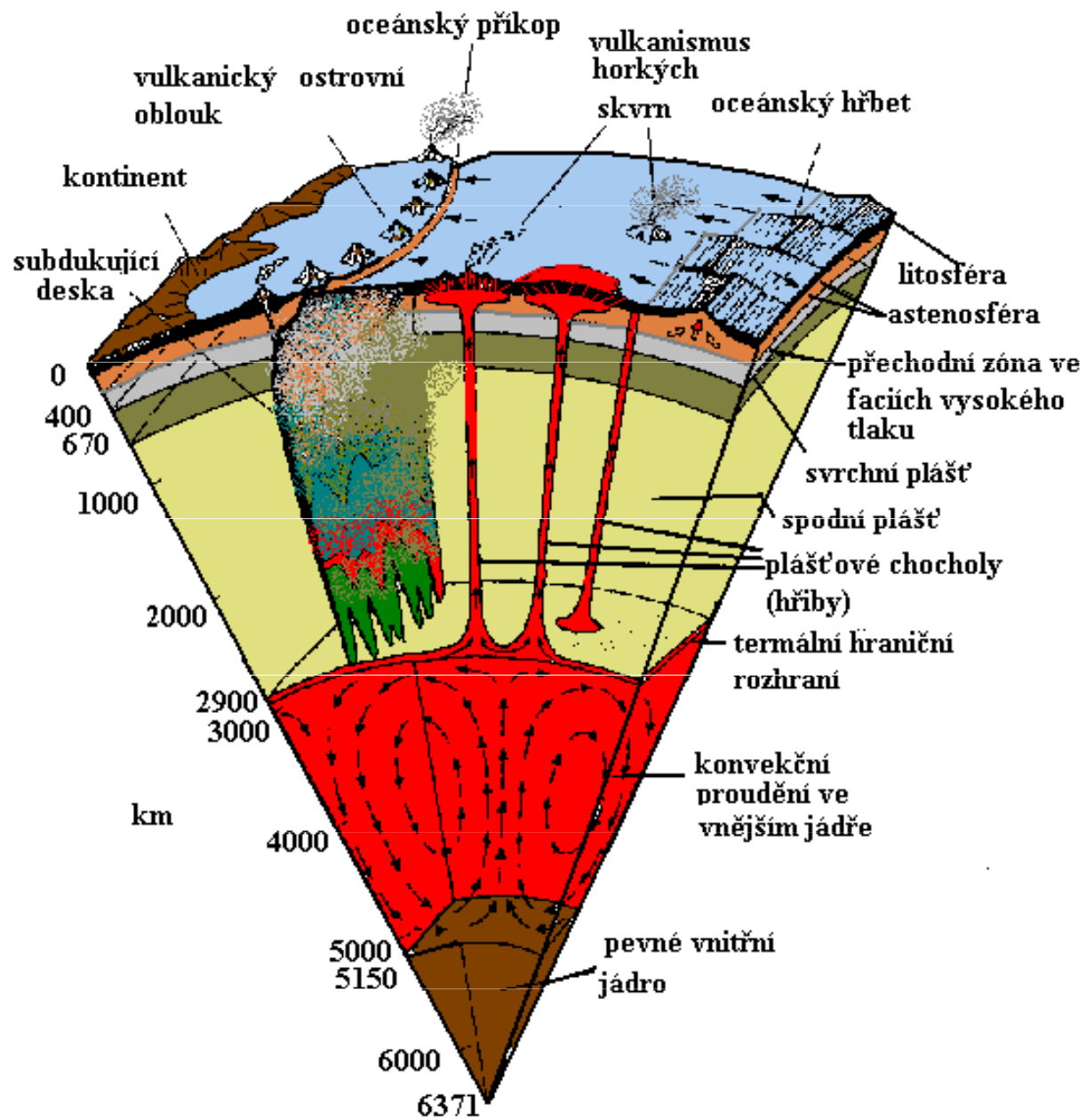


# Tektogeneze magmatických hornin

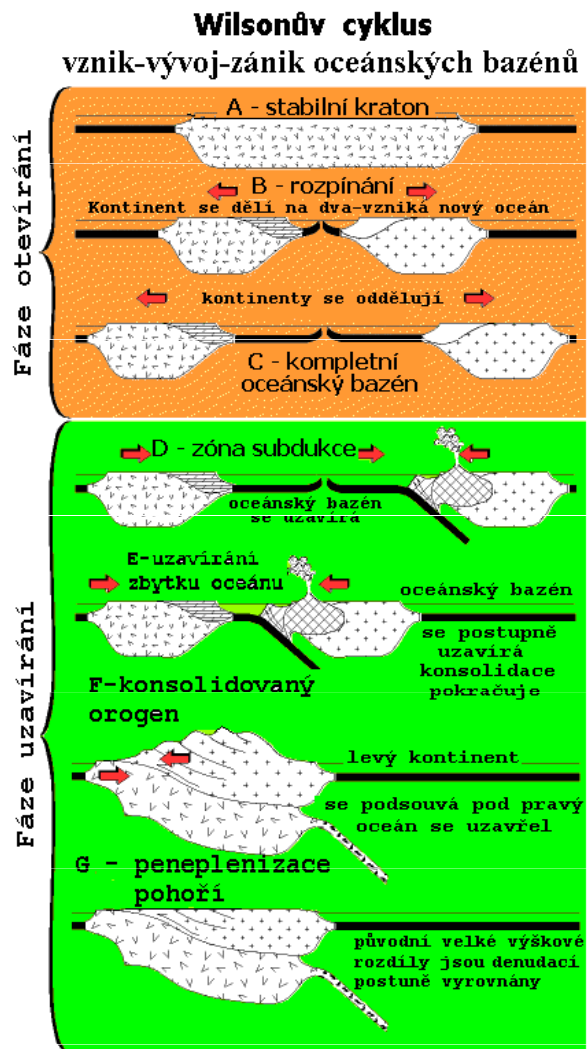




# Magmatické procesy

## 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: středoocéánské 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



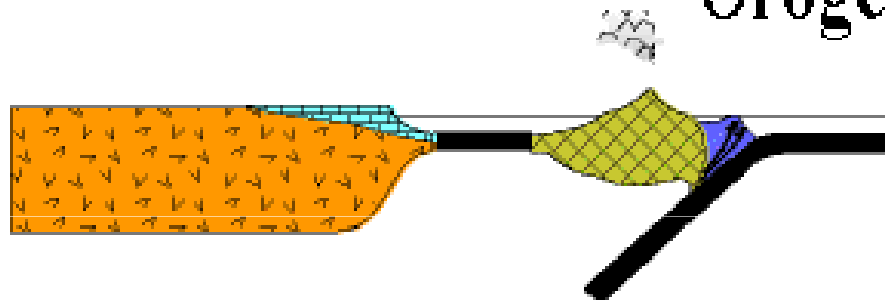
- Formace kontinentální kůry

- štítové oblasti
- platformní oblasti
- pásemná pohoří

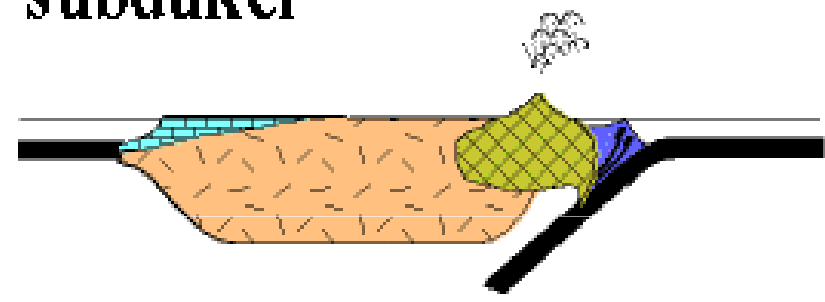
Formace oceánské kůry

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

# Orogeneze subdukcí

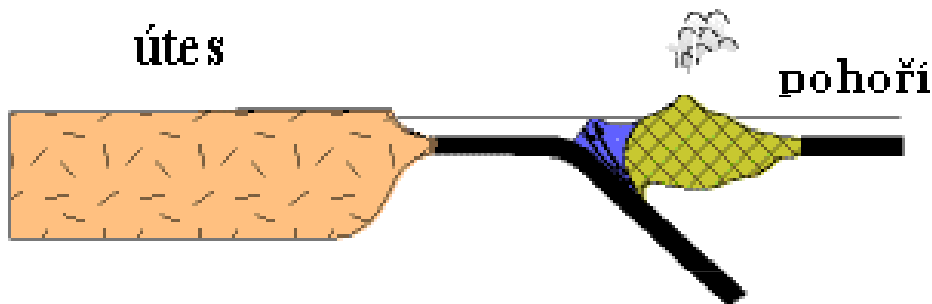


Typ ostrovního oblouku

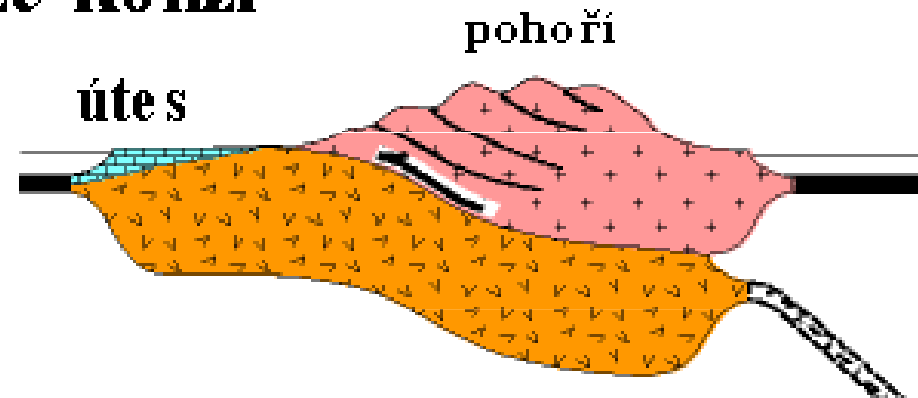


Typ pásemného pohoří (kordilérský)

# Orogeneze kolizí

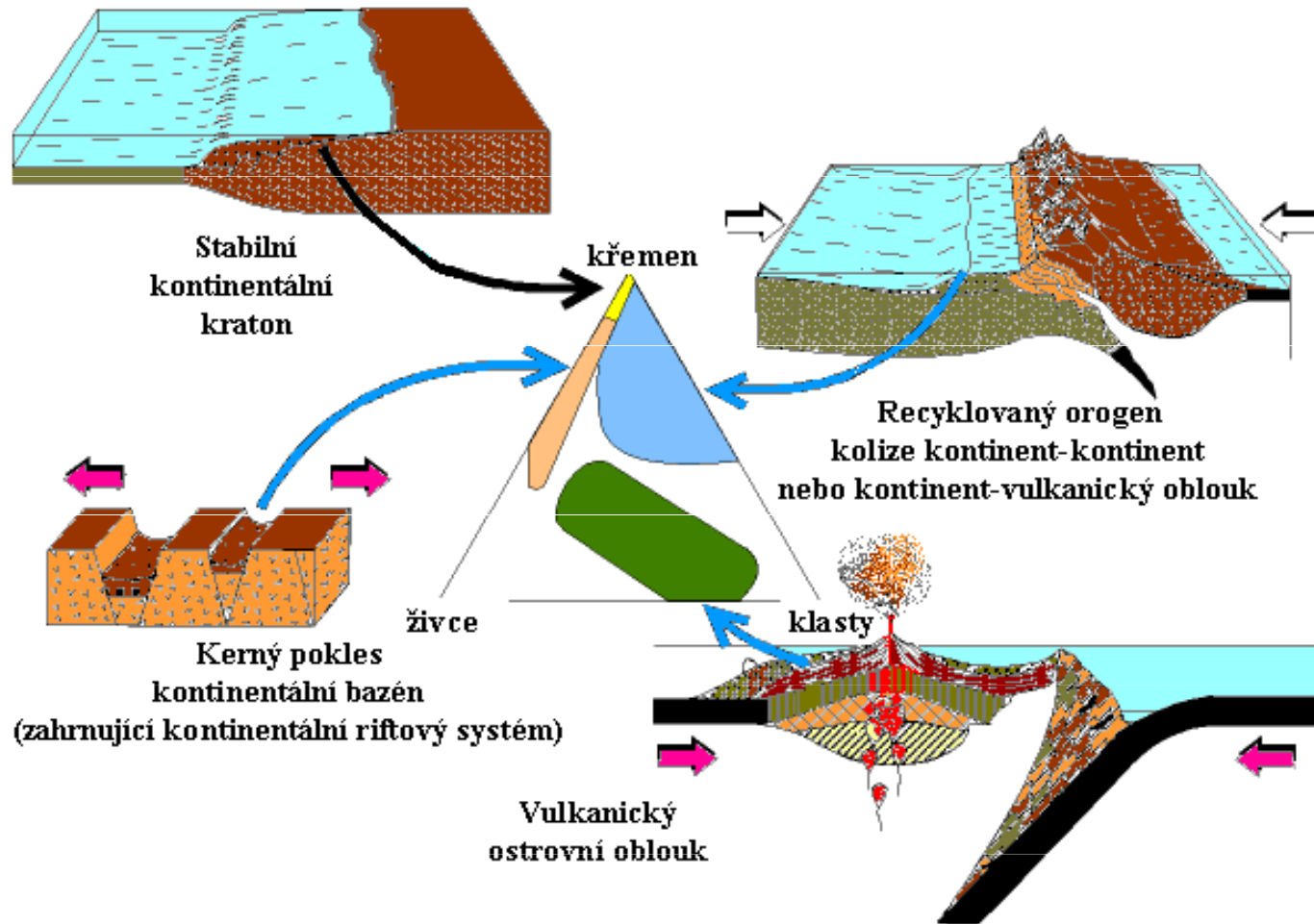


Kolize kontinent - ostrovní oblouk



Kolize kontinent - kontinent

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



# Oceánský bazén

DIVERGENTNÍ  
DESKOVÉ ROZHRANÍ

## Kontinentální Kraton

horká  
skvrna  
bazalty,  
čkváry  
ryolity

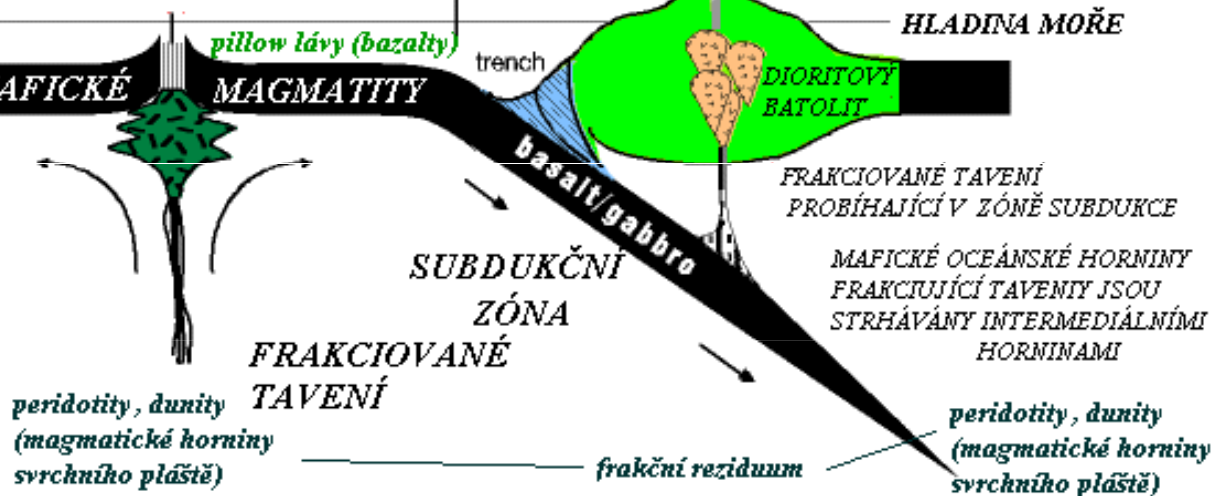


SLOUP  
HORKÉHO  
MAGMATU  
Z PLÁŠTĚ

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

## vulkanický oblouk

KONVERGENTNÍ  
DESKOVÉ ROZHRANÍ



andezity

HLADINA MOŘE

FRAKCIOVANÉ TAVENÍ  
PROBÍHAJÍCÍ V ZÓNĚ SUBDUKCE

MAFICKÉ OCEÁNSKÉ HORNINY  
FRAKTUJÍCÍ TAVENÍ JSOU  
STRHÁVÁNY INTERMEDIÁLNÍMI  
HORNINAMI

peridotity, dunity  
(magmatické horniny  
svrchního pláště)

frakční reziduum

FRAKCIOVANÉ  
TAVENÍ

peridotity, dunity  
(magmatické horniny  
svrchního pláště)

SUBDUKČNÍ  
ZÓNA

trench

pillow lávy (bazalty)

MAFICKÉ

gabra

# ***Magmata oceánské litosféry***

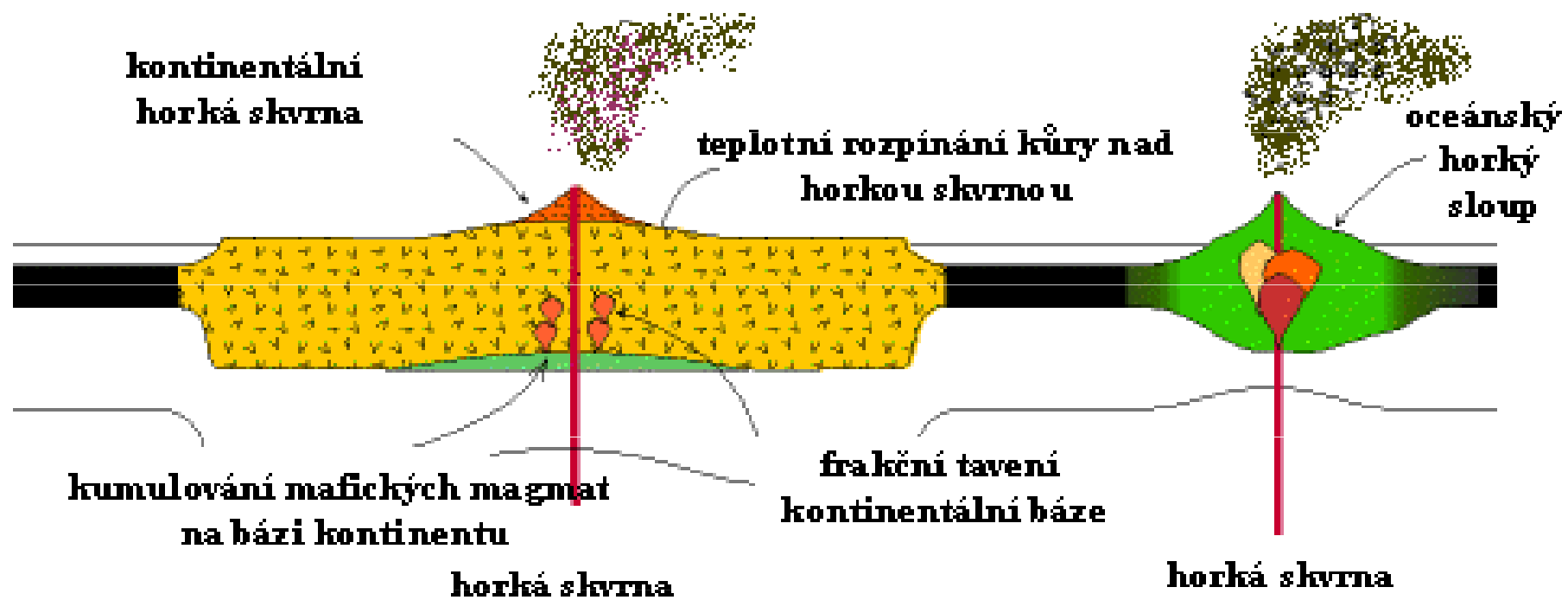
Magmata riftových zón a středooceánských hřbetů *oceánské tholeiity* (ocean floor basalts OFB, middle ocean rift basalts MORB), které pochází z malých hloubek kolem 30 km, mají nízký obsah litofilních prvků (K, Rb, Ba, Cs, Th, U) a primitivní distribuci REE podobnou chondritům

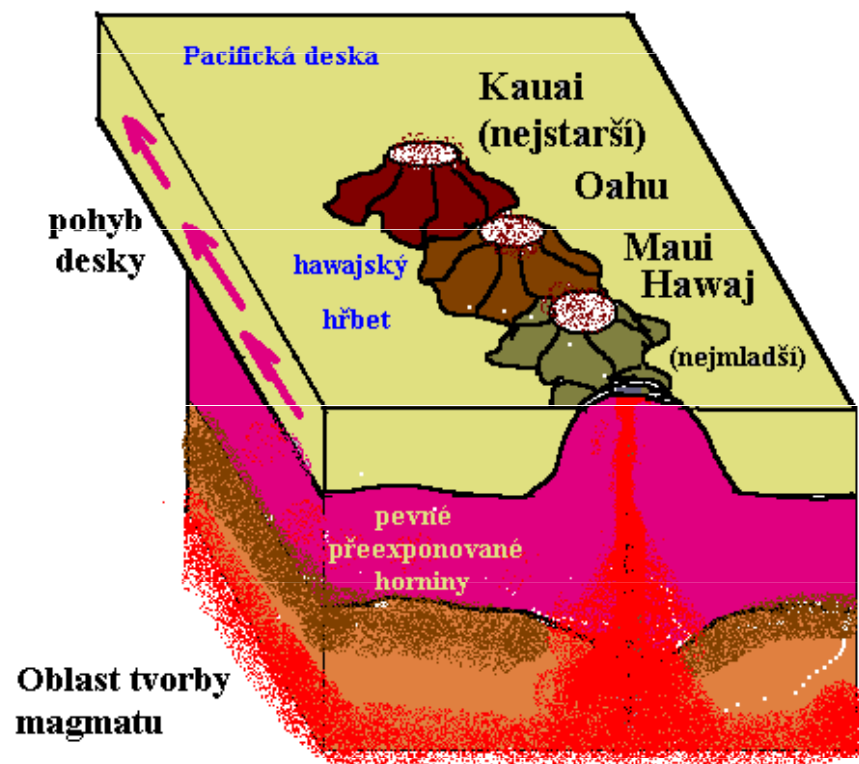
- Bazalty středooceánských hřbetů obohaceny o některé litofilní prvky (Rb, Ba, Sr, Al, U, Si) a naopak vzniklé residium, za které jsou považovány kumuláty typu alpských ultrabazik, je obohaceno o Cr, Ni a Mg. Mají nízké Rb, Sr, U a Pb a vysoké Sm a Nd



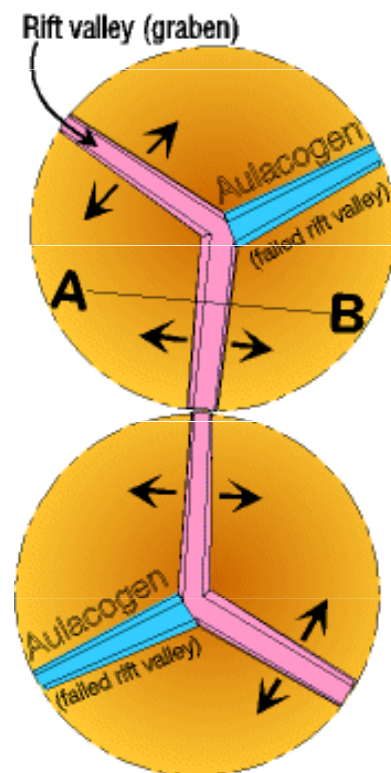
## Magmata horkých skvrn bazalty oceánských ostrovů

- 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.





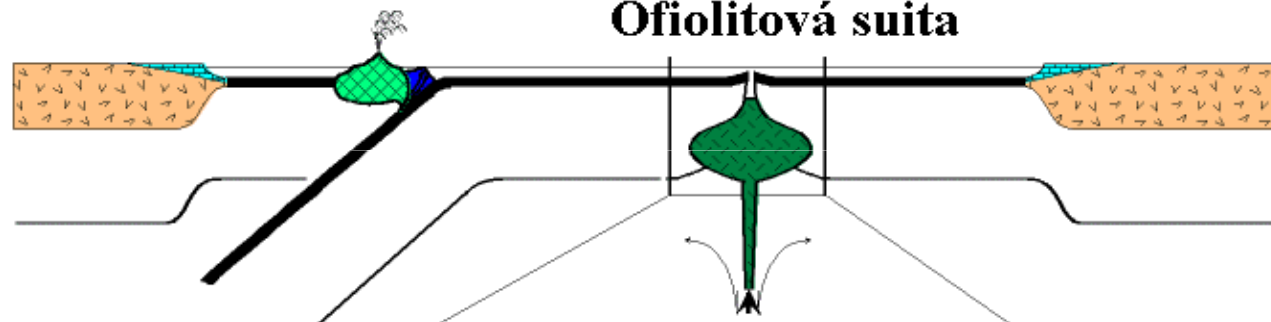
Fixovaná horká skvrna



Areal view of two hotspots/triple junctions

# Složení oceánské litosféry

## Ofiolitová suita



## Stoupající proudění

Rozpínání ve středooceánských  
deskových okrajích  
(říftová zóna)

osa  
rozpínání

hladina moře

## Ofiolitová suita

globigerinová  
a pteropodová bahna

Sedimenty (pelagické oceánské  
karbonáty a pobřežní klastika)

Pillow bazaltové extruze  
oceánského dna

Komplex pravých bazaltových žil v  
podloží pillow láv

Vrstevnatá gabra,  
krystalizující podél stěn  
magmatického krbu

MOHO

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

5

3

2

1

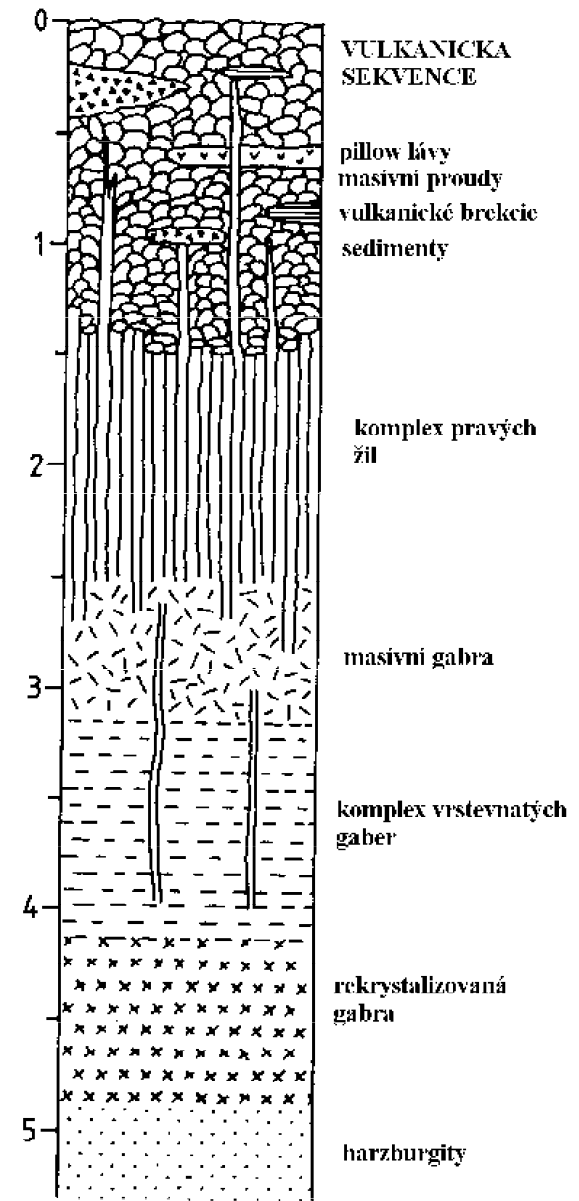
MAGMA

LITOSFÉRA

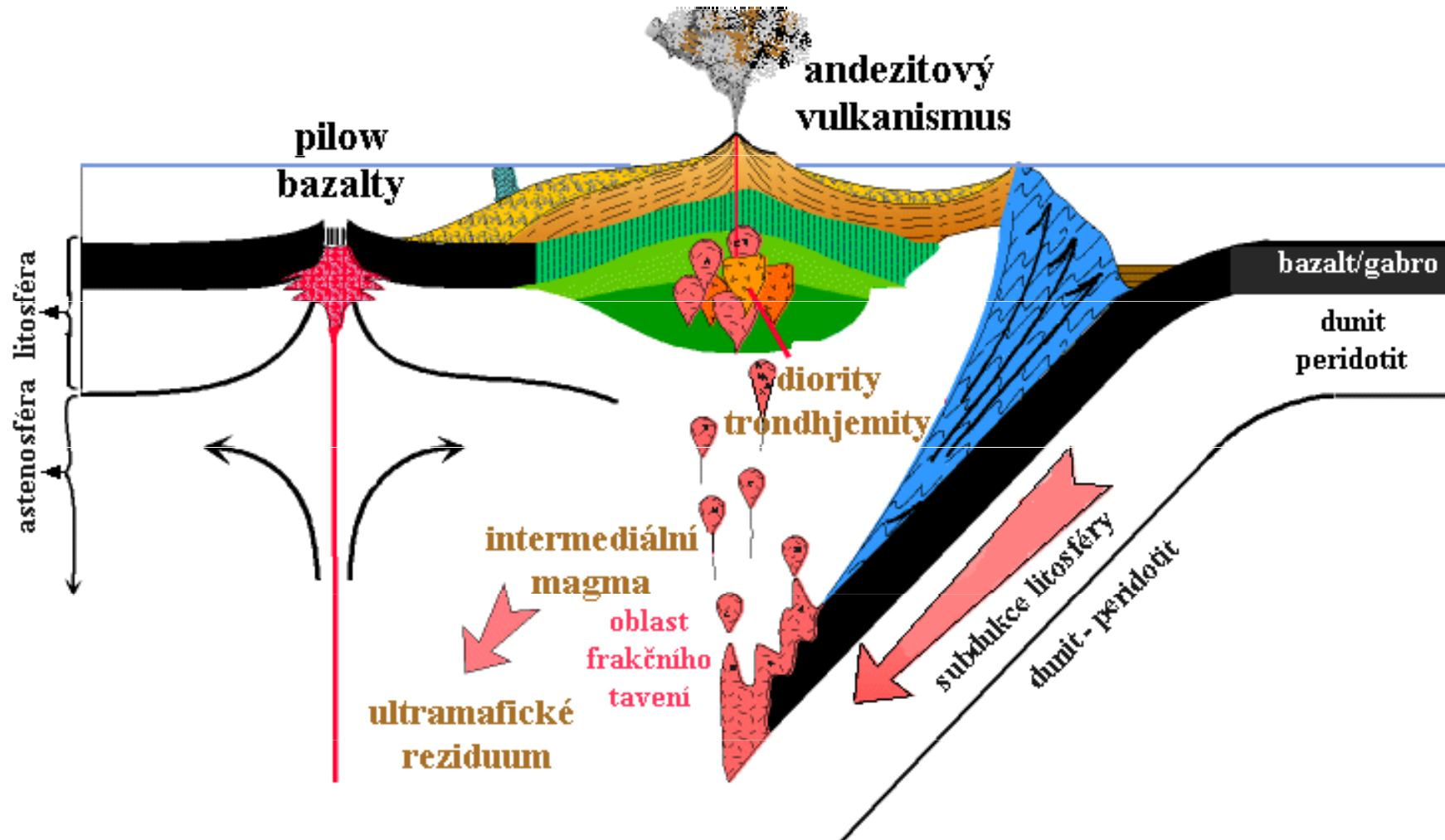
# Ofiolit

- 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



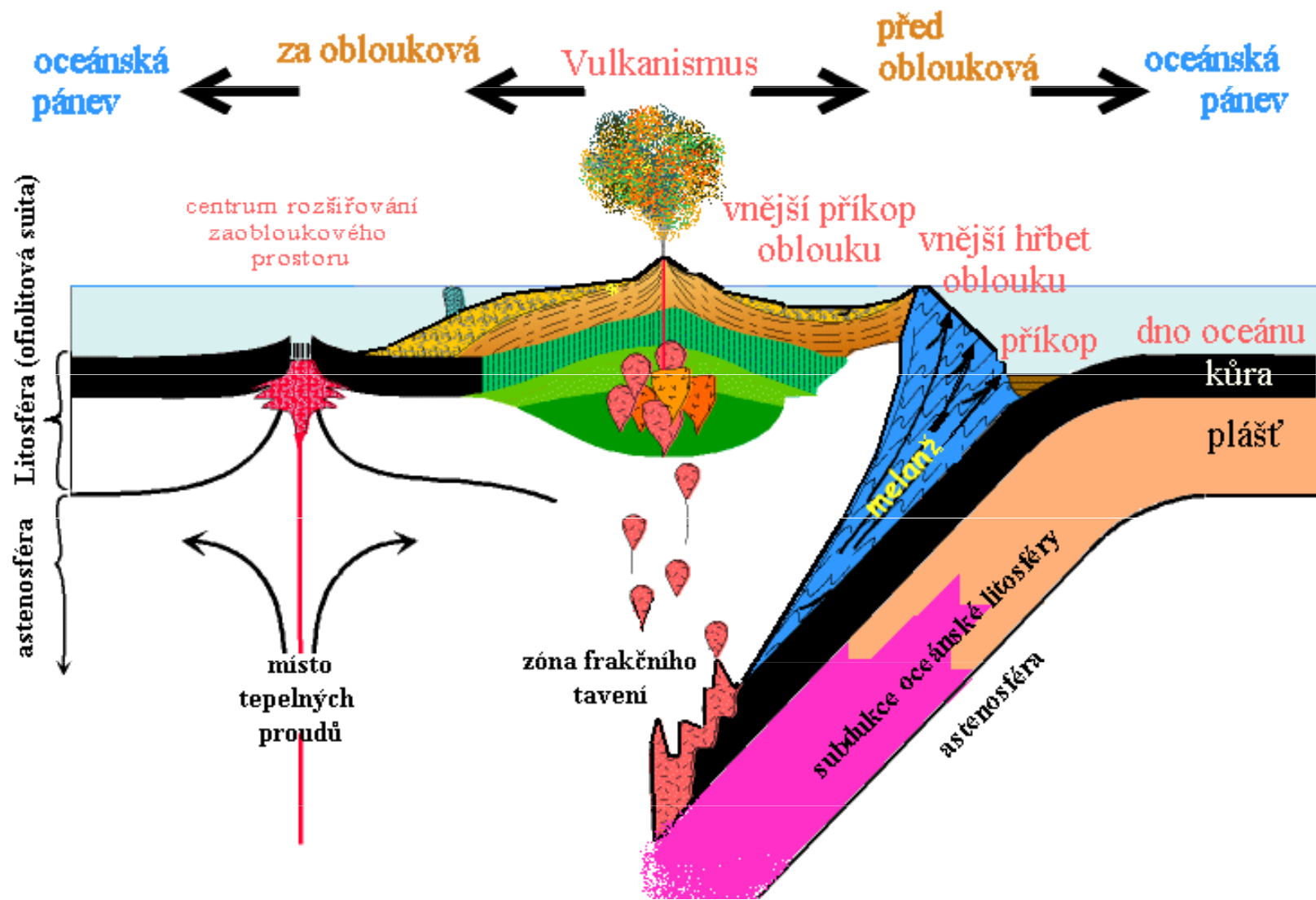
# Magmatismus subdukčních zón magmata kontinentálních okrajů



## 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)





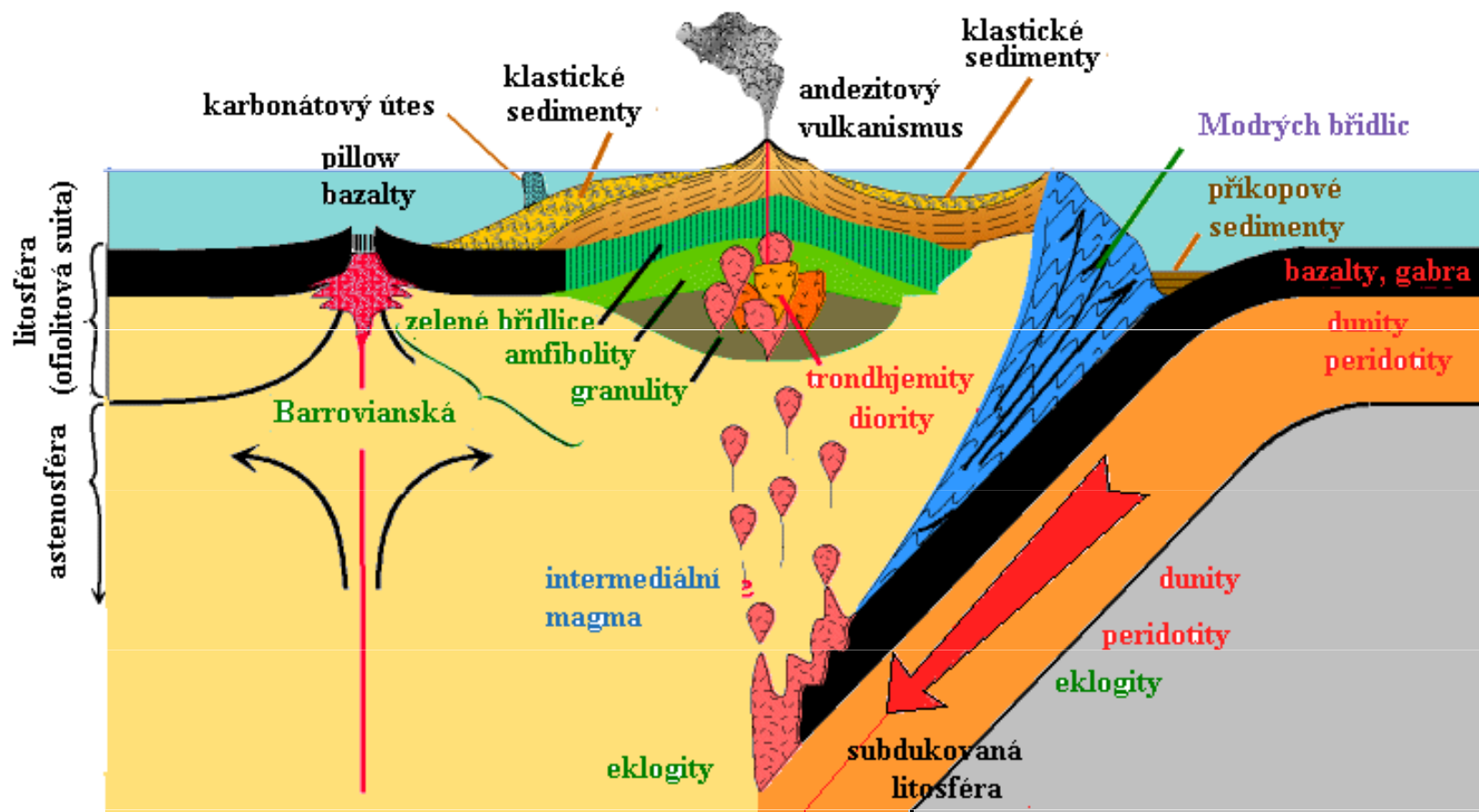
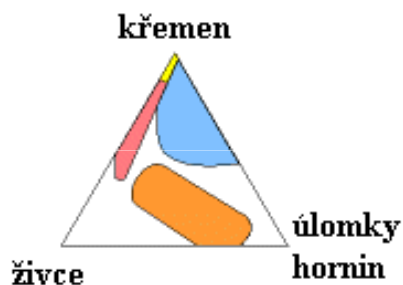
# System vulkanického oblouku

(rozdělení hornin)

Párová metamorfóza

barrovianská

modrých břidlic



# Magmatická aktivita v kontinentální kůře

- Magmatické jevy na kontinentech jsou spojovány se dvěma procesy – s pronikou 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% hořečnatého olivínu, labradoritu, augitu a rombického pyroxenu. **Od podloží směrem vzhůru stoupá obsah železa v poměru k hořčíku** (typický znak tholeiitových asociací). Posledními produkty diferenciací 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.

## Nejznámější 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, felzické 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 nejsvrchnějším plášti. 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 poměru  $\delta^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  (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

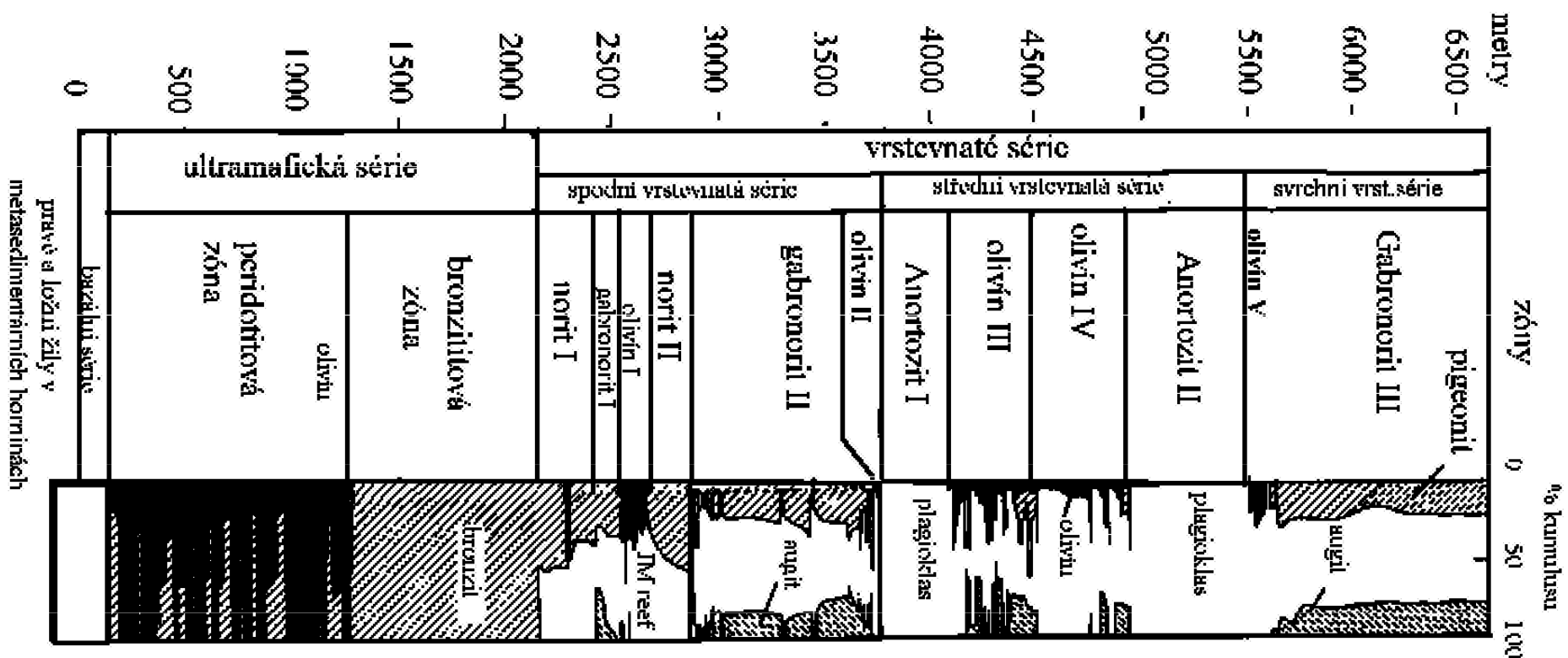
I-typ	S-typ
Relativně vysoký obsah $\text{Na}_2\text{O} > 3.2$ ve felzických varietách klesá na $> 2.2\%$ v mafičtějším typech hornin, nízký poměr $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$	Poměrně nízký obsah $\text{Na}_2\text{O} < 3.2\%$ v horninách $\text{K}_2\text{O} = 5\%$ klesá na $< 2.2\%$ v horninách 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 vyvřelého 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 rytmičné 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