

Földtudományok Doktori Iskola

**A Mecsekalja-zóna komplex jellemzése a Sztl-1 fúrás furadékanyagának
kvarc szemcséi alapján**

Doktori (Ph.D.) értekezés tézisei

Szerző:

Skultéti Ágnes

Témavezető:

Dr. M. Tóth Tivadar

Ásványtani, Geokémiai és Kőzettani Tanszék

Természettudományi és Informatikai Kar

Szegedi Tudományegyetem

Szeged

2017

I. Bevezetés és célok

A földkéregben a nyírási zónák olyan deformációt lokalizáló szerkezetek, amelyekben a deformáció jelentősen nagyobb, mint a környező kőzetekben (Ramsay, 1980; Ramsay and Huber, 1987; van der Pluijm and Marshak, 2004; Passchier and Trouw, 2005; Fossen, 2010). Számos helyen az intenzív deformáció következtében a nyírási zónák kőzetei kiváló repedezett fluidum rezervoárként működnek. Ezért ezen képződmények kőzettani- és szerkezetfejlődésének megismerése kiemelkedő fontosságú. A Pannon-medence kristályos aljzatát felépítő metamorf kőzetek számos vető és nyírási zóna által tagoltak. Ezek a képződmények a Tiszai Egység pre-neogén aljzatában többnyire csupán néhány felszíni kibúvásból, illetve fűromag minták alapján ismertek, melyek nem szolgáltatnak folytonos információt a nyírási zónák kőzeteiről, és felszínre hozataluk is igen költséges. Ezzel szemben furadékanyag közel folytonosan rendelkezésre áll az aljzataból és jóval költségkímélőbb.

A furadékanyag minták általában μm -es, mm -es nagyságrendű ásvány és kőzetszemcséket, főként kvarc szemcséket tartalmaznak. A kvarc (SiO_2) a földkéreg második leggyakoribb kőzetalkotó ásványaként széleskörű nyomás és hőmérséklet viszonyok között stabil, ellenálló ásvány. A kvarc metamorf reakciók gyakori terméke, metamorf fejlődése meghatározza a kvarc szemcsék kémiai összetételét. A kvarc kristályszerkezetében az SiO_4 tetraéderekhez kapcsolódóan eltérő mennyiségben különböző nyomelemek (Al, Ti, Ge, Na, K, Li, B) (Götze et al., 2004) szintén megjelennek. Habár a kvarc „névlegesen vízmentes ásvány” (NAM) kristályrácsában a hidrogén („víz”) mind szerkezeti hidroxil (OH^-), mind molekuláris víz (H_2O) formájában megtalálható (Stenina, 2004). A kvarc kristályrácsában jelenlévő „víz” mennyisége jelentősen befolyásolja annak töréses és képlékeny viselkedését, csökkenti mechanikai erősségét, ellenálló képességét (Jones, 1975). A kvarc kristályszerkezetét eltérő nyomás és hőmérséklet viszonyok között különböző deformációs mechanizmusok alakítják. Így a rendelkezésünkre álló furadékanyag kvarc szemcséi mikroszerkezetükben információt hordoznak az őket ért deformációs folyamatokról (Hirth and Tullis, 1992; Stipp et al., 2002; Vernon, 2004; Passchier and Trouw, 2005; Halfpenny et al., 2012).

A kutatás célja egy reprodukálható módszertan kidolgozása arra, hogy hogyan rekonstruálhatjuk a metamorf- és deformációtörténetet furadékanyag egyedülálló kvarc szemcséiből. Majd a kidolgozott módszer alkalmazásával és a Szentlőrinc-1 (Sztl-1) fűrásból, közel 2 km-es mélységből rendelkezésre álló furadékanyag kvarc szemcséinek felhasználásával a Mecsekalja-zóna metamorf- és szerkezeti rekonstrukciója. Ezt követően

pedig az így kapott eredmények földtani kiterjesztése és összevetése a Mecsekalja-zóna fejlődésével kapcsolatos korábbi felszíni modellekkel.

II. Alkalmazott módszerek

A rendelkezésre álló furadékkő minták kis szemcsemérete speciális vizsgálati módszerek kidolgozását és alkalmazását tette szükségessé a kutatás során.

A furadékkő kvarcsejtségeinek mikroszerkezeti elemzése elsődlegesen optikailag, polarizációs mikroszkópia alkalmazásával történt. Az eltérő mikroszerkezeti megjelenésű kvarcsejtségek elkülönítése a Raman spektroszkópia alkalmazásával, az egyes sejtségekből felvett Raman spektrumok bizonyos spektrális tulajdonságai alapján történt. Az eltérő mikroszerkezeti megjelenésű kvarcsejtségek közti különbséget leginkább leíró spektrális tulajdonságok lineáris kombinációját statisztikai vizsgálatok eredményeként, diszkriminancia analízis végrehajtása során kaptuk meg.

A vizsgált fúrás mentén a képlékeny nyírás zónák kijelölése az eltérő mikroszerkezeti megjelenésű kvarcsejtségek mennyiségi arányának elemzése alapján történt a mélység függvényében. Az elemzés során a vizsgált fúrás mentén a rendelkezésre álló furadékkő mintákat 25 méterenként vizsgáltuk, míg a geofizikai szelvények alapján feltételezett törés zónákban a mintákat 5 méterenként elemeztük. Az egyes mintákban 100 db véletlenszerűen kiválasztott (JMicroVision: point counting módszerrel) kvarcsejtsége mikroszerkezetét elemeztük.

A töréses nyírás zónák mélységi pozíciójának kijelölése a vizsgált fúrás mentén a rendelkezésre álló direkt-indirekt töréslokalizálásra alkalmas geofizikai szelvények (sűrűség, természetes gamma, ellenállás, természetes potenciál és lyukbőség szelvény) optikai és statisztikai (diszkriminancia analízis) elemzése alapján történt.

Az egyes eltérő mikroszerkezeti megjelenésű kvarcsejtségek által megőrzött, vagyis az azokat létrehozó hőmérséklet meghatározása a kvarcsejtségek Ti-tartalma alapján történt, melyet lézerablációs induktív csatolású plazma tömegspektrometria (LA-ICP-MS) alkalmazásával határoztunk meg. Az így kapott Ti koncentrációkból (ppm) Thomas et al. (2010) Ti a kvarcban termométere (TitaniQ) alapján számoltunk hőmérsékletet. A kvarcsejtségek víz tartalmának (OH⁻, H₂O) meghatározása mikro-Fourier transzformációs infravörös spektrometria (mikro-FTIR) alkalmazásával történt.

III. Új tudományos eredmények

A dolgozatban bemutatott kutatás során az alábbi új tudományos eredmények születtek:

- 1) A Sztl-1 fúrásból rendelkezésre álló furadékanyag kvarcsemcséi mikroszerkezetiileg három csoportra oszthatók (unduláló kioltású (U), alszemcsés (S), rekrisztallizált (R)), melyek vélhetően különböző dinamikus rekrisztallizációs mechanizmusoknak megfelelő körülmények között jöttek létre („bulging” (BLG), alszemcse rotáció (SGR I-II)).
- 2) A Raman spektroszkópia segítségével, a Raman spektrumok bizonyos spektrális tulajdonságai alapján, elkülöníthetők az eltérő mikroszerkezeti megjelenésű és deformációs állapotú (U, S, R) kvarcsemcsék. Az U, S, R szélső tagok az *F1-F2* spektrális térben egy-egy tartományt definiálnak, együtt azonban meghatároznak egy spektrális teret. A vegyes mikroszerkezeti megjelenésű kvarcsemcsék a spektrális térben a három szélső tagot képviselő U, S, R típus által kijelölt spektrális térben helyezkednek el.
- 3) A Sztl-1 fúrás vizsgált szakasza mentén két eltérő ásványos összetételű gneisz típus különíthető el. A vizsgált fúrásszakaszon belül kb. a felső 100–150 méteren a furadékanyag a kvarc mellett nagy mennyiségű csillámot, főként muszkovitot tartalmaz. A vizsgált fúrás szakasz alsóbb részében a csillámok mennyisége némileg csökken és nő a földpátok mennyisége. Ez alapján a vizsgált fúrásszakaszon belül egy felső csillámos és egy alsó földpátos gneiszként azonosítható kőzetblokkot különíthetünk el.
- 4) A Sztl-1 fúrás vizsgált szakasza mentén két képlékeny (1610–1635 és 1750–1765 m) és két töréses (1580–1635 és 1750–1765 m) nyírási zóna lokalizálható, melyek mélysége egybeesik. Az eltérő mikroszerkezeti megjelenésű (U, S, R) kvarcsemcsék mennyiségi aránya alapján a mélység függvényében a vizsgált fúrás szakasz mentén képlékeny nyírási zónák lokalizálhatók. A rendelkezésre álló direkt-indirekt, repedés követő geofizikai szelvények (DEL, GR, R, SP, CAL) komplex statisztikai elemzése töréses nyírási zónák kijelölését teszi lehetővé.
- 5) A vizsgált kvarcsemcsék Ti-tartalma alapján a Mecsekalja-zóna metamorf és deformációtörténeti fejlődése során mindkét gneisz típusban ugyanaz a két eltérő hőmérsékletű esemény különíthető el. A korai metamorfózis hőmérséklete 500–575 °C-

nak tekinthető, míg az ezt követő rekrisztallizáció hőmérséklete feltételezhetően 400–475 °C körüli volt. Így a két eltérő gneisz típus vélhetően azonos metamorf- és deformációtörténeti fejlődésen ment keresztül.

- 6) Az eltérő mikroszerkezeti megjelenésű és deformációs állapotú kvarcsemcsékhez különböző hőmérsékletek kapcsolódnak. Hirth and Tullis (1992) és Passchier and Trouw (2005) alapján, a kvarc esetén a „bulging” (BLG) dinamikus rekrisztallizációs mechanizmus hőmérséklete ~ 400 °C, míg az alszemcse rotáció (SGR II) hőmérséklete ~500 °C. A Ti a kvarcban mérések ezt igazolták, az elemzett eltérő deformációs állapotú kvarcsemcsék eltérő hőmérsékleten keletkeztek (BLG ~400–475 °C, SGR II ~500–575 °C).
- 7) A Sztl-1 fúrásban a kvarcsemcsék víztartalma (OH⁻, H₂O) a képlékeny nyírási zónák mentén, annak közepe felé, csökken az intenzív képlékeny deformáció következtében.
- 8) A Sztl-1 fúrás mentén lokalizált képlékeny és töréses nyírási zónák mélységi helyzetének egybeesése gyengeségi zónák kialakulásával magyarázható. A képlékeny és a töréses nyírási zónák pozíciója a vizsgált fúrás mentén vélhetően azért esik egybe, mert az intenzív képlékeny deformáció hatására a nyírási öv centrumában a kvarcsemcsék részben dehidratálódtak a szomszédos közetrészekhez képest. Így a nyírási zónákban a gneisz ridegebbé vált, mint a környező, magasabb víztartalmú közetek és egy adódó töréses felújulásra kevésbé ellenállóan reagáltak, könnyebben eltörték.
- 9) A Mecsekalja-zóna deformációtörténeti fejlődése során két független, egymást követő deformációs esemény különíthető el: a képlékeny nyírási zónák a kvarcsemcsék részleges dehidratációja miatt töréses módon reaktiválódtak.
- 10) A Sztl-1 fúrásból, közel 2 km-es mélységből származó furadékanyag komplex elemzése során kapott eredmények jó egyezést mutatnak a Mecsekalja-zóna fejlődésével kapcsolatos korábbi felszíni modellekkel (Szederkényi, 1977, 1983; Árkai and Nagy, 1994; Lelkes-Felvári et al., 2000; Király and Török, 2003; M. Tóth et al., 2005). A Mecsekalja-zóna fejlődésével kapcsolatos felszíni modellek DNY felé – legalább a Sztl-1 fúrásig – térben kiterjeszthetők.

IV. Felhasznált irodalom

- Árkai, P., Nagy, G., Dobosi, G. (1985): Polymetamorphic evolution of the South-Hungarian crystalline basement, Pannonian Basin: geothermometric and geobarometric data. *Acta Geol. Hung.*, 28, 165–190.
- Fossen, H. (2010): *Structural geology*. Cambridge University Press, New York, 481.
- Götze, J., Plötze, M., Graupner, T., Hallbauer, D.K., Bray, C.J. (2004): Trace element incorporation into quartz: A combined study by ICP-MS, electron spin resonance, cathodoluminescence, capillary ion analysis, and gas chromatography. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol. 68, No. 18, 3741–3759.
- Halfpenny, A., Prior, D. J., Wheeler, J. (2012): Electron backscatter diffraction analysis to determine the mechanisms that operated during dynamic recrystallisation of quartz-rich rocks. *Journal of Structural Geology* 36, 2–15.
- Hirth, G., Tullis, J. (1992): Dislocation creep regimes in quartz aggregates. *Journal of Structural Geology*, 14, 145–159.
- Jones, M.E. (1975): Water weakening of quartz, and its application to natural rock deformation. *Jlgeol. Soc. Lond.*, 131, 429–432.
- Király, E., Török, K. (2003): Magmatic garnet in deformed aplite dykes from the Mórággy granitoid, SE-Transdanubia. *Acta Geol. Hung.*, 46/3, 239–254.
- Lelkes-Felvári, Gy., Árkai, P., Frank, W., Nagy, G. (2000): Late Variscan ultramylonite from the Mórággy Hills, SE Mecsek Mts., Hungary. *Acta Geol. Hung.*, 43/1, 65–84.
- M. Tóth, T., Kovács, G., Schubert, F., Dályay, V. (2005): Az ófalui „migmatit” eredete és deformációtörténete. *Földtani Közlöny* 135/3, 331–352.
- Passchier, C.W., Trouw, R. A. J. (2005): *Microtectonics*. Springer-Verlag, 371.
- Ramsay, J.G. (1980): Shear zone geometry: a review. *Journal of Structural Geology*, Vol. 2, No. 1/2, 83–99.
- Ramsay, J.G., Huber, M.I. (1987): *The technics of modern structural geology. Volume 2: Folds and fractures*. Academic Press, 462.
- Stenina, N.G. (2004): Water related defects in quartz. *B. Geosci.*, 79, 251–268.
- Stipp, M., Stünitz, H., Heilbronner, R., Schmid, S. M. (2002): The eastern Tonale fault zone: a 'natural laboratory' for crystal plastic deformation of quartz over a temperature range from 250 to 700 °C. *Journal of Structural Geology* 24, 1861–1884.
- Szederkényi, T. (1977): Geological evolution of South Transdanubia (Hungary) in Paleozoic time. *Acta Min. Pet. Szeged*, 23/1, 3–14.

- Szederkényi, T. (1983): Origin of amphibolites and metavolcanics of crystalline complexes of South Transdanubia, Hungary. *Acta Geol. Ac. Sci. Hung.*, 26, 103–136.
- Thomas, J.B., Watson, E.B., Spear, F.S., Shemella, P.T., Nayak, S.K., Lanzirozzi, A. (2010): Titanite under pressure: the effect of pressure and temperature on the solubility of Ti in quartz. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 160, 743–759.
- van der Pluijm, B. A., Marshak, S. (2004): *Earth Structure – An introduction to structural geology and tectonics*. W. W. Norton & Company, 656.
- Vernon, R.H. (2004): *A practical guide to Rock Microstructure*. Cambridge University Press, 650.

V. Publikációs lista

V.1 Folyóiratcikkek

- Skultéti, Á., M. Tóth, T., Kovács, I.J., Király, E., Sándorné, J.K. (2017) Metamorphic and deformation history of the Mecsekalja Zone around the Szentlőrinc-1 well using individual quartz fragments from drilling chips. *Central European Geology*, In press.
- Skultéti, Á., M. Tóth, T. (2016): Localisation of ductile and brittle shear zones along the Szentlőrinc-1 well in the Mecsekalja Zone using quartz microstructural and well-log data. *Acta Geodaetica et Geophysica*, 51/2, 295–314.
- Skultéti, Á., M. Tóth, T., Fintor, K., Schubert, F. (2014): Deformation history reconstruction using single quartz grain Raman microspectroscopy data. *Journal of Raman Spectroscopy*, 45/4, 314–321.

V.2 Konferenciaközlemények

- Skultéti, Á., M. Tóth, T., Kovács, I.J. (2016): A kőzet mechanikai tulajdonságainak és reológiai viselkedésének meghatározása furadéanyag kvarcsemcséi alapján. In: Török Á, Görög P, Vásárhelyi B (szerk.) *Mérnökgeológia-Kőzetmechanika Kiskönyvtár*; 20., 277–288. (ISBN: 978-615-5086-11-3)
- Skultéti, Á. (2016): Metamorphic and deformation history of the Mecsekalja Zone around Szentlőrinc-1 deep well using single quartz fragments of drilling chips. In: XLVII. Ifjú Szakemberek Ankétja, 15–17.
- Skultéti, Á., M. Tóth, T., Kovács, I.J., Király, E. (2016): A Mecsekalja-zóna metamorf és deformációtörténeti rekonstrukciója a Sztl-1 fúrás furadéanyaga alapján. In: Benkó, Zs.

- (szerk.) Itt az idő! Kőzettani-geokémiai folyamatok és azok geokronológiai változásai: 7. Kőzettani és Geokémiai vándorgyűlés, 97. (ISBN: 978-963-8321-52-7)
- Skultéti, Á., M. Tóth, T., Fintor, K., Schubert, F. (2014): Structural reconstruction of a fractured fluid reservoir using single quartz grains of drilling chips. In: Żelaźniewicz, A., Jastrzębski, M., Twyrdy, M.: 12th Meeting of the Central European Tectonic Studies Group (CETeG): Abstract book: The Orlica-Śnieżnik Dome and the Upper Nysa Klodzka Graben, the Sudetes, 86-87. (ISSN: 0072-100X)
- Skultéti, Á., M. Tóth, T., Fintor, K., Schubert, F. (2014): A Mecsekalja-zóna deformációtörténeti és szerkezeti rekonstrukciója egyedülálló kvarcsemcsék alapján. In: Pál-Molnár, E., Harangi, Sz. (szerk.): Kőzettani folyamatok a földképenytől a felszínig: 5. Kőzettani és geokémiai vándorgyűlés, 73. (ISBN: 978-963-482-997-3)
- Skultéti, Á. (2014): Deformation history reconstruction using Raman microspectroscopy data of single quartz grains of Szentlőrinc-1 deep well. In: XLV. Ifjú Szakemberek Ankétja, 14-15.
- Skultéti, Á., M. Tóth, T., Fintor, K., Schubert, F. (2014): Deformation history reconstruction using Raman microspectroscopy data of single quartz grains. In: 11th International GeoRaman Conference. Paper 5052pdf, 2.
- Skultéti, Á., M. Tóth, T., Fintor, K., Schubert, F. (2013): A Mecsekalja-zóna deformációtörténetének rekonstrukciója a Szentlőrinc-1 mélyfúrás egyedülálló kvarcsemcséi alapján. In: Dályay, V., Sámson, M., Hámos, G. (szerk.) IV. Kőzettani és Geokémiai Vándorgyűlés Kiadványa, 26–29. (ISBN: 978-963-8221-52-0)
- Skultéti, Á., M. Tóth, T. (2012): A Mecsekalja-zóna deformációtörténetének rekonstrukciója egyedülálló kvarcsemcsék alapján. In: III. Kőzettani és Geokémiai Vándorgyűlés, 27.