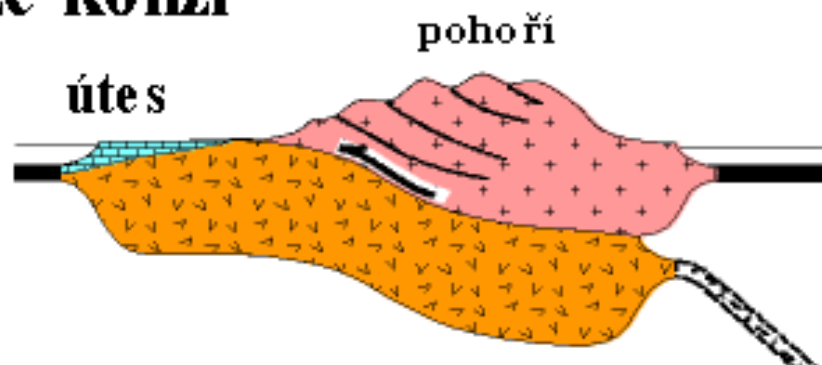
útes



pohoří

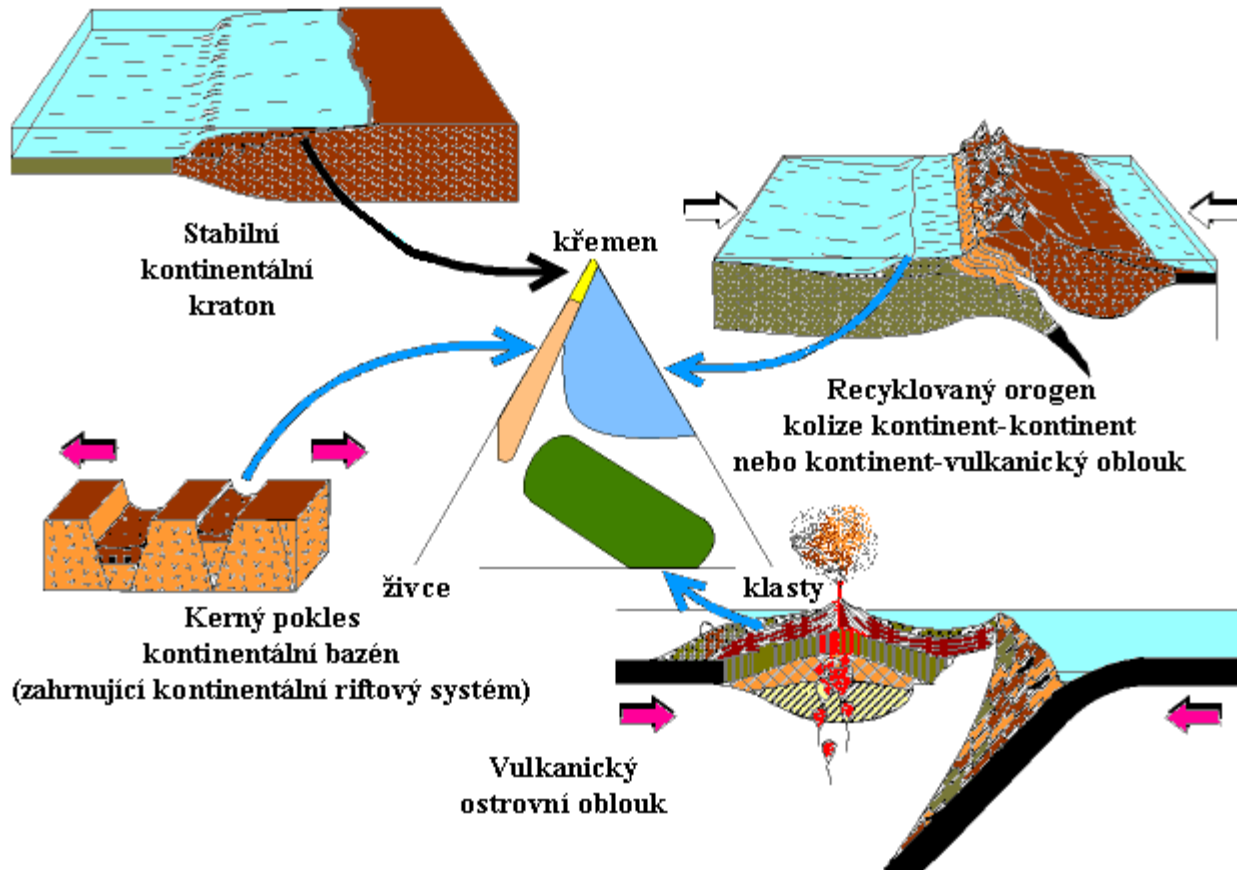
Kolize kontinent - ostrovní oblouk

pohoří



Kolize kontinent - kontinent

## Q-F-L distribuce v měnících se tektonických režimech



**Oceánský bazén**  
 DIVERGENTNÍ  
 DESKOVÉ ROZHRANÍ

**Kontinentální křaton**

horká skvrna  
 bazalty, škváry  
 ryolity

gabra  
**FELSICKÉ**  
 magmatity  
 granity, syenity,  
 monzonity  
 granodiority

SLOUP  
 HORKÉHO  
 MAGMATU  
 Z PLÁŠTĚ

FRAKCIOVANÉ TAVENÍ V ZÓNĚ RIFTINGU  
 PODÉL ROZHRANÍ MEZI PLÁŠŤOVÝMI  
 ULTRAMAFICKÝMI HORNINAMI JSOU  
 VYSTUPUJÍCÍM PROUDEM VYMNÁŠENY  
 DIFERENCIÁTY MAFICKÝCH HORNIN  
 OCEÁNSKÉHO DŇA,  
 KTERÉ SE NA POVRCHU ROZLÉVAJÍ

**KONVERGENTNÍ  
 DESKOVÉ ROZHRANÍ**

**vulkanický oblouk**

andezity

HLADINA MOŘE

pillow lávy (bazalty)

trench

DIORITOVÝ  
 BATOLIT

MAFICKÉ

MAGMATITY

basalt/gabbro

SUBDUKČNÍ  
 ZÓNA

FRAKCIOVANÉ TAVENÍ  
 PROBÍHAJÍCÍ V ZÓNĚ SUBDUKCE

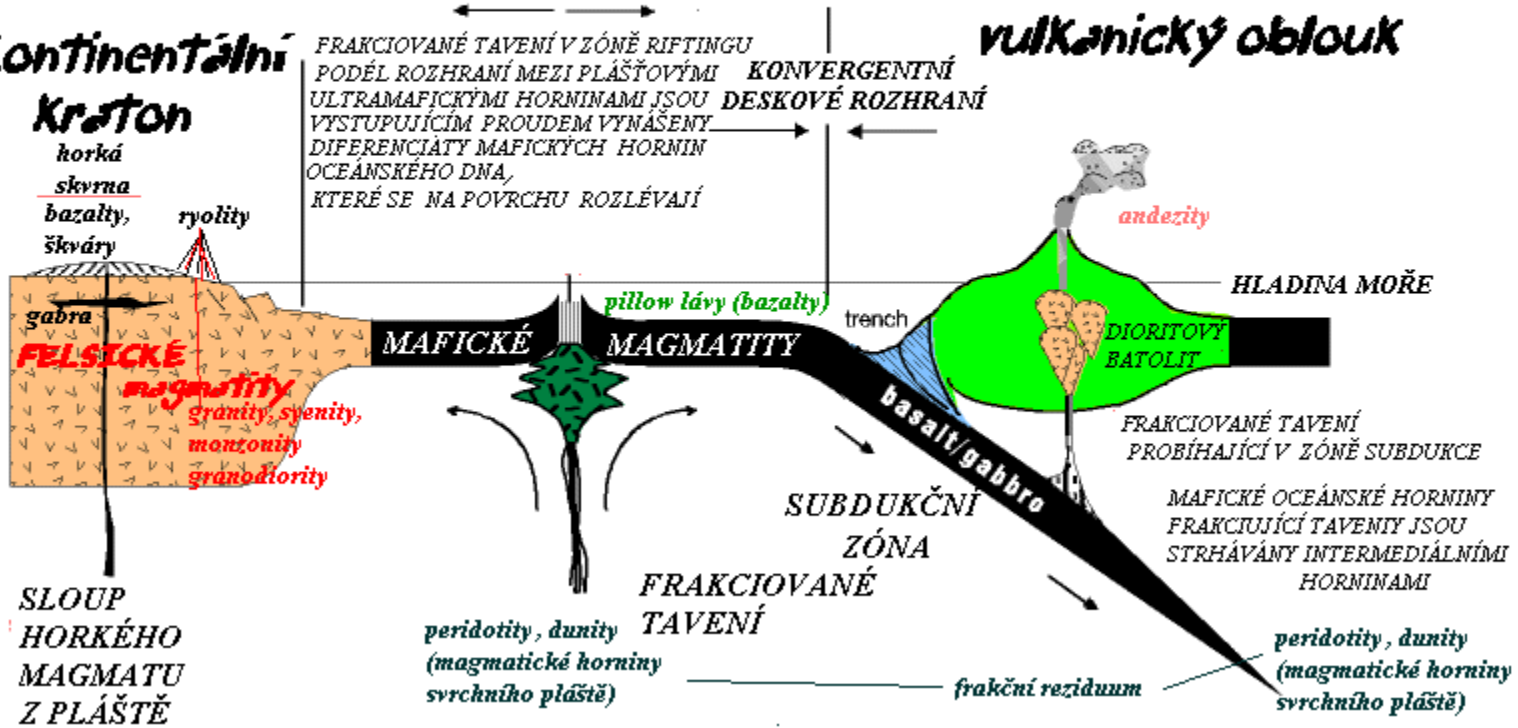
MAFICKÉ OCEÁNSKÉ HORNINY  
 FRAKCUJÍCÍ TAVENÍ JSOU  
 STRHÁVÁNY INTERMEDIÁLNÍMI  
 HORNINAMI

FRAKCIOVANÉ  
 TAVENÍ

peridotity, dunity  
 (magmatické horniny  
 svrchního pláště)

frakční reziduuum

peridotity, dunity  
 (magmatické horniny  
 svrchního pláště)



# ***Magmata oceánské litosféry***

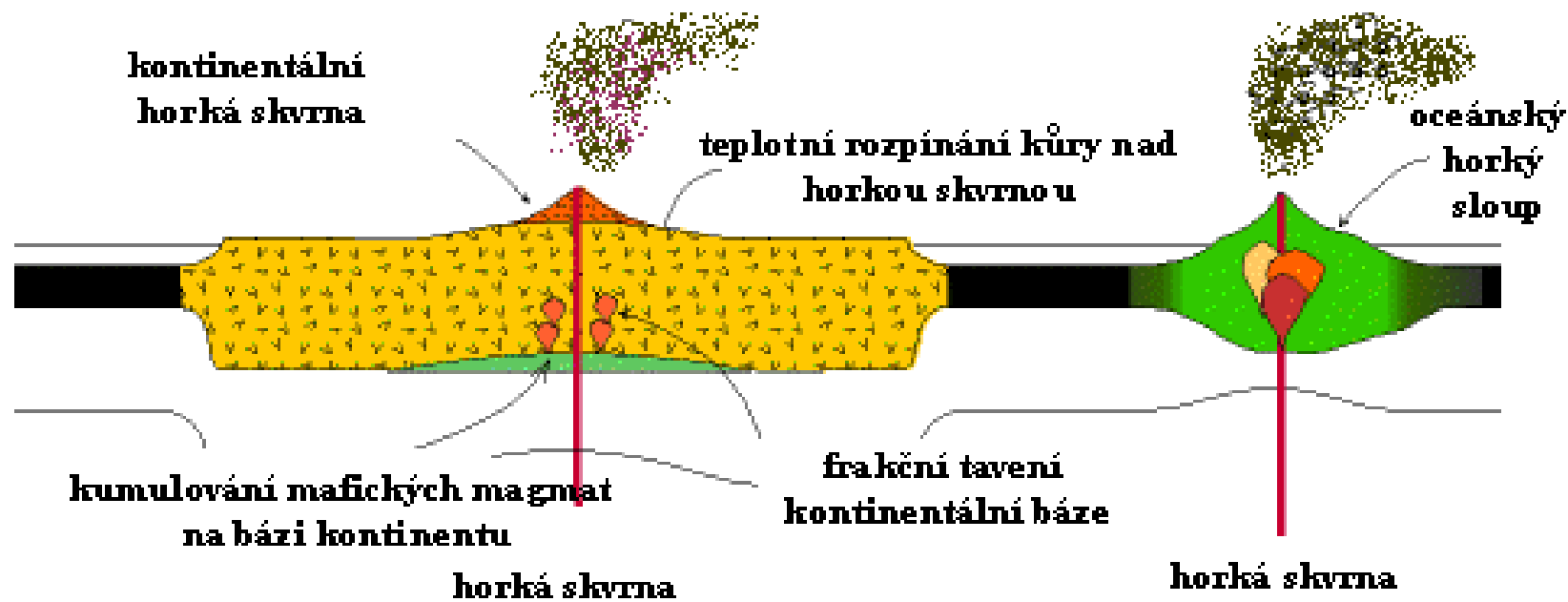
Magmata riftových zón a středooceánských hřbetů *oceánské tholeiity* (ocean floor basalts OFB, middle ocean rift basalts MORB), které pochází z malých hloubek kolem 30 km, mají nízký obsah litofilních prvků (K, Rb, Ba, Cs, Th, U) a primitivní distribuci REE podobnou chondritům

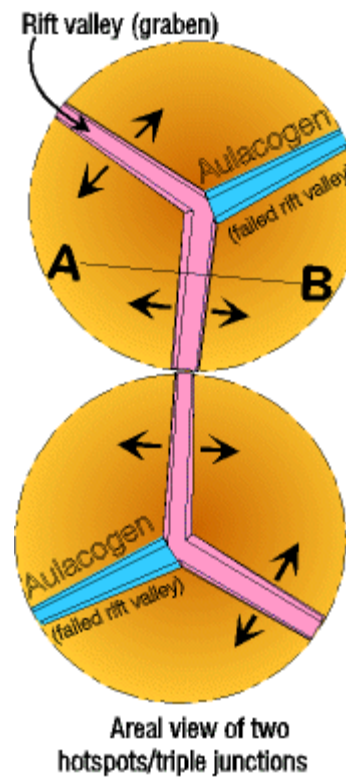
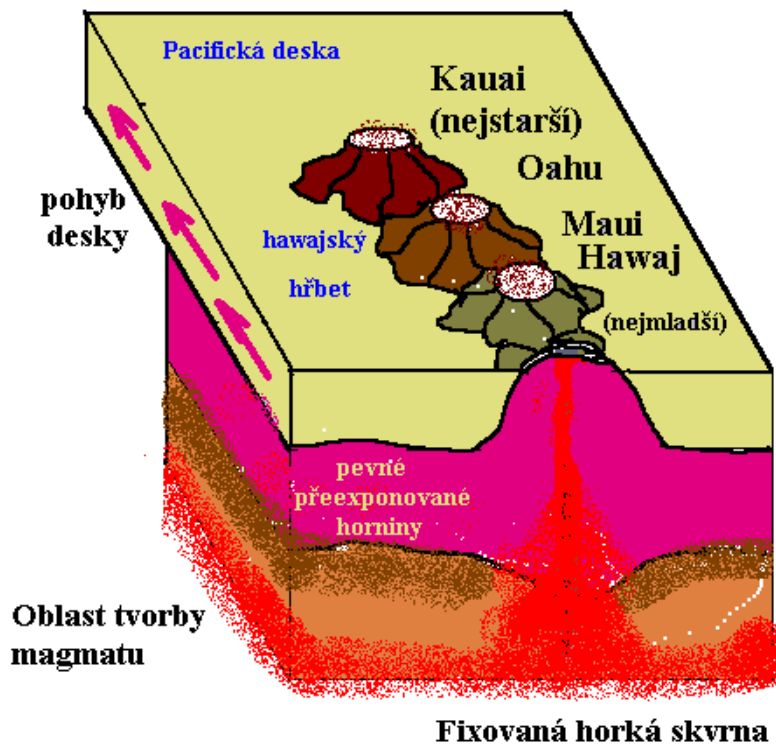
- Bazalty středooceánských hřbetů obohaceny o některé litofilní prvky (Rb, Ba, Sr, Al, U, Si) a naopak vzniklé residium, za které jsou považovány kumuláty typu alpských ultrabazik, je obohaceno o Cr, Ni a Mg. Mají nízké Rb, Sr, U a Pb a vysoké Sm a Nd



## Magmata horkých skvrn bazalty oceánských ostrovů

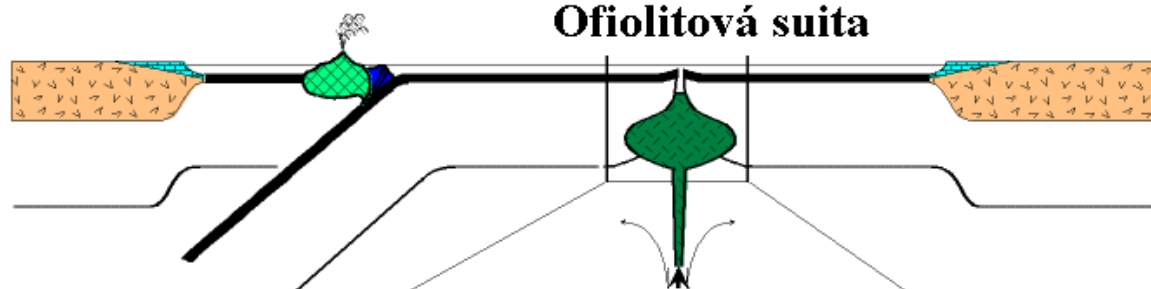
- Magmata oceánských ostrovů (Hawaii, Sv. Pavel, Sv. Helena, Azory, Afar, Markézy, Tuburai, Mururora, Pitcairn apod.) jsou výrazně odlišná od magmat riftových zón (konvertentních rozhraní). Jsou zastoupeny primitivní tholeiity a alkalické bazalty (fonolit, trachyt, hawaiiit-mugearitová) s výrazným obsahem uranu (asociace tzv. HIMU)
- Anomálie radiogenních izotopů v bazaltech oceánských ostrovů v pásmu od jižního Atlantiku, přes Indický oceán do jižního Pacifiku označovaná jako DUPAL (Dupré, Allégre 1983) indikuje obohacení pláště v této oblasti o U/Pb, Th/U a Rb/Sr.





# Složení oceánské litosféry

## Ofiolitová suita

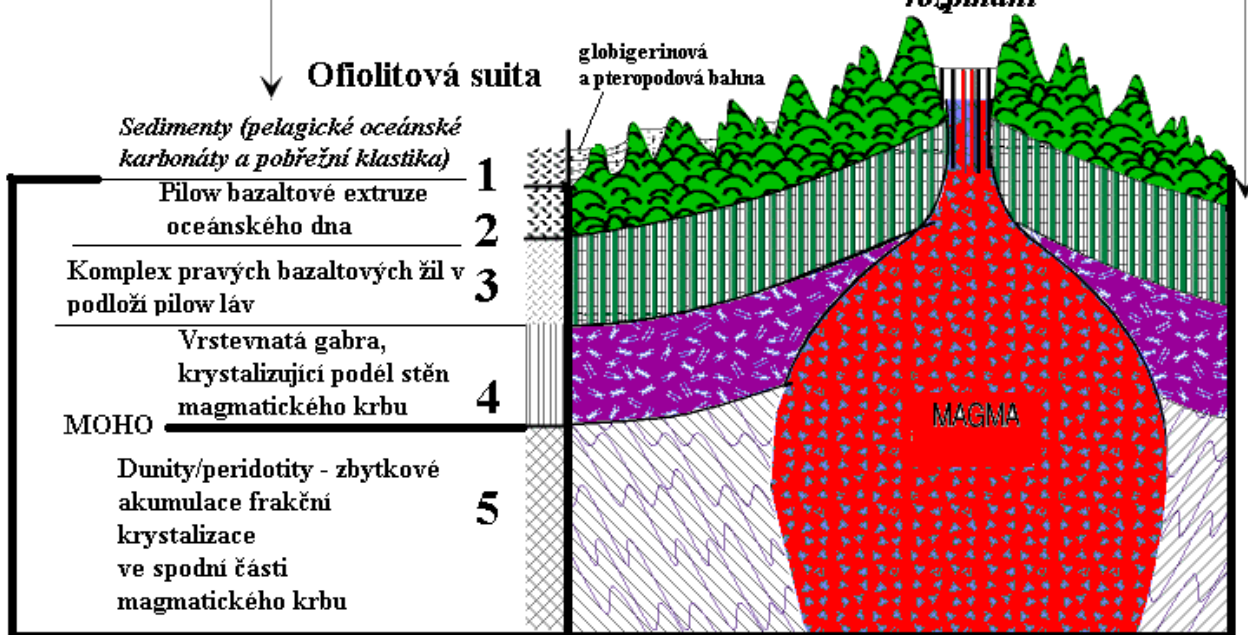


## Stoupající proudění

## Rozpínání ve středooceánských deskových okrajích (riftová zóna)

osa rozpínání  
hladina moře

## Ofiolitová suita



LITOSFÉRA

Sedimenty (pelagické oceánské karbonáty a pobřežní klastika)

Pilow bazaltové extruze oceánského dna

Komplex pravých bazaltových žil v podloží pilow láv

Vrstevnatá gabra, krystalizující podél stěn magmatického krbu

MOHO

Dunity/peridotity - zbytkové akumulace frakční krystalizace ve spodní části magmatického krbu

1  
2  
3  
4  
5

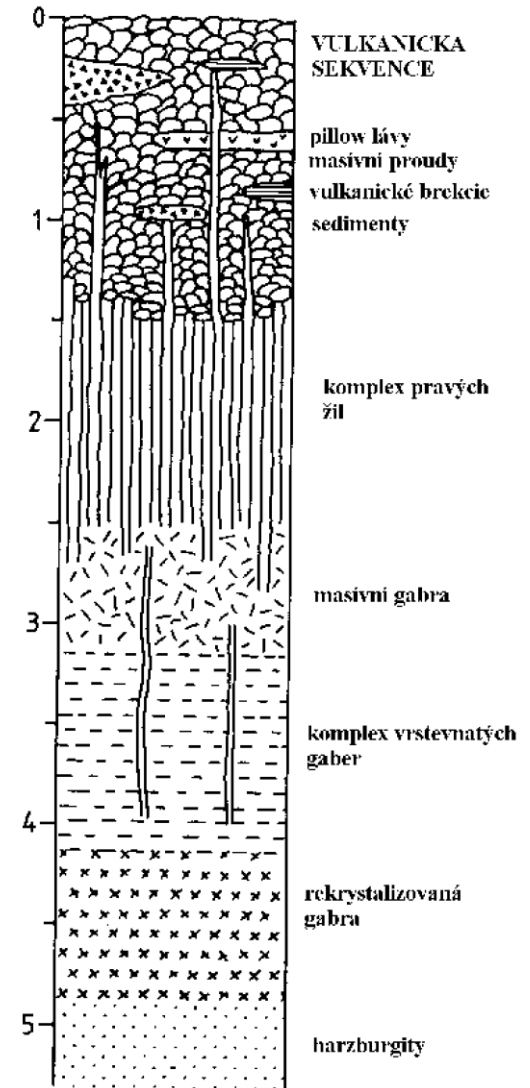
globigerinová a pteropodová bahna

MAGMA

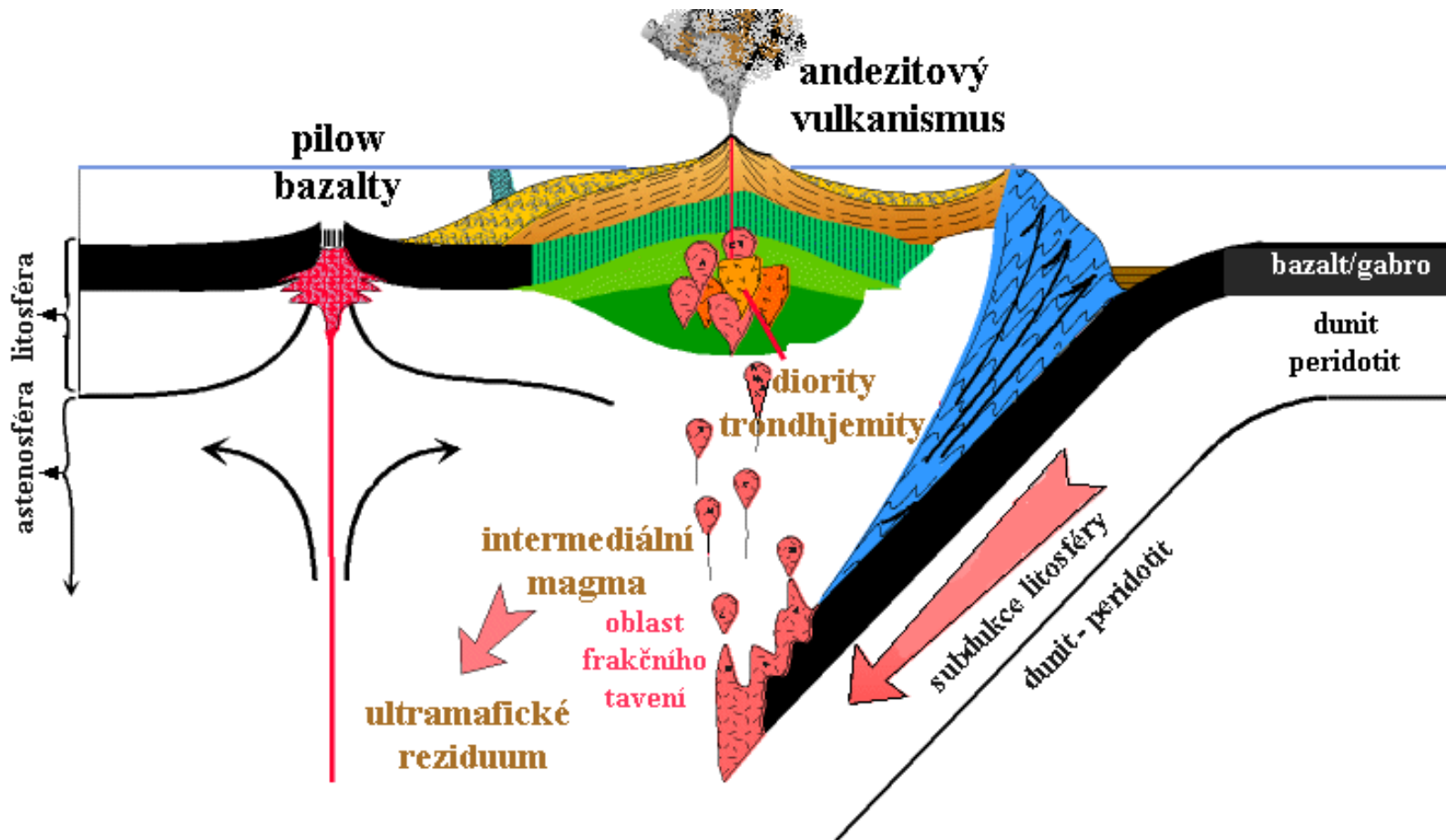
# Ofiolit

- ofiolitový komplex má (od podloží k nadloží) tyto členy:
- *metamorfované, ultramafity*, tvořené proměnlivým podílem lherzolitů, harzburgitů a dunitů. Charakteristická pro ně je serpentinizace. Odpovídají spodní části oceánské kůry,
- *gabro peridotitový (resp. kumulátový) komplex* je charakterizován kumulátovými stavbami, kumulátové peridotity a pyroxenity jsou v podstatě nemetamorfované,
- *roj paralelních žil* (sheated dyke complex) reprezentuje zprostředkující člen mezi gabry v podloží, z nichž se místy pozvolna vyvíjí a komplexem bazických vulkanitů v nadloží
- *lávy typu pillow (spility)*,

hloubka v km



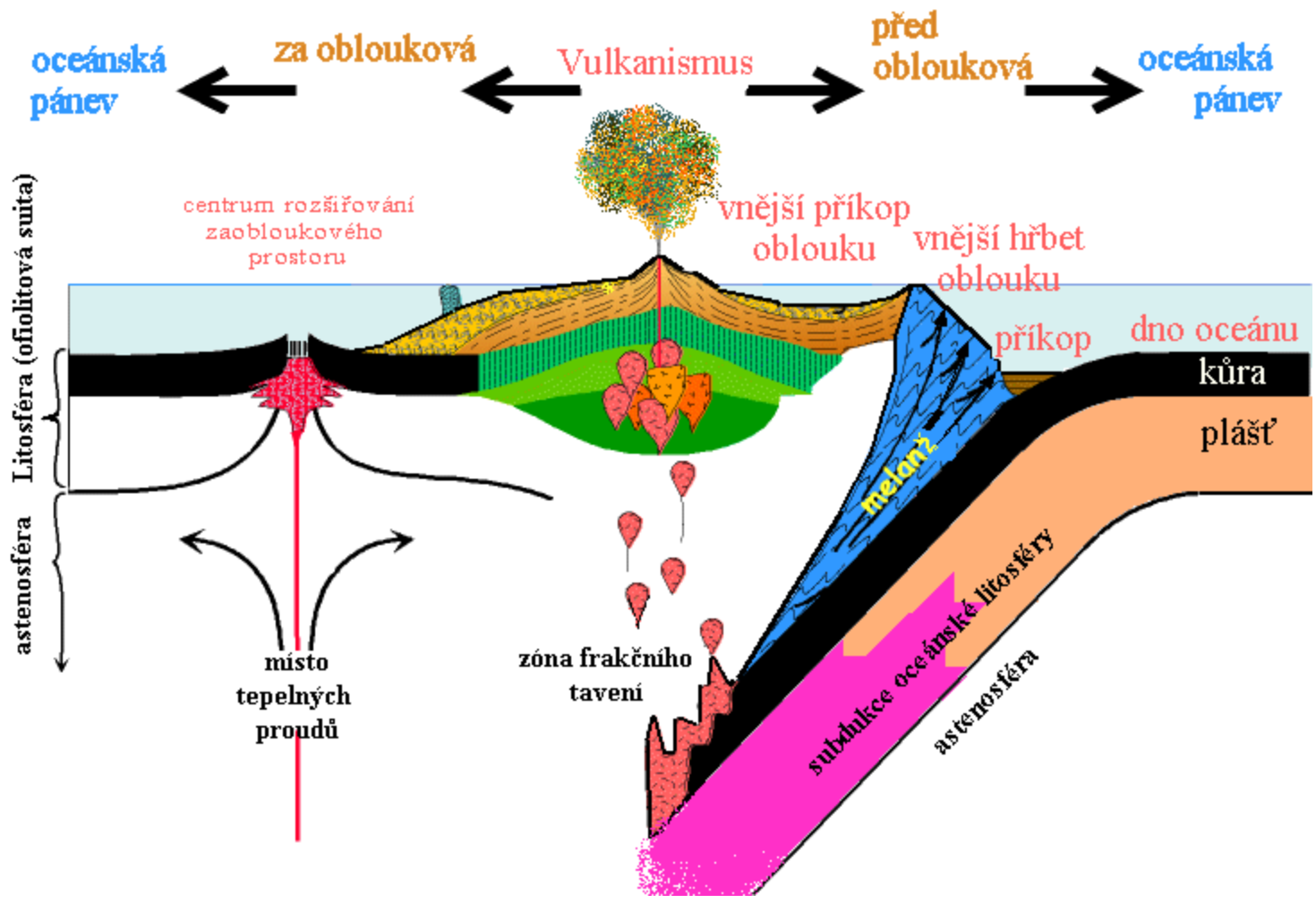
# Magmatismus subdukčních zón magmata kontinentálních okrajů



# Ostrovní oblouky

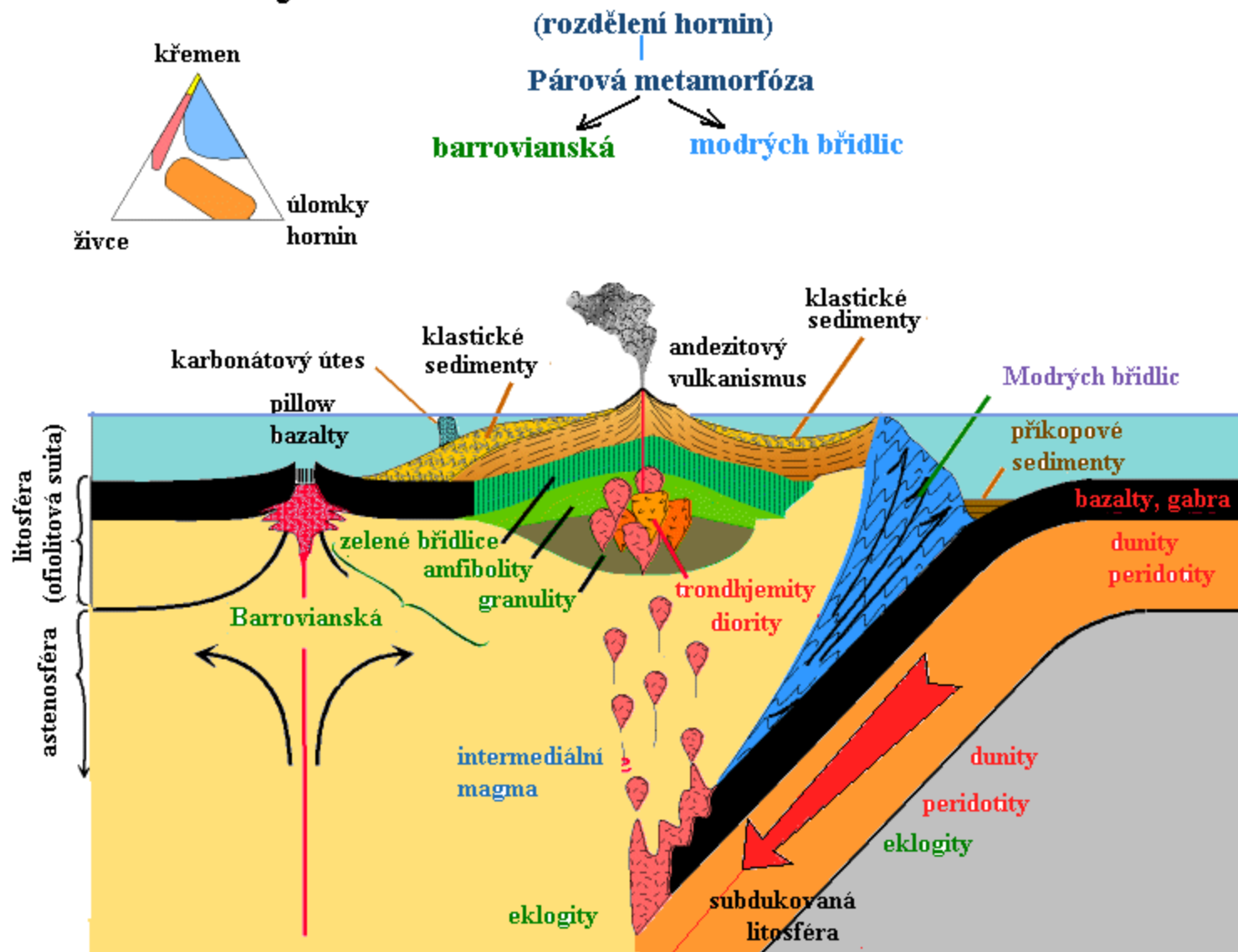
- *Magmata ostrovních oblouků* jsou tvořena nejčastěji výlevnými horninami vápenato alkalické suity, označovanými jako bazalt–andesit–ryolitová asociace či orogenní vulkanická série
- Bazalty této skupiny jsou vysoko-aluminiového typu, běžně obsahují hypersten (který bývá přítomen ve všech bazičtějších členech série.
- V kyselých členech převládají nejprve lávy vápenato alkalické později Na-alkalické nebo horniny šošonitové série, které jsou bohaté alkáliemi (6,5-7 % celkově), obsahují normativní hypersten, poměr  $K_2O : Na_2O$  je větší než 1. Obsah křemíku je vysoký (50-54 %).
- *Tholeitová série ostrovních oblouků* a okrajů kontinentů je považována za produkt frakční krystalizace. Většina hornin je bazická (obsah nad 54%  $SiO_2$  v bazaltu a bazaltickém andezitu). Obsahují augit a pigeonit a liší se od bazických členů vápenato-alkalické řady i diferenciačním trendem

# System vulkanického oblouku (tektonické prvky)





# System vulkanického oblouku



# Magmatická aktivita v kontinentální kůře

- Magmatické jevy na kontinentech jsou spojovány se dvěma procesy – s pronikem plášťového materiálu do kůry (plášťové sloupce či chocholy) a se vznikem magmat přímo v kontinentální kůře.
- K pronikům pláště do kůry patří:
  - riftový vulkanismus, v němž kromě převládajících alkalických bazaltů jsou zastoupeny i intermediální typy (se sanidinem, olivínem a Ti-augitem) a Na a K ryolity
  - platobazalty
  - Kimberlity
- *Vznik magmat v kůře* se předpokládá především u granitoidních hornin a ryolitů složením blízkých granitovému solidu.
  - Geochemický charakter těchto hornin odpovídá recyklované vysoce diferencované kůře. Základním procesem vzniku je parciální anatexe za teplot 640-800 °C a tlaku 30-50 Mpa při nichž vzniká tavenina křemen živcového složení a restit odpovídající složením amfibolitové facii za nižších teplot a granulitové za vyšších.

# Platóbazalty

- **Platóbazalty jsou produkty lineárních erupcí láv extrémně bohatých fluidy.** Mají nízkou viskozitu, střední koeficient explozivity, tvoří lávové příkrovy nebo ložní podpovrchové žíly
- Bazalty provincie Karroo
  - **Na bázi proudů se vyskytují pikrity** s 25-40% hořčnatého olivínu, labradoritu, augitu a rombického pyroxenu. **Od podloží směrem vzhůru stoupá obsah železa v poměru k hořčíku** (typický znak tholeiitových asociací). Posledními produkty diference magmatu jsou „pegmatoidní“ polohy (složené z plagioklasu, Fe-olivínu a pyroxenu). Z geochemického hlediska jsou pro příkrovové bazalty typu Karroo typické nízké obsahy K, Ti, Ba, Sr, Zr.

## Neznámější provincie platóbazaltů

oblast	plocha (v km <sup>2</sup> )	mocnost příkrovu (v km)	objem (v km <sup>3</sup> )	stáří
lávy Karroo - jižní Afrika	2.000 000	0,7	1.400 000	trias -jura
povodí Jeniseje - sibiřské plató	2.500 000	0,36	900 000	karbon-trias
Plató Parana - jižní Amerika	1 200 000	0,65	780 000	křída
Provincie Deccan Indie	500 000	1	500 000	křída-eocén
Severní Austrálie	400 000	1	400 000	kambrium
Kolumbijský proud USA	220 000	0,9	159 000	miocén

# Kritéria tektogeneze a tektonické pozice granitoidů

- geochemicko-tektonickou klasifikaci granitoidních hornin je nejčastěji užíváno dělení vyvřelin na **I** a **S** typ granitů (Chappell-White 1974,). K těmto základním typům jsou řazeny další **M** a **A** a indikační poměry prvků jsou různými autory upravovány.
- Základní rozdíly mezi I/S typy granitoidů jsou uvedeny v tab.
- **A** - (anorogenní, aluminiové) - jsou to hypersolvní granity, felzitické až alkalické (s **egirínem**). Obsahují materiál granitických a metamorfních komplexů, nemají xenolity a vyskytují se nejčastěji v kontinentálních riftových zónách. Charakteristický pro ně je vysoký obsah **Ga** a **Ga/Al**, nízký obsah **Eu**. Mají vysoké obsahy **F-** a **Cl-**. Vznikají jako produkt krystalizace zbytkových roztoků frakcionační krystalizace. Jsou s nimi spojeny skarny **W-Sn-F**, **Mo-Bi**, **W-U-Th** žíly, greiseny **Sn**, skarnová a porfyrová ložiska **Sn**
- **M** - (mantle, plášťové)- předpokládá se, že vznikly diferenciací v nejsvrchnějších pláštích. Vyskytují se v úzkých pásech podél subdukčních zón a zpravidla je pro ně typická nízká hodnota  $\delta 18\text{O}$  (ukazující na primitivní bazaltové zdroje), nízký poměr  $\delta 87\text{Sr}/86\text{Sr}$  a nízký obsah **Rb**.
- **I** - (intruzivní) - vznikly remobilizací původního granitového materiálu na bázi kontinentální kůry. Nízká hodnota  $\delta 18\text{O}$  a poměr  $\delta 87\text{Sr}/86\text{Sr}$  (nižší než 0,707) ukazuje na primárně vyvřelý zdroj. Vystupují v blízkosti významných kůrových rozhraní a jsou s nimi spjata ložiska porfyrových rud **Cu** a **Mo** a skarnové rudy **W-Mo-Cu**. **S** - (sedimentární) - jsou nejčastější. Všechny jsou přesyceny hliníkem, mají nízký stupeň oxidace v důsledku redukčních procesů uhlíkem obsaženým v sedimentech. Proto neobsahují **magnetit**. V souvislosti s adsorpcí v jílech bývají obohaceny tranzitními prvky a  $\delta 18\text{O}$  je nižší než 10. Mají vysoký podíl  $\delta 87\text{Sr}/86\text{Sr}$  v důsledku koncentrace **Rb** v sedimentech. Jednoduché složení **REE**.

- peraluminiový granit -  
 $A/CNK > 1.0$
- metaaluminiový granit -  
 $A/NK > 1.0$  a  $A/CNK < 1.0$
- peralkalický granit -  
 $A/NK < 1.0$
- Barbarin (1990)
  - I. granity krustálního původu (C) - continental
  - II. granity smíšeného původu (H) - hybrid
  - III. granity plášťového původu (T, A) - tholeiitic+alkaline

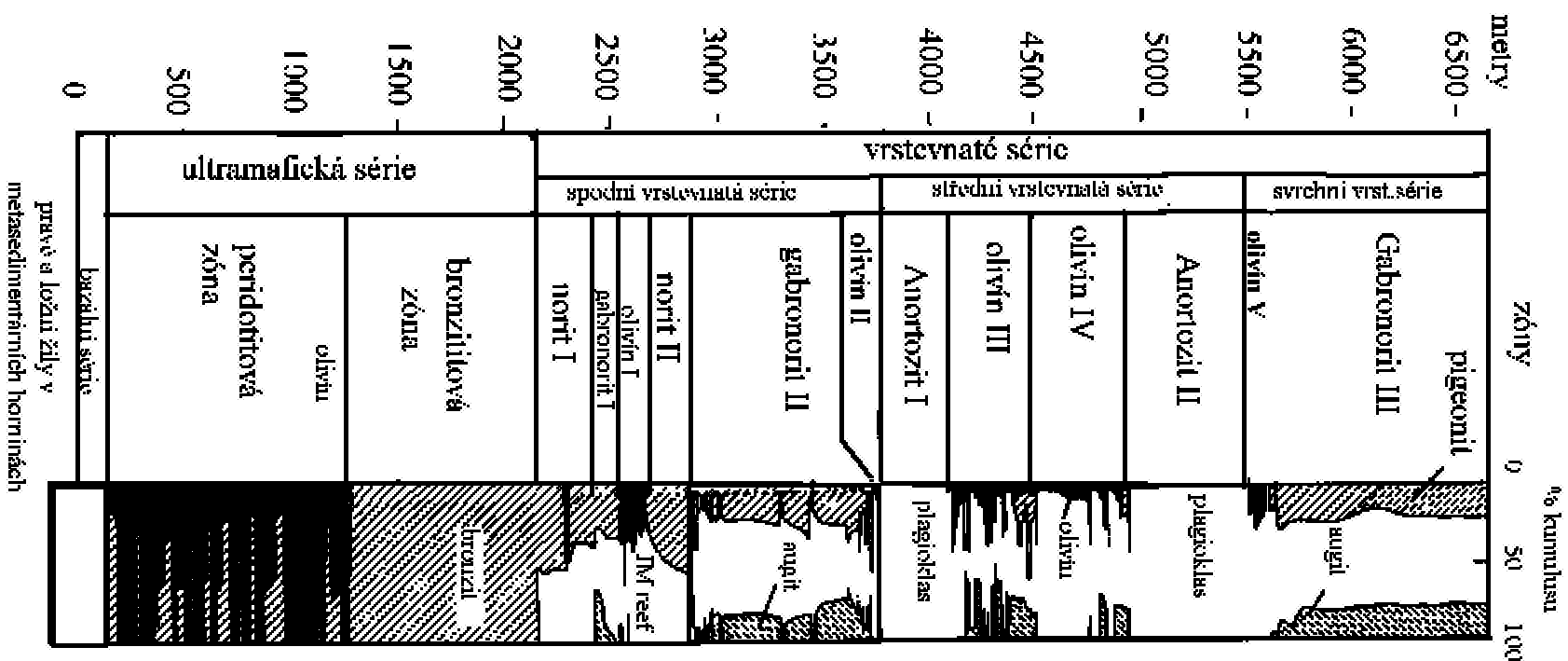
I-typ	S-typ
Relativně vysoký obsah $\text{Na}_2\text{O} > 3.2$ ve felzických varietách klesá na $> 2,2\%$ v mafičtějších typech hornin, nízký poměr $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$	Poměrně nízký obsah $\text{Na}_2\text{O} < 3,2\%$ v horninách $\text{K}_2\text{O} = 5\%$ klesá na $< 2,2\%$ v horninách s $\text{K}_2\text{O} = 2\%$ , vysoký poměr $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$
Molární $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} < 1,5$	Molární $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} > 1,5$
CIPW: diopsid nebo korund $< 1\%$	CIPW: korund $> 1\%$
Široký kompoziční rozsah $\text{SiO}_2 = 53$ až $76\%$ , vysoký obsah $\text{CaO}$ v mafických typech, nízké obsahy $\text{Cr}$ a $\text{Ni}$	Složení poměrně omezené na typy s vysokým obsahem $\text{SiO}_2 = 65$ až $74\%$ , nízké obsahy $\text{Ca}$ a $\text{Sr}$ , vysoké obsahy $\text{Cr}$ a $\text{Ni}$
Téměř lineární variační diagramy, pravidelné isochrony	Variační diagramy jsou nepravidelné, isochrony jsou tvořené značně rozptýlenými body
Typické minerály: amfibol, biotit, titanit, apatit uzavíraný v biotitu a amfibolu	Běžný je muskovit, biotit může být velmi hojný (až $35\%$ ), monazit, granát, cordierit, apatit ve tvaru izolovaných větších krystalů
Xenolity amfibolových hornin vyvrhelého vzhledu	Xenolity metasedimentů (vzácně i amfibolových hornin)
Často silná sekundární foliace	Struktura masívní, nebo výrazná primární foliace
Ve složených batolitech, obvykle mladší plutony	V složitějších batolitech často starší plutony
$(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_0 = 0,704-0,706$	$= > 0,708$
Ložiska $\text{W}$ , $\text{Mo}$ , $\text{Cu}$ -porfyrových rud	Ložiska $\text{Sn}$ spojené se značně prokřemenělými varietami
Celohorninový poměr $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ je vysoký	Celohorninový poměr $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ je nízký
Vysoká magnetická susceptibilita	Nízká magnetická susceptibilita

# Ultramafické magmaticky vrstevnaté komplexy kontinentální kůry

- Největší či nejznámější z těchto masívů jsou Bushweldský komplex v Jižní Africe (objem kolem 100 000 km<sup>2</sup>), Stillwaterský komplex v Montaně, Muskoxská intruze v Kanadě a intruze Skaergaardská v Grónsku.
  - V intruzi Skaergaard (500 km<sup>2</sup>) bylo rozlišeno jádro tvořené sledem:
    - ultrabazika – dvou pyroxenové gabro – živcové gabro a železem bohatý diorit. Intruze má jednak rytmické páskování tvořené horninami s různým poměrem tmavých a světlých minerálů a kryptické páskování tvořené horninami různého chemismu. Charakteristické jsou kumulátové stavby, indikující vznik gravitační diferenciace (poklesem těžších minerálů, hlavně olivínu a pyroxenů v tavenině a jejich nahromaděním na spodu neutuhlé části magmatu). Kryptické páskování je produktem frakcionační krystalizace podle Bowenova schématu.



# Magmatická vrstevnatost Bushweldského komplexu v jižní Africe



- *Anorthosity*

- Mají určité znaky vrstevnatých intruzí, např. kumulátové páskování a distribuci stopových prvků. Předpokládá se, že vznikly z magmatu bohatého plagioklasovou složkou, vznikajícího dílčím tavením ve svrchním plášti nebo spíše ve spodní kůře.

- *Alkalické bazalty a nefelinity* se vyskytují na kontinentech bez jakékoliv souvislosti se subdukčními zónami, ale v některých případech jsou spjaty se vznikem riftových struktur.

# Systematická magmatická petrologie

- Je součástí cvičení
- Vybrané horniny jsou vyznačeny v textu
- K dispozici je malý systém magmatických hornin v mineralogické seminárce v budově č. 2