

A pákozdi Ősi-hegy kvarctelérének komplex geológiai vizsgálata

B. KISS Gabriella¹, OELBERG-PÁNCZÉL Emese², JANKA Péter², KÁPOSZTÁS Viktória³, SZÜCS Levente^{1,4},
REASCOS, Harvey¹, SZABÓ Dávid¹, KOVÁCS Dániel², LIPP Kristóf¹, SZENDREI Zsolt⁵, NÉMETH Tibor^{1,6}

¹ELTE TTK Földrajz- és Földtudományi Intézet, Ásványtani Tanszék, gabriella.b.kiss@ttk.elte.hu, <https://orcid.org/0000-0002-7162-2961>

²ELTE TTK FFI Kőzettani és Geokémiai Tanszék

³ELTE TTK FFI Őslénytani Tanszék

⁴Magyar Természettudományi Múzeum Ásvány- és Kőzettár

⁵ELTE TTK FFI Általános és Alkalmazott Földtani Tanszék

⁶PTE TTK Földrajzi és Földtudományi Intézet

Complex geological study of the quartz vein of the Ősi Hill, Pákoz

Abstract

The NW Hungarian Velence Mts. is found in the ALPine-CArpathian-PAnnonian (ALCAPA) Megaunit, north of the Periadriatic–Balaton Lineament. The major constituent of the mountains is the Permian S–A-type Velence Granite, which intruded into the Ordovician–Devonian Lovas Slate. Besides, magmatic rocks of the Paleogene Nadap Andesite and the Cretaceous Sukoró Lamprophyre are also found in the mountains. The granite is cut by dykes (granite porphyry, aplite, andesite and alkaline magmatite) as well as hydrothermal (quartz dominated) veins. The origin of the latter was disputed for decades, however, recent studies shed light to their genesis: the quartz-molybdenite-pyrite veins are related to the granite magmatism, the quartz-sphalerite-galenite-fluorite veins as well as the illite-kaolinite-smectite alterations are results of a Triassic regional fluid-flow event, while the Cu-porphyry and epithermal alterations, veins and quartz-barite as well as silicified hydrothermal breccia veins and related APS-mineral bearing alterations are connected to the Paleogene magmatism. The present study has dealt with an approx. 0.5–0.8 m thick, more, than 100 m long exposed quartz vein and its surroundings in the Ősi Hill at Pákoz (western part of Velence Mts). Though the vein was described 70 years ago, no detailed modern research was carried out in the area. Therefore, a complex geological survey aiming to obtain detailed mineralogical, petrological, ore and soil geological characterisation was performed throughout the hill. Field work, representative sampling, transmitted and reflected light microscopy, X-Ray powder diffraction, SEM-EDS, EPMA, soil- and sand laboratorial analyses were carried out to prepare a detailed documentation as well as to better understand the hydrothermal processes. Two vein infill types were identified: a vuggy quartz infill, and a massive quartz-dominated infill with strongly altered microbrecciated granite clasts. Besides, the latter contained disseminated Ti-oxides, pyrite and chalcopyrite, together with some monazite, cheralite and goyazite. The often euhedral cheralite and goyazite are connected to the monazite and can be found either in the altered granite or in the vein-filling quartz. This implies that they occur not only as granite-related accessory minerals, but they might form as a result of P and HFS element rich hydrothermal remobilisation. The alteration halo of the quartz vein can be traced up to 4–5 m far from the vein and is characterised by illitisation, sericitisation and a selective decomposition of K-feldspar and plagioclase. The observed zonation can be the result of buffering effect of the originally slightly acidic hydrothermal fluid with relatively high dissolved ion content due to fluid-rock interaction processes. The reconstructed parameters were suitable for transporting metals by the hydrothermal fluid. The soil formed above the vein clearly reflects the hydrothermal alterations, while the mineral and rock fragments of the sand found at the foot of the hill also bear marks of the hydrothermal process. The characteristics of the hydrothermal minerals' parent fluid are similar to the ones forming the nearby quartz \pm fluorite, sulphide veins. Trace element composition of the disseminated pyrite (its As, Pb and Cu content as well as the lack of detectable Au) is also similar to the ones occurring in the nearby Pátka quartz-fluorite veins. The location as well as the mineralogical characteristics are both suggesting that the formation of quartz vein at Ősi Hill is related to the Triassic regional fluid flow event.

Keywords: Velence Granite, quartz vein, host rock alterations, soil mineralogy, covering sand

Összefoglalás

Az ALCAPA főegység dunántúli részén, a Periadriai–Balaton-vonaltól északra elhelyezkedő Velencei-hegység fő tömegét a perm időszi, S–A típusú Velencei Gránit alkotja. A gránitban ÉK–DNY, illetve É–D csapásirányú hidrotermális telérek és agyagásványos átalakulási zónák is ismertek, melyek eredete sokáig kérdéses volt, de az újabb kutatások segítettek sok előfordulás földtani folyamathoz kötésében; nemcsak a gránit magmatizmushoz kapcsolódó, hanem egy triász időszi, regionális fluidáramlási rendszer létrejöttéhez kötődő és a térséget érintő paleogén magmatizmushoz kapcsolódó hidrotermális eseményt is dokumentáltak. A pákozdi Ősi-hegyen egy 0,5–0,8 m széles, ~100 m hosszán követ-

hető kvarctelér ismert, melynek komplex ásványtani, kőzettani, teleptani és talajtani vizsgálatának eredményeit mutatjuk be. A telér kétféle kifejlődését azonosítottuk (sejtes és tömör, mikrobreccásodott gránitot tartalmazó), és meghatároztuk az összetételét (domináns kvarc, erősen átalakult gránitklasztok, monacit, keralit, alárendelt Ti-oxidok, hintett pirit és kalkopirit, illetve ezek átalakulási termékeként goethit). Az átalakult gránitban és a telérkvarcban megjelenő monacithoz szorosan kötődő, sajátalakú keralit és goyazit is megfigyelhető, ami alapján a foszfor és a nagy térerejű elemek hidrotermás remobilizációjára következtethetünk. A telér átalakulási udvarában a földpátok illitesedése, szericitesedése figyelhető meg, ami az eredetileg feltehetően gyengén savas, oldott anyagokban gazdag hidrotermás fluidum közettel való kölcsönhatása révén bekövetkező pufferalódásának lehet eredménye. A rekonstruált paraméterek ideálisak lehettek a színesfémek oldatban való szállításához. A telér fölött kifejlődött kőzetathasú talaj is tükrözi a kőzetátalakulást, míg a távolabb megjelenő, fiatal homok kőzetalkotói is utalnak a hidrotermás eseményre. A telér hidrotermás ásványainak anyaoadat-jellemzői a környező kvarc \pm fluorit, szulfid tartalmú telérékével mutat jelentős hasonlóságot, és a megjelenő pirit nyomelem összetétele (Cu-, Pb-, As-tartalma és a mérhető Au hiánya) is hasonló a pátkai kvarc-fluorittelér piritjének összetételéhez. A telér elhelyezkedése, valamint ásványtani jellemzői miatt feltételezzük, hogy képződése a triász időszaki regionális fluidáramlási eseményhez köthető.

Tárgyszavak: Velencei Gránit, kvarctelér, kőzetátalakulások, talajásványtan, fedő homok

Bevezetés

A Velencei-hegység fő tömegét alkotó gránitot több, különböző eredetű hidrotermás esemény is érte, melyek eredményeként hidrotermás ásványokkal kitöltött telérek és átalakulási zónák jöttek létre (MOLNÁR 1997, BENKÓ et al. 2014, KOVÁCS et al. 2019). Egy ilyen a pákozdi Ősi-hegyen nyomozható kvarctelér, melyet 4–5 m-ig követhető átalakulási udvar vesz körül. A telér jelenlétét az 1950–60-as években dokumentálták (JANTSKY 1957, MIKÓ 1964), de azóta átfogó, részletes modern kutatás nem készült erre a területre fókuszálva. Nemcsak az alkalmazható módszerek tárháza szélesebb azóta, de az (érc)ásványképző rendszerekkel kapcsolatos szakmai ismereteink is jelentősen fejlődtek, és a térséget érő hidrotermás folyamatok megértése is jelentős haladáson ment keresztül az utóbbi évtizedekben. Ezért az Ősi-hegy egy komplex ásványtani, kőzettani, teleptani és talajtani kutatás kiváló célpontjává vált, melyet az ELTE TTK FFI Geológus MSc hallgatóival végeztünk el egy választható kurzus keretében. A munka célja egyrészt egy modern szemléletű alapvető dokumentáció készítése, másrészt a vizsgált előfordulás beillesztése a területről alkotott, ma ismert földtani képbe.

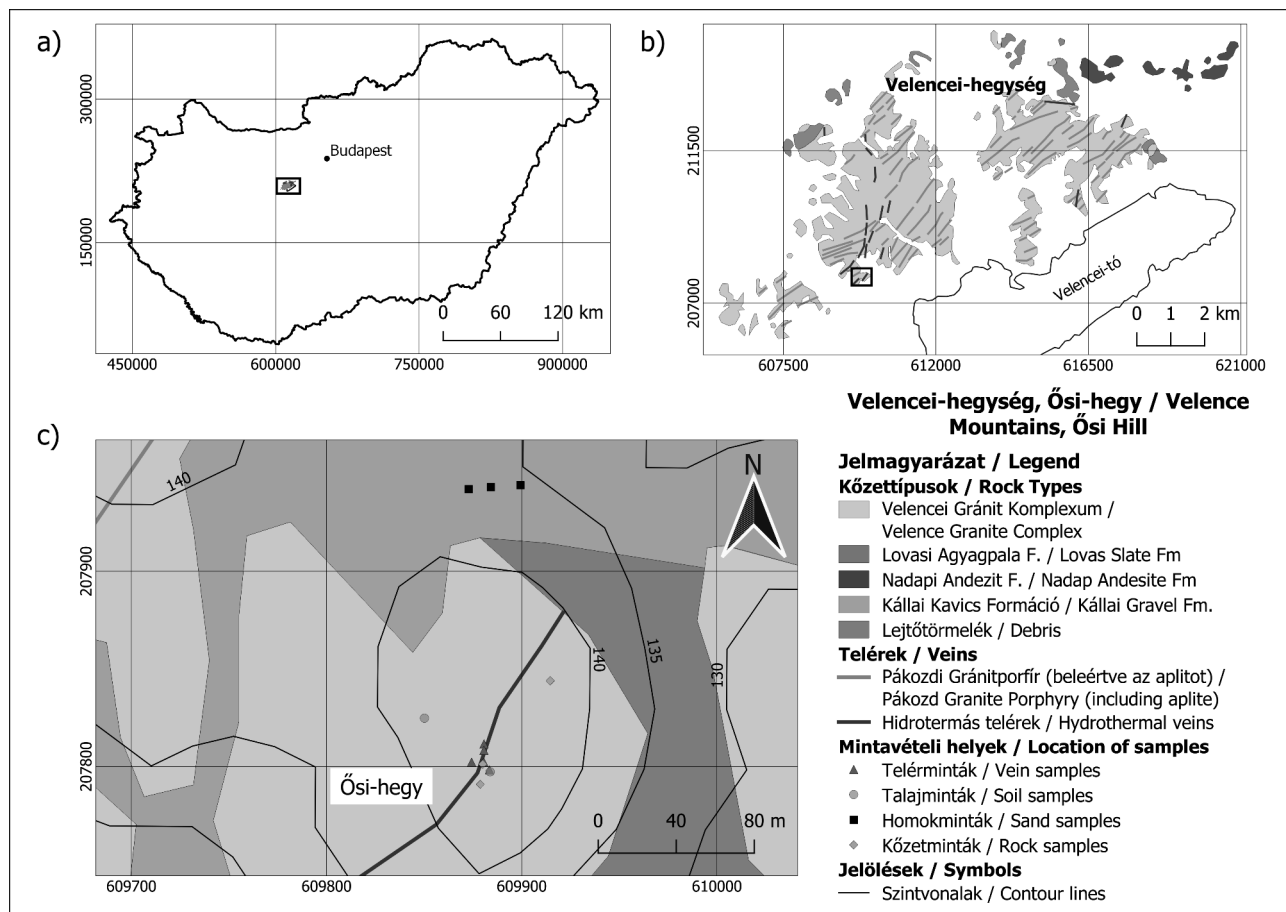
Földtani háttér

A Velencei-hegység az ALCAPA-főegység dunántúli részén, a Periadriai–Balaton-vonaltól északra helyezkedik el. Fő tömegét a variszkuszi tektonikai ciklus során képződött, perm időszaki, S–A típusú, posztorogén vagy riftesedéshez kötődő Velencei Gránit Komplexum (BENKÓ 2023 és a benne található hivatkozások) alkotja, mely az ordovícium–devon időszaki Lovasi Agyagpalába nyomult be. A hegység keleti részén azonban a Nadapi Andezit eocén–oligocén magmás kőzetei is megjelennek (1. ábra). A gránittestben kis méretű, kréta időszaki, alkáli ultrabázisos (lamprofír jellegű) kőzettestek (Sukorói Lamprofír) és a paleogén magmatizmus eredményeként intermedier magmás kőzettestek (Nadapi Andezit) is előfordulnak. A felszínen továbbá a Kállai Kavics és a Tihanyi Formáció pannon üledékes kőze-

tei, illetve egyéb pleisztocén–holocén üledékek is megjelennek (GYALOG & HORVÁTH 2004). A gránitban pegmatitos és miarolitos üregek, valamint a Pákozdi Gránitporfír telérei közé sorolható mikrogránit, apilit és gránitporfír telérek is megtalálhatóak, míg a gránit–palaköpeny határon kontaktmetamorf jelenségként turmalinosodás nyomozható (JANTSKY 1957, GYALOG & HORVÁTH 2004, BENKÓ 2023).

A gránitban többnyire ÉK–DNY, illetve helyenként É–D csapásirányba forduló hidrotermás telérek és agyagásványos átalakulási zónák is ismertek, melyek eredete sokáig kérdéses volt (JANTSKY 1957, GYALOG & HORVÁTH 2004), de az újabb kutatások segítettek sok előfordulás földtani folyamathoz kötésében (MOLNÁR 1997, BENKÓ et al. 2014, KOVÁCS et al. 2019). Eszerint a kvarc-molibdenit-pirit erezések a gránitához kötődő hidrotermás folyamatok eredményei (MOLNÁR 1997), a kvarc-szfalerit-galenit-fluorit telérek, illetve az illit-kaolinit-szmektit átalakulási zónák legvalószínűbben egy triász időszaki, regionális fluidáramlási eseményhez (BENKÓ et al. 2014), míg a Cu-porfíros jellegű átalakulási zónák, erezések, illetve a kvarc-barit erezések, valamint a kovás hidrotermás breccsatelérek és agyagásványos-APS ásványos átalakulások a paleogén magmatizmus rézporfíros–epitermás rendszeréhez (MOLNÁR 2004, BENKÓ et al. 2012, KOVÁCS et al. 2019) kapcsolódnak.

A jelen munka során vizsgált Ősi-hegyen (1. ábra) JANTSKY (1957) már leírta a gránitbeli „sejtes kvarctelért”, mely a hegy lábánál a szántóföld törmelékében, míg a hegy magasabb részein szálban nyomozható. A telerről, annak kilúgozottságáról és alacsony érc tartalmáról későbbi munkájában MIKÓ (1964) is említést tesz. ÉK felé haladva a telér szétseprűződik, majd „fiatal homok” fedi. JANTSKY (1957) továbbá leírja a telér kvarca mellett megjelenő malachitfoltokat, valamint – a környező telérek összetétele alapján – feltételezi, hogy a sejtes megjelenés kioldódott galenit miatt lehetséges. A telér pákozdi legelőkön nyomozható, ÉK-i folytatásában fentiek mellett fluoritnyomokat is azonosítottak (JANTSKY 1957). Bár BENKÓ et al. (2014) említést tettek egyes környékbeli telérekéről és átalakulási zónákról (melyek képződését a triász időszaki, regionális fluidáramlási eseményhez kötik), az utóbbi évtizedekben megjelent közlemények nem foglalkoztak a jelen munkához hasonló részletességgel az ősi-hegyi előfordulással.



1. ábra. A Velencei-hegység elhelyezkedése Magyarországon (a), a Velencei-hegység vázlatos földtani térképe (GYALOG & HORVÁTH 2004 alapján), jelölve a vizsgálati terület elhelyezkedését (b) és a jelen tanulmányban érintett Ósi-hegy földtani térképe, jelölve a mintavételi helyeket (c)

Figure 1. The location of the Velence Mts. in Hungary (a), the geological sketch map of the Velence Mts. (based on GYALOG & HORVÁTH 2004) showing the location of the study area (b) and the geological map of the studied Ósi Hill, showing the sampling points (c)

Módszerek

A munka kezdetekor részletes terepi megfigyeléseket tettünk, reprezentatív mintázás történt a kibukkanó telér különböző megjelenési formáiból, a közvetlen és távolabbi mellékkőzetből (minimum kézipéldány méretben), a hegy ÉK-i részén megjelenő fiatal homokból (0,5–1 kg/minta), valamint talajmintát vettünk a telér közvetlen környezetéből és attól távolabbról (0,5–1 kg/minta). Az összesen 13 darab minta származási helyét az 1. ábra mutatja. A minták makroszkópos jellemzése, fotódokumentációja után laboratóriumi vizsgálatokat végeztünk. A talajminták előkészítése során szárítást, szervesanyag-eltávolítást, reprezentatív kavicsok kiválogatását, vibrációs szitálást alkalmaztunk, majd elvégeztük a gyúrópróbát, és meghatároztuk a minták színét nedves és légszáraz állapotban a Munsell-skála szerint. A homokminták előkészítése során száraz szitálást, a karbonát-tartalom eltávolítására 10%-os sósavval való kioldást alkalmaztunk. A sztereomikroszkópos megfigyeléseket STM45b zoom és Zeiss Stemi DV4 típusú mikroszkóppal végeztük. A telér és a befogadó kőzet polarizációs mikroszkópos megfigyeléseit áteső és ráeső fényben, Nikon Alphaphot, Nikon OptiPhot2-pol és Zeiss Axioplan típusú mikroszkóppal végeztük, a mikroszkópos fotózást Nikon CoolPix DS-Fil és

Zeiss Axiocam 208 típusú kamerarendszerrel, a fényképek kezelését NIS-Elements BR és Zeiss Zen szoftver segítségével végeztük el. A pásztázó elektronmikroszkópos megfigyeléseket Amray 1830I típusú készülékkel, PV9800 EDS detektorral, 20 kV gyorsító feszültség, 1 nA sugáráram mérési körülmények mellett, 100s mérési idővel végeztük, a műszer kalibrálását természetes és mesterséges ásványszten-derdek segítségével végezték, a kimutatási határa az általunk vizsgált elemekre ~0,1 t%. További megfigyeléseket egy ThermoScientific Phenom XL készülékkel tettünk 20 kV gyorsítófeszültség és 15 nA sugáráram mérési körülmények mellett. A pirit kvantitatív, hullámhosszdiszperzív elektronmikroszkopos (EPMA) mérése egy Jeol JXA-8530F típusú készülékkel 20 kV gyorsító feszültség, 15 nA sugáráram és 1 µm sugármérő mérési körülmények mellett 10–20 s csúc és 5–10 s háttér mérési idővel készült a vizsgált elemről függően. A műszer kalibrálását természetes és mesterséges ásványszten-derdek segítségével végezték, a kimutatási határt a vizsgált elemekre a releváns táblázat tartalmazza. Az átalakult mellékkőzet, a talajminták és a homok összetételének meghatározására röntgen-pordiffrakciós vizsgálatokat is végeztünk Siemens D5000 típusú műszerrel, a mérés során 1,54 Å hullámhosszú Cu-Kα sugarat használtak, a mérés 2 másodpercenként 0,05°-os lépésközzel tör-

tént, 2° – 65° 2θ értékek között. A laboratóriumi vizsgálatokat az elektronmikroszondás mérések kivételével az ELTE TTK FFI Ásványtani, valamint Kőzettani és Geokémiai Tanszékein végeztük el Budapesten, míg a mikroszondás mérésekre a Szlovák Tudományos Akadémia Földtudományi Kutatóintézetében került sor, Besztercebányán.

Eredmények

Terepi megfigyeléseink alapján (összhangban a GYALOG & HORVÁTH 2004 által publikált térképpel) az Ősi-hegy nagy részét a Velencei Gránit Komplexum kőzetei alkotják, míg a hegy É–ÉK oldala felől a gránitot a pannóniai Kállai Kavics homokos kifejlődése övezi. A hegy gerincén ÉK–DNY csapásirányú, 0,5–0,8 m szélességű, kb. 100 m hosszan egyértelműen követhető, közel függőleges dőlésű, a környező kőzetekből kimagasodó kvarctelért azonosítottunk (2. ábra). A telér mentén a gránitban kőzetátalakulás figyelhető meg.

A telér háromféle kifejlődésben jelenik meg: (1) sejtes, kioldott, (2) tömör és (3) vas-oxi/hidroxidokkal jelentősen átjárt formában. A sejtes megjelenésű teléranyag (összetevőként csak kvarc ismerhető fel) esetében az üregek táblás, akár ikerkristályos földpát negatív kristály alakúak (3 A ábra),

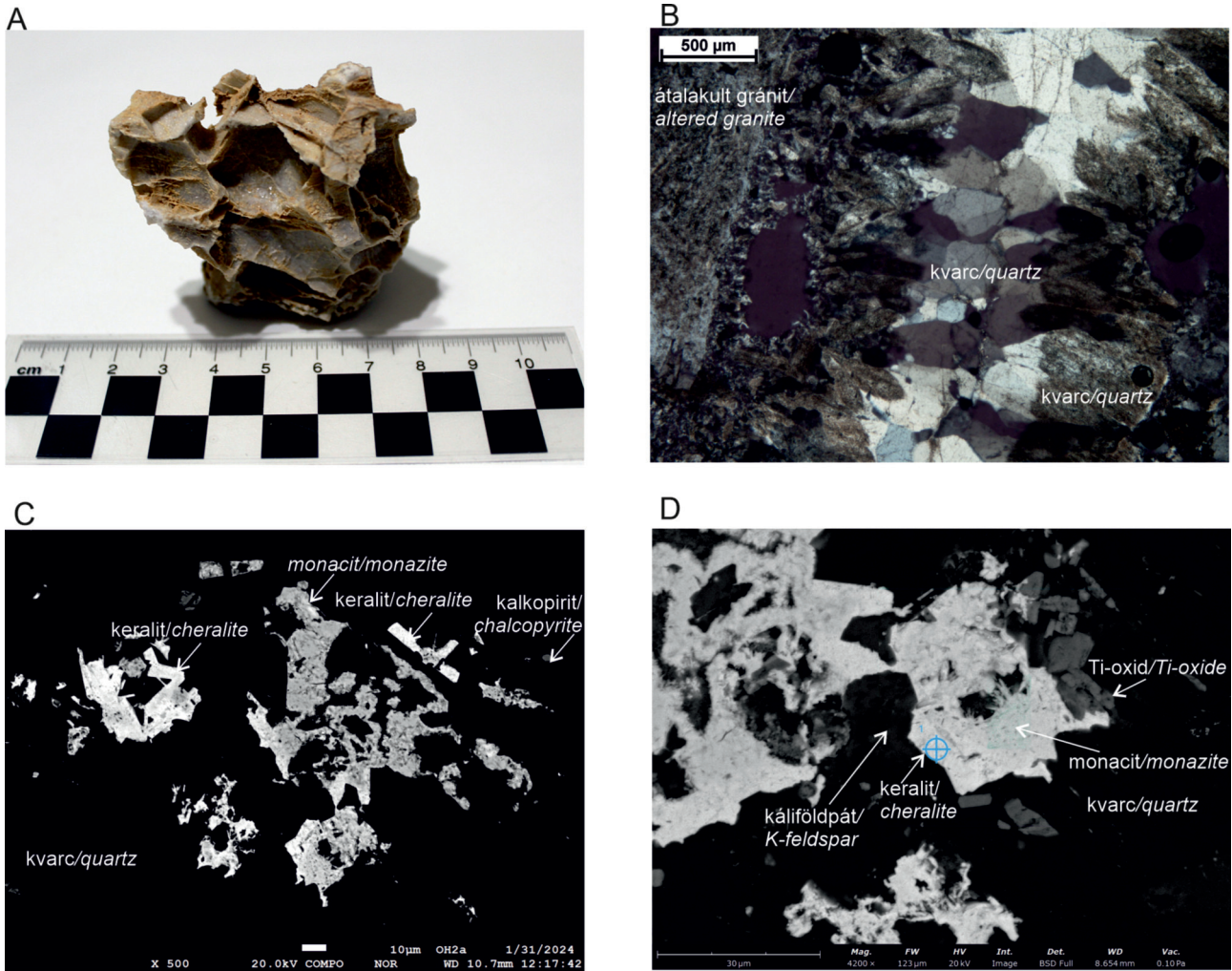


2. ábra. A vizsgált telér az Ősi-hegy gerincén

Figure 2. The studied vein at Ősi Hill

méretük általában 0,2–2 cm közötti. A tömör típusban sztereomikroszkópos megfigyeléseink során a kvarcon kívül egy kézipéldányban <1mm-es fluoritszemcsék jelenlétét feltételeztük, amit polarizációs mikroszkópos vizsgálataink során nem sikerült megerősíteni. A mikroszkópos vizsgálatok alapján azonban megállapíthatjuk, hogy a teléranyag valószínűleg egy kvarccal igen intenzíven átjárt, erősen átalakult, mikrobreccsásodáson átesett gránit. A jellemzően 2–10 mm-es, szögletes gránitklasztokban a kőzetalkotó ásványok közül 1–3 mm-es kvarc, többnyire 1, de akár 2–3 mm-es, agyagásványosodó káliföldpát, hintetten megjelenő, általában 10–30 μ m-es cirkon és maradék térkitöltő, hintetten megjelenő, akár 50 μ m-es szemcseaggregátumokat formáló monacit ismerhető fel, melyeket mátrixként nagy mennyiségű durvakristályos (akár 5 mm-es) kvarc és kisebb mennyiségű illit csoportba sorolható agyagásvány, illetve sajátalakú Ti-oxid ásvány vesz körül (3 C, D ábra). A monacittal (mely Ce, Nd, La-t is tartalmaz) szoros kapcsolatban, szöveti jellemzői alapján azt követően eu- és szubhedrális, többnyire 10–20 μ m-es keralitot ($\text{CaTh}(\text{PO}_4)_2$) (magas Th tartalma mellett U és Ce mérhető) azonosítottunk (3 C, D ábra), továbbá a fenti ásványokat körülölelő, kizsorító formában későbbi átalakulási termékként goyazit ($\text{SrAl}_3(\text{PO}_4)(\text{PO}_3\text{OH})(\text{OH})_6$) is megfigyelhető volt. A vas-oxi/hidroxidokkal átjárt változat mikroszkóposan a tömör típushoz hasonlít. Ez utóbbi típusban az XRD-vizsgálatok alapján goethit és alárendelt mennyiségben kaolinit csoportba sorolható agyagásvány azonosítható, míg a többi típusban a goethit csak hintetten (<1%) jelenik meg. Fentiekén túl, a tömör típusban hintetten 10 μ m-nél kisebb pirit és kalkopirit is megfigyelhető (3 C ábra). Mikroszondás mérés alapján a pirit Co:Ni aránya 9,7, valamint As, Cu és Pb tartalma 0,13–0,27 t% közötti (I. táblázat). Megjegyzendő azonban, hogy a szemcsék igen kis mérete miatt több próbálkozás ellenére is csak egy megbízható adatsor áll rendelkezésre, így az eredmények tájékoztató jellegűnek tekinthetők.

Mikroszkópos megfigyeléseink alapján a telér befogadó kőzete 30–40% idiomorf, táblás, fehér plagioklász (0,5–4 mm), 30–40% xenomorf, izometrikus, szürke kvarcot (2–5 mm) és 20–30% hipidiomorf, táblás, rózsaszín ortoklász (1–1,5 cm) tartalmaz alárendelt csillámtartalommal, tehát a Streckeisen-rendszer alapján monzogranit. A telértől távolodva zónás átalakulás figyelhető meg. A telér közvetlen környezetében 1–5 mm vastag, hintett piritet tartalmazó kvarcerezettel sűrűn átjárt, átalakult gránit figyelhető meg (3 B ábra), melyben a kőzetalkotó káliföldpát enyhén, a plagioklász pedig erősen átalakult (szericitesedés, illitesedés), illetve a kőzetben finomszemcsés kvarc is megfigyelhető. A telértől 4–5 m-re a kőzetben már kvarcerezeket ritkábban látunk, de a földpátok kisebb mértékű szericitesedése és agyagásványosodása még megfigyelhető. A telértől 40 m-re átalakulás már nem jellemző, maximum nagyon kis mértékű szericitesedés figyelhető meg. A telér közelében megjelenő kvarcerek szimmetrikus kitöltésűek; a szegélyükön sajátalakú, apró fluidzárványoktól szivacsos megjelenésű, 0,5–1 mm-es kvarc figyelhető meg, míg belsejében ezek továbbnövekedéseként víztiszta, sajátalakú durvakristályos



3. ábra. A: a sejtés kvarctelér egy darabja. B: szimmetrikus, sávós kvarccerkitöltés átalakult gránitban, közel a fő telérhez. Az ér falán szivacsos kvarc látható, amin továbbnövekedésként víztiszta, félig sajátalakú kvarc látható (polarizációs mikroszkópos fotó, +N). C: monacittal szoros kapcsolatban levő, sajátalakú keralit, valamint hintett kalkopirit szemcse kvarcban (visszaszórt elektron kép). D: monacittal szoros kapcsolatban levő, félig/sajátalakú keralit, illetve azt körülvevő kvarc, átalakult kálföldpát és félig/sajátalakú Ti-oxid ásvány (visszaszórt elektron kép)

Figure 3. A: typical appearance of the vuggy quartz vein. B: symmetrical banded quartz vein in the altered granite, close to the main vein. Along the wall of the vein, spongy quartz is found due to the abundance of fluid inclusions, then eu/subhedral transparent quartz overgrowth is found in the center of the vein (microphotograph, +N). C: euhedral cheralite in close contact with monazite and disseminated chalcopyrite in quartz (back-scattered electron image). D: subhedral cheralite in close contact with monazite, surrounded by quartz, altered K-feldspar and eu/subhedral Ti-oxide mineral (back-scattered electron image)

(akár 2–3 mm-es) kvarcsejtszemcsék láthatók (3 B ábra). Az említett, jellemzően ~2 µm-es fluidzárványok a kristályok magjában, 3D zárványfelhőben jelennek meg, így elsődlegesen azonosíthatók, jellemzően szögletes alakúak, két-fázisúak (folyadék, gőz), folyadék-dúsak (90–95%), állandó fázisarányuk alapján homogén anyaoaldatból csapdá-

zódhattak. (Mikrotermometriai vizsgálatuk nem volt jelen munka célja.)

A kvarctelér talajosodott felszínéről, 0–5 cm mélységből, valamint 100–150 m-el távolabb, az üde gránit felett kialakult talaj felső 0–5 és 5–10 cm-ből vettünk mintát talajásványtani vizsgálatokra. A mintavételezés mindkét esetben ranker típusú (közethatású) talajból történt. A kvarctelér feletti talaj erózióknak, deflációknak erősen kitéve, a vékony A szintben 5–7% mennyiségben előfordulnak a talajképző kőzet törmelékei. A Munsell-színskála alapján légszáraz színe 10YR3/3, nedves színe 10YR2/2. A távolabbi gránit felett kialakult talaj kissé vastagabb, az R réteg (gránit) 10 cm alatt jelenik meg, helyzete alapján erózióknak enyhébben kitéve. A genetikai A szintjéből két mintát vettünk. A felső 0–5 cm-éből vett minta légszáraz színe 10YR5/4, nedves színe 10YR3/3. Ugyaninnen a felső 5–10 cm-ből vett minta légszáraz színe 10YR5/3, nedves színe 10YR3/2.

I. táblázat. A telér hintett piritjének összetétele EPMA-elemzés alapján.

Table I. Composition of the disseminated pyrite based on EPMA analyses.

	det. lim.	pirit/pyrite
Fe	0,013	45,53
S	0,013	56,642
As	0,072	0,272
Cu	0,017	0,133
Ni	0,013	0,036
Co	0,012	0,348
Pb	0,028	0,132

Valamennyi mintára igaz, hogy a gyúrópróba alapján vályog textúrájúak. A talajban közettörmeléként gránit litoklasztokat, kvarc- és földpátszemcsék töredékeit azonosítottunk. XRD-vizsgálattal a gránit fő közetalkotó ásványain túl különböző rétegszilikátok (illit, vermikulit, klorit, kaolinit) jelenlétét igazoltuk. Ez utóbbiak, illetve a kvarc a telértől származó mintában gyakoribbak, míg a plagioklászok ott valamivel kisebb mennyiségben fordulnak elő a gránit felett kialakult talajhoz képest.

Az Ősi-hegyet körülvevő, Kállai Kavicsba sorolható panon homokból is vettünk mintát. A száraz szitálás alapján a homok legjellemzőbb szemcsemérete a 125–250 μm -es tartomány. XRD-vizsgálat alapján túlnyomórészt kvarcból, kalcitból, illit-csoportba tartozó ásványból és dolomitból áll. A 250–500 μm -es mérettartomány oldási maradványait is vizsgáltuk a kis mennyiségben jelen levő ásványok azonosítása végett; a gránit közetalkotó ásványai közül káliföldpátot, plagioklászot, biotitot, muszkovitot és kvarcot is megfigyeltünk, valamint cirkont, apatitot, további kvarcváltozatokat (víz-tiszta és kevésbé átlátszó, rózsaszínű és limonitos kéregtől narancsos árnyalatú), valamint magnetitet is azonosítottunk.

Diszkusszió

A jelen munka során vizsgált Ősi-hegyi telér a kislelű Ősi-hegyi telérraj része, melytől északra húzódik az üveghegy-suhogó-pákozdai telérraj (JANTSKY 1957). A korábbi szakirodalom sejtes kvarctelér jelenlétéről ír, munkánk során nemcsak ezt, hanem tömör, mikrobrecsásodott gránitot tartalmazó telérkitöltés-változatot is leírtunk. Megfigyeléseink alapján a sejtes kvarctelér üregei feltehetően kioldódott földpátok utáni alakot mutatnak a korábban feltételezett galeniteredet helyett. Mindezt az üregek táblás alakja és a környező gránitban megjelenő földpáthoz hasonló mérettartománya (lásd fentebb) is alátámasztani látszik. Galenitet és a JANTSKY (1957) által „a hegy alatti tömbökben” leírt másodlagos réz-ásványokat nem figyeltünk meg (a fedő talajban és a környező fiatal homokban sem), de hintett piritet és kalkopiritet, valamint feltehetően egykori szulfidásványok utáni átalakulási termék goethitet igen.

A kvarctelér elhelyezkedése alapján beilleszthető a BENKÓ et al. (2014) által azonosított, triász időszerű, regionális fluidáramlási eseményhez kötődően létrejött telérek sorába. Bár ásványparagenezise – a vizsgált kibukkanásban – azoknál kevesebb tagot számlál, a korábbi szakirodalom (JANTSKY 1957) legalábbis a fluorit jelenlétét itt is leírja (mely ásvány jelenlétét egy esetben mintáinkban is feltételeztük). Ezt a rokonságot megerősíteni látszik továbbá a pirit nyomelem-tartalma, bár megjegyzendő, hogy az alacsony mérés-szám miatt az eredmény csak tájékoztató jellegűnek fogadható el. A pátkai fluorit telér piritjének mindenesetre az Ősi-hegyen mért pirithez hasonló az As (akár 0,121 t%), Pb (átlag 0,171 t%) tartalma, illetve Co:Ni aránya (átlag 11), és általában nincs EPMA-val kimutatható mennyiségű Au-tartalma (saját, eddig publikálatlan EPMA-adatbázis alapján, mely méréseket ugyanazon a műszeren végeztünk). A kap-

csolat egyértelműbb bizonyításához a kvarc általunk is dokumentált fluidzárványai nyújthatnak segítséget, melyek petrográfiai jellemzői a BENKÓ (2008) és a BENKÓ et al. (2014) által a hegység nyugati felének más, hasonló paragenezisű telérjeiben megfigyeltekkel mutatnak hasonlóságot. Bár jelen munka célja nem volt ennek részletes vizsgálata, BENKÓ (2008) doktori kutatása során vizsgált e telérből is mintát, és megállapította, hogy a kvarc fluidzárványainak homogenizációs hőmérséklete 70–140 °C közötti, a zárványfluidum CaCl_2 dominanciájú és ~15–20% CaCl_2 ekv. s% sótartalmú (n=14). Ezek az eredmények egyértelmű hasonlóságot mutatnak a triász időszerű, regionális fluidáramlási esemény oldatának jellemzőivel (BENKÓ et al. 2014, MOLNÁR et al. 2021), és eltérnek a hegységet ért többi hidrotermás esemény fluidjellemtől (BENKÓ et al. 2014, MOLNÁR 1997). A képződési folyamat pontosabb modellezéséhez további, részletes fluidzárvány-vizsgálatok volnának szükségesek.

A telért létrehozó hidrotermás folyamat kiterjedt voltát jól mutatja a befogadó kőzetben dokumentált zónás kőzet-átalakulás, mely részben a létrejött talaj összetételében is megmutatkozik. Míg a telérhez közel a kvarc dominanciája, valamint az „üde” gránitokhoz képest kevesebb káliföldpát és jelentősen kevesebb plagioklász a jellemző, addig távolodva a kvarc mennyiségének csökkenése, illetve a földpátok mennyiségének növekedése dokumentálható. Szericitesezés és illitesedés is a telér átalakulási udvarához kötődően jelenik meg, legintenzívebben a kovásodással már kevésbé érintett, de a földpátok hiányával/átalakulásával jellemzett zónában. Mindez fizikai-kémiai paraméterek fluid-kőzet kölcsönhatás során bekövetkező változásának lehet köszönhető. Míg a telérben és közvetlen szomszédságában valamelyest savas környezetet feltételezhetünk (lásd kvarc, kaolinit és Ti-oxid ásványok jelenléte, illetve a plagioklász hiánya), addig attól távolodva puffertelődhet a rendszer, és már semlegeshez közeli (pH 5,5–7) környezetben szericit, illit válhatott a jellemző hidrotermás ásvánnyá (HEDENQUIST et al. 2000, FULIGNATI 2020). Ezt az elméletet támasztja alá a földpátok megfigyelt zonációja is; mivel a káliföldpát valamelyest stabilabb savasabb környezetben (cf. YUAN et al. 2019 és a benne található hivatkozások), így a telér gránit-klasztjaiban megőrződhetett, míg a plagioklász ott már teljesen átalakult. Ahogy azonban távolodunk a telértől, a mellékkőzetben a pH semlegesítődésével már plagioklász is megőrződhetett, illetve egyre inkább növekszik mindkét földpát mennyisége, bár a plagioklász – annak rosszabb ellenállóképessége miatt – jellemzően átalakultabb (cf. YUAN et al. 2019 és a benne található hivatkozások). A fluorit hiánya/alárendelt megjelenése a (gyengén) savas pH tartósabb fennállására enged következtetni, illetve feltételezi az oldat magasabb oldott sótartalmát (Cl^-) (RICHARDSON & HOLLAND 1979). Utóbbi a BENKÓ (2008) által mért fluidzárványadatok is alátámasztják. A rekonstruált körülmények ideálisak lehetnek egyes fémek (pl. Cu, Zn, Pb) hidrotermás oldatban történő szállításához (FONTBOTÉ et al. 2017), ugyanakkor a nagy mennyiségben való kiváláshoz szükséges hirtelen paraméterváltozás ezen a lelőhelyen valószínűleg nem következett be. Ezért csak hintetten találunk ércásványokat, és így

összességében az ásványegyüttes a hegység más pontjain ismert, triász telérekhez képest szegényebb.

Ásványos összetétele alapján a homok jól reprezentálja a területen megjelenő kőzettípusokat, hiszen nemcsak a gránit, hanem a kvarctelér anyaga is megtalálható benne (pl. többféle, akár limonitbevonatú kvarc). A telér fölött, illetve attól valamelyest távolabb létrejött, közethatású talajból leválogatott kőzettöredékek ásványos összetétele, valamint az előbb említett fedő homok vizsgálati eredményei alátámasztják a telérhez kapcsolódó, intenzív hidrotermás kőzetátalakulást, ugyanakkor egyik sem tartalmaz jelentős mennyiségű ércásvány jelenlétére utaló paragenezist. Ez egyrészt alátámasztja azt a feltevésünket, hogy a sejtes megjelenésű változat mélyebben elhelyezkedő példányaiban sem számíthatunk nagy mennyiségű galenitre (tehát nem az oldódott ki belőle), másrészt igazolja MIKÓ (1964) következtetését a telér gazdasági vonatkozásairól.

A tömör, mikrobrecsásodott gránitot tartalmazó kvarctelérben előfordult továbbá maradék térkitöltő monacit és azzal szoros kapcsolatban álló, ám az üregekben akár már benn-nőtt, sajátalakú formában megjelenő keralit is. Ezek az ásványok és köztük számos kémiai összetételű köztes tag a gránit jellemző akcesszórius elegyrészei (pl. BUDA & NAGY 1995), így megjelenésük a mikrobrecsásodott gránitot tartalmazó telérben többnyire magyarázható a gránithoz kötődő eredettel. A keralit olykor sajátalakú formája, valamint a goyazit egyértelműen kizorító jellege ugyanakkor magyarázatra szorul. A monacit-keralit együttes megjelenéséről SZAKÁLL et al. (2014) is írnak, ám nem az általunk megfigyelt kőzetekben és szöveti jellemzőkkel. Ők munkájukban a granitoidok közül az aplitra és a pegmatitra koncentráltak, és azokban dokumentálták a fenti ásványok megjelenését. Így bár teljeskörű kémiai elemzéseik a pátkai és pákozdi fluoritos telérekben is rendelkezésre állnak, szöveti-ásványtani jellemzést azon minták ritkaelem-dúsulást hordozó ásványairól nem dokumentáltak a fenti publikációban. Megfigyeléseink alapján felvethető, hogy a teléreket létrehozó, gránitot is átjáró fluidum foszforban és nagy térerejű elemekben (ritkafeöldfémek, U, Th) is dúsult, így ez az esemény lehet felelős a sajátalakú, illetve kizorító szövettel megjelenő foszfátok (pl. egyes keralit- és goyazitszemcsék) megjelenéséért (BROSKA & PETRIK 2008). Ezt a feltételezést MOLNÁR (2019) eredményei is alátámasztják, hiszen ő a – fentiek alapján az ősi-hegyivel rokonítható – pákozdi fluoritban ritkafeöldfém dúsulást (maximum 499 ppm teljes ritkafeöldfém-tartalom) dokumentált. Így tehát a fent vázolt feltevés magyarázhatná a SZAKÁLL et al. (2014) által megfigyelt, a fluoritos telérekben olykor a granitoidokat is meghaladó ritkaelem-tartalmat is.

Következtetések

A pákozdi Ősi-hegy gerincén megjelenő, ÉK–DNY csapásirányú, 0,5–0,8 m szélességű, kb. 100 m hosszán követhető kvarctelér és környezetének komplex geológiai vizsgálata a térségben egyedülálló, eredményei jól beilleszthetők a Velencei-hegységet ért hidrotermás folyamatok modern szemléletű vizsgálatainak sorába (pl. MOLNÁR 1997, 2004; BENKÓ et al. 2012, 2014; KOVÁCS et al. 2019). Munkánk egyrészt hiánypótló alapvető dokumentáció, de a telér képződési körülményeiről, jellemzőiről és földtani folyamathoz kötéséről is értekezünk. Eredményeink alapján feltételezzük, hogy az ősi-hegyi kvarctelér keletkezése a triász időszaki, regionális fluidáramlási eseményhez köthető, mely a környező hasonló anyaoldal-paraméterekkel jellemezhető kvarc (\pm fluorit, galenit, szfalerit, fakóérc...) teléreket is létrehozta. A savas pH-jú, magas oldottanyag-tartalmú fluidum ideális lehetett bizonyos fémek oldatban való szállításához. Bár a vizsgált ősi-hegyi előfordulás ásványparagenezise szegényebb a rokonítható velencei-hegységi telérekhez képest, erre magyarázat a hidrotermás fluidum lokális jellemzőiben keresendő. A gránitot is átjáró, regionális fluidáramlási esemény során az oldat akár foszforban és nagy térerejű nyomelemekben is dúsulhatott, melynek eredményeként a telérekben sajátalakú, illetve kizorító szövettel megjelenő foszfátásványok is előfordulnak.

Köszönetnyilvánítás

Ezt a hallgatóinkkal közösen írt szócikket SZABÓ Csabának ajánljuk, tisztelegve több évtizedes munkássága előtt, és megköszönve, hogy generációkat indított el a kutatói pályán, és mutatott követendő példát valamennyiünknek.

A szerzők hálásak a két bíráló, BENKÓ Zsolt és NÉMETH Norbert konstruktív javaslataiért, melyek nagyban hozzájárultak az eredeti kézirat végső formába öntéséhez.

Az ELTE TTK Földrajz- és Földtudományi Intézetét köszönet illeti a laboratóriumok használatának lehetőségéért. Köszönet a SEM-EDS mérések kivitelezésében nyújtott segítségért BIRÓ Máténak, az XRD-mérések kivitelezéséért KERESZTES Máriaának és a mikromineralógiai konzultációért SÁGI Tamásnak. B. KISS G. munkáját az MTA Bolyai János Kutatási Ösztöndíj és a Kulturális és Innovációs Minisztérium ÚNKP-23-5 kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból finanszírozott szakmai támogatása (Bolyai + ösztöndíj) támogatta.

Irodalom – References

- BENKÓ, Zs. 2008: Reconstruction of multi-phase fluid flow history and tectonic evolution in a variscan granite intrusion (Velence Mts., Hungary). – *Doktori értekezés*, Eötvös Loránd Tudományegyetem, Budapest.
- BENKÓ Zs. 2023: Velencei Gránit Komplexum. – In: BABINSZKI E., PIROS O., BUDAI T., GYALOG L., HALÁSZ A., KIRÁLY E., KOROKNAI B., LUKÁCS R. & M. TÓTH T. (szerk.): *Magyarország litosztratigráfiai egységeinek leírása I.* SZTFH, Budapest, 80 p.
- BENKÓ Zs., MOLNÁR F., PÉCSKAY Z., NÉMETH T. & LESPINASSE M. 2012: A paleogén vulkanizmus hidrotermális rendszerének hatása a variszkuszi gránitra a Velencei-hegységben: a sukorói barittelér kora és képződése. – *Földtani Közlöny* **142/1**, 45–58.
- BENKÓ, Zs., MOLNÁR, F., LESPINASSE, M., BILLSTRÖM, K., PÉCSKAI, Z. & NÉMETH, T. 2014: Triassic fluid mobilization and epigenetic lead-zinc sulphide mineralization in the Transdanubian Shear Zone (Pannonian Basin, Hungary). – *Geologica Carpathica* **65/3**, 177–194. <https://doi.org/10.2478/geoca-2014-0012>
- BROSKA, I. & PETRIK, I. 2008: Genesis and stability of accessory phosphates in silicic magmatic rocks: a Western Carpathian case study. – *Mineralogia* **39/1–2**, 53–65. <https://doi.org/10.2478/v10002-008-0004-6>
- BUDA, Gy. & NAGY, G. 1995: Some REE-bearing accessory minerals in two types of Variscan granitoids, Hungary. – *Geologický Zborník – Geologica Carpathica* **46**, 67–78
- FONTOBÉ, L., KOUZMANOV, K., CHIARADIA, M. & POKROVSKI, G. 2017: Sulfide Minerals in Hydrothermal Deposits. – *Elements* **13**, 97–103. <https://doi.org/10.2113/gselements.13.2.97>
- FULIGNATI, P. 2020: Clay minerals in hydrothermal systems. – *Minerals* **10/10**, 919. <https://doi.org/10.3390/min10100919>
- GYALOG L. & HORVÁTH I. (szerk.) 2004: A Velencei-hegység és a Balatonfő földtana. – Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest, 316 p.
- HEDENQUIST, J.W., ARRIBAS, A.R. & GONZALES-URIEN, E. 2000: Exploration for epithermal gold deposits. – In: HAGEMANN, S. G. & BROWN, P. E. (eds.): *Gold in 2000, Reviews in Economic Geology* **13**, 245–277. <https://doi.org/10.5382/Rev.13.07>
- JANTSKY B. 1957: A Velencei-hegység földtana. – *Geologica Hungarica, Series Geologica* **10**, 170 p.
- KOVÁCS, I., NÉMETH, T., B. KISS, G., K. KIS, V., TÓTH, Á. & BENKÓ, Zs. 2019: Rare aluminium phosphates and sulphates (APS) and clay mineral assemblages in silicified hydraulic breccia hosted by a Permian granite (Velence Mts., Hungary) as indicators of a high sulfidation type epithermal system. – *Mineralogy and Petrology* **113/2**, 217–228. <https://doi.org/10.1007/s00710-018-0644-1>
- MIKÓ L. 1964: A velencei-hegységi kutatás újabb földtani eredményei. – *Földtani Közlöny* **94/1**, 66–74.
- MOLNÁR F. 1997: Újabb adatok a Velencei-hegység molibdenitjének genetikájához: ásványtani és folyadékzárvány vizsgálatok a Retezi-lejtakna ércesedésén. – *Földtani Közlöny* **127/1–2**, 1–17.
- MOLNÁR, F. 2004: Characteristics of Variscan and Palaeogene fluid mobilization and ore forming processes in the Velence Mts., Hungary: A comparative fluid inclusion study. – *Acta Mineralogica Petrographica* **45/1**, 55–63.
- MOLNÁR Zs. 2019: Nyersanyagok és indikációik geológiai és ásványtani vizsgálata, különös tekintettel az Észak-Dunántúlon észlelt urán és ritkaföldfém nyomokra. – *Doktori értekezés*, Eötvös Loránd Tudományegyetem, Budapest, 132 p.
- MOLNÁR, Zs., KISS, G. B., MOLNÁR, F., VÁCZI, T., CZUPPON, Gy., DUNKL, I., ZACCARINI, F. & DÓDONY, I. 2021: Epigenetic-hydrothermal fluorite veins in a phosphorite deposit from Balaton Highland (Pannonian Basin, Hungary): Signatures of a regional fluid flow system in an Alpine Triassic platform. – *Minerals* **11/6**, 640, 19 p. <https://doi.org/10.3390/min11060640>
- RICHARDSON, C. K. & HOLLAND, H. D. 1979: The solubility of fluorite in hydrothermal solutions, an experimental study. – *Geochimica et Cosmochimica Acta* **43/8**, 1313–1325. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(79\)90121-2](https://doi.org/10.1016/0016-7037(79)90121-2)
- SZAKÁLL S., GYALOG L., KRISTÁLY F., ZAJZON N. & FEHÉR B. 2014: Ritkaföldfémek a velencei-hegységi granitoidokban és alkáli magmás kőzetekben. – In: SZAKÁLL S. (szerk.): *Ritkaföldfémek magyarországi földtani képződményekben*, Milagrossa Kft., Miskolc, 210 p.
- YUAN, G., CAO, Y., SCHULZ, H.-M., HAO, F., GLUYAS, J., LIU, K., YANG, T., WANG, Y., XI, K. & LI, F. 2019: A review of feldspar alteration and its geological significance in sedimentary basins: From shallow aquifers to deep hydrocarbon reservoirs. – *Earth-Science Reviews* **191**, 114–140. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2019.02.004>

Kézirat beérkezett: 2024. 03. 22.