

Univerzita Komenského v Bratislave, Prírodovedecká fakulta,

Katedra fyzickej geografie a geoekológie

TEKTONIKA LITOSFÉRICKÝCH DOSIEK A ZÁPADNÉ KARPATY

doc. RNDr. Jozef Hók, CSc.

Katedra geológie a peletonológie, Prírodovedecká fakulta UK v Bratislave

TEXT K PREDNÁŠKE

2018

Prednáška a text sú súčasťou riešenia projektu: KEGA č. 003UK-4/2017: Terénne vyučovanie geovied s využitím vybraných náučných chodníkov

Tektonika litosférických dosiek je zjednocujúca teória dynamiky Zeme, ktorá umožňuje komplexnú syntézu všetkých doposiaľ známych geologických poznatkov.

História

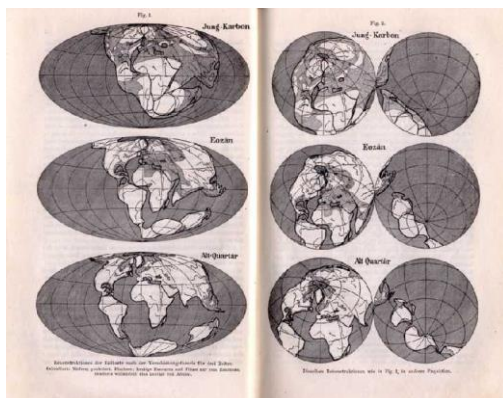
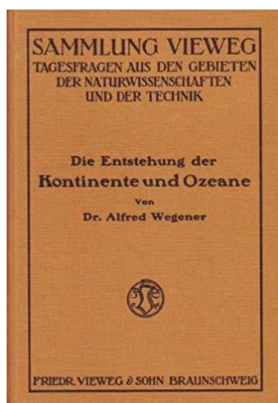
Nálezy rovnakých hornín a fosílií na súčasných kontinentoch, ktorých obrysy nápadne pripomínali, že ich aktuálny tvar je výsledkom ich spoločného pôvodu a následného rozpadu boli dôvodom viacerých, často špekulatívnych tvrdení. Prvú ucelenú teóriu o putovaní kontinentov, vzniku a zániku oceánov publikoval nemecký astronóm, meteorológ a geofyzik *Alfred Lothar Wegener* (1880 – 1930). Jeho práca „*Die Entstehung der Kontinente und Ozeane*“ bola základom pre vznik teórie litosferických dosiek. Predpokladal, že väčšina dnešných kontinentov vznikla rozpadom rozsiahleho superkontinentu, ktorému dal názov "Pangea".



Alfred Wegener

Alfred Lothar Wegener

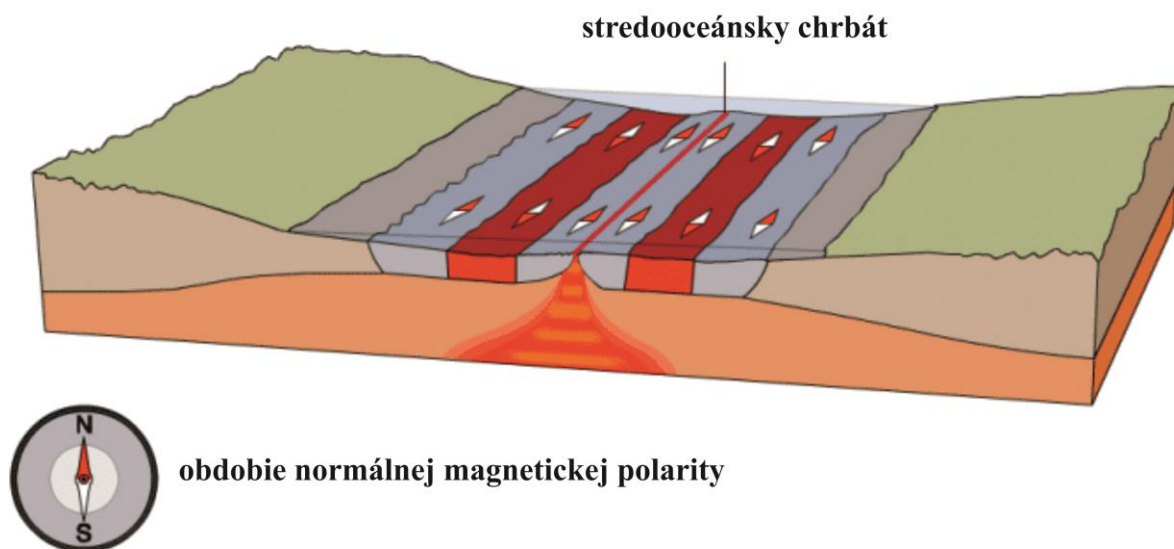
(1880 – 1930)



Obr. 1 Faksimile titulnej strany a náčrty základnej myšlienky práce Alfreda Wegenera o rozpade kontinentov a vzniku oceánov.

Za hlavnú príčinu rozpadu pôvodne považoval odstredivé sily spôsobené rotáciou Zeme. Neskôr sa prikláňal aj k názoru, že príčinou je cirkulácia tepla vo vnútornejších častiach

zemského telesa. Práve túto myšlienku rozpracoval Arthur Holmes a neskôr sa stala pevným základom teórie pohybu litosférických dosiek. Až objavy lode Glomar Challenger súvisiace s výskumom oceánskeho dna v druhej polovici dvadsiateho storočia priniesli nesporné dôkazy o putovaní kontinentov a zároveň umožnili pochopiť hlavné príčiny ich pohybu. Zásadnými zisteniami bolo niekoľko objavov. Objav tzv. *stredoocéánskych chrbtov* – najdlhších vulkanických pásmových pohorí na Zemi situovaných na oceánskom dne. Odlišný vek vulkanických hornín na oceánskom dne, ktorých vek stúpal smerom od oceánskych chrbtov smerom ku kontinentom. Významným bol objav *paleomagnetizmu*, ktorého výsledky poukazovali na to, že vulkanické horniny oceánskeho dna majú odlišnú polaritu sústredenú v pruhoch paralelných so stredoocéánskymi chrbtami.

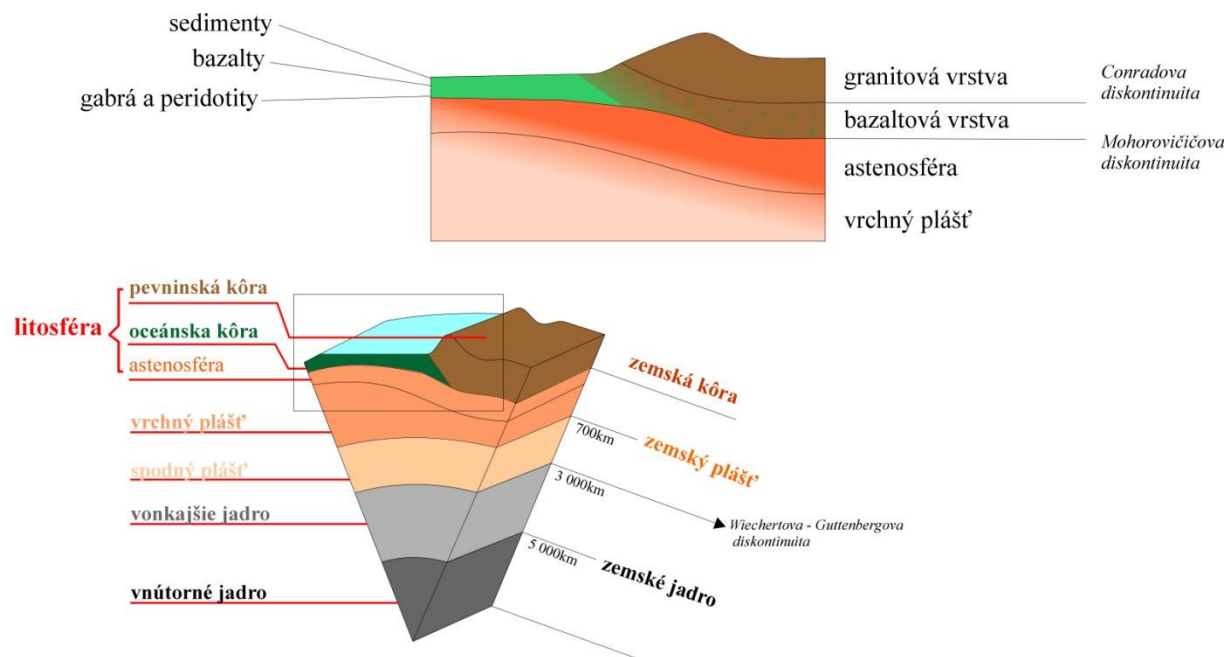


Obr. 2 Základný princíp normálnej a reverznej paleomagnetickej orientácie vulkanických hornín oceánskeho dna. Smerom od stredoocéánskeho chrbta ku okrajom kontinentov zároveň narastá vek horninových komplexov. Niektoré magmatické horniny, ako napríklad bazalty, sú bohaté na minerály železa a počas chladnutia v zemskom magnetickom poli sa po utuhnutí stávajú slabo magnetické. Kryštály s vysokým obsahom Fe tvoria v horninách drobné „fosílné magnety“, ktoré sú orientované súhlasne s orientáciou zemského magnetického poľa v čase ich vzniku.

Základné pojmy

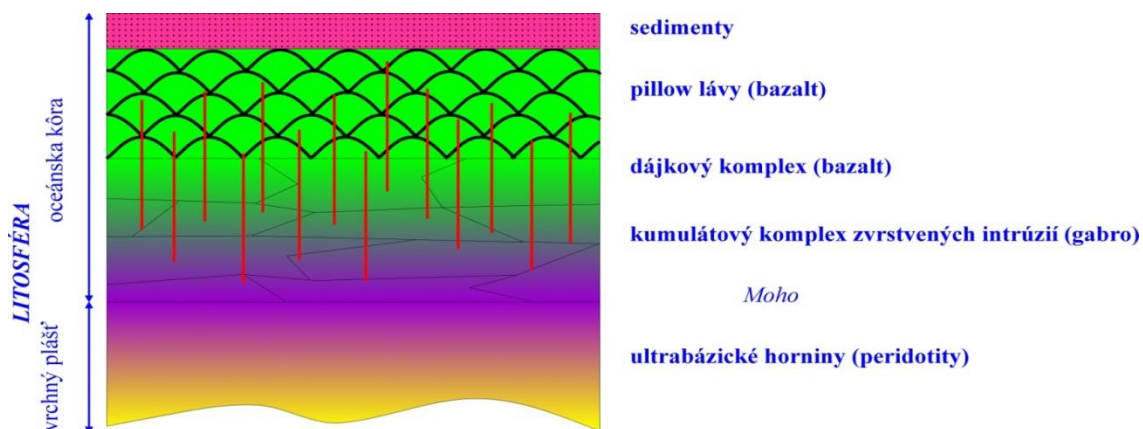
Na základe odlišných fyzikálnych vlastností je možné v stavbe Zeme odlíšiť niekoľko základných geosfér. Povrchový obal tvorí pevná *litosféra*, ktorú je možno rozdeliť na kôru a astenosféru tvoriacu najvrchnejšiu časť *vonkajšieho plášťa*. Pod vrchným plášťom sa nachádza *spodný plášť*, *vonkajšie a vnútorné jadro* (obr. 3). Z hľadiska diskutovanej témy je dôležitá najvrchnejšia časť Zeme – kôra. Tá sa skladá z hrubšej (25 – 70 km) a ľahšej pevninskej kôry

tvoriacej zvyčajne jadrá dnešných kontinentov a tenšej (7 – 10 km) a ťažšej oceánskej kôry nachádzajúcej sa na dne oceánov.



Obr. 3 Rozdelenie vnútorných geosfér Zeme.

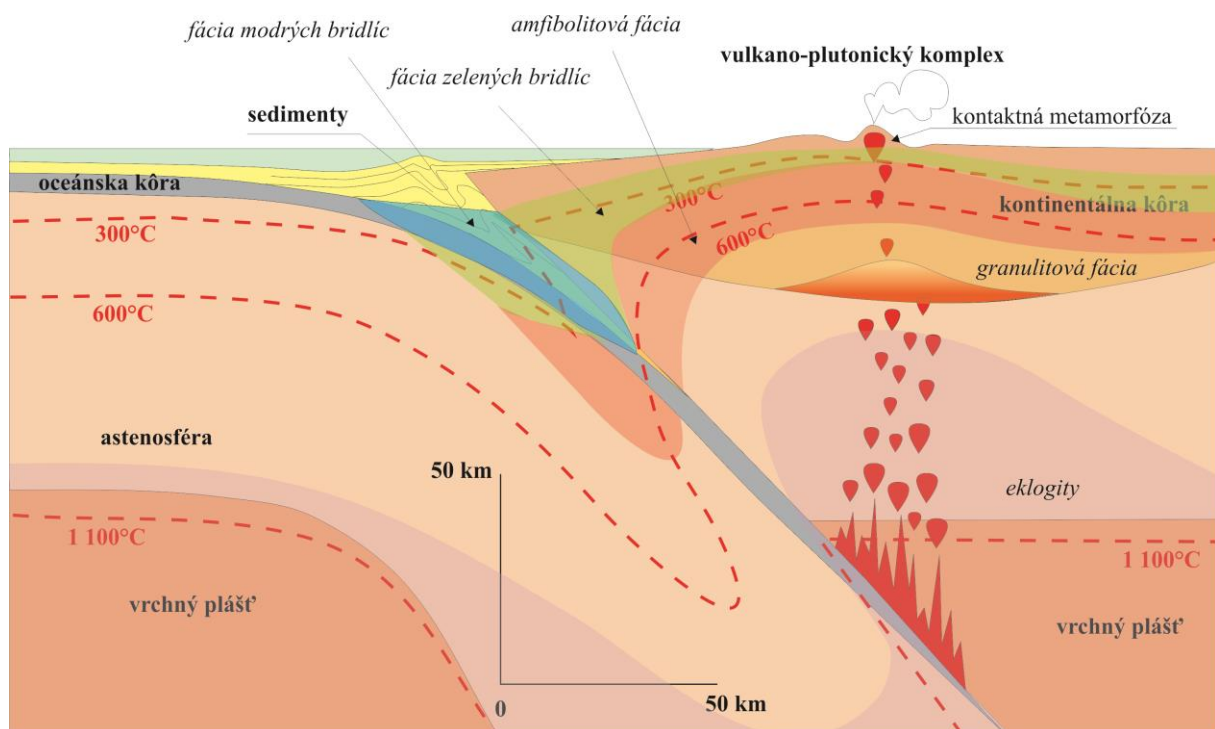
Medzi spomenutými dvomi typmi kôry je podstatný litologický a s ním súvisiaci fyzikálny rozdiel. Litologický charakter pevninskej kôry je možno vo všeobecnosti porovnať s granitom. Hustota alebo objemová hmotnosť je menšia (cca $2,7 \text{ g/cm}^3$), než je tomu v prípade oceánskej kôry (cca $3,0 \text{ g/cm}^3$) litologicky tvorenej hlavne bazaltom (obr. 4).



Obr. 4 Prierez ofiolitovým komplexom všeobecne považovaným za reprezentanta oceánskej kôry.

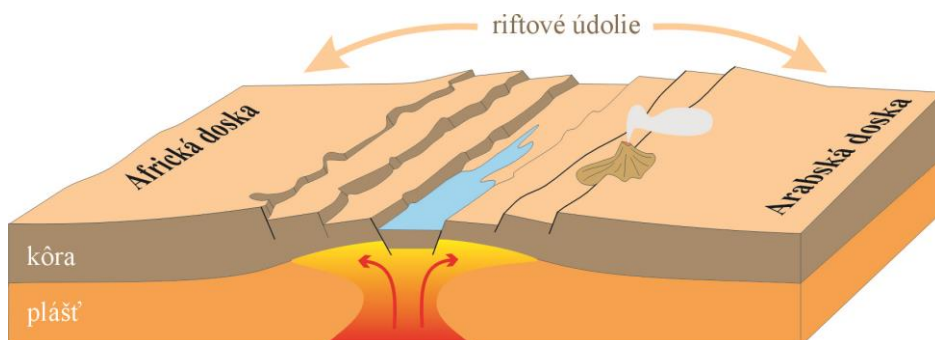
Práve rôzne fyzikálne vlastnosti kôry a plášťa a s nimi spojené konvekčné prúdenie v plášti sú spoločne s gravitáciou hlavným motorom pohybu litosférických dosiek. Nová oceánska kôra

vzniká v oblasti stredooceánskych chrbtov a zaniká, ponára sa do plášťa v oblasti subdukčných zón. Ponorenie oceánskej kôry je spôsobené teplotným rozdielom medzi oceánskou litosférou / kôrou a plášťom, keďže chladnejšia oceánska litosféra je v priemere hustejšia (ťažšia). V hĺbke približne 80-120 kilometrov sa bazalty a s ním asociujúce horniny oceánskej kôry (obr. 4) premenia v dôsledku veľmi vysokých tlakov a teplôt na metamorfnú horninu nazvanú eklogit s hustotou až $3,5 - 3,7 \text{ g/cm}^3$, pričom priemerná hustota vrchného plášťa sa pohybuje okolo $3,27 \text{ g/cm}^3$. V tomto bode sa hustota subdukovanej oceánskej kôry zvyšuje a poskytuje dodatočný záporný vztlak (silu pôsobiacu smerom dolu). So subdukčnými zónami je súvisí väčšina vulkanizmu, zemetrasení a metamorfných procesov na Zemi (obr. 5).



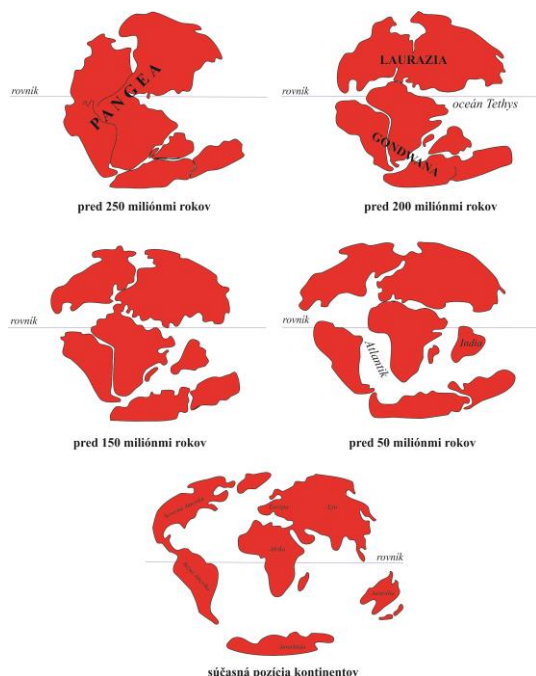
Obr. 5 Zjednodušený model umiestnenia jednotlivých metamorfných facií v divergentnom okraji litosférických dosiek. Fácia modrých bridlic sa vyznačuje metamorfózou v podmienkach vysokých tlakov a nízkych teplôt a je typickým reprezentantom subdukčných zón.

Subdukcia oceánskej kôry je spojená s konvergentnými (kompresnými) rozhraniami litosférických dosiek. Divergentné rozhranie litosférických dosiek predstavuje mechanicky extenzný typ rozhrania. Toto rozhranie je charakterizované rozpadom kontinentálnej kôry a následným vznikom riftu (riftového údolia) čo môže viesť až ku vzniku nového oceánu (obr. 6).



Obr. 6 Zjednodušený model vzniku riftového údolia nad vyklenutou časťou plášťa vo východoafrickom rifte.

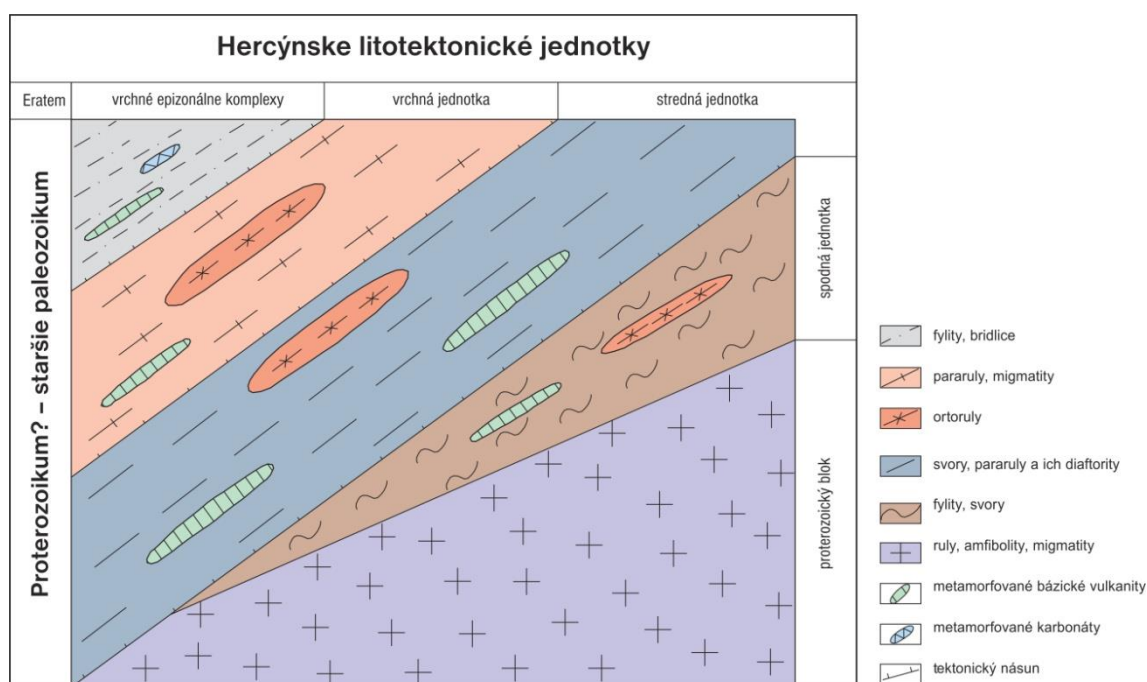
Posledným typom litosférických rozhraní sú transformné rozhrania. Sú reprezentované horizontálnymi posunmi, pri ktorých sa litosférické dosky pohybujú vedľa seba. Azda najznámejším transformným rozhraním je zlom San Andreas v Kalifornii. Jednotlivé litosférické dosky sa pohybujú rôznou rýchlosťou (2 – 10 cm za rok) pričom odhad rýchlosti ich pohybu sa stále spresňuje. Priemerné hodnoty sa v súčasnosti pohybujú medzi 2 – 7 cm ročne. Na základe spomenutých údajov, výsledkov získaných rádiometrickými datovaniami hornín a výsledkov paleomagnetických meraní je možné pomerne spoľahlivo rekonštruovať rozpad superkontinentu Pangea až po dnešnú pozíciu kontinentov (obr. 7).



Obr. 7 Zjednodušená rekonštrukcia pohybu litosférických dosiek od obdobia triasu po súčasnosť.

Tektonika lisférických dosiek a Západné Karpaty

Západné Karpaty sú horským reťazcom vyznačujúcim sa príkrovovou stavbou s výrazným zonálnym usporiadaním a polaritou alpínskych orogenetických procesov migrujúcich v čase od juhu na sever. Prejavy hercýnskej tektonickej stavby sú rudimentárne zachované v oblasti interných Západných Karpát (interne od priebehu bradlového pásma) a predstavujú len fragmentárny obraz o charaktere hercýnskej tektogenézy. Tieto reliktory neboli prepracované alpínskymi tektonickými procesmi resp. miera alpínskeho prepracovania ešte dovoľuje dešifrovať staršie tektonické udalosti. Hercýnske štruktúrne usporiadanie s tektonickou superpozíciou troch – piatich základných litotektonických jednotiek (obr. 8) poukazuje na presun horninových komplexov generálne od severu na juh (resp. SSZ → JJV). Znamená to, že hercýnska orogenéza mala opačnú vergenciu, než aká je známa v alpínskej tektonickej etape.



Obr. 8 Zjednodušené usporiadanie hercýnskych horninových komplexov v stavbe kryštalinika Západných Karpát.

Základné litotektonické jednotky hercýnskej stavby mali byť sformované v dôsledku mezo-hercýnskej kôrovej kolízie sprevádzanej zhrubnutím kôry (380 – 340 Ma). V období neo-hercýnskeho štádia (340 – 260 Ma) bola kompresia vystriedaná extenziou (post orogenetická relaxácia?), pri ktorej sa umiestňovali granitoidné telesá. Najstaršie tektonické udalosti, ktoré je nateraz možné s istotou priradiť k hercýnskemu orogénu sa odohrali v období

spodného karbónu (354 – 327 Ma). Sedimenty vrchného karbónu už naopak znamenajú záver hercýnskej tektogenézy na území Západných Karpát. Stupeň metamorfnej premeny počas hercýnskej orogenézy je možné vo všeobecnosti považovať za intenzívnejší (amfibolitová – granulitová fácia) ako tomu bolo počas alpínskych tektonometamorfných procesov. Bazalty devónskeho veku opísané napr. z Malých Karpát alebo Volovských vrchov reprezentujú bazalty stredooceánskych chrbtov a svedčia tak o existencii oceánskej kôry v tomto období na dnešnom území Západných Karpát. Nepriamym dôkazom uzatvárania oceánskeho priestoru a kompresnej tektoniky v hercýnskom orogéne je príkrovová stavba hornín kryštalinika v rázdielskej časti Tribeča diskordantne prekrytá alpínskym príkrovom (obr. 9).



Obr. 9 Zjednodušená geologická mapa oblasti Hlbokej doliny v rázdielskej časti Tribeča. Príkrovová plocha bázy fatrika diskordantne prekryva hercýnsky príkrovový kontakt granitoidov a svorových fylitov.

Pod pojmom alpínska tektonická etapa je možno považovať tektonické udalosti a procesy, ktoré sa odohrali na území Západných Karpát od obdobia prelomu triasu a jury a trvajú dodnes. V rámci alpínskej tektonickej etapy rozlišujem paleoalpínsku a neoalpínsku tektonickú podetapu. Paleoalpínska tektonická podetapa je charakterizovaná tektonickou individualizáciou jednotiek interných Západných Karpát. Neoalpínska tektonická podetapa je charakterizovaná tektonickou individualizáciou jednotiek externých Západných Karpát. Súčasťou neoalpínskej tektonickej podetapy je neotektonické obdobie (obr. 10).

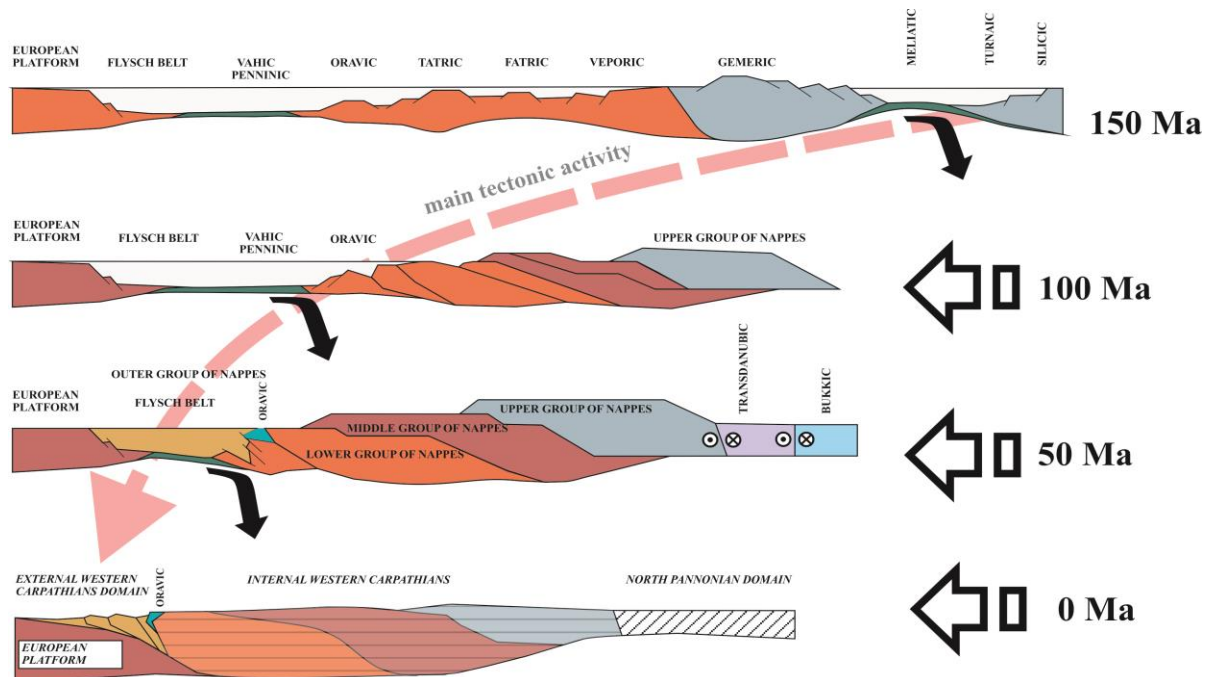
vek Ma	útvár	stupeň	EXTERNÉ ZÁPADNÉ KARPATY	INTERNÉ ZÁPADNÉ KARPATY	tektonická etapa			
0,01	KVARTÉR	Holocén	pokračujúca konvergencia s európskou platformou	pokračujúca extenzia paniev vulkanická činnosť	Neotektonika	NEOALPÍNSKA		
2,6		Pleistocén						
23	TERCIÉR	Neogén	štrukturalizácia jednotiek vonkajších príkrovov	vznik neogénnych paniev spätné násuny		ALPÍNSKA		
65		Paleogén					sedimentácia hornín magurskej a krosnianskej jednotky	sedimentácia hornín vrchnej kriedy a paleogénu
145	MEZOZOIKUM	Krieda	štrukturalizácia oravika	deštrukcia váhika štrukturalizácia tatrika, fatrika a hronika		PALEOALPÍNSKA		
200		Jura					členenie sedimentačného priestoru maximálne prehĺbenie paniev	štrukturalizácia meliatika, turnaika a silicika
250		Trias					nový sedimentačný cyklus začínajúci klastickými sedimentami a pokračujúci prevažne karbonatickou sedimentáciou	
300	PALEOZOIKUM	Perm		potektonické, prevažne siliciklastické sedimenty		HERCÝNSKA		
360		Karbón		intrúzie granitov				
416		Devón		izolované výskyty hercýnskej príkrovovej stavby				
444		Silúr		najstaršie horniny gelnická skupina gemerika				
488		Ordovik						
542		Kambrium						

Obr. 10 Zjednodušený tektonický vývoj Západných Karpát.

Najvýraznejšou zdokumentovanou paleoalpínskou tektonickou udalosťou je štruktúrna individualizácia oceánskeho priestoru meliatika. S touto udalosťou súvisí aj tektonická inverzia sedimentárnych bazénov turnaika a silicika, metamorfné prepracovanie príkrovu Bôrky vo fácií modrých bridlíc indikujúce subdukčné procesy. Na základe zachovaných litostratigrafických členov a rádiometrických datovaní je možné pomerne presne tento proces stanoviť na obdobie najvyššej jury až spodnej kriedy (cca 150 Ma; obr. 11). Po uzatvorení meliatskej oceánskej domény pokračuje v oblasti Západných Karpát štrukturalizácia príkrovových telies veporika, hronika, fatrika (strednej skupiny príkrovov) ako aj váhika (ekvivalentu alpského penninika v oblasti Západných Karpát) a tatrika (spodnej skupiny príkrovov), pričom je možné v čase

a priestore sledovať progradáciu tohto procesu generálne z juhu (cca 150 Ma) na sever (cca 50 Ma; obr. 11).

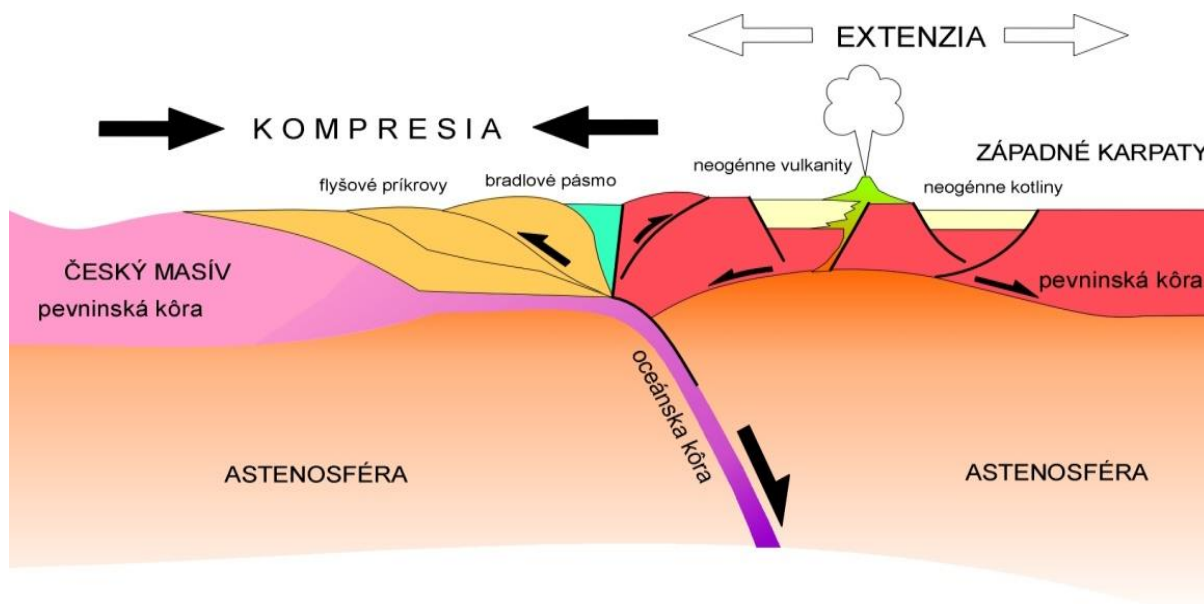
Tvorba súčasného obrazu Západných Karpát je spojená a ovplyvnená predovšetkým s procesom subdukcie substrátu sedimentačného priestoru externých Západných Karpát (váhikum a podložie flyšového pásma) pod konsolidovaný blok interných Západných Karpát počas miocénu.



Obr. 11 Priestorová a časová distribúcia hlavnej paleotektonickej aktivity v priestore Západných Karpát.

Spôsob a charakter tektonickej individualizácie príkrovových jednotiek externých Západných Karpát spojený s procesom subdukcie oceanizovanej kôry, priamo ovplyvnil vznik tzv. vnútrohorských neogénnych paniev a kotlín, ako aj charakter a distribúciu neogénnych vulkanitov a vulkanosedimentárnych formácií v procese zaoblúkovej extenzie (obr. 12). Priestorovo a časovo nerovnomerný presun vonkajšej skupiny príkrovov (akrečnej prizmy flyšového pásma) na sedimenty predhlbne resp. európskej platformy (obr. 13) poukazuje na nerovnomernú subdukciu substrátu a uzatváranie pôvodného sedimentačného priestoru dnešného flyšového pásma (vonkajšej skupiny príkrovov).

V spodnom miocéne bola aktívna subdukcia spojená s kompresiou v západnom segmente (v dnešných geografických koordinátach) interných Západných Karpát (obr. 13). Na rozdiel od kompresného tektonického režimu v Alpách, ktorý pretrval aj po spodnom miocéne, v karpatsko – panónskej oblasti po tomto období prevládal extenzný tektonický režim (s výnimkou frontálnej oblasti) vyvolaný ťahom subdukovanej platne (retreating subduction).

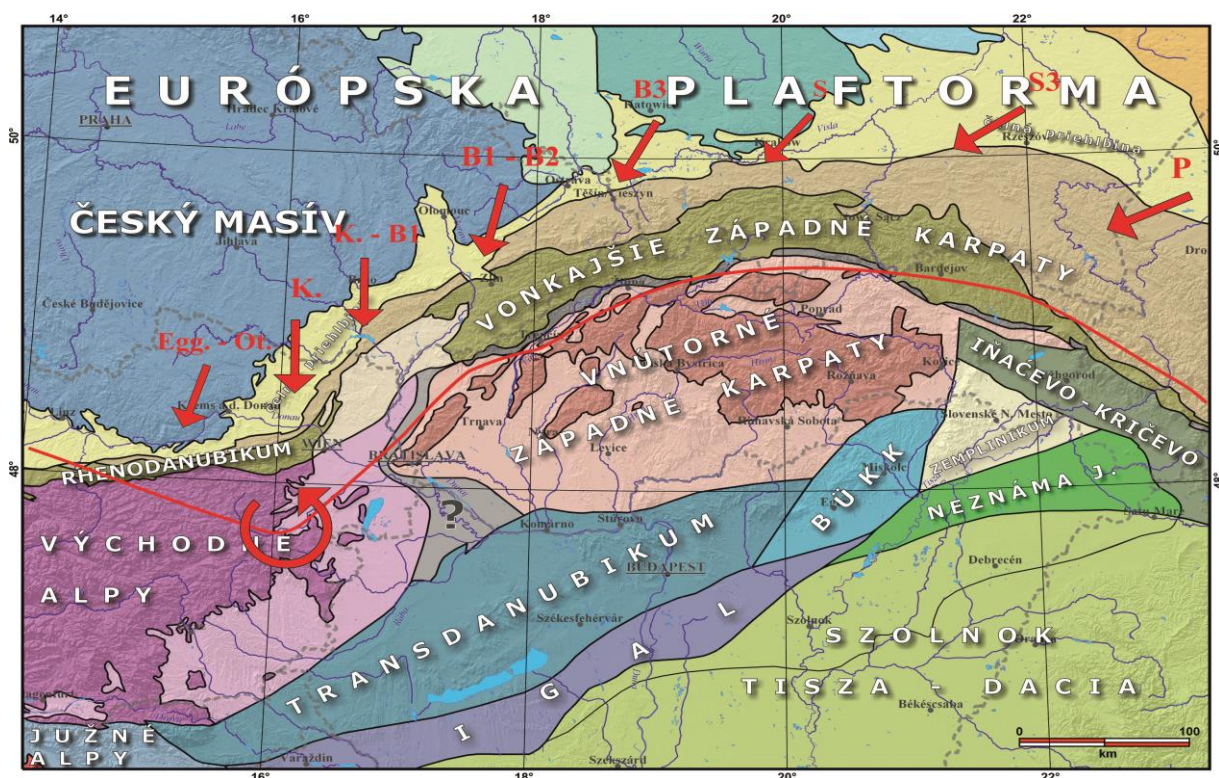


Obr. 12 Zjednodušený model vzniku akrečnej prizmy externých Západných Karpát, spojenej s procesom zaoblúkovej extenzie v interných Západných Karpatoch a vznikom neogénnych paniev a vulkanitov.

Obdobie spodného až rozhrania spodného a stredného miocénu je možné charakterizovať ako začiatok úniku a rotácie segmentu Západných Karpát smerom do predpolia t.j. do oblasti magurského sedimentačného priestoru. Obdobie spodného až rozhrania spodného a stredného miocénu je možné charakterizovať ako začiatok úniku a rotácie segmentu Západných Karpát smerom do predpolia t.j. do oblasti magurského sedimentačného priestoru.

Obdobie stredného miocénu je charakterizované výrazným vyklenutím astenosféry, ktoré bolo spojené s maximom zaoblúkovej extenzie a vulkanickou činnosťou (obr. 12). Do obdobia vrchného miocénu sa subdukčná oblasť resp. zóna kontinuálne sťahuje východným smerom (obr. 13). Tektonická a vulkanická aktivita v oblasti interných Západných Karpát je charakterizovaná postupným doznievaním. Extenzia východoslovenskej panvy spolu s vrchnomiocénnym až recentným vulkanizmom transylvánskej panvy dokumentujú priamy vzťah zostrmenia sklonu subdukovanej dosky a jej postupné odtrhávanie.

Diachronita a priestorový posun procesu subdukcie mali zároveň za následok rotáciu tektonicky konsolidovaného segmentu centrálnych a interných Západných Karpát cca 80° proti smeru hodinových ručičiek (obr. 13).



Obr. 13 Vek dosunutia priukrovov akrečnej prizmy flyšového pásma na svoje predpolie (Egg. – egenburg; Ot. – ottang; K. – karpát; K. – B1. – karpát – spodný báden; B1. – B2. – spodný – stredný báden; B3. vrchný báden; S. – sarmat; S3. – vrchný sarmat; P. – panón). Orientácia šípiek indikuje smer presunu (v dnešných zemepisných súradniciach).

Záverom je možno konštatovať, že na základe súčasných poznatkov sú na území dnešných Západných Karpát spoľahlivo detekovateľné reliktory troch oceánskych paniev resp. horninové komplexy a procesy, ktoré s veľkou mierou pravdepodobnosti poukazujú na ich existenciu.

Odporúčaná literatúra:

- Hók, J., Kahan, Š. & Aubrecht, R. 2001: Geológia Slovenska. Univerzita Komenského, Bratislava. 1 - 47.
- Kováč, M. 2000: Geodynamický, paleogeografický a štruktúrny vývoj karpatsko-panónskeho regiónu v miocéne: Nový pohľad na neogénne panvy Slovenska. VEDA, Bratislava, 5 – 202.
- Plašienka, D. 2018: Continuity and episodicity in the early Alpine tectonic evolution of the Western Carpathians: How large-scale processes are expressed by the orogenic architecture and rock record data. *Tectonics*, 37, 1 - 51. <https://doi.org/10.1029/2017TC004779>
- Reichwalder, P. & Jablonský, J. 2003: Všeobecná geológia - 2. Univerzita Komenského Bratislava. 247 - 507. ISBN 80-223-1664-4
- Wegener, A. 1966: The origin of continents and oceans. Biram John (translator). Courier Dover. p. 246. ISBN 978-0-486-61708-4.