

**A Mecsekalja Zóna kristályos komplexum posztmetamorf
paleofluidum evolúciója**

*Post-metamorphic palaeofluid evolution of the crystalline complex of
the Mecsekalja Zone*

Dabi Gergely

PhD értekezés tézisei

Szegedi Tudományegyetem

Természettudományi és Informatikai Kar

Földtudományok Doktori Iskola

Témavezetők:

Dr. M. Tóth Tivadar, egyetemi tanár

Dr. Schubert Félix, egyetemi adjunktus

SZTE, Ásványtani, Geokémiai és Kőzettani Tanszék

Szeged, 2013

Bevezetés

A doktori disszertáció a Mecsekalja Zóna Ófalu környéki völgyek által feltárt metamorf kristályos kőzeteinek (Ófalui Formáció) posztmetamorf fluidum-fejlődéstörténetét tárgyalja. A napjainkban a felszínen tanulmányozható kőzetek körülbelül 300 millió éve szenvedtek metamorfózist, azaz a metamorfózis óta eltelt időben a kőzettömeg jelentős utat járt be a földkéreg nagy mélységeitől a felszínig. A csak nagy vonalakban ismert kiemelkedés-történet egyben a kőzettömegre egymást követően ható feszültségterek összetett történetét is magában foglalja. A feszültségtér-evolúció egymást követő szakaszai közül azonban nagy valószínűséggel csak kevés hagyott olyan jelenleg is felismerhető és tanulmányozható szerkezeteket, amelyek alapján a kőzetre ható feszültségtereket részben, vagy maradéktalanul rekonstruálni lehetne. Tovább súlyosbítják a helyzetet a területre jellemző rossz feltárási viszonyok. A feszültségterek alakulása ugyanakkor a kőzet paleofluidum evolúciójára nézvést is kiemelkedő jelentőséggel bír, tekintetbe véve, hogy az alapvetően vízzárónak tekinthető kristályos kőzetek fluidumáramlási pályáit mind mikro-, mind makroszinten feszültségek aktiválják. Az előbbi bizonyítják a gránitok kőzetalkotó kvarcsemcséiben gyakori fluidumzárványsíkok, míg az utóbbiról a kristályos kőzetekben megjelenő erek tanúskodnak. Kézenfekvő tehát feltételezni, hogy az Ófalui Formáció kiemelkedés-története, illetve az azt meghatározó

feszültségterek a fluidumáramlási események igen összetett történetét alakították.

A kőzetek paleofluidum evolúciójának vizsgálata több célt szolgálhat. Legegyszerűbb esetben a kőzetben egykor áramló fluidum hőmérsékletének, nyomásának, kemizmusának a feltárását jelenti, vagy ugyanezen paraméterek vizsgálatát egymást követő fluidumáramlási események során. Az ilyen jellegű adatok segíthetnek egy lehetséges víz-, szénhidrogén- vagy érc-lelőhely állapotának a megértésében.

A paleofluidum-vizsgálatok másik fontos alkalmazási területe, amikor egy kőzet-víz rendszer jövőbeni viselkedését kell megjósolni. Ilyen például, amikor a vizsgált kőzettömeg radioaktív hulladékok elhelyezésére alkalmas földtani közegként kerül szóba. Ilyen esetekben alapvető fontosságú annak vizsgálata, hogy milyen fluidumáramlási események zajlottak a formációban a földtörténeti múltban és lényeges a fluidumáramlások összefüggés-rendszerének megértése. Így prognosztizálható, hogy a környezetvédelmi szempontból kockázatos időszakban bekövetkezhet-e a földtani közegben tárolt anyagok mobilizációja. Az egyes fluidumáramlási események összefüggés-rendszereinek feltárása az áramlási eseménnyel kapcsolatban kinyerhető adatok rendszerszerű értelmezését kívánja. Az így kialakuló értelmezés egy olyan modell kialakulása irányába mutat, ami magában foglalja az áramlási eseményt kialakító és befolyásoló földtani körülményeket, beleértve az áramlási pályákat, az azokat kialakító okokat és összetevőket, a fluidum-kőzet kölcsönhatások minőségi és mennyiségi jellemzőit. A

felsorolt tényezőket akár csak részben magában foglaló, az egyes fluidumáramlási eseményekre vonatkozó elképzeléseket a disszertációban a kőzet-víz rendszerre vonatkozó „hidraulikus viselkedés modell” néven említettem. Az egyes áramlási események „hidraulikus viselkedés modelljének” megalkotása a fluidumra és a kőzetvázra vonatkozó, az áramlási esemény idején fennálló adatok sokaságának ismeretét követeli meg, ami eleve előre vetíti a modell megalkotásának nehézségeit.

A disszertáció a Mecsek-alja Zóna paleofluidum fejlődésének különböző aspektusait, illetve mozzanatait tárgyaló, már elfogadott és beküldött, bírálat alatt álló cikkekből, mint fejezetekből épül fel. A cikkek az Ófalui Formáció paleofluidum-evolúció kutatásának jelenlegi állapotát szemléltetik. Az első két fejezet az egymást követő fluidumáramlási események rekonstrukciójával foglalkozik az érkitöltő ásványok szövetéből kiindulva, az így nyert információkat fluidumzárvány-mikrotermometriai adatokkal kiegészítve. A meghatározott kiválás sorrend időbeliségét, valamint a szülőoldatok eredetét stabilizotóp-mérésekkel sikerült lehatárolni. Mivel egyes esetekben az újonnan kinyert adatok értelmezéséhez a korábban publikált adatok megjelenítésére is szükség volt, előfordul ismétlődés a disszertáció első két fejezetén belül. A második két fejezet a fluidum-evolúció egyes mozzanataira koncentrálna. Ezekben az esetekben a rendelkezésre álló adatok lehetővé tették a fluidumáramlási-események összefüggéseit magukban foglaló hidraulikai viselkedés modellek kialakítását.

Minták és vizsgálati módszerek

Az Ófalui metamorf komplexum paleofluidum evolúciójának vizsgálatához 75 darab minta makroszkópos vizsgálatát végeztem el, a mintákból készült csiszolatok (77 darab) mikroszkópi, illetve egyes esetekben katódlumineszcens mikroszkópi képpel kiegészített szövétét vizsgáltam és értelmeztem. A petrográfiai úton definiált érgenerációk közül 6 típus fluidumzárvány mikrotermometriai vizsgálatát végeztem el, valamint egy 44 stabilizotóp-adatból (40 darab karbonátminta $\delta^{18}\text{O}$ és $\delta^{13}\text{C}$ értékpárból, továbbá négy darab zárványban csapdázott fluidum δD értékből) felépülő adathalmazt alakítottam ki és értelmeztem (S1. táblázat).

A mikroszkópi megfigyelések az érkítőltő ásványgenerációk meghatározását és kiválási sorrendjének megállapítását tették lehetővé, továbbá egyes esetekben a kőzet-víz rendszer működésének bizonyos aspektusaiba is betekintést nyújtottak, például „*crack-seal*”, vagy szintaxiális szövetű erek. A Magyar Tudományos Akadémia Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpontjának Földtani és Geokémiai Intézetének Reliotron típusú hidegkatódos készülékével készült katódlumineszcens felvételek szivárgó oldatáramlási pályák, valamint áteső fényben nem látható breccsa-zónák létére hívták fel a figyelmet.

A fluidumzárvány mikrotermometriai vizsgálatokat az SZTE Ásványtani, Geokémiai és Kőzettani Tanszékének Olympus BX 41 típusú mikroszkópjára szerelt Linkam THMSG600 típusú hűthető-

fűthető asztalával végeztem. Az adatok lehetővé tették egyes ásványgenerációk szülőoldatainak, vagy az ásványokban később csapdázódott fluidumok csapdázódási hőmérsékleteinek becslését. Az alacsony hőmérsékletű (végső jégolvadási hőmérséklet) mérések alapján lehetővé vált a fluidumok rokonságának vizsgálata a tágabb geológiai környezetben végzett hasonló kutatások alapján.

A stabilizotóp-összetétel mérések a Magyar Tudományos Akadémia Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpontjának Földtani és Geokémiai Intézetének stabilizotópos laboratóriumában készültek, Finnigan delta Plus XP tömegspektrométerrel, vivőgázás technológiával. Az adatok eloszlása jól kirajzolja a szövetileg elkülönített karbonát-generációkat, továbbá a megfelelő frakcionációs egyenletek alkalmazása (figyelembe véve a mikrotermometriai mérések eredményeit) lehetővé tette a szülő oldatok eredetének lehatárolását. Egyes esetekben az adatok trendje és megoszlása különböző eredetű fluidumok keveredésére vagy lokális kőzet-víz rendszerek létrejöttére hívta fel a figyelmet.

Új tudományos eredmények

- 1. Az érképződés fő periódusa az ófalui metamorf kristályos kőzetekben a triász és az felső-kréta közötti időszak volt.** A területen leginkább elterjedt, és a szöveti viszonyok alapján a legidősebb Cal_{EB1} kalcit-generáció stabilizotóp-összetétele tengeri karbonátokkal való rokonságot tükröz. Mivel a régióban a tengeri üledékképződés az anizusziban vette kezdetét, a Cal_{EB1}

kalcit nem lehet ennél idősebb. Az átmetsző szöveti helyzetek alapján legfiatalabbnak ítélt antitaxiális erek elsődleges zárányaiban csapdázott fluidumok δD értékei a magmás fluidumok tartományába esnek, ami a szülőoldat alsó kréta vulkanizmussal való rokonságát jelzi.

- 2. A repedésrendszerekben advektíven áramló oldatokból történő ásványkiválás miatt bezáródó erekben fennmaradó maradványterek földtani léptékben is hosszú távon fennmaradhatnak.** Ezt az állítást igazolja, hogy a Ca_{EB1} által kitöltött erek maradványtereiben három további ásvány-generáció követi egymást (Dol_{ZON} , Qtz_{BL} , Cal_{SF}), amiből kettő igazolhatóan eltérő hőmérsékletű és valószínűleg eltérő eredetű fluidumból vált ki. A zónás dolomit minimális kiválási hőmérséklete $95\text{ }^{\circ}\text{C}$, míg az azt követő tömbös kvarc kiválási hőmérséklete $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ alatti. Azaz a maradványterek szakaszos kitöltődése a különböző környezetből származó fluidumok megjelenése között zajlott.
- 3. A szülőoldatok kőzetesten keresztül történő szivárgása több esetben is hatékony oldatáramlási mechanizmus volt a metamorf kőzetek fluidum-evolúciója során.** Az állítás a 2-es pont, azaz a maradványterekben történő kiválás további következménye. Mivel a maradványterek fennmaradása a repedések, azaz a gyors advektív áramlási pályák bezáródása miatt maradnak fenn, nehezen elképzelhető, hogy a későbbiekben az itt megjelenő

fluidumok advektíven áramoltak. Ennek érvényessége a kitöltő ásvány-generációk fiatalodásával egyre inkább nő. A szivárgás hatékonyságát a katódlumineszcens felvételek szintén alátámasztják: a Ca_{EB1} kristályok határain aktív katódlumineszcencia jelentkezik, ami aktivátor kationok beépülését és metasomatikus átalakulást jelez.

- 4. A Mecsek-alja Zóna mentén feltároló metamorf kőzetekben általánosan elterjedt, kalcittal kitöltött mikrorepedés-rendszerek egyszeri fluidumáramlás termékei, kialakulásuk az Ófalu tektonikai vonal aktív működési szakaszával egyidejű szeizmikus igénybevétel és telérbenyomulás során zajlott.** Az állítás alapja a kalcitok stabilizotóp-összetételei által kirajzolt trend, ami értelmezhető a magmás eredetű szülőoldat és a Ca_{EB1} kalcit-generáció közötti izotópcseré eredményeként létrejött eloszlásnak, vagy a magmás és tengervíz eredetű oldatok keveredése által kialakított trendnek. Mindkét lehetőség a szeizmikus aktivitás jól dokumentált velejárója. A mecseki vulkanizmus idején fennálló szeizmicitást szedimentológiai bélyegek is alátámasztják. Az izotópcseré modell egyben nagymértékű széndioxid szegregációját is feltételezi.
- 5. A kalcittal kitöltött mikroér-rendszer a pusztakisfalui szelvényben feltárt intrúzív párnabazaltok közötti hidrotermás kürtőket létrehozó fluidumáramlási rendszer hidraulikai aljátát alkotta.** A két jelenség közötti kapcsolatot erősíti, hogy mindkettő vulkanikus

tevékenységhez kötődik és, hogy hasonló szalinitású szülőoldatok mutathatók ki mindkét esetben. A hidraulikai rendszer azonosságát hangsúlyozza a Mecsekalja tektonikai vonal menti kifejlődésük.

6. **A Mecsekalja Zóna metamorf kőzeteiben leggyakrabban előforduló antitaxiális szövetű erek egyszeri fluidumáramlási esemény termékei, kialakulásukat szeizmikus ciklusok irányították.** A kutatási terület különböző pontjain gyűjtött minták elsődleges fluidumzárványai alapján az antitaxiális erek szülőoldatai egy nagyon szűk szalinitási tartományt képviselnek. A fluidumok hidrogénizotóp-összetételei a szülőoldat magmás eredetét jelzik. Az erekben nagyon gyakori „*crack-seal*” szövetek a szülőoldat nyomásának fluktuációját jelzik, amit a csapdázott fluidumok széles sűrűség tartománya jól igazol. Az időről időre megnövekedő fluidumnyomás és a kőzetváz lokális felnyílásai jól értelmezhetők a szeizmikus ciklusok alapján, azaz a földrengéseket megelőző feszültség-kiépülési és az azokat követő feszültség-kioldási ciklusok sorozataként.
7. **Az antitaxiális erek szülőoldatai a kiépülő feszültségterek által felnyitott elasztikus mikroerek mentén szivárgó fluidumok voltak, a mikroér-rendszer hatékonyan hozzájárult a kőzetvázat átmosásához az áramlás során.** A hatékony átmosást támasztja alá az antitaxiális erek gyakorisága a kutatási területen, valamint

az elsődleges zárványaikban csapdázott fluidumok szűk szalinitási tartománya, eltérő mintavételi pontokból gyűjtött minták esetében is. A növekvő feszültségintenzitás hatására bekövetkező elasztikus mikroérképződés a kőzetmechanika részletesen vizsgált területe, továbbá több földrengéseket megelőző jelenség is kapcsolatba hozható a kialakulásukkal a szakirodalom szerint.

- 8. A kristályos kőzetekben kialakuló fluidum-szivárgás hatékonyságát a kőzetváz mechanikai tulajdonságai nagymértékben megszabják.** Az Ófalu formáció kőzeteiben meghatározott, egymástól jól elkülönülő fluidumok (a Cal_{MC} és a Cal_{ANT} kalcit generációk szülőoldatai, vagy a Cal_{SF} kalcitgeneráció másodlagos fluidumzárványai) a Mórággyi Gránit fluidumzárvány síkjaiiban keveredve jelentkeznek. Ez alapján arra következtethetünk, hogy a gránit másodlagos zárványsíkjainak prekursor mikrorepedéseit felnyitó feszültségterek a metamorf kőzetekben a kőzetvázat hatékonyan átmosó szivárgási pályákat aktiváltak. Ugyanezek az egymást követő fluidumok kevésbé hatékonyan szivárogtak a gránitban.
- 9. A szintaxiális szövetű erek alapvetően eltérő mértékű kőzet-víz kölcsönhatást tükröznek az antitaxiális megfelelőikhez képest.** Ezt az állítást igazolja, hogy a szintaxiális szövetű erek stabilizotóp-összetételei a velük azonos szülőoldatból kivált antitaxiális erekre jellemző

összetételektől markánsan elkülönülne. Az eltérés valószínűleg ugyanannak a fluidumnak a makroszkópos repedések menti advektív áramlása és a mikroerekben a kőzettesten át történő szivárgása során fellépő eltérő mértékű kőzet-víz kölcsönhatást jeleníti meg.

- 10. Az antitaxiális erek lokális kőzet-víz rendszereket reprezentálnak, melyek működésük idején a repedés-porozitás elszigetelt alrendszerei voltak.** Ezt az állítást a stabilizotóp-adatok mintavételi helyek szerinti megoszlása támasztja alá.

Az értekezés témakörében megjelent publikációk

Folyóirat cikkek

Dabi, G., M. Tóth, T., Schubert, F., 2009. Eltérő szövetű karbonáterek szerepe a repedéscementáció rekonstrukciójában (Ófalu, Goldgrund-völgy). *Földtani Közlöny*, 139, 3-20.

Dabi, G., Siklósy, Z., Schubert, F., Bajnóczi, B., M. Tóth, T., 2011. The relevance of vein texture in understanding the past hydraulic behaviour of a crystalline rock mass: reconstruction of the palaeohydrology of the Mecsek-alja Zone, South Hungary. *Geofluids*, 11, 309-327.

Dabi, G., Czuppon, Gy., Schubert, F., M. Tóth, T., 2011. The hydraulic behavior of a crack-seal vein producing fluid-rock system. *Procedia Earth and Planetary Science*. In press.

Könyvfejezetek

Dabi, G., Siklósy, Z., Schubert, F., Bajnóczi, B., M. Tóth, T., (2009). Az Ófalui Formáció és környezete paleohidrogeológiai rekonstrukciója a kőzeteket átmetsző érrendszerek vizsgálata alapján. In: M. Tóth, T. (ed.): Magmás és metamorf képződmények a Tiszai Egységben, GeoLitera, pp. 261-279.

Konferencia absztraktok

Dabi, G., M. Tóth, T., Schubert F., Siklósy, Z., Bajnóczi, B., 2009. Methodology of paleohydrological interpretation of vein filling minerals: veins of the Ófalu Formation. XI. 11th Mining, Metallurgy and Geology Conference, Sighetu Marmatiei, abstract series, pp. 120-125.

Dabi, G., Schubert, F., M. Tóth, T., 2009. Application of fluid inclusions in antitaxial veins as a gauge of fluid pressure fluctuation during vein growth. ECROFI XX, Granada, abstract series, pp., 59-60.

Dabi, G., Schubert, F., M. Tóth., T. 2010. Tectonic setting of a vein producing crustal flow event as implied by vein textures and fluid inclusion microthermometry (Mecsek Mountains, SW Hungary). 8th Meeting of the Central European Tectonic Studies Group (CETEG), 22-25 April 2010, Maçhocice Kapitulne, Poland, Abstract series, pp. 51-53.

Dabi, G., Schubert, F., M. Tóth., T. 2010. Palaeohydrologic evolution of the Mecsekajka Shear Zone (Hungary) in the light of subsidence history. 8th Meeting of the Central European Tectonic

Studies Group (CETEG), 22-25 April 2010, Małchocice Kapitulne, Poland, Abstract series, pp. 53-55.

Dabi, G., Schubert, F., M. Tóth, T., 2010. A Mecsekalja-zóne paleohidrológiai fejlődéstörténete a betemetődési viszonyok fényében. (The palaeohydrogeologic evolution of the Mecsekalja Zone in light of the subsidence history) I. Közettani és Geokémiai Vándorgyűlés, Gárdony, pp. 37.

Dabi, G., Bajnóczi, B., M. Tóth, T., 2011. Az antitaxiális érképződés körülményei a Mecsekalja Zónában. (The conditions of antitaxial vein formation in the Mecsekalja Zone) II. Közettani és Geokémiai Vándorgyűlés, Szeged, pp. 18-19.

Dabi, G., Bajnóczi, B., Schubert, F., M. Tóth, T., 2012. Szivárgó oldatáramlási események a Mecsekalja-zóna kőzeteiben. (Percolative fluid flow events in the crystalline rocks of the Mecsekalja Zone – In Hungarian). III. Közettani és Geokémiai Vándorgyűlés, Telkibánya, pp. 10.