

Prehľad spôsobov výstupu a umiestnenia granitoidných telies v zemskej kôre

Katarína Bónová¹

A review of the ascent and emplacement of granitoid bodies into the crust

This paper relates to basic information (i.e. mechanical aspects of ascent, indicators facilitating the discriminability of various ascent styles) about the models of ascent and emplacement of granitoid bodies, since the purely mechanical aspect of intrusion of magmas is a fascinating subject and it has generated a considerable controversy over many years. Individual models are demonstrated by world-known occurrences and examples from Western Carpathian's region. The conditions of magma migration are demonstrated as well.

Key words: *granite magma ascent, emplacement, conditions of magma migration.*

Úvod

Granitoidy predstavujú najbohatšie zastúpené horniny vrchnej kôry a tak ako iné magmatické horniny umožňujú skúmať hlbšie časti kontinentálnej kôry. Sú úzko späté s platňovou tektonikou (okraje platní) a nadobúdajú ekonomický význam z hľadiska bohatej mineralizácie. Už dlhé desaťročia zamestnávajú generácie geológov najmä z hľadiska ich výstupu na povrch a vytvorenia priestoru potrebného pre ich umiestnenie. Najjednoduchším predpokladaným riešením „priestorového problému“ je taký proces granitizácie, ktorý predpokladá formovanie granitových telies metasomatickou transformáciou krustálnych hornín bez objemovej zmeny. Toto riešenie je však pre veľké objemy hornín nereálne a na styku granitového telesa s okolitou horninou je obvyčajne vyvinutá metamorfná aureola indikujúca allochtónny alebo intruzívny pôvod telesa. Výstup granitu v podobe diapírov a balónov nutne vyvoláva otázky o priestore, jednak toho, do ktorého telesa prenikajú a toho, ktorý po nich v pôvodnej pozícii ostane. Procesy vzniku granitoidov in-situ tavením, v ktorých magma neputuje ďaleko od svojho zdroja sú v súčasnom stave granitového problému považované za zásadné. Stručný prehľad spôsobov výstupu a umiestnenia granitových telies v zemskej kôre, doplnený príkladmi zo sveta i z regiónu Západných Karpát je náplňou predkladaného príspevku.

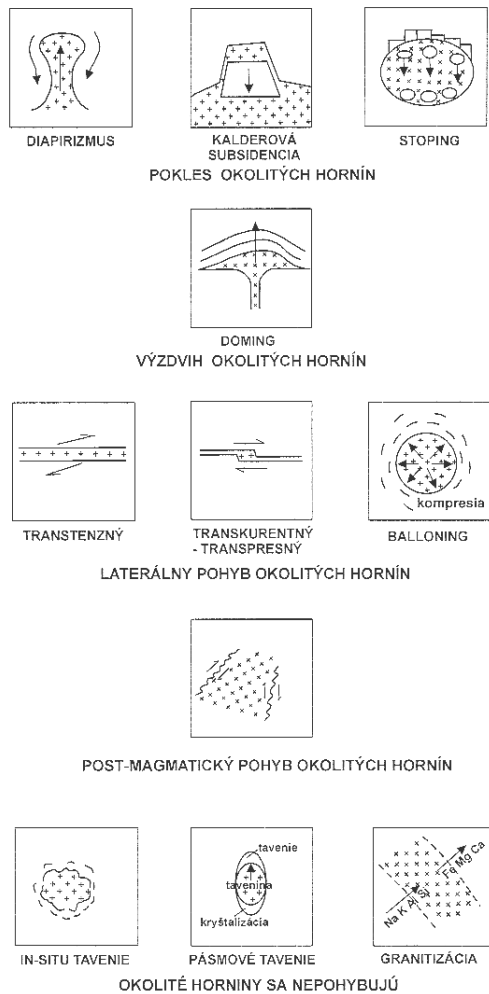
Podmienky a spôsoby výstupu granitoidných telies

Migrácia granitovej magmy je pre vývoj kontinentov mimoriadne dôležitá, pohyb roztavených hmôt a advekcia tepla zo spodných častí kôry do vrchných častí prispievajú k metamorfóze vrchnej kôry a k látkovej diferenciácii kontinentov. Vystupujúca magma indukuje termálne a mechanické interakcie, ktoré sú odzvou kôry na stres vzniknutý v litosfére.

Granitové magmy sú umiestňované do úrovni vrchnej kôry pod vplyvom množstva interakcií gravitačných procesov a tektoniky. Pre výstup granitovej magmy je dôležitý obsah vody a viskozita vplývajúca na vnútorné procesy v rámci plutónu, ako sú prúdenie, prenos tepla a frakcionácia kryštálov. Základným predpokladom výstupu magmy je jej hustotný kontrast s okolím. Príčinou výstupu magmy môže byť tlakový gradient, mechanizmus vztľaku, tektonického vytlačovania alebo expanzia pri tavení. Každý z uvedených procesov prevláda v inom tektonickom prostredí (Palivcová, 1984). Umiestnenie (emplacement) plutónov je podmienené objemom akumulovanej magmy a jej reologickými vlastnosťami, lokálnym režimom napätia vyplývajúceho z litostatického i tektonického tlaku a napätia súvisiaceho s prienikom magmy spolu s reológiou a anizotropiou okolitých hornín (Castro, 1987). Významnú úlohu pri umiestňovaní magmy zohráva priestor vytváraný preexistujúcimi tektonickými štruktúrami (hraničné plutóny). Pri komplexnom pohľade sa mechanizmus výstupu a umiestnenia magmy stáva komplikovaným, vzniknuté granitoidné telesá sú nepravidelné a varujú v tvaroch.

V priaznivých prípadoch môže aj geometria granitoidných telies spojená s detailným mapovaním napomôcť pri vysvetlení dedukcie mechanizmu umiestnenia magmy. V hlbších častiach kôry je mechanizmus umiestňovania magmy objasňovaný interakciou vztlakových síl magmy v kombinácii s tektonickým napätím, t.j. dôraz sa kladie na tlakové pole, ktoré je výstupom vyvolané, resp. ktoré samo výstup vyvolá. V prípade, ak extenzné napätie prekročí kompresiu vyvolanú vztlakom prenikajúcej magmy, dôjde k formovaniu „pasívnej“ (permissive) intrúzie (napr. kaldery). Na druhej strane, ak je extenzia menšia v porovnaní s magmatickou

¹ Ing. Katarína Bónová, katedra geológie a mineralógie, Park Komenského 15, 040 01 Košice (Recenzovaná a revidovaná verzia dodaná 11.3.2005)



kompresiou, výsledkom bude „násilná“ (forcefull) intrúzia (napr. diapíry). Väčšina plutónov odráža kombináciu uvedených možností (Pitcher, 1983 ex Palivcová, 1984; Hutton, 1987).

Na základe teoretických úvah, experimentálnych a terénnych pozorovaní uvádzajú Castro (1987), a Clarke (1992) prehľad možných spôsobov výstupu a umiestnenia granitoidných magiem (obr. 1):

Obr. 1. Spôsob výstupu a umiestnenia granitoidných telies v kôre (prevzaté z Clarke, 1992).

Fig. 1. Styles of ascent and emplacement of granitoid bodies (according to Clarke, 1992).

- **Diapirizmus** (diapirism) – podľa Marsha (1982a) ide o pomalý proces výstupu jedného telesa za druhým pozdĺž vertikály, pričom magmatické telesá nadobúdajú tvar invertovanej kvapky. Pomalosť diapirizmu dovoľuje xenolitom zo zdroja i okolia klesať. Typickými štruktúrami asociovanými s diapírmami sú prstencové synklinály; porfyroblasty v aureolách sú synkinematické s foliáciou diapíru. Nedostatkem tejto teórie je termálna strata počas výstupu diapíru (teplo transferované do okolitých hornín) a nutnosť extrahovania tepla zo samotného telesa spôsobujúceho jeho kryštalizáciu a zastavenie výstupu ešte pred dosiahnutím úrovne v kôre odpovedajúcej umiestneniu diapíru (cf. Hutton, 1996).

Na druhej strane, v prípade zablokovania diapirického výstupu v dôsledku zníženia teploty procesom kryštalizácie, nastáva finálne štádium evolúcie diapíru – laterálna expanzia využívajúca anizotropiu okolitých hornín. Príkladom takto vyvinutého diapíru je La Bazana plutón (jz. časť Iberského masívu) vystupujúci v relatívne plytkých úrovniach kôry (cf. Galadí-Enríques et al., 2003). Bateman (1982) okrem

termálnych problémov poukazuje na nedostatok štruktúrnych dôkazov pre diapirický výstup granitoidov v kôre.

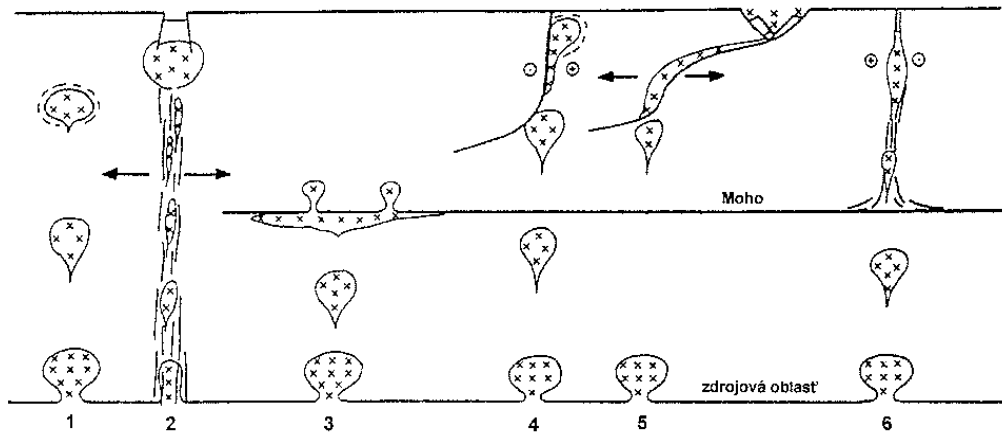
Zovšeobecnený pohľad na iníciačný diapirický výstup magmy a jeho vývoj v súvislosti s absenciou alebo prítomnosťou tektonického systému je znázornený na obr. 2 (Hutton, 1987).

- Stopping je termálny účinok magmy na stropové horniny spôsobujúci ich rozlámanie na bloky, ktoré klesajú do magmy, a tým uvoľňujú priestor pre jej výstup. Keďže je asimilácia blokov výrazným konzumentom tepla a zároveň spôsobuje kontamináciu magmy, stopping sa uplatňuje ako záverečný proces pri rôznych spôsoboch umiestnenia magmy. Prítomnosť množstva xenolitov a autolitov v endokontakte plutónu svedčí o realizovaní stoppingu, v niektorých prípadoch je možné v exokontakte plutónu pozorovať apofýzy (Billings, 1955). Dôkaz uplatnenia stoppingu počas umiestňovania magmy v Adamello Massif (Taliansko) v kombinácii s duktilným prúdením magmy priniesli napr. John a Blundy (1993). Yoshinobu et al. (2003) predpokladajú uplatnenie stoppingu a čiastočne i domingu v počiatočných štádiách umiestňovania magmy pre Chita pluton v Argentíne.

- Kalderová subsidencia (cauldron subsidence) je špeciálnym prípadom magmatického stoppingu. Po umiestnení a čiastočnom ochladení magmatického telesa dôjde ku vzniku kaldery a k intrudovaniu ďalšej fázy granitoidov pozdĺž prstenca fraktúr, príp. pozdĺž kontaktu s okolitými horninami, napr. Valsessera-Biellesse plutón (Taliansko) (Origoni, 1987); štíavnický stratovulkán (Konečný et al., 1998). Kalderová subsidencia je typickým mechanizmom umiestňovania bázických plutónitov v anorogénnom prostredí (Bonin, 1986). Kontakt s okolitými horninami býva ostrý až difúzny, okolité horniny sú štruktúrne neporušené (March, 1982). Indikátormi kalderovej subsidencie sú prstencové žily a výrazná termálna aureola (Billings, 1955).

- Doming je spôsob výstupu magmy typický pre rulové dómy tvoriace najbežnejšie štruktúry archaických terénov. Gravitačnú nestabilitu spôsobuje nižšia hustota potencionálne vystupujúcich hmôt v porovnaní s okolitými horninami. V kombinácii s remobilizáciou (napr. parciálnym tavením) a znížením kontrastu

v duktilite medzi potencionálne vystupujúcou vrstvou a jej nadložím, spolu s regionálnou deformáciou nastávajú vhodné podmienky pre vývoj dómu v zhode s experimentálnymi modelmi. V prípade, ak „rulová vrstva“ zostane rigidnou, k procesu domingu nedôjde. V priebehu domingu dochádza k regionálnej deformácii, pričom sa rulový dóm môže transformovať do rulového diapíru. Z tohto dôvodu sú rulové diapíry označované ako synkinematické (Castro, 1987). Príkladom rulového dómu je Thor-Odin dóm (Britská Kolumbia) (Teyssier a Whitney, 2002).



Obr. 2. Šesť generalizovaných modelov výstupu a umiestnenia granitoidov. (1) kontinuálny diapirický výstup (bez tektonic. vplyvu) nasledovaný balloningom; (2) výstup po vertikálnom extenznom zlomovom systéme (zavŕšený kalderovou subsidenciou); (3) diapirizmus pozastavený hustotnými zmenami na Moho, čo vedie k laterálnemu spreadingu; (4) diap. výstup magmy do strednej kôry s dosiahnutím intrakôrového zlomového systému, vznik elongovaných plutónov s neskorším balloningom; (5) diap. výstup magmy do strednej kôry s dosiahnutím intrakôrového listrického zlomového systému vedúceho k listrickému tvaru granitového telesa a formovaniu asymetrickej kaldery; (6) výstup magmy cez kôrovú vertikálnu transkurentnú zlom/strižnú zónu. Zdrojový región je umiestnený v oblasti litosferického plášťa.

Fig. 2. Six generalised models of ascent and emplacement of granitoids. (1) continued diapiric uprise (in the absence of tectonics) followed by late balloning; (2) uprise into major vertical tectonic extensional fault system (cauldron behaviour); (3) diapiric uprise arrested by viscosity changes at Moho, this leads to lateral spreading; (4) diapiric rise into middle crust, intercepting an intra crustal strike slip fault zone leading to elongate plutons with late balloning; (5) diapiric uprise intercepting intra crustal listric extensional fault/shear zone leading to listric granite sheets and generation of asymmetric calderas; (6) uprising melts intercept trans crustal vertical transcurrent fault/shear zone. The source region is located in the lithospheric mantle.

- Balloning predstavuje ďalšiu z koncepcií umiestňovania granitoidných telies. Ku gravitačným procesom v granitoidných plutónoch môže viesť hustotný kontrast a ním indukované nadľahčovanie vzbudzujúce jednak laterálne rozširovanie, sprevádzané kontinuálnym výstupom nadľahčeného materiálu. Otázkou zostáva, či je spomínané nadľahčovacie napätie produkované gravitačnou nestabilitou dostatočne veľké na produkciu rozsiahlych deformácií charakteristických pre plutóny vzniknuté opísaným spôsobom. Pre tieto plutóny je typická koncentrická zonalita jednotlivých facií, kruhový, resp. eliptický tvar v horizontálnom profile, planárna štruktúra, ktorá je najintenzívnejšie vyvinutá v hraničných zónach plutónu, kde sa javí ako foliácia (Castro, 1987). Takéto plutóny sú považované za synkinematické. Dôkaz pre uplatnenie mechanizmu balloningu v procese formovania priestoru pri výstupe magmy uvádzajú Molyneux a Hutton (2000) na príklade Ardarského plutónu (Írsko). Koncentrická štruktúra, nárast napätia z jadra plutónu smerom k jeho okraju identifikovaný pomocou kvalitatívneho stanovenia napätia zo vzťahov osí xenolitov, enkláv a kryštálov a prítomnosť synkinematických metamorfných minerálov v termálnej aureole indikujú uplatnenie balloningu pri výstupe magmy v sledovanej oblasti.

- Prenos systémom žíl (dike propagation) je najefektívnejším procesom transportu magmy z hlbších zón kôry a vrchného plášťa. Umožňujúceho kontrast viskozity a hustoty medzi granitoidnou magmou a kôrou. Vznik extenzných fraktúr, ktoré predstavujú prostriedok pre výstup magmy, je spätý s anizotropným napätovým poľom a vysokým tlakom fluíd vo väčších hĺbkach litosféry. Zlomy a strižné zóny sú najdôležitejšími štruktúrami kontrolujúcimi výstup a umiestnenie granitoidnej magmy v prípade, ak sú pretínané systémom prírodných žíl. Kombinácia metamorfných procesov v regionálnom merítke (tlak fluíd), spojená s magmatizmom a tektonickými procesmi v danom čase a priestore, je najtypickejším fenoménom orogénnej intrakontinentálnej oblasti. Príkladom výstupu granitoidnej magmy prostredníctvom systému žíl v priestore aktívneho kontinentálneho okraja je Cordillera Blanca batolit (Peru) (Petford a Atherton, 1992; Petford et al., 1993). Petford a Atherton považujú výrazne asymetrickú synmagmatickú a postmagmatickú deformáciu vyvinutú pozdĺž západného okraja batolitu za dôkaz majoritnej úlohy zlomového systému na výstup

a umiestnenie magmy. Petford et al. (1993) navrhuje kritickú hodnotu šírky prírodnej žily, príp. zlomovej štruktúry potrebnej pre výstup magmy v uvedenej oblasti.

- Vytvorenie dutiny fluidami prechádzajúcimi magmou, ktoré môžu vytvoriť priestor pre prenikajúcu taveninu, je špeciálnym prípadom jej umiestnenia. Takýto model pre umiestnenie himalájskych leukogranitov v kombinácii s transportom magmy prostredníctvom dajok predpokladali Le Fort (1981) a Le Fort et al. (1987); leukogranity boli generované anatexiou nadložnej jednotky presunutej pozdĺž tzv. hlavného násunu. Parciálne tavenie bolo indukované preteplením, dehydratáciou a dekarbonizáciou podložnej jednotky, pričom k umiestneniu segregovanej taveniny do vyšších úrovní došlo prostredníctvom žíl (l.c.).

- Tektonické umiestnenie (tectonic emplacement) sa uplatňuje po solidifikácii plutónu. Identifikácia pôvodu výstupu (jeho mechanizmu) magmy je v tomto prípade náročná. Príkladom umiestnenia granitového plutónu v oblasti lokálnej extenzie asociovanej s horizontálnym posunom v dextrálnej strižnej zóne je Central Extremadura batolit v Španielsku (Fernández a Castro, 1999). Podobný vývoj pre umiestnenie niekoľkých plutónov v Abitibi Greenstone Belt (Kanada) uvádzajú Lacroix et al. (1998), a to na základe štúdia vzťahu medzi umiestnením plutónov a štruktúrneho vývoja oblasti, kde sú jednotlivé plutóny viazané na dextrálny smerný posun a extenzné zlomy. Rovnako štúdium *P-T* podmienok ochladzovania plutónov a hosťujúcich hornín poukazuje na ich termo-mechanický vývoj. Pre kriedové granitoidy v Sierra Nevada (Kalifornia) predpokladajú Tikoff a Teyssier (1992) umiestnenie do tenzných štruktúr medzi P-strihmi v smerných posunoch z dôvodu predĺženia granitoidov, ktoré je konzistentné s orientáciou P-strihov a z dôvodu prítomnosti syn- až neskoromagmatických dextrálnych strižných zón pretínajúcich plutóny.

Paterson a Fowler (1993) však argumentujú nedostatkom dôkazov pre umiestňovanie rozsiahlych eliptických plutónov v extenznom režime a aplikáciu modelu čiste tektonického umiestnenia predpokladajú iba pre komplexy paralelných žíl, príp. zvrstvené plutóny.

Na príklade granitového plutónu v Tuscany (Taliansko) uvádzajú Acocella a Rossetti (2002) okrem tektonickej kontroly výstupu magmy potrebu netektonických procesov (stopping) pre vytvorenie priestoru potrebného pre jej umiestnenie.

V regióne Západných Karpát je tektonický model umiestnenia plutónu predpokladaný pre rochovský granit, ktorý intrudoval do relatívne otvoreného priestoru v podmienkach extenzie, výsledkom čoho je jeho nedeformovaná štruktúra (Hraško et al., 1996). V transtenzno-extenznom režime pozdĺž významných lineamentov boli podobne ako v európskych variscidách i v regióne Západných Karpát umiestňované A-typy granitoidov (turčocký granit, hrončocký granit) (Bezák et al., 1998). Časť muskovitických granitov a aplitov kohútkeho pásma veporika na styku s gemerikom je viazaná na výraznú strižnú (sineckú) zónu (Hraško, 2004).

- Tavenie in-situ (in-situ melting) zahŕňa segregáciu magmy bez relatívneho premiestnenia okolitých hornín, takže produkuje plutón bez viditeľného kontaktu s bezprostredným okolím. Prechod medzi okolitými horninami a plutónom je difúzny, pričom v exokontakte plutónu je vyvinutý migmatit. Uvedený proces pre vznik a umiestnenie Cooma granodioritu (Austrália) predpokladajú Vernon et al. (2001), pričom akumuláciu magmy lokálne derivovanú in-situ tavením metasedimentárnych hornín pre vznik granodioritového telesa považujú za nedostatočnú a zároveň navrhujú výstup magmy podobného zloženia z hlbších úrovní kôry.

- Pásmové tavenie (zone melting) predstavuje pomalý výstup magmy tavením stropu plutónu, ktoré je vyrovnávané kryštalizáciou magmy v spodnej časti plutónu (Marsch, 1982b). Kontakt plutónu s okolitými horninami je difúzny. V exokontakte plutónu býva vyvinutá termálna aureola, okolité horniny nie sú štruktúrne porušené. Ide o prechodný spôsob výstupu medzi diapirizmom a stoppingom.

- Granitizácia (granitization) predstavuje sekundárny mechanizmus umiestňovania granitu. Jedná sa o metasomatické nahrádzanie pre-existujúcej horniny a zároveň prípad umiestňovania granitu bez tzv. „priestorového“ problému (Kresten, 1988).

Nedostatkom tejto teórie je obmedzené množstvo fluid, ktoré by mohli vyvolať dostatočnú energiu na premenu veľkých objemov hornín na granity, ako si to vyžaduje klasický model granitizácie. Podobne i Pitcher (1993 ex Palivcová et al., 2001) metasomatózu veľkého merítka odmieta, aj keď lokálne metasomatické procesy úplne nevylučuje, najmä v podmienkach ultrametamorfózy a hlbinej anatexie, tj. v kolíznom prostredí, kde dochádza k tvorbe príkrovov a cirkulácii tekutých zložiek v strižných zónach.

Najdôležitejším argumentom pre granitizáciu je prítomnosť (nepřítomnosť) tzv. „reliktnéj stratigrafie“ v granitoch, pri ktorej ostáva styk granitoidného telesa s okolitými horninami neporušený - indikujúci nenásilné umiestnenie granitu (Mehnert, 1987). Rovnako štúdium K-živcov obsiahnutých v okrajových častiach granitových telies môže napomôcť pri identifikácii pôvodu granitu. Pre K-živce magmatického pôvodu je typická oscilačná zonálnosť (obsah Ba), pričom K-živce formované metasomatózou bývajú homogénne. Na druhej strane sa oscilačná zonálnosť v K-živcoch granitov anatektického pôvodu v relatívne stabilných

PT podmienkach postupne stráca, kryštály nadobúdajú homogénny charakter, avšak ich okraje sú obohatené báriom (l.c.).

- Opačným pohybom je proces „prepadania“ plutónov (sinking of plutons), ktorý vzniká v čase, keď plutón dosiahne takú úroveň v kôre, vztlak je relatívne neutrálny, pričom stúpne hustota materiálu vynášaného k povrchu v dôsledku kryštalizácie ($\approx 10\%$). Termálna energia, ktorá je po kryštalizácii v plutóne k dispozícii, je dostatočne veľká na oslabenie okolitých hornín a vystupňovanie **sinkingu**. Štruktúry vzniknuté týmto mechanizmom sú obyčajne prepracované iniciálnym umiestnením plutónu a môžu byť omylom považované za regionálne tektonické štruktúry (Glazner a Miller, 1997). Paterson (1998) s procesom „sinkingu“ nesúhlasí. Podľa neho poklesávajú okolité horniny, čím prirodzenou cestou počas výstupu magmy umožňujú vytvoriť priestor pre narastajúci magmatický rezervoár.

Záver

V skorých štádiách výstupu granitovej magmy, pre ktoré je charakteristická menšia hustota, menšia viskozita a nižší termálny kontrast medzi magmou a okolitými horninami, pravdepodobne dominuje proces diapirizmu. Vo vyšších častiach zemskej kôry, kde sa granitová magma stáva viskóznejšou, hustejšou a kde dominuje väčší teplotný kontrast s okolitými horninami a štruktúrna kontrola, sa pravdepodobne uplatňujú procesy kalderovej subsidencie a stopingu.

Odpoveďou na otázku, akým spôsobom bola granitoidná intrúzia umiestňovaná, môže byť detailné sledovanie kontaktu medzi plutónom a jeho bezprostredným okolím. Avšak charakter deformovaného plášťa závisí od veľkosti intrúzie, teploty, povahy okolitých hornín a štruktúrneho vývoja regiónu, preto štúdium deformácie na styku intrúzie s hostujúcou horninou nie je jediným indikátorom a pozorovania musia byť vykonávané v širšom území.

Literatúra – References

- Acocella, V., Rossetti, F.: The role of extensional tectonics at different crustal levels on granite ascent and emplacement: an example from Tuscany (Italy)., *Tectonophysics*, 354, 1-2, 2002, p. 71-83.
- Bateman, R.: On the Mechanics of Igneous Diapirism, Stopping and Zone melting: Comment. *Am. Journal of Science*, 282, 1982, p. 979-980.
- Bezák, V., Jacko, S., Ledru, P., Siman, P.: Hercynian development of the Western Carpathians. In: Rakús, M. (Ed.): *Geodynamic development of the Western Carpathians, GSSR, Bratislava, 1998*, p. 27-34.
- Bonin, B.: Ring Complex Granites and Anorogenic Magmatism. *North Oxford Academic*, 1986, p. 200.
- Billings, M. P.: Structural geology. Prentice-Hall, Inc., New York, 1955, p. 514.
- Cambel, B., Vilinovič, V.: Geochémia a petrológia granitoidných hornín Malých Karpát. *VEDA, Bratislava, 1987*, s. 248.
- Castro, A.: On granitoid emplacement and related structures. A review. *Geol. Rundsch.*, 76, 1, 1987, p. 101-124.
- Clarke, D. B.: Granitoid rocks. Chapman & Hall, London-Glasgow-New York-Tokyo-Melbourne-Madras, 1992, p. 255.
- Fernández, C., Castro, A.: Pluton accommodation at high strain rates in the upper continental crust. The example of the Central Extremadura batholith, Spain. *J. Struct. Geol.*, 21, 1999, p. 1143-1149.
- Galadí-Enríquez, E., Galindo-Zaldívar, J., Simancas, F., Expósito, I.: Diapiric emplacement in the upper crust of a granitic body: the La Bazana granite (SW Spain). *Tectonophysics*, 361, 2003, p. 83-96.
- Glazner, A. F., Miller, D. M.: Late-stage sinking of plutons. *Geology*, 25, 12, 1997, p. 1099-1102.
- Hraško, Ľ., Vozárová, A., Kováčik, M., Hók, J., Michalko, J., Filo, M., Határ, J., Greguš, J., Ďurkovičová, J., Martinský, L., Siman, P., Sládková, M., Wiegerová, V., Gregor, T.: Alpine granitoids – their possible existence within the zone of contact between the Veporicum and Gemericum Units and their role in the structure of the Western Carpathians. *Geol. Práce, Správy*, 101, Bratislava, 1996, p. 29-31.
- Hraško, Ľ.: Vývoj a charakteristika granitoidného magmatizmu v kohútiskom pásme veporika a jeho styku s gemerikom (hercýnska a alpínska etapa). *Manuskript – archív PF UK, Bratislava, 2004*, s. 127.
- Hutton, D. H. W.: Granite emplacement mechanisms and tectonic controls: inferences from deformation studies. *Trans. Roy. Soc. Edinburgh Earth Sci. Edinburgh*, 1987, p. 245-255.
- Hutton, D. H. W.: The „space problem“ in the emplacement of granite. *Episodes*, 19, 4, 1996, p. 114-119.
- John, B. E., Blundy, J. D.: Emplacement-related deformation of granitoid magmas, southern Adamallo massif, Italy. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 105, 1993, p. 1517-1541.
- Konečný, V. (Ed.), Lexa, J., Halouzka, R., Hók, J., Vozár, J., Dublan, L., Nagy, A., Šimon, L., Havrila, M., Ivanička, J., Hojstříčková, V., Miháliková, A., Vozárová, A., Konečný, P., Kováčiková, M., Filo, M., Marcin, D., Klukanová, A., Liščák, P., Žáková, E.: Vysvetlivky ku geologickej mape Štiavnických vrchov a Pohronského Inovca (štiavnický stratovulkán) II. diel, 1 : 50 000. *GSSR, Bratislava, 1998*, s. 247-473.

- Kresten, P.: Granitization – fact or fiction? *Geol. Foreningens i Stockholm Forthanlingar* 110, 1988, p. 335-340.
- Lacroix, S., Sawyer, E. W., Chown, E. H.: Pluton emplacement within an extensional transfer zone dutiny dextral strike-slip faulting: an example from the late Archean Abitibi Greenstone Belt. *J. Struct. Geol.*, 20, 1, 1998, p. 43-59.
- Le Fort, P.: Manaslu leucogranite: a collision signature of the Himalaya, a model for its genesis and emplacement. *J. Geophys. Res.*, 86, 1981, p. 10545-10568.
- Le Fort, P., Cuney, M., Deniel, C., France – Lanord, F., Sheppard, S. M. F., Upreti, B. N., Vidal, P.: Crustal generation of the Himalayan leucogranites. *Tectonophysics*, 134, 1987, p. 39-57.
- Marsh, B. D.: On the Mechanics of Igneous Diapirism, Stopping, and Zone melting. *Am. Journal of Science*, 282, 1982 a, p. 808-855.
- Marsh, B. D.: On the Mechanics of Igneous Diapirism, Stopping, and Zone melting: Reply. *Am. Journal of Science*, 282, 1982 b, p. 981-984.
- Mehnert, K. R.: The granitization problem – revisited. *Fortschr. Miner.*, 65, 2, 1987, p. 285-306.
- Molyneux, S. J., Hutton, D. H. W.: Evidence for significant granite space creation by the ballooning mechanism: The example of the Ardara pluton, Ireland. *GSA Bulletin*, 112, 10, 2000, p. 1543-1558.
- Origoni, E. G.: Hercynian plutonism in the Western Southern Alps. In: *Flugel, H. W., Sassi, F. P., Greccola, P. (Eds.): Pre-Variscan and Variscan events in the Alpine Mediterranean mountain belts. Miner. Slov. – Monograph., Alfa Btarislava*, 1987, p. 227-236.
- Palivcová, M.: Granitový problém v díle W. S. Pitchera a jeho spolupracovníků. *Mineralia slov.*, 16, 6, 1984, s. 563-581.
- Palivcová, M., Waldhausrová, J., Ledvinková, V.: Granitologie – věda o granitech na konci druhého tisíciletí. (Ke druhému vydání Pitcherova díla o granitu 1997 a ke Clarkovu hodnocení granitového paradigmatu 1996). *Mineralia slov.*, 33, 4, 2001, s. 389-402.
- Paterson, S. R.: Late-stage sinking of plutons: Comment. *Geology*, 26, 1998, p. 863-864.
- Paterson, S. R., Fowler Jr., T. K.: Extensional pluton-emplacement models: Do they work for large plutonic complexes? *Geology*, 21, 1993, p. 781-784.
- Petford, N., Atherton, M. P.: Granitoid emplacement and deformation along a major crustal lineament: The Cordillera Blanca, Peru. *Tectonophysics*, 205, 1992, p. 171-185.
- Petford, N., Kerr, R. C., Lister, J. R.: Dike transport of granitoid magmas. *Geology*, 21, 1993, p. 845-848.
- Teyssier, Ch., Whitney, D. L.: Gneiss domes and orogeny. *Geology*, 30, 12, 2002, p. 1139-1142.
- Tikoff, B., Teyssier, Ch.: Crustal-scale, en echelon „P-shear“ tensional bridges: A possible solution to the batholithic room problem. *Geology*, 20, 1992, p. 927-930.
- Yoshinobu, A. S., Fowler, Jr., T. K., Patterson, S. R., Llambias, E., Tickyj, H., Sato, A. M.: A view from the roof: magmatic stopping in the shallow crust, Chita pluton, Argentina. *J. Struct. Geol.*, 25, 7, 2003, p. 1037-1048.
- Vernon, R. H., Richards, S. W., Collins, W. J.: Migmatite-granite relationships: origin of the Cooma granodiorite magma, Lachlan Fold Belt, Australia. *Physics and Chemistry of the Earth, Part A: Solid Earth and Geodesy*, 26, 4-5, 2001, p. 267-271.