

A paleogén vulkanizmus hidrotermális rendszerének hatása a variszkuszi gránitra a Velencei-hegységben: a sukorói barittelér kora és képződése

BENKÓ Zsolt^{1,2}, MOLNÁR Ferenc², PÉCSKAY Zoltán³, NÉMETH Tibor^{2,4}, Marc LESPINASSE⁵

¹NyME TTK, Természetföldrajzi Tanszék, 9700 Szombathely, Károli Gáspár tér 4., benko.zsolt@tk.nyme.hu

²ELTE TTK, Ásványtani Tanszék, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/C

³MTA Atomki, K/Ar laboratórium, 4026 Debrecen, Bem tér 18/C

⁴MTA Geokémiai Kutatóintézet, 1112 Budapest, Budaörsi út 45.

⁵UHP, Nancy 1, BP 239; Bd des Aiguillettes 54506 Vandoeuvre les Nancy Cedex France

The interplay of Palaeogene magmatic-hydrothermal fluid flow on a variscan granite intrusion: the age and formation of the barite vein at Sukoró, Velence Hills, Western Hungary

Abstract

On the southern slope of the Meleg Hill (Velence Mts) small quartz-barite veins have been exposed by mining activities which took place in the 1950s. The age and formation conditions of this mineralization were for a long time uncertain. Regionally, the host Variscan monzogranite intrusion was affected by different Variscan, Triassic and Palaeogene mineralization processes. The alterations show essential differences in their mineralogy and fluid inclusion properties, and consequently in their temperature and pressure formation. In some zones of the granite, the interplay of the different fluid migration events has resulted in alterations with complex textural, mineralogical and geochemical characters. The southern slope of the Meleg Hill, where the barite veins are located, is one of these complex zones of the granite. Therefore, investigation of the quartz-barite veins required a complex method of approach; this included fluid inclusion, XRD studies and radiometric age-dating.

Primary fluid inclusions measured in the barite revealed that the quartz-barite was formed from a heterogeneous (boiling) hydrothermal fluid; the latter had a temperature of at least 240 °C temperature and salinities between 1–5 NaCl equiv.wt%. Fluid inclusion texture and the microthermometric properties of the fluid inclusions directly prove a shallow level hydrothermal system. In the Velence Hills this characteristic which is only evident in the Palaeogene hydrothermal system. Fluid inclusion studies also revealed that Palaeogene andesite dykes close to the quartz-barite veins are slightly older. Although the magmatic quartz crystals of the andesite dykes located in the vicinity of the mineralized veins contain fluid inclusions related both to the subvolcanic and volcanic level of the Palaeogene fluid flow, they intruded prior to the Palaeogene exhumation of the granite intrusion. Based on the XRD studies, the characteristic clay mineral phase in the argillic alteration halo of the quartz-barite veins is illite; the latter is a feature of the Palaeogene alteration zones in the Velence Hills. Illitic alteration related to the quartz-barite mineralization is confined to a narrow zone around the veins. Besides illite, in the proximal zones of the alteration halo of the veins, kaolinite and smectite occur and together these characterize the Triassic alteration zones of the granite. Towards the top of the Meleg Hill, the quartz-barite veins wedge out and the alteration changes to brecciation, silicification and argillic alteration characterized by kaolinite and illite.

Keywords: Velence Hills, barite vein, Palaeogene mineralization, hydrothermal fluid flow, fluid inclusions

Összefoglalás

A Velencei-hegységben, a Meleg-hegy déli oldalában kisméretű kvarc-barittelérek találhatók, amelyek kora és képződése eddig tisztázatlan volt. Mivel a variszkuszi korú gránittestben a gránit-hoz kötődő lokális, továbbá triász korú regionális, és paleogén korú szintén lokális hidrotermális események is ismertek, kialakulásuk legalább három időszakban következhetett be. Fluidumzárvány vizsgálatok segítségével bizonyítást nyert, hogy telérek, kis sótartalmú (1–5 NaCl súly%), legalább 240 °C hőmérsékletű, inhomogén, azaz felforrt anyaoldatból, a paleogén sekély mélységű vulkáni hidrotermális rendszerhez kötődően képződtek. A fluidumzárvány vizsgálatok eredményei arra is utalnak, hogy a közeli, a barittelérekkel ma egy szintben előforduló andezittelérek nem sokkal, de idősebbek. Ennek bizonyítéka, hogy a hidrotermális folyamatokkal egyidőben végbement, a Nadap-vonal menti kiemelkedést megelőző, szubvulkáni szintű hidrotermális folyamatokat rögzítenek az andezit kőzetalkotó kvarckristályainak fluidumzárványai. A kvarc-barittelérekhez kötődő agyagásványosodás a gránitban illites és erőteljes. Az illites átalakulási zóna kora, a gránitban található egyéb illitesedett zónáknak és a közeli andezitteléreknek megfelelően 30 millió év körüli a K-Ar vizsgálatok alapján. A telérek képződését eredményező oldatáramlás a gránitban csak lokális volt, oldalirányban a telérek néhány méteres környezetére korlátozódik az átalakulás és folyamatosan átmegy a gránit regionális átalakulására jellemző illit-kaolinit-smektites ásványasszociációba.

Tárgyszavak: Velencei-hegység, barit telér, Paleogén ercképződés, hidrotermális oldatáramlás, fluidumzárványok

Bevezetés

A Velencei-hegység variszkuszi korú gránit intrúziójában Sukorótól északra, a Meleg-hegy D-i lejtőjén kvarcbarittelérek előfordulásai ismertek (1. ábra A, B; ERDÉLYI, 1939). A felszínközeli baritteléreket 1949 után kis volumenben, külszíni termelés formájában művelték, a készletek azonban az 1950-es évek közepére kifogytak. A teléreket az 1950-es évek közepén aknákkal és 2 db 50 m mély táróval tovább kutatták, de miután megállapították, hogy a telérek a mélység felé elvékonyodnak, a kutatást lezárták (JANTSKY 1952).

A Velencei-hegység gránitjában számos, változatos paragenezisű ércesedés vagy ércindikáció ismert a kvarcbarittelérek mellett. A hegység nyugati felében kvarcgalenit-szfalerit-fluorit- (kvarc-polimetallikus) telérek fordulnak elő (Pátka, Kőrakás-hegy és Szűzvár; 1. ábra A). A hegység keleti felében, a Retezi-altáróból kvarc-molibdenit érthálós ércesedés, míg a Meleg-hegy gerincén a kovásodott breccsában pirít-kalkopirit-molibdenit-galenit-fakóérc-antimonit-enargit-cinnabarit tartalmú ércindikáció ismert (1. ábra A). A Sukoró S–3 fúrásból, amely a gránitot és a fedő palát átjáró kvarcereket harántolta, szfalerit-galenit-fakóérc-kalkopirit paragenezist írtak le, míg magában a palában, a gránit kontaktusa közeléből W (volfram) anomália ismert. Mindezen ércesedések és indikációk kora és genetikai kapcsolatai hosszú ideig kérdésesek voltak. Ennek oka, hogy a Velencei-hegység ismertén legalább három különböző korú magmás kőzetből épül fel (karbon-perm korú gránit, kréta lamprofir és oligocén andezit), amelyek mindegyikéhez kapcsolódhat olyan hidrotermális oldatáramlás, amely az ércesedéseket létrehozhatta.

Az elmúlt 15 évben sikertől ásványtani, fluidumzárvány és izotópos vizsgálatokkal a legtöbb felsorolt ércesedés korát és genetikai kapcsolatait tisztáznák. A Retezi-altáró kvarc-molibdenites ércesedését korábban a gránit hidrotermális rendszeréhez kötötték (JANTSKY 1957). MOLNÁR (1997) fluidumzárvány vizsgálatokkal tisztázta azok képződésnek nyomás- és hőmérsékleti viszonyait, és ezek alapján bizonyította azok gránitmagmatizmushoz kapcsolódó, azaz karbon korát. A hegység nyugati felében ismert kvarc-polimetallikus ércesedés képződését sokáig VENDL (1914) és JANTSKY (1957) nyomán szintén a gránitot kötötték. Később felvetődött annak triász és késő-kréta kora is (HORVÁTH et al. 1989), mára azonban bizonyítást nyert annak triász kora (BENKÓ et al. 2008). A meleg-hegyi és nadapi breccsás ércesedések oligocén korát és genetikai kapcsolatát fluidumzárvány és ásványtani vizsgálatok segítségével közvetve, és radiometrikus kormeghatározások segítségével közvetlenül MOLNÁR (1996, 2004), MOLNÁR et al. (2010) és BAJNÓCZI (2003) tisztázta.

A meleg-hegyi kvarc-barittelérek térben közvetlenül sem a breccsás paleogén ércesedéshez, sem pedig a teléres kvarc-polimetallikus ércesedéshez nem kapcsolódnak. A baritkristályok morfológiai vizsgálatát ERDÉLYI (1939) végezte el, és a kristálymorfológia alapján megállapította, hogy azok nagy hőmérsékleten, feltételezhetően a gránit

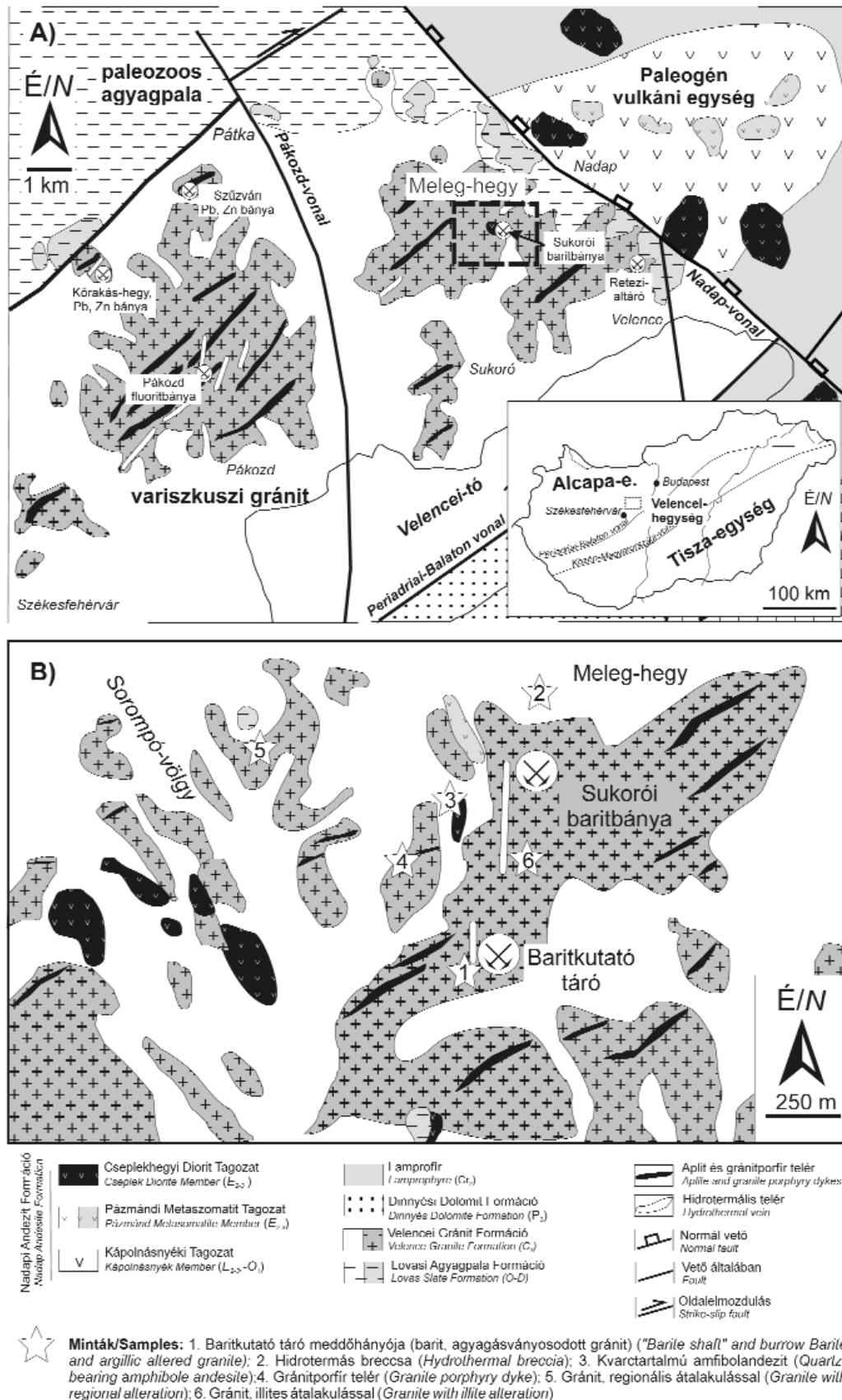
hidrotermális rendszerében képződtek. A barittelérek korát JANTSKY (1957) is karbonnak gondolta, képződését a kvarc-polimetallikus telérekehez hasonlóan szintén a gránit hidrotermális rendszeréhez kötötte. HORVÁTH et al. (1989) és GYALOG & HORVÁTH (2004), a kvarc-polimetallikus telérekkel analóg módon a teléreket az alkáli ultrabázisos (lamprofiros) asszociációhoz köti és azokat késő-kréta korúnak gondolta.

A korábbi kutatások mindegyike földtani analógiák alapján sorolja a teléreket valamelyik magmás eseményhez. Ebben a dolgozatban ásványtani, fluidumzárvány és K-Ar radiometrikus kormeghatározás segítségével tisztázzuk a kvarc-barittelérek korát és a Velencei-hegység magmás eseményeihez való kapcsolatát.

Földtani háttér

A Velencei-hegység két nagy, magmás kőzetekből álló egységből épül fel (1. ábra A). A hegység nagyobbik nyugati felét, a Nadapi-vonaltól nyugatra, késő-karbon–kora-perm S-típusú, posztorogén, biotitos monzogranit építi fel (Velencei Gránit Formáció; JANTSKY 1957, BUDA 1981, 1985, UHER & BROSKA 1994). A Nadapi-vonaltól keletre a Paleogén vulkáni egység (PVE) helyezkedik el, amelyik a késő-eocén(?)–kora-oligocén korú szubvulkáni dioritintrúzióból, valamint a felette elhelyezkedő, andezit sztrato-vulkáni szerkezetből áll (Nadapi Andezit Formáció, Kápolnásnyéki Tagozat, Cseplekhegyi Diorit Tagozat és Pázmándi Metaszomatit Tagozat). A paleogén magmás tevékenység a Periadriai–Balaton-vonal mentén az alpi kollíziós zóna szín–posztorogén magmatizmusához köthető (BENEDEK 2002). Geokémiaailag nagy K-tartalmú, enyhén tholeiites andezitből és bazaltos andezitből áll (DARIDA-TICHY 1987, BENEDEK et al. 2004). Mind a variszkuszi korú gránit, mind a paleogén intermedier magmatitok az ópaleozoos Lovasi Agyapalába nyomultak (1. ábra A).

A gránittesten belül számos egyéb intruzív kőzettest található telérek formájában. Még a gránit kristályosodásának késői fázisában a maradékolvadék differenciátumai a hűlő gránittestbe nyomultak aplit, mikrogránit és gránitporfirrelérek formájában (JANTSKY 1957; BUDA 1981, 1985). A késő-kréta során több kis térfogatú alkáli lamprofirrelér nyomult a gránitba. A monchikit, spessartit és beforsit telérek kora K-Ar radiometrikus kormeghatározások alapján 69 millió év Pákozdnál (BALOGH 1985), valamint 77,6±3 millió év (BALOGH et al. 1983) egy, a Sukorótól nyugatra található fúrásban. Paleogén korú magmás kőzetek nem csak a Nadapi-vonaltól keletre, hanem attól nyugatra a gránittestben és a palában szabálytalan alakú intrúziók, telérek és kürtők formájában is megjelennek (Nadapi Andezit Formáció; 1. ábra A, B). A kőzetek megjelenési formája arra utal, hogy a Nadapi-vonaltól Ny-ra a vulkáni építménynek a gyökérrégióig lepusztult aljzata van a felszínen (DARIDA-TICHY 1987, DUDKO et al. 1989, MOLNÁR 1996). A telérek kőzettanilag biotitos-amfibol-, és piroxéndandezit összetételűek (JÓZSA



1. ábra. A vizsgált terület földtani térképe

A) A Velencei-hegység földtani térképe DUDKO (1999) után átdolgozva, B) A Meleg-hegy déli oldalának részletes földtani térképe

Figure 1. Geological map of the studied area

A) Geological map of the Velence Hills after DUDKO (1999), B) Detailed geological map of the southern slope of the Meleg Hill

1983). Koruk K-Ar radiometrikus kormeghatározás alapján 38 és 29 millió év között változik (SZÁDECKY-KARDOSS et al. 1969, BALOGH et al. 1986, BAGDASZARJAN 1989, BAJNÓCZI 2003, BENKÓ et al. 2008, MOLNÁR et al. 2010).

A Velencei-hegység mindkét nagy magmás egységében számos hidrotermális folyamat zajlott le, részben a magmás tevékenységhez kapcsolódóan, részben pedig attól függetlenül. A gránit benyomulásához kapcsolódóan a gránit és a pala kontaktusán andaluzitos-turmalinos csomópala jött létre (JANTSKY 1957). A gránit felső kontaktus közeli zónában egyszerű ásványtani összetételű kvarc-földpát pegmatitok képződtek, 300–400 és 500–600 °C közötti hőmérsékleten, és 2 kbar nyomáson (JANTSKY 1957; BUDA 1969, 1985; MOLNÁR et al. 1995). Kvarc-molibdenit stockwerk erezések a gránittest keleti feléből ismertek, képződésük 280–300 °C hőmérsékleten és 1–2,4 kbar közti nyomástartományra tehető, így azok feltételezhetően a gránit posztmagmás hidrotermális rendszeréhez csatolhatóak (MOLNÁR 1997). A gránittest nyugati felében az 1950-es, 60-as években termelt kvarc-polimetallikus telérek kora hosszú ideje vitatott volt. Ezeket sokáig a gránit hidrotermális rendszeréhez sorolták, VENDL (1914) és JANTSKY (1957) véleménye alapján. HORVÁTH et al. (1983), HORVÁTH & ÓDOR (1984), valamint HORVÁTH et al. (1989) vetette fel az alkáli-ultrabázikus képződményekkel való rokonságát geokémiai analógiák alapján, de nem zárták ki a triász kort sem. BENKÓ et al. (2010a), K-Ar radiometrikus kormeghatározás és Pb-izotópos vizsgálatok segítségével bizonyította a telérek késő-triász korát. A telérek MOLNÁR (1996, 2004), BENKÓ & MOLNÁR (2004) és BENKÓ et al. (2010b) szerint 220 °C-nál kisebb hőmérsékleten, 0,7–1 kbar nyomáson képződtek. A teléreket a gránitban a kőzet illit-kaolinit-montmorillonit átalakulása kíséri BENKÓ et al. (2010b).

A Pákozd-vonaltól keletre és a Nadap-vonaltól nyugatra (1. ábra A), a Meleg-hegyen a gránit és a pala kontaktusán, számos kőzetátalakulás-típus és hidrotermális képződmény található, amelyek a paleogén magmás-hidrotermális tevékenységhez kapcsolhatóak (MOLNÁR 1996, 2004). A Meleg-hegy tetején és oldalában kovás breccsa található, amely enargitot, kalkopiritet galenitet, fakőércet, molibdenitet, antimonitot és cinnabaritot tartalmaz (VARJÚ 1974). A paleogén oldatáramlást a gránitban és a hidrotermális breccsákban a gránit illites és illites-kaolinites átalakulása kíséri (BENKÓ et al. 2010b). A paleogén oldatáramlás a gránitban magas hőmérsékletű volt (240–440 °C) és alacsony nyomáson (<400 bar) szubvulkáni és vulkáni szinten következett be (MOLNÁR 1996, 2004).

A gránitba nyomult andezittelérekben is bekövetkezett hidrotermális átalakulás. Ehhez a nadapi kőfejtőben az andezit kőzetalkotó ásványainak nontronitos átalakulása (BENKÓ 2002) és üregekben kalcit-kvarc-barit-zeolit-fluorit-hematit ásványparagenezis létrejötté kapcsolódott (MAURITZ 1908, SCHAFARZIK 1908, ERDÉLYI 1939, KOCH 1985, FÖLDVÁRINÉ VOGL 1947).

A gránitban található hidrotermális képződmények fluidumzárványainak jellemzését MOLNÁR et al. (1995),

MOLNÁR (1996, 1997, 2004) végezte el. Megállapította, hogy fluidumzárvány petrográfiai és mikrotermometriai módszerekkel a karbon, a triász és a paleogén zárványegyüttesek, így a bezáró ásványok is könnyen elkülöníthetőek, ezáltal koruk közvetetten meghatározható. A karbon, gránit-hoz köthető oldatáramlás jellegzetessége, hogy a fluidumzárványok a CO₂-H₂O-NaCl háromkomponensű rendszerrel jellemezhetőek, azokban a F_{H₂O}/F_{CO₂}/G_{CO₂} fázisarányok változóak, ami a fluidumok heterogén befogódását bizonyítja egy heterogén fázisösszetételű (fluidum+ gáz) anyaozlatból. Ezzel szemben a kvarc-polimetallikus telérek egy homogén fázisállapotú anyaozlatból képződtek, a zárványokban a F_{H₂O}/G_{H₂O} fázisarány a zárványegyüttesen belül állandó, és az oldatok a H₂O-NaCl és a H₂O-NaCl-CaCl₂ rendszerekkel modellezhetőek. A paleogén korú ásványokban a fluidumzárvány asszociáció egyértelműen sekély mélységű fázisfelkülönülést, azaz felforrást mutat a változó F_{H₂O}/G_{H₂O}/(S_{NaCl}) fázisarányok alapján. A paleogén oldatok szintén a H₂O-NaCl és a H₂O-NaCl-CaCl₂ rendszerekkel modellezhetőek.

A három oldatáramlási rendszer térbeli lehatárolása és a kérdéses korú képződmények genetikai hovatartozásának megállapítása így fluidumzárvány vizsgálatok segítségével könnyen megoldható.

Vizsgálati módszerek

A terepi mintavételezés a még megtalálható kisebb kutatógödörökből és a bányászat után visszamaradt meddőhányóról történt. A vizsgálatok nem korlátozódtak a kvarcbarittelérekre, hanem mintáztuk a telérek közelében található más hidrotermális képződményeket, a szubvulkáni andezitteléreket és a változó mértékben és módon átalakult gránitot is (1. ábra B).

A fluidumzárványok mikrotermometriai vizsgálata Chaixmeca MTM 90 típusú fűtőszálas, gázáramú változtatható hőmérsékletű mikroszkópi tárgyszálon történt (ELTE, Ásványtani Tanszék, Budapest) az ásványok kétoldalán polírozott 70–150 mikrométer vastag metszetein. A berendezést szintetikus CO₂ és H₂O fluidumzárványokon végzett mikrotermometriai mérések segítségével kalibráltuk úgy, hogy a mérési pontosság 0,1 °C legyen 0 °C-nál kisebb hőmérsékleten (a zárványok fagyasztásos vizsgálata során), és 1 °C legyen nagyobb hőmérsékleten (a zárványok homogenizációs vizsgálata során).

Az agyagásványok előkészítése kormeghatározásra dekantálással történt desztillált vízben, a tört kőzetanyag ultrahangos rázatása után. Az egyes szeparátumok tisztaságát röntgenpordiffrakciós vizsgálatokkal ellenőriztük. A röntgenpordiffrakciós vizsgálatok az ELTE Ásványtani Tanszékén Siemens D-500-as típusú (Cu-cső, kristály monokromátor, 41 kV gyorsító-feszültség, Cr-szűrő) és az MTA Geokémiai Kutatólaboratóriumában Philips PW 1710 (CuK α sugárzást alkalmazva) berendezéssel készültek. A minták duzzadó agyagásvány tartalmának és a kevert szerkezetű ásványok meghatározása céljából az orientált

mintákat etilén-glikollal szolváltuk 12 órán át 60 °C-on. Az agyagásvány-szeparátumokon, kőzetalkotó ásványokon, és teljes kőzet mintákon a K-Ar kormeghatározások az MTA Debreceni Atommagkutató Intézetében készültek (mérési módszereket részletesen I. BALOGH 1974, 1975, 1985 publikációiban).

Eredmények

Terepi megfigyelések

A kvarc-barittelérek Sukoró községtől északra, a Meleg-hegy déli oldalában találhatóak (1. ábra B). Szálfeltárásuk csak két félig betemetett gödör formájában maradt fenn, és ezekből is elsősorban csak törmeléként kerül elő a telér anyaga. A telér és mellékkőzete jobban tanulmányozható a gödröktől délre található meddőhányó anyagában.

A telér baritja fehér színű, tömeges megjelenésű, vékony kvarcerekkel átszőtt. A paragenézisben az ERDÉLYI (1939) által említett galenitet és piritet nem sikerült kimutatni, egybevégezően GYALOG & HORVÁTH (2004) terepi megfigyeléseivel. Az ERDÉLYI (1939) által a barit kristályokon megfigyelt „Herkules-” és „Felsőbánya-” típusú formák az általunk gyűjtött mintákban nem ismerhetők fel. A kvarc-barittelérek mellékkőzete agyagásványos átalakulást szenvedett gránit, amelyben a színes és színtelen ásványok is fehér színű, nem higroszkópos agyagásvánnyá alakultak, a kvarc kivételével. A földpátoknak csak a pszeudomorfózáik ismerhetők fel. A telérektől 10–20 m távolságra a gránit már csak gyenge, a gránitra regionálisan jellemző zöldes-fehér színű agyagásványos átalakulást mutat (I. tábla B; BENKÓ et al. 2010b). A kőzetalkotó ásványok jól felismerhetők, bár a plagioklász és az ortoklász enyhén agyagásványosodott, a biotit pedig közepesen-erősen kloritosodott. A kvarc-barittelérektől nyugatra 200 m távolságra egy kisebb völgy mélyén gránitporfir-telér található szálfeltárásban (1. ábra B). Ennek alapanyaga szemmel láthatóan átalakulást nem szenvedett, a telér fenokristályai a kvarc és a biotit.

A bánya meddőhányóján sikerült megtalálni a GYALOG & HORVÁTH (1999) térképén megfigyelhető andezittelér törmelékét. A gránittal szemben az andezit alig szenvedett átalakulást. Szabad szemmel a kőzetalkotó porfirios idiomorf biotit és földpát épnek tűnik, továbbá a sötétszürke alapanyag sem szenvedett átalakulást. A hidrotermális hatás egyetlen jele a kőzeten a repedések mentén megfigyelhető enyhe (pirit után képződött) limonitos elszíneződés. Az andezit jellegzetessége, hogy kis mennyiségben porfirios, kőzetalkotó kvarcot tartalmaz. Szálban álló andezit a kvarc-barittelérektől ÉNy-ra található 250 m távolságban egy erdei út bevágásában (1. ábra B). Itt az andezit erősen bontott, mind az alapanyag, mind a kőzetalkotó porfirios ásványok szemmel láthatóan zöld színű agyagásványos átalakulást szenvedtek. A kőzetalkotó ásványoknak (földpát, biotit) csak pszeudomorfózáik ismerhetők fel. A telér kvarcot nem tartalmaz, a hányón előforduló andezittől tehát eltérő összetételű.

A kvarc-barittelérektől északra, 100 m távolságra (1. ábra B), a Meleg-hegy lábánál természetes törmelékben és mesterséges árkolások meddőjén egy jellegzetes, polimikt hidrotermális breccsa található. A breccsában a klaszrok a gránit kőzetalkotó kvarckristályáiból hidrotermálisan átalakult gránitból és andezitből állnak. A kvarckristályok kerekítettek, átlagban 1 cm átmérőjűek. Az andezitdarabok barna színűek, szögletesek. Átalakulásuk kovás-limonitos, a kőzetalkotó porfirios elegyrészeknek gyakran csak pszeudomorfózáik látszanak. A gránit törmelékei szintén teljesen átkovásodtak, az eredeti kőzet csak a kőzetalkotó kvarckristályok alapján ismerhető fel. A breccsa törmelékei köré több helyen koncentrikusan kova mikrokristályos kvarc vált ki. A kovás bekérgezés felületén apró (0,1–0,5 mm) tús, idiomorf kvarckristályok helyezkednek el. A breccsa mátrixa fehér-sárga színű, erősen nedvszívó agyagásvány. A breccsa mátrixvázú (I. tábla A).

Fluidumzárvány vizsgálatok

Fluidumzárvány vizsgálatok a kvarc-barittelérek baritkristályáiból, az átalakulást nem szenvedett gránit kőzetalkotó kvarckristályáiból, a gránitporfir kvarckristályáiból és a törmelékben talált andezittelér kvarc-fenokristályáiból készültek, a hidrotermális fluidumok területi elterjedésének lehatárolása, az átalakulást és ásványosodást okozó oldat-áramlás fizikai-kémiai paramétereinek megismerése, és közvetetten korának meghatározása céljából.

Fluidumzárvány petrográfia

A baritkristályokban található zárványok jellemzően nagyméretűek (10–70 µm), gyakran szabálytalan alakúak, és alakjuk sok helyen lefűződésre (ROEDDER 1984) utaló bélyegeket mutatnak. Elhelyezkedésüket tekintve lehetnek magányos, feltehetően elsődleges (a kristály növekedésével egyidős) zárványok, de többségük hasadási nyomvonalak és repedések mentén megjelenő másodlagos (ásvány növekedése után befogódott) zárvány. Növekedési zónában megjelenő, és így biztosan elsődleges zárványt nem sikerült azonosítani. A zárványok kétfázisúak, fluidumot és gázt tartalmaznak. A gáz/folyadék fázisarány 0,4–≈1 között változik ugyanazon zárványsoron belül a különböző zárványokban, ami a zárványok heterogén befogódását jelenti egy heterogén fázisállapotú, azaz felforrított anyaozlatból (I. tábla C–D). Mikrotermometriai vizsgálatra elsősorban a magányos elsődleges, és a másodlagos, lefűződést nem mutató zárványokat választottuk ki.

Az andezit kőzetalkotó kvarckristályáiban a fluidumzárványok szükségszerűen mind másodlagosak, és repedések mentén jelennek meg. Méretük nagy (10–60 µm), a zárványokon belül a fázisarány pedig változó 0,4–≈1 (gáz/folyadék), ami az anyaozlat heterogén fázisállapotát jelzi a zárványok befogódáskor. Lefűződésre utaló nyom csak elvétve található a zárványok között; az ilyen jelleggel bíró zárványokon mikrotermometriai méréseket nem végeztünk. A kvarc-barittelérektől laterális irányokban a

felforrított fázisállapotú hidrotermális rendszerből befogódott fluidumzárványok előfordulásai csak kis távolságban (10–20 m) mutathatók ki a gránit kőzetalkotó kvarckristályaiban.

A csak regionális átalakulást mutató gránit és a gránitporfir kőzetalkotó kvarckristályaiban a zárványok szintén csak másodlagosak lehetnek. A zárványok kisebb méretűek (5–40 μm), lefűződést nem mutatnak, jellemzően izometrikusak. A gáz/folyadék fázisarány állandó (0,2 körüli) az azonos zárványsoron belül, ami a zárványok homogén befogódást jelzi egy homogén fázisállapotú anyaozlatból (I. tábla E–F).

Fluidumzárvány mikrotermometria

A fluidumzárványok petrográfiai és mikrotermometriai jellemzői alapján négy csoportot különböztettünk meg (2. ábra).

Az IA típusú zárványok a baritban és az andezit kvarckristályaiban jelennek meg. Közös jellemzőjük, hogy a zárványasszociációk fázisarányai az anyaozlat heterogén (felforrított) állapotát rögzítik. Homogenizációjuk egy tág intervallumban 220 és 370 °C között következett be folyadék és gáz fázisban. Homogenizációs hőmérsékletük eloszlása jellemzően aszimmetrikus (3. ábra A). Ez az aszimmetrikus eloszlás jellemző a heterogén fázisállapotú anyaozlatból befogódott zárványok homogenizációs hőmérsékletére (BODNAR & VITYK 1994, LOUCKS 2000).

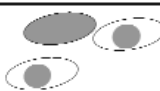



Gázfázisú homogenizációból csak egészen keveset sikerült megfigyelni, az ilyen zárványok gyakran a homogenizáció előtt felnyíltak, ami a barit jó hasadásából is adódik.

Fagyasztás során az eutektikus hőmérsékletet –24 és –21 °C között észleltük, aminek alapján az oldatok a H₂O–NaCl rendszerrel modellezhetőek. A jégfázis teljes olvadása –4,3 és –0,1 °C között következett be, ami 0,2–7 NaCl ekv. súly% sótartalomnak felel meg (4. ábra).

Az IB típusú zárványok csak az andezit kőzetalkotó kvarcában jelennek meg és szintén jellegzetes, az anyaozlat felforrított állapotára utaló zárványegyütteseket alkotnak (2. ábra). Homogenizációjuk 220–230 °C között következett be folyadékfázisban (3. ábra B). Fagyasztás során az eutektikus olvadás –50 °C körülnek adódott. Mivel a további olvadás során NaCl-hidráttal fázisolvadást nem lehetett megfigyelni az NaCl/(NaCl+CaCl₂) arány meghatározása céljából (DAVIS et al. 1990, SPENCER et al. 1990) a zárványcsoport oldatainak összetételét a H₂O–CaCl₂ kétkomponensű rendszerrel modelleztük. A jégfázis olvadása alacsony hőmérsékleten –28 és –25 °C között következett be, amiből a számított szalinitás 23–27 CaCl₂ ekv. súly% (4. ábra).

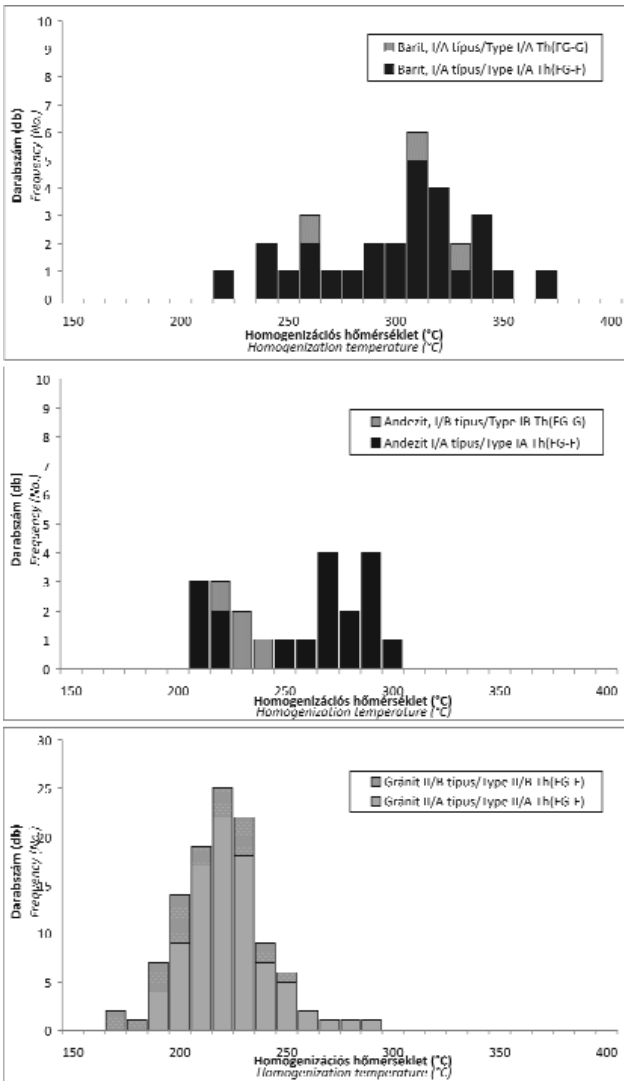
A homogén fázisállapotú anyaozlatból befogódott IIA típusú zárványok a gránit kőzetalkotó kvarckristályaiban és a gránitporfir fenokristályaiban 190–280 °C közötti homogenizációs hőmérséklettel rendelkeznek. A homogenizációs hőmérsékletek eloszlási diagramjai szimmetrikus haranggörbék, melyek normális eloszlást mutatnak (3. ábra C). A normál alakú eloszlás általában jellemző a homogén befogódásra. A zárványok eutektikus olvadása –26 és –20 °C között volt, így a zárványok kémiai összetételét a H₂O–NaCl rendszerrel modellezhetjük. A jégfázis utolsó olvadása –5,2 és –0,5 °C között volt, ami alapján a zárványok szalinitása 0,9–8,7 NaCl ekv. súly% között változik (3–4. ábra).

A IIB típusú zárványok a gránit és a gránitporfir kőzetalkotó kvarcában hasonló petrográfiai jellegűek, mint a IIA típusú zárványok, és így a homogenizációs hőmérsékletek eloszlása is hasonló (3. ábra). A homogenizációs hőmérsékletek minimuma 170 °C volt, maximuma pedig 250 °C, és a homogenizáció minden esetben folyadék fázisban következett be. A IIA típusú zárványokhoz képest a lényeges különbség az, hogy a IIB típusú zárványokban a fagyasztás során az eutektikus hőmérsékletek –67,8 és –48 °C között változtak, ami azt jelenti, hogy a zárványokban a Na és a Ca

Minta helye (1. ábra) Sample location (Figure 1)	Zárvány típus Inclusion type	Fázisarány/ phase ratio	Bezáró ásvány és petrográfia Host mineral and fluid inclusion petrography (timing of fluid inclusion assemblages)	Eutektikus hőmérséklet Eutectic temperature	Sótartalom (ekv. súly%) Salinity (equiv. wt%)	Homogenizációs hőmérséklet Homogenization temperature	Kor Age
		Homogenizáció módja Mode of homogenization					
1., 6.	I/A.	F~60–1% G~40–99% Th(FG→F) Th(FG→G)		–21– –24 °C	0–7 NaCl	220–370 °C	O ₁
1., 3.	I/B.	F~60–1% G~40–99% Th(FG→F)		–49 °C	23–27 CaCl ₂	220–230 °C	O ₁
4., 5.	III/A.	F – 70% G – 30% Th(FG→F)		–20– –26 °C	1–9 NaCl	190–280 °C	T
4., 5.	III/B.	F – 70% G – 30% Th(FG→F)		–48– –68 °C	15–23 CaCl ₂	180–260 °C	T

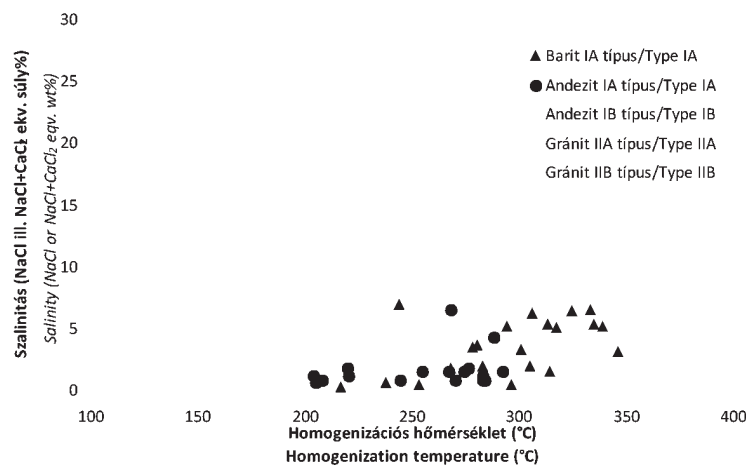
2. ábra. A vizsgált minták fluidumzárványainak petrográfiaja és mikrotermometriai adatai (F=folyadék, G=gáz)

Figure 2. Petrography and microthermometry of the studied samples (F=liquid, G=vapour)



3. ábra. A fluidumzárványok homogenizációs hőmérsékleteinek eloszlási diagramja (F=folyadék, G=gáz)

Figure 3. Homogenization temperature distribution diagram of fluid inclusions (F=liquid, G=vapour)



4. ábra. A minták homogenizációs hőmérsékletének és a szalinitás viszonya
 Figure 4. Salinity vs. homogenization temperature plot of the fluid inclusions measured in the barite, in the host granite and in the rock forming quartz crystals of the andesite dykes

mellett egyéb, kétértékű kationok is jelen lehetnek. A zárványok összetételét a $H_2O-CaCl_2$ rendszerrel modelleztük, mivel NaCl-hidrátfázis olvadást nem sikerült megfigyelni. A jégfázis utolsó olvadása (-24 és -11 °C) között változott, ami alapján a zárványok szalinitása 15–23 CaCl₂ ekv. súly% közötti (4. ábra).

Röntgenpordiffrakciós vizsgálatok és K-Ar radiometrikus kormeghatározás

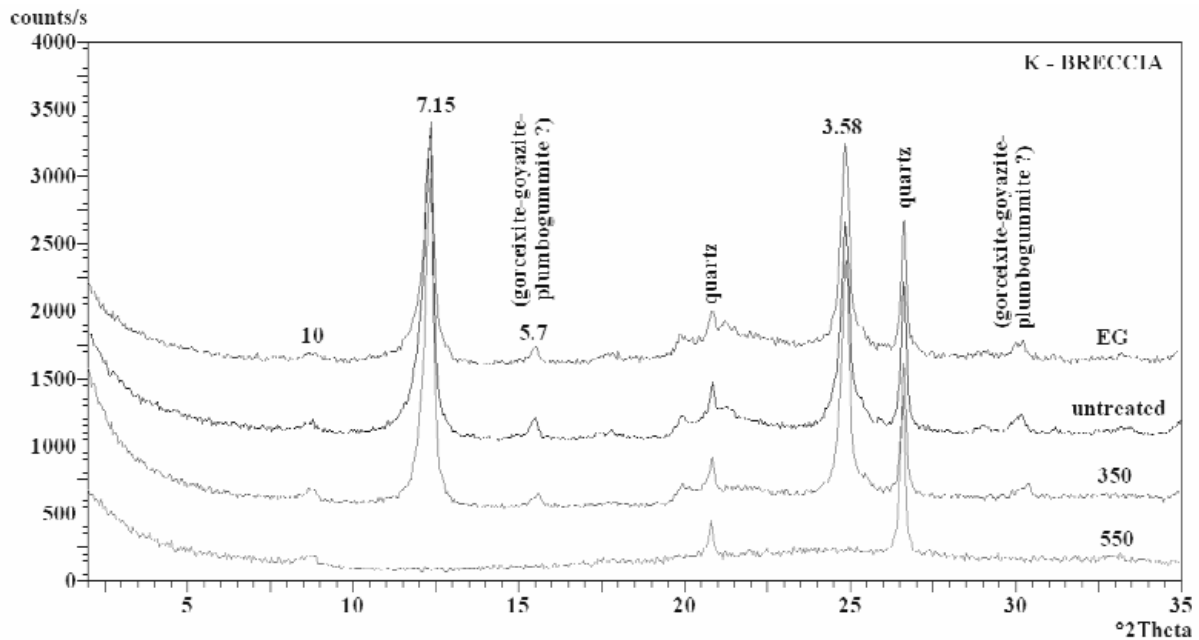
Röntgenpordiffrakciós vizsgálat a kvarc-barittelér mentén a gránitban található fehér színű agyagásványról és a hidrotermális breccsa sárga színű mátrixából készült. Az orientált mintáról készített felvételen a fehér, gránitból szeparált agyagásvány tiszta illitnek bizonyult, kisebb, mint 5% szmektit közberéteggel, az illit (002) és (003) csúcsainak aránya, valamint helyzete alapján (SRODON 1984).

A hidrotermális breccsa agyaga csak kis mennyiségben tartalmaz illitet, a domináns agyagásvány a közepesen rendezett szerkezetű kaolinit. A mintából ezen kívül még kvarcot és kis mennyisége miatt egy bizonytalanul a gorceixit $BaAl_3(PO_4)(PO_3OH)(OH)_6$ – goyazit $SrAl_3(PO_4)_2(OH)_5 \cdot (H_2O)$ – plumbogummit $PbAl_3(PO_4)_2(OH)_5 \cdot (H_2O)$ csoportba tartozó víz és, hidroxiltartalmú foszfátokat lehetett kimutatni (5. ábra).

K-Ar radiometrikus kormeghatározás a két agyagásvány mintán és az andezit teljes kőzet mintáján készült (6. ábra). A kvarc-barittelért kísérő, ezért azzal szingenetikus illit radiometrikus kora $30,6 \pm 0,9$ M évnek adódott. Az andezittelér kora, amely $29,1 \pm 1,1$ M év, ezzel hibahatáron belül átfed a gránitból szeparált illit korával.

Diszkusszió

A kvarc-barittelérek korának meghatározására közvetlenül a vizsgált fluidumzárvány asszociációk pet-



5. ábra. A sárga agyagot tartalmazó hidrotermális breccsa agyagszeparátumának XRD felvétele (XRD felvétel: EG - etilén glikolos kezelés után; untreated - kezeletlen minta; 350-350 °C-ra hevítés után; 550-550 °C-ra hevítés után)

Figure 5. XRD plot of the clay minerals fraction of the yellow hydrothermal breccia (XRD plot: EG - after EG saturation; 350 - after heated up to 350 °C; 550 - after heated up to 550 °C)

rográfiai, mikrotermometriai tulajdonságai és a kőzet-átalakulások agyagásvány asszociációi, közvetlenül pedig a radiometrikus kormeghatározás alapján tudunk következtetni.

A baritban található fluidumzárvány asszociáció (IA típus) kisnyomású, felforr (heterogén fázisállapotú) anyagból csapdázódott. Ez a tulajdonság a korábbi vizsgálatok alapján a Velencei-hegység paleogén korú

hidrotermális rendszeréből csapdázódott fluidumzárvány asszociációk jellemzője (MOLNÁR 1996, MOLNÁR 2004). Amennyiben a baritban a fluidumzárvány petrográfia alapján bizonyíthatóan lenne elsődleges, inhomogéen befogódott zárvány a kérdés azonnal megoldódna. Bár kevés magányos zárványt sikerült találni, ezek nem kötődtek növekedési zónához, így ROEDDER (1984) kritériumai szerint nem sikerült teljes bizonyossággal

Lelőhely / Sample location	Kőzettípus és kőzetátalakulás / Rock type and alteration	Mért ásványfrakció / Mineral fraction	K-tartalom (%) / K concentration (%)	⁴⁰ Ar rad (%)	K/Ar kor (millió év) / K/Ar radiometric age (Ma)
Sukoró, Meleg-hegy Kvarc-barit telér (1)	agyagásványosodott gránit	illit	5,925	77,00	30,6±0,9
Sukoró, Enyedi-kőfejtő	agyagásványosodott gránit	illit	6,62	87,10	33±0,8
Nadap, Gécsi-hegy, védett kőfejtő	agyagásványosodott andezit	illit	6,95	62,9	29,8±1,2
Nadap, Gécsi-hegy, községi kőfejtő	agyagásványosodott andezit	illit	7,43	81,40	30±0,7
Sukoró, Meleg-hegy, barit telér mellett (3)	andezit	teljes kőzet	2,26	46,60	29,1±1,1
Nadap, Lovasberényi út	andezit	plagioklász	0,4	51,80	30,8±1,1
Nadap, Lovasberényi út	andezit	amfibol	0,462	48,70	34,0±1,2
Nadap, Lovasberényi út	andezit	teljes kőzet	1,915	79,30	27,1±0,8
Sukoró, védett kőfejtő	andezit	teljes kőzet	1,52	81	29,1±1,2

6. ábra. A radiometrikus kormeghatározások eredményei és azok összehasonlítása néhány hasonló képződésmennyel a Velencei-hegységből. Zárójelben a minta származási helye (1. ábra)

Figure 6. Results of the radiometric age dating compared with other data measured on whole rocks and alteration minerals in the Velence Hills. Sample locations with numbers are indicated in brackets (Figure 1)

elsődleges (az ásvány növekedésével egyidős) zárványt azonosítani a baritban. A zárványsorokban található zárványok befogódhattak a barit képződése után bármikor, azaz a felforrt anyaoldatú másodlagos zárványasszociáció nem közvetlen bizonyíték a kvarc-barittelérek korára. Változó fázisarányt az inhomogén befogódáson kívül okozhat még egy korábban, homogénebben befogódott (azonos fázisarányokkal jellemezhető) zárványasszociáció repedéseinek felnyílása és áttöltődése vagy a zárványok térfogatának változása valamilyen hőhatásra (pl. a közeli andezittelér). Ez utóbbi folyamatot vagy a korábbi zárványsíkok felnyílását megkönnyíti a baritban a befogadó ásvány kiváló hasadása is. Ennek következtében arra is kicsi az esély, hogy kisebb, a felnyílásnak ellenállóbb (ROEDDER 1984) idősebb zárványok véletlenszerűen megmaradjanak.

A gránitban és a gránitporfírban talált *IIA* és *IIB típusú* zárványasszociációk megfelelnek a regionális triász oldatok jellemzőinek (BENKÓ et al. 2010b). Ha összehasonlítjuk a baritban és a gránitban található zárványegyütteseket azt tapasztaljuk, hogy mind a gránitban, mind pedig a baritban megtalálhatóak H_2O - $NaCl$ rendszerrel modellezhető, átlagosan 1–5 súly% $NaCl$ koncentrációjú zárványok, azonban eltérő petrográfiai jellemzőkkel (a gránitban nem felforrt *IIA típus*, a baritban felforrt *IA típus*). A baritból ugyanakkor hiányoznak a gránitban megjelenő, H_2O - $CaCl_2$ rendszerrel modellezhető zárványasszociációk (*IB* és *IIB típus*), holott ezek jellemzőek mind a triász, mind a paleogén oldatáramlásra (BENKÓ et al. 2010b). A H_2O - $NaCl$ zárványok eltérő petrográfiai jellemzőkkel való megjelenésére magyarázat lehet a zárványok felnyílása és áttöltődése. A H_2O - $CaCl_2$ rendszerrel modellezhető, zárványegyüttesek hiánya ugyanakkor kizárja, hogy a barit a triász oldatáramláshoz lenne kapcsolható.

Az andezittelér kvarckristályjaiban talált fluidumzárványok (*IA* és *IB típus*) felforrt anyaoldatból fogódtak be, és minimális homogenizációs hőmérsékleteik (≈ 240 °C) jó egyezést mutatnak a hegység keleti feléből máshonnan leírt paleogén zárványegyüttesekkel (MOLNÁR 1996, 2004). A heterogén fázisállapotú hidrotermális fluidumokból befogott zárványok esetében a minimális homogenizációs hőmérsékletet kell tekintenünk az befogódás hőmérsékletének. A kis szalinitású H_2O - $NaCl$ gazdag (*IA típusú*) és a nagy szalinitású H_2O - $CaCl_2$ összetétellel jellemezhető (*IB típusú*) fluidumzárványok ugyanakkor a paleogén hidrotermális oldatáramlás más-más szintjeit jelölik. A magas szalinitású kalciumdús felforrt zárványok (*IB típus*) a szubvulkáni szintre, míg az alacsony szalinitású nátriumgazdag oldatok (*IA típus*) a vulkáni szintet jellemzők (MOLNÁR 1996, 2004, 2010). A két különböző szalinitású oldat a jelenlegi helyzetében egy topográfiai szintben, egyazon kőzetben történő megjelenése a paleogén oldatáramlással egyidős (szintektonikus) kiemelkedését jelenti a gránittestnek (MOLNÁR 2004, BENKÓ & MOLNÁR 2004).

Amennyiben elfogadjuk, hogy a nátrium-kloridos (*IA*

típus), baritban található fluidumzárványok a paleogénben fogódtak be (függetlenül az anyaásvány korától), felvetődik, hogy azokban a $CaCl_2$ tartalmú (*IB típus*) szubvulkáni eredetű, szintén paleogén zárványok miért nincsenek jelen. Ennek egy magyarázata lehet: a kvarc-barittelér a kalciumgazdag oldatok felforrásakor még nem létezett, hanem azután, a hegység keleti felének kiemelkedése során, a vulkáni szinthez köthető hidrotermális oldatáramlás során képződött. Az *IA típusú* zárványok anyaoldata így nagy valószínűséggel a barittelérek anyaoldatát képezte, akkor is, ha elsődleges zárványokat bizonyíthatóan nem találtunk a baritban. A barittelér az *IA típusú* fluidumzárványok mikrotermometriai vizsgálata alapján tehát egy felforrt fluidumból, 240 °C feletti hőmérsékleten 30–40 bar (ZHANG & FRANTZ 1987) nyomáson, azaz sekély mélységben képződött. A fluidumzárvány vizsgálatok alapján tehát egyértelműen kizárható, hogy a kvarc-barittelér a paleogénnél korábban, a triász vagy a kréta oldatáramlás nagyobb nyomású rendszereihez kötődően képződött.

Az agyagásvány asszociációk és azok K-Ar radiometrikus kora bizonyítja kétséget kizáróan a kvarc-barit telérek paleogén korát. BENKÓ et al. (2010b) szerint az illites és a kaolinites-illites kőzetátalakulás a paleogén hidrotermális oldatáramlás velejárója volt. A kvarc-barittelért a mellékkőzetben a gránit intenzív illitesedése kíséri. Az illiten mért kor ($30,6 \pm 0,9$ M év) a kvarc-barittelér paleogén korát bizonyítja. Ez a kor — a szórásokat is figyelembe véve — összevethető a gránitban máshonnan mért paleogén átalakulások korával, illetve az andezittelérek korával is (6. ábra).

Az andezittelér kora ($29,1 \pm 1,1$ M év) a gránitba nyomult andezittelérek korával is összevethető. Ez további bizonyíték arra, hogy a korábban késő-eocénnek gondolt andezites magmás tevékenység valójában kora-oligocén korú.

A kvarc-barittelérettől laterális irányokban a kőzetátalakulás és a paleogén felforrt anyaoldatú fluidumzárványok (*IA* és *B típusú*) csak kis távolságban (10–20 m) követhetőek. A kvarc-barittelérek létrehozó oldatáramlás a gránittestnek tehát csak kisebb térfogatát érintette, ami általánosságban jellemző a paleogén hidrotermális hatásra (BENKÓ et al. 2008). Csapásirányban a Meleg-hegy felé haladva a paleogén oldatáramlási zónák laterális zónáira jellemző kaolinites átalakulás jellemző a hidrotermális breccsára, a barittelérek tehát a Meleg-hegy irányában sem folytatódnak, legalábbis a felszín közelében nem.

A foszfátok megjelenése a hidrotermális breccsában nem meglepő. Foszfát ásványokat (woodhouseit, krandallit-csoport), a PVE savas-szulfátos átalakulást szenvedett hidrotermális breccsában található fenn-nőtt alunitkristályok magjából BAJNÓCZI et al. (2002) is leírt. A kaolinites breccsa ásványtársulása, a regionális agyagásvány vizsgálatok és a savas környezetre jellemző foszfátok megjelenése egyaránt alátámasztja annak paleogén korát.

Konklúziók

Fluidumzárvány, agyagásvány vizsgálatok és radiometrikus kormeghatározás segítségével sikerült tisztázni a Velencei-hegységben, Sukoró községtől északra megkutatott és bányászott kvarc-barittelér korát.

Mind a baritkristályokban található fluidumzárványok petrográfiai, mind pedig azok mikrotermometriai vizsgálatai alapján a kvarc-barittelérek nem képződhettek a gránit-hoz kötődő variszkuszi, sem pedig a triász oldatmobilizációhoz kapcsolódóan.

A teléreket kísérő, a gránitban megjelenő kőzetátalakulás ásványtani jellege (illites és illites-kaolinites-breccsás) a hegységben a paleogén során végbement oldatáramlás jellemzőit mutatja.

Az átalakult gránit agyagásvány szeparátumának K-Ar radiometrikus kormeghatározása alapján a kvarc-barittelérek a kora-oligocénben képződtek.

A telérekek a paleogén oldatáramlás sekély mélységű, felszínközeli felforrás, kis szalinitású oldataiból képződtek.

A telérekek közelében található hidrotermális breccsák ásványparagenezise (szulfát és foszfát ásványok) és a fluidumzárvány vizsgálatok alapján a kvarc-barittelérek az epitermás rendszerek savas-szulfátos (magas-szulfidizációs fokú) átalakulásaira jellemző környezetben képződtek.

Köszönetnyilvánítás

Hálával tartozunk bírálóimnak Dr. M. TÓTH Tivadarnak és Dr. SCHUBERT Félixnek minden részletre kiterjedő, alapos bírálatukért! A projekt az Európai Unió támogatásával az Európai Unió Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg (TÁMOP4.2.1/B-09/1/KONV-2010-0006).

Irodalom — References

- BAGDASZARIAN G. P. 1989: Velencei-hegységi minták radioaktív koradatai — *Kézirat*, Geological Institute of Hungary.
- BAJNÓCZI B. 2003: Palaeogene hydrothermal processes in the Velence Mountains, Hungary. — *PhD Thesis. Department of Mineralogy, ELTE University*, Budapest, 116 p.
- BAJNÓCZI B., MOLNÁR F., MAEDA K., NAGY G. & VENNEMANN T. 2002: Mineralogy and genesis of primary alunites from epithermal systems of Hungary — *Acta Geologica Hungarica* **45/1**, 101–118.
- BALOGH K. 1974: A kálium-argon földtani kormeghatározási módszer alkalmazási lehetőségei és korlátai. — *Atomki Közlemények*, **16/4**, 373–387.
- BALOGH K. 1975: Radiometrikus földtani kormeghatározási módszerek. — *Fizikai Szemle* **25/11**, 1–5.
- BALOGH, K. 1985: K/Ar dating of Neogene volcanic activity in Hungary: Experimental technique, experiences and methods of chronological studies. — *Atomki Közlemények* **D/1**, 277–288.
- BALOGH, K., ÁRVA-SÓS, E. & BUDA, GY. 1983: Chronology of granitoid and metamorphic rocks of Transdanubia (Hungary). — *Annales Inst. Geol. Geofiz.*, **61**, Contribution of the 12 Congress of CBGA, Bucuresti, *Metamorf. Magmat. Isot. Geol.* 359–364.
- BALOGH K., ÁRVÁNÉ SÓS E. & PÉCSKAY Z. 1986: Magmás kőzetek K-Ar kormeghatározása. — Jelentés a Magyar Állami Földtani Intézet és a MTA Atommagkutató Intézete között létrejött 4299/86 sz. kutatási szerződés keretében végzett vizsgálatokról. Magyar Állami Földtani, Bányászati és Geofizikai Adattár, 13 p. [Ter: 13979]
- BENEDEK, K. 2002: Palaeogene igneous activity along the easternmost segment of the Periadriatic-Balaton Lineament. — *Acta Geologica Hungarica* **45/4**, 359–371.
- BENEDEK, K., PÉCSKAY, Z., SZABÓ, CS., JÓSVAI, J. & NÉMETH, T. 2004: Palaeogene Igneous Rocks in the Zala Basin (Western Hungary): Link to the Palaeogene Magmatic Activity Along the Periadriatic Lineament. — *Geologica Carpathica* **55/1**, 1–8.
- BENKÓ ZS. 2002: Variszkuszi és alpi fluidummobilizációs folyamatok nyomkövetése a velencei-hegységi gránit repedésrendszereiben fluidumzárványok vizsgálata alapján. — *OTDK dolgozat*. ELTE, Budapest.
- BENKÓ, ZS. & MOLNÁR, F. 2004: Application of studies on fluid inclusion planes for evaluation of structural control on Variscan and Alpean fluid mobilization processes in the monzogranite intrusion of the Velence Mts. (W Hungary) — *Acta Mineralogica-Petrographica* **45/1**, 123–131.
- BENKÓ ZS., MOLNÁR F. & LESPINASSE M. 2008: Fluidumzárványsíkok és repedésrendszerek vizsgálatának alkalmazása granitoid kőzetek repedezettségének fejlődéstörténeti rekonstrukciójában I.: módszertani alapvetés és alkalmazás a Velencei-hegység fluidummobilizációs folyamataira. — *Földtani Közöny* **138/2**, 445–468.
- BENKÓ, ZS., MOLNÁR, F., BILLSTROM, K., PÉCSKAY, Z. & LESPINASSE, M. 2010a: Genetic and age relationship of base metal mineralization along the Periadriatic-Balaton Lineament system on the basis of radiogenic isotope studies. — *Acta Mineralogica-Petrographica Abstract Series (IMA 2010 conference, ELTE, Budapest)*, **6**, p. 224.
- BENKÓ, ZS., MOLNÁR, F., NÉMETH, T., PÉCSKAY, Z. & LESPINASSE, M. 2010b: Relationship between clay mineralogy, fluid inclusions and K/Ar ages in the Triassic and Palaeogene hydrothermal alteration zones within the Variscan granite of the Velence Mts. (W-Hungary). — *Acta Mineralogica-Petrographica Abstract Series (MECC 2010 conference, ELTE, Budapest)*, **6**, p. 621.
- BUDA, GY. 1969: Genesis of granitoid rocks of the Mecsek and Velence Mountains on the basis of the investigation of the feldspars. — *Acta Geologica Academiae Scientiarum Hungaricae* **13**, 131–155.
- BUDA, GY. 1981: Genesis of the Hungarian granitoid rocks. — *Acta Geologica Academiae Scientiarum Hungaricae*, **24/2–4**, 309–318.

- BUDA GY. 1985: Origin of collision-type Variscian granitoids in Hungary, West Carpathian and Central Bohemian Pluton. — PhD. dolgozat (kézirat), ELTE, Budapest, p. 95.
- BODNAR, R. J. & VITYK, M. O. 1994: Interpretation of microthermometric data for H₂O-NaCl fluid inclusions. — In: DE VIVO, B. & FREZOTTI M. L. (eds): *Fluid inclusions in minerals: Method and applications. Short course of the working group (IMA) "Inclusions in Minerals"*, 117–130.
- DARIDA-TICHY, M. 1987: Paleogene andesite volcanism and associated rock alteration (Velence Mountains, Hungary). — *Geologický Zborník-Geologica Carpathica* **38/1**, 19–34.
- DAVIS, W. D., LOWENSTEIN, T. K. & SPENCER, R. J. 1990: Melting behavior of fluid inclusions in laboratory-grown halite crystals in the systems NaCl-H₂O, NaCl-KCl-H₂O, NaCl-MgCl₂-H₂O, and NaCl-CaCl₂-H₂O. — *Geochimica et Cosmochimica Acta* **54**, 591–601.
- DUDKO, A. 1999: Geological map of pre-sarmatian surface of the Balatonfő-Velence area. — MÁFI, Budapest.
- DUDKO A., DARIDÁNE TICHY M., MAJKUTH T. & STOMFAI R. 1989: A kelet-velencei paleovulkán szerkezete. — *Általános Földtani Szemle* **24**, 135–148.
- ERDÉLYI, J. 1939: Der Baryt und Hämatit von Nadap. — *Földtani Közlemények* **69/10–12**, 290–296.
- FÖLDVÁRINÉ VOGL M. 1947: Színképanalitikai molibdén-meghatározások a Velencei-hegység kőzeteiben. — *MÁFI Évi Jelentése B. 9* (1–6) 21–38.
- GYALOG L. & HORVÁTH I. 1999: A Velencei-hegység földtani térképe. — *MÁFI kiadvány*, Budapest
- GYALOG L. & HORVÁTH I. 2004: A Velencei-hegység és a Balatonfő földtana. – Magyarázó a Velencei hegység földtani térképéhez a Balatonfő-Velencei-hegység mélyföldtani térképéhez. — *MÁFI kiadvány*, Budapest, 316 p.
- HORVÁTH I., DARIDÁNE TICHY M. & ÓDOR L. 1983: Magnezittartalmú dolomitos karbonátit (beforszit) telérközet a Velencei-hegységből. — *MÁFI Évi Jelentés 1981. évről*, 369–388.
- HORVÁTH, I. & ÓDOR L. 1984: Alkaline ultrabasic rocks and associated silicocarbonatites in the NE part of the Transdanubian Mts., Hungary. — *Mineralia Slovaca* **16**, 115–119.
- HORVÁTH I., ÓDOR L. & KOVÁCS L. 1989: A Velencei-hegységi gránit metallogéniai sajátosságai. — *MÁFI Évi Jelentés 1987. évről*, p. 349–366.
- JANTSKY B. 1952: A Velencei-hegység barit és fluorit előfordulásai. Magyarázó a barit- és fluoritkataszterhez. — *Kézirat*, Országos Földtani és Geofizikai Adattár, Budapest.
- JANTSKY, B. 1957: Geology of the Velence Mts. — *Geologica Hungarica series Geologica* **10**, 166 p.
- JÓZSA S. 1983: Velencei-hegységi felszíni andezit közettani-geokémiai vizsgálata. — Szakdolgozat, ELTE Közettani és Geokémiai Tanszék, Budapest, 107 p.
- KOCH S. 1985: *Magyarország ásványai*. — Akadémiai Kiadó, Budapest, 562 p.
- LOUCKS, R. R. 2000: Precise geothermometry on fluid inclusion populations that trapped mixtures of immiscible fluids. — *American Journal of Science* **300**, 23–59.
- MAURITZ B. 1908: Új zeolith lelőhely. — *Földtani Közlemények* **28**, 190.
- MOLNÁR, F. 1996: Fluid inclusion characteristics of Variscan and Alpine metallogeny of the Velence Mts., W Hungary. — *Plate Tectonic Aspects of the Alpine Metallogeny in the Carpatho-Balkan Region Proceedings of the Annual Meeting-Sofia, 1996 UNESCO-IGCP Project No. 356*, **2**, 29–44.
- MOLNÁR F. 1997: Újabb adatok a Velencei-hegység molibdenitjének genetikájához: ásványtani és fluidumzárvány vizsgálatok a Retezi-lejtakna ércesedésén. — *Földtani Közlemények* **127/1–2**, 1–17.
- MOLNÁR, F. 2004: Characteristic of Variscan and Palaeogene Fluid Mobilization and Ore Forming Processes in the Velence Mts., Hungary: A Comparative Fluid Inclusion Study. — *Acta Mineralogica-Petrographica*, Szeged **45/1**, 55–63.
- MOLNÁR, F., TÖRÖK, K. & JONES, P. 1995: Crystallization conditions of pegmatites from the Velence Mts., Western Hungary, on the basis of thermobarometric studies. — *Acta Geologica Hungarica* **38/1**, 57–80.
- MOLNÁR, F., BAJNÓCZI, B., PÉCSKAY, Z., PROHÁSZKA, A. & BENKÓ, ZS. 2010: Hydrothermal alteration, fluid inclusions and stable isotopes (O, H) in a porphyry and related epithermal system of the Palaeogene volcanic belt of the Alp-Carpathian Orogen (Velence Mts., W-Hungary). — *Acta Mineralogica-Petrographica Abstract Series (IMA 2010 conference, ELTE, Budapest)*, **6**, p. 289.
- ROEDDER, E. 1984: Fluid inclusions. — *Reviews in Mineralogy* **12**, 1–251.
- SCHAFARZIK F. 1908: Ásványtani közlemények. — *Földtani Közlemények* **38**, 590–592.
- SPENCER, R. J., MOLLER, N. & WEARE, H. J. 1990: The prediction of mineral solubilities in natural waters: A chemical equilibrium model for the Na-K-Ca-Mg-Cl-SO₄-H₂O system at temperatures below 25 °C. — *Geochimica et Cosmochimica Acta* **54**, p. 575–590.
- SRONDON, J. 1984: X-ray powder diffraction identification of illitic materials. — *Clays and Clay Minerals* **32/5**, 337–349.
- SZÁDECKY-KARDOSS, E., JUHÁSZ, Á. & BALÁZS, E. 1969: Erläuterung zur Karte der Metamorphite von Ungarn. — *Acta Geologica Hungarica* **13**, 359–383.
- UHER, P. & BROSKA, I. 1994: The Velence Mts granitic rocks: geochemistry, mineralogy and comparison to Variscan Western Carpathian granitoids. — *Acta Geologica Hungarica* **37/1–2**, 45–66.
- VARJÚ, GY. 1974: Javaslat a pirofillit előfordulás genetikai vizsgálatára és ezzel kapcsolatos kutatófúrások mélyítésére. — Kézirat, MÁFI
- VENDL A. 1914: A Velencei-hegység geológiai és petrográfiai viszonyai. — *Földtani Intézet Évkönyve* **22/1**, 1–170.
- ZHANG, Y. G. & FRANTZ, J. D. 1987: Determination of the homogenization temperatures and supercritical fluids in the system NaCl-KCl-CaCl₂-H₂O using synthetic fluid inclusions. — *Chemical Geology* **64**, 335–350.

Kézirat beérkezett: 2011. 05. 03.

A, Sárga hidrotermális breccsa a barittelértől északra / *Yellow hydrothermal breccia north from the barite veins*

B, Illites-kaolinites-szmektites átalakulást szenvedett gránit / *Granite with illite-kaolinite-smectite alteration*

C, IA típusú másodlagos fluidumzárvány-együttes baritban. Az egyes zárványok folyadék/gőz fázisarányai változóak a zárványegyüttesen belül, ami a fluidumok sekély mélységű fáziselkülönülését (felforrását) bizonyítja / *Type IA secondary fluid inclusion assemblage in barite. The vapour/liquid phase ratios of the inclusions in the same assemblage are variable, indicating shallow level phase separation (boiling) of the parent fluid*

D, IB típusú másodlagos fluidumzárvány együttes andezit kőzetalkotó kvarckristályában. Az egyes zárványok folyadék/gőz fázisarányai változóak a zárványegyüttesen belül, ami a fluidumok sekély mélységű fázisszeparációját (felforrását) bizonyítja / *Type IA secondary fluid inclusion assemblage in the rock forming quartz crystals of the andesite. The vapour/liquid phase ratios of the inclusions in the same assemblage are variable, indicating shallow level phase separation (boiling) of the parent fluid*

E–F, IIA típusú, másodlagos folyadékzárvány-együttes a gránit kőzetalkotó kvarckristályaiban. A folyadék/gáz fázisarány minden zárványon belül egyenlő, ami a fluidumok homogén csapdázódását bizonyítja homogén anyagból. / *Type IIA, secondary fluid inclusion assemblage in the rock forming quartz crystals of the granite. The equal liquid/vapor ratios indicate homogeneous entrapment of the inclusions from a homogeneous parent fluid*

I. tábla — Plate I

