

# A Tokaji-hegység Sátoraljaújhely-Rudabányácska és Vágáshuta közötti területének nemesfém-dúsulásait létrehozó hidrotermás folyamatok rekonstrukciója

Reconstruction of hydrothermal processes accompanied by precious-metal enrichment in the area between Sátoraljaújhely-Rudabányácska and Vágáshuta, Tokaj Mts., NE-Hungary

MOLNÁR Ferenc<sup>1</sup>

(8 ábrával és 5 táblával)

## Összefoglalás

A Sátoraljaújhely-Rudabányácska és Vágáshuta közötti, középkori nemesfém-bányászattal jellemzett területen ásvány-kőzettani és folyadékzárvány vizsgálatok alapján a hidrotermás folyamatok rekonstrukciója történt meg. Az eredmények arra utalnak, hogy a hidrotermás folyamatok 130–300 °C közötti hőmérsékleten mentek végbe. Ezen belül a magasabb (200–300 °C) hőmérsékletű szakaszban a sanidín kristályainak szericitesedését követően kvarc-adulár-pirit paragenézis képződött a riolituffában. Az amfiboldácit esetében a metasomatikus eredetű, a plagioklászok kiszorításával keletkezett káliföldpátok szericitesedése szintén megfigyelhető volt, de az alacsonyabb (130–180 °C) hőmérsékleten képződött érkitöltésekben az adulár nem fordult elő, és a pirit mellett a hematit is megjelent. A zárványvizsgálatok alapján különböző hőmérsékletű és koncentrációjú hidrotermás oldatok keveredése és felforrása került meghatározásra. A magasabb hőmérsékletű szakaszban az arany feldúsulásához a viszonylag bázikus és redukzív közegben (adulár és pirit stabilitása) végbement, oldatkeveredést kísérő hőmérsékletcsökkenés vezethetett. A 200 °C alatti hidrotermás folyamatok során az oxidációs-redukciós viszonyok lokális változásai szintén okozhatták az arany koncentrációváltozását. Ezen folyamatok a ma felszínen lévő képződmények 200–330 méteres fedettsége idején mentek végbe.

## Abstract

The hydrothermal alteration of rhyolitic tuff and amphibole-dacite (Middle-Upper Miocene) host rocks of the studied area took place in several steps. During the early metasomatic processes the plagioclase crystals of dacite have been replaced by potassium feldspar. Later these replacements and the sanidine of rhyolitic tuff suffered sericite alteration. The opening of the

<sup>1</sup>ELTE Ásványtani Tanszék, 1088 Budapest, Múzeum krt. 4/a.

Fényposta: molnar@ludens.elte.hu

hydrothermal fracture system was accompanied by the precipitation of quartz-adularia-pyrite assemblage in the rhyolitic tuff, but the adularia was absent and the hematite was present in the fracture infillings of dacite.

According to the results of fluid inclusion studies the hydrothermal processes took place between 130 °C and 300 °C. The composition of fluids can be modelled by the NaCl-CaCl<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O-system. The total salinity of solutions varied between 4–7,5 NaCl equiw. wt%. The mixing of fluids with different temperature and salinity and the periodic boiling of hydrothermal solutions were also proved by fluid inclusion studies.

On the basis of the modelling of gold precipitation it was outlined that the temperature drop caused by the fluid-mixing processes could be responsible for the gold enrichment in the high-temperature (200–300 °C) stage of hydrothermal activity (quartz-adularia-pyrite paragenesis). In the late stages the local changes in the oxigene-activity reflected by the contemporaneous presence of hematite and pyrite could also cause some enrichment of gold.

The palaeodepth of hydrothermal processes was about 200–330 metres.

**Key words:** fluid inclusion, hydrothermal processes, precious metals, Miocene, Hungary

## Bevezetés

A Tokaji-hegység DK-i peremén, Sátoraljújhely-Rudabányácska és Vágáshuta között egy ÉNy-DK-i irányban elnyúló ércindikációs zóna húzódik. Az Au, Ag, As, Sb elemekre nézve geokémiai anomáliákkal rendelkező területen (HARTIKAINEN et al., 1992) a telkibányaihoz hasonló bányaműveletek nyomai találhatóak. A hasonlóság nem véletlen, mivel Rudabányácska a XIV. században a telkibányai kamarához tartozó település volt (HOFFER, 1928).

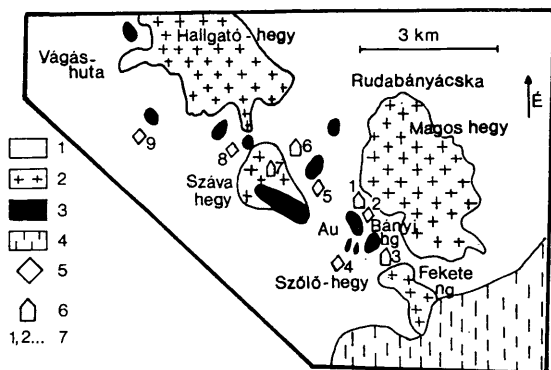
A rudabányácskai horpabányászat központi területe a Bányi-hegy volt (1. ábra). Az ércdúsulás mélyebb zónáit egy altárróval is harántolták. A Száva-hegy ÉK-i oldalában, a Tarda-völgy szintjéről néhány további behatoló táro maradványa is felismerhető. A kapcsolódó aknasorozatok alapján ezek hossza nem haladta meg az 50–100 métert. További horpakutatási nyomok a Száva-hegy gerincén is követhetők.

A jelenlegi dolgozat célkitűzése az, hogy a geokémiai anomáliákkal és egykori bányászattal jellemzett terület ércesedését kialakító hidrotermás folyamatok modellezését a különböző ásványok folyadékzárványainak vizsgálati eredményei alapján mutassa be.

## A terület ércföldtani ismeretessége

A Sátoraljújhely-Rudabányácska és Vágáshuta közötti terület beható vizsgálatával elsőként SZÁDECZKY (1897) foglalkozott. Részletes terepi és mikroszkópos megfigyelései alapján rögzítette, hogy az andezit, a riolit és ezek tufái bádeni és szarmata korúak. A terület földtani kutatásának ezen kezdeti eredményeit követően HOFFER 1928-ban közölte Rudabányácska egykori bányászatára vonatkozó összefoglalását.

A kérdéses zóna ércföldtani kutatása a második világháborút követően élénkült fel. PANTÓ és GAGYI PÁLFI (1950) a Bányi-hegy altárrójának újranityásával, és az onnan előkerült minták vizsgálatával bizonyították, hogy az egykori bányászat ténylegesen az arany kitermelését célozta. JASKÓ és MÉHEZ (1951) részletes felvételeik alapján rögzítették, hogy az ércesedést létrehozó hidrotermás működés nyomai a Fekete-hegy és a Száva-hegy vonalában, egy ÉNy-DK-i irányú zónában nyomozhatóak (1. ábra).



1. ábra: A Sátoraljűhely-Rudabányáscka és Vágáshuta közötti terület földtani vázlatja (VARGÁNÉ MÁTHÉ, 1961 és GYARMATI et al., 1976 nyomán) a mintavételi pontokkal. 1. riolituffa (bádeni), 2. piroxén-amfiboldácit (bádeni), 3. pszeudotrachit (kálimetaszomatizált kőzet), 4. áthalmazott riolituffa, 5. kőzetalkotó kvarc riolituffából, 6. hidrotermás kvarc, 7. a mintavételi pont sorszáma

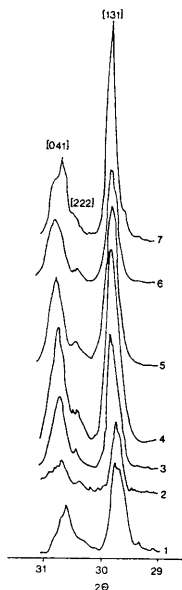
Fig. 1. Geology of the area (after VARGA-MÁTHÉ, 1961, and GYARMATI et al., 1976). 1. rhyolite tuff (Badenian), 2. pyroxene-amphibole dacite (Badenian), 3. pseudotrachyte (K-metasomatized), 4. redeposited rhyolite tuff, 5. rock-forming quartz from rhyolite tuff, 6. hydrothermal quartz, 7. sampling point.

Érctelérek előfordulását azonban nem észlelték, csupán a bádeni korú riolituffát szelő limonitosodott piritzsinórokat azonosítottak.

A rudabányásckai területen további kutatásokat végzett GÖBEL (1956). Munkálatai során ismerte fel a Bányi-hegy hidrotermásan átalakult (kovásodott és piritesedett) riolituffájában jelentkező kálium-dúsulásokat. A hidrotermás zóna tágabb környezetében, a Sátor-hegyek területén propilitisedést is megfigyelt. Kutatásai során megállapítást nyert, hogy a bányaművelet által feltárt 1–1,5 méter vastag, telérszerű, limonitos zónák ezüst- és réz-dúsulásokkal rendelkeznek. Emellett a Bányi-hegy altárójának agyagásványos zsinórjaiban kiugró Au-koncentrációk jelenlétét is rögzítette.

A terület kőzeteiben jelentkező kálium-dúsulásokat VARGÁNÉ MÁTHÉ (1961) vizsgálta részletesen. Megállapításai szerint a metasztatikus-hidrotermás folyamatok során az andezites összetételű kőzetekben a plagioklászokat kiszorítva szanidin, míg a nagyobb porozitású riolituffa alapanyagában adulár képződött. A kőzetek káliumtartalmának ezen folyamatokhoz kapcsolódó megnövekedése egy ÉNy-DK-i irányú, több kilométer hosszú zónában került kimutatásra (1. ábra).

A terület ércföldtani ismerettségéhez további értékes adatokat szolgáltatott KULCSÁR (1970) kutatásai. A korábbi eredményeket kiegészítve megállapította, hogy a bányaművelet agyagásványos erézeiben a termésarany is megjelenik. Ez azonban másodlagos keletkezésű; az elsődleges arany-dúsulás a kvarc-adulár-pirit paragenézishez kapcsolható. A Fekete-hegy körzetében Zn-, Ag-, és Pb-anomáliákat is meghatározott. A Száva-hegytől ÉK-re lemélyült Sp-12. sz. fúrás anyagában polimetallikus (pirit, szfalerit, galenit) ércnyomokat is leírt.



2. ábra: Kálicőpátok pordiffrakciós felvételeinek részlete.

1. Wairakei, Új-Zéland: adulár (STEINER, 1970)

2–3. Telkibánya: adulár

4–5. Telkibánya: plagioklásztt kiszorító kálicőpát

6. Sátoraljaújhely-Rudabányácska: adulár

7. Sátoraljaújhely-Rudabányácska: sanidin riolituffból. Az {131} reflexió hiánya monoklin szerkezetre utal.  
Fig. 2. Powder diffraction records of potash feldspars.

1. Wairakei, New Zealand: adularia (STEINER, 1970).

2–3. Telkibánya: adularia.

4–5. Telkibánya: potash feldspar replacing plagioclase. 6. Sátoraljaújhely-Rudabányácska: adularia.

7. Sátoraljaújhely-Rudabányácska: sanidine from rhyolite tuff. The missing {131} reflection indicates monoclinic structure.

GYARMATI és PENTELENYI (1973), továbbá GYARMATI (1977) közzétett vizsgálatai bizonyították, hogy a Hallgató-hegy, a Száva-hegy és a Magas-hegy korábban andezitnek minősített kőzetei geokémiailag dácitos összetételűek. Az amfiboldácit-testek a bádeni korú riolituffba kis intrúziók gyanánt nyomultak be.

A kérdéses területen és tágabb környezetének kőzetein végzett K/Ar kor meghatározások alapján (PÉCSKAY et al., 1986) a riolituffa felhalmozódása több fázisban, 14,6–11,8 millió évvel ezelőtt ment végbe (felső bádeni–alsó szarmata). A dácitos képződmények kora 13,2–11 millió évnél adódott.

## Vizsgálati módszerek

A Sátoraljaiújhely–Rudabányácska és Vágáshuta közötti zónában végzett terepbejárások során elsősorban a zárványvizsgálatoknak megfelelő (kétoldalán polifrozott, 0,1–1 mm vastag metszeteikben átlátszó) ásványfázisok mintázása történt meg. Az ezen kívánalmakat kielégítő hidrotermás eredetű és kőzetalkotó kvarc közvetlen környezetéből származó, reprezentatív kőzetmintákon polarizációs mikroszkópos, röntgendiffrakciós (Siemens D-500 berendezés, ELTE TTK Ásványtani Tanszék) és elektromikroszondás (AMRAY-típusú berendezés, ELTE TTK Kőzetan-Geokémiai Tanszék) vizsgálatok történtek. A mintavételi pontokat az 1. ábra szemlélteti.

A hidrotermás és kőzetalkotó kvarc folyadékzárványain Chaixmeca-típusú (POTY et al., 1976) fűthető-hűthető mikroszkópi feltét (ELTE TTK Ásványtani Tanszék) felhasználásával fázisátmeneti jelenségek hőmérsékletének meghatározása történt meg. Ezen vizsgálatok alapján a következő paraméterek határozhatók meg (ERMAKOV és DOLGOV, 1979; ROEDDER, 1984; SHEPHERD et al., 1985):

— homogenizációs hőmérséklet. Az adott földtani környezetben ezen adatok a hidrotermás folyamatok egykori hőmérsékletére utalnak.

— eutektikus/kotektikus hőmérséklet. A megfagyasztott zárványfluidumban megfigyelhető alkáli/alkáliföldfém-klorid-hidrát olvadáspontja a hidrotermás oldatok összetételének modellezésére használható fel.

— fagyáspontcsökkenés. Ezen adatok alapján a folyadékzárványokban megőrzött hidrotermás oldatok össz-koncentrációja számítható, NaCl ekvivalens súly %-ban kifejezve (POTTER et al., 1978).

A meghatározott eutektikus/kotektikus adatoknak a homogenizációs hőmérséklet függvényében tapasztalt eloszlása alapján a fluidumok összetételének „időbeli” (a hidrotermás rendszer hűlése során tapasztalható) változása körvonalazható. A koncentráció adatok eloszlása a homogenizációs hőmérséklet függvényében oldatkeveredési és felforrási folyamatok nyomonkövetésére alkalmas.

## Eredmények

### *A mikrotermometriai vizsgálatokra alkalmas ásványfázisok közvetlen környezetének metasomatikus-hidrotermás képződményei*

A korábbi kutatások eredményei alapján a hidrotermás folyamatokat bevezető metasomatózis a Száva-hegy tömegét alkotó amfiboldácit kálium-tartalmának megnövekedését okozta. Az üde és a kálimeszomatózis következtében trachitosodott kőzet (pszeudotrachit) között VARGÁNÉ MÁTHÉ (1961) a következő átmenetet mutatta ki:

1. Intenzív kőzetátalakulás esetén a plagioklászokat kiszorító káliföldpát (szanidin) mellett a színes elegyrészek lebontása révén képződött hematit.

2. Kisebb mérvű kőzetátalakulás esetén a plagioklászokat csak részben kiszorító káliföldpát mellett a színes elegyrészek helyén képződött klorit.

A nagyobb porozitású riolituffában a káliumdúsulás az alapanyagban megjelenő adularához kötődik.

	1	2
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.15	18.58
SiO <sub>2</sub>	65.58	65.36
K <sub>2</sub> O	16.20	16.02
Σ	99.93	99.96

1. táblázat: A Fekete-hegy riolituffját átítató mozaikkristályos kvarchalmazokban előforduló, pszeudoromboédere megjelenésű adular elektronmikroszondás elemzési adatai (AMRAY-típusú berendezés, ELTE TTK Közvetlen-Geokémiai Tanszék)

Table 1. Electron microprobe analysis of pseudorhomboidal adularia, forming mosaic crystalline groups in the rhyolite tuff of Fekete-hegy (AMRAY instrument, Department of Petrology and Geochemistry, Eötvös University).

Minta	Képződemény	Meghatározott ásványfázisok
1	érkitöltés	kvarc, káli földpát (szanidín), (illit/muskovit)
5	riolituffa	kvarc, káli földpát (szanidín), plagioklász (albit), (illit/muskovit)
7	dácit	kvarc, káli földpát (szanidín), hematit, (illit/muskovit)
8	riolituffa	kvarc, káli földpát (szanidín), plagioklász (albit), (illit/muskovit)
9	riolituffa	kvarc, káli földpát (szanidín), plagioklász (albit), montmorillonit, (illit/muskovit)

2. táblázat: Röntgendiffrakciós vizsgálatok alapján meghatározott ásványfázisok a vizsgált terület reprezentatív mintáiban (Siemens D-500 típusú berendezés, ELTE TTK Ásványtani Tanszék). A mintavételi helyeket ld. az 1. ábrán.

Table 2. X-ray mineral phases in selected samples (Siemens D-500 instrument, Department of Mineralogy, Eötvös University).

Ezen korábbi eredmények az újabb megfigyelések alapján néhány további adattal egészíthetők ki. Az amfiboldácit intenzíven kovásodott zónáiban a színes elegyrészek helyét is mozaikkristályos kvarc tölti ki. Az alapanyagot átítató, valamint a kőzet repedéseit kitöltő kvarc gyakran társul hematittal. A durvakristályos telérkvarcban azonban a hematit mellett pirit is megjelenik. A káli metasomatizált kőzet káli földpátjai szericitesedtek, míg az alapanyag plagioklászlécei üdék. Az esetenként még előforduló biotit erősen kifakult.

A riolituffában a kovásodás az alapanyag mozaikkristályos átítatódásán kívül a kőzetalkotó kvarc kristályain megfigyelhető ránövési szegélyek formájában, sőt a Bányi-hegyen és a Fekete-hegyen a kőzet üregeiben fennőtt idiomorf kvarckristályok megjelenésében is megnyilvánul. A ránövési szegélyekben és a mozaikkristályos átítató-

dásokban, továbbá a Bányi-hegyen a kőzet üregeiben fennőtt, pszeudoromboéderes megjelenésű kristályokként fordul elő az adalár.

Az adalár a röntgendiffrakciós felvételek alapján a mellékkőzet szanidinjéhez, a Telkibányán előforduló, plagioklászokat kiszorító és a kőzet üregeiben fennőtt, továbbá a wairakei (Új-Zéland) geotermális mezőn előforduló kálicföldpátokhoz hasonlóan monoklin szerkezetű (2. ábra). Az adalár az alkalmazott elektronmikroszkopos kimutatási határain belül tiszta kálicföldpát (1. táblázat). A riolituffában előforduló szanidin rendszerint szericitesedett, míg az adalár üde megjelenésű. Ez arra utal, hogy az adalár a szericitesedés után képződött.

A riolituffa anyagából készült röntgendiffrakciós felvételeken, a földpátok szericitesedésének megfelelően, 10 Å-ös bázisreflexiójú rétegszilikát (illit/muskovit) jelenléte rendszeresen kimutatható volt. Emellett csupán a vágáshutai Bányabérc riolituffájában jelentkezett montmorillonit (2. táblázat).

A Bányi-hegy riolituffájában barna színű, kemény anyaggal kitöltött, 1–2 cm vastag erezések is előfordulnak. Ezek mentén a kőzet színe a pirit utáni limonit pszeudomorfózák jelenléte miatt sárgásbarna. Az érkitöltés porszerű alpanyagába ágyazottan csupán egy-egy kvarc és földpát töredéke figyelhető meg mikroszkópban. A röntgendiffrakciós vizsgálatok is csupán kőzetalkotó ásványok jelenlétét mutatta ki a kérdéses érkitöltésekben (2. táblázat). Ezek alapján az erezéseket kitöltő anyag kőzetliszt. Az érkitöltések mentén, a repedések falával párhuzamosan, elnyúlt csepp-alakú, aprószemcsés kvarcanyaggal kitöltött felhasadozások láthatók. A kőzetliszt érkitöltésként való megjelenése, a felhasadozási nyomok együttesen hidrotermás breccsásodásra utalnak (SILLITOE, 1985).

#### *A zárványvizsgálatok eredményei*

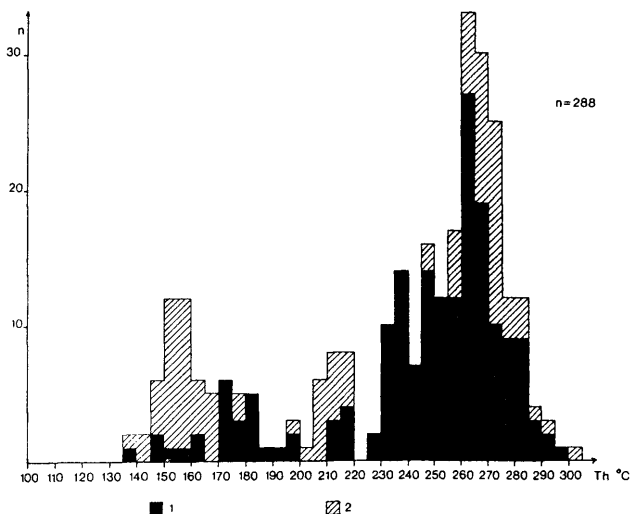
A Rudabányácska és Vágáshuta közötti zónában a folyadékzárvány-vizsgálatok céljára a Bányi-hegy és a Fekete-hegy riolituffájának üregeiben fennőtt idiomorf kvarckristályok, a Száva-hegy átalakult amfiboldácitjában előforduló ér- és telérkitöltő kvarcaggregátumok kristályai, továbbá a területen széleskörűen elterjedt riolituffa kőzetalkotó kvarckristályai bizonyultak alkalmasnak (1. ábra).

A hidrotermás eredetű kvarckristályokban csak folyadékfázist, illetve folyadék és gázfázist együttesen tartalmazó mikroüregek figyelhetők meg. Ez utóbbi, kétfázisú zárványtípusban szobahőmérsékleten a folyadékfázis térfogata többnyire meghaladja a folyadék telített gőzét tartalmazó gázfázis térfogatát. A mikrotermometriai vizsgálatok ezen primer és pszeudoszekunder genetikai típusú (ROEDDER, 1984) kétfázisú zárványokon történtek. A Fekete-hegy idiomorf kvarckristályai azonban uralkodóan gázfázist tartalmazó zárványokat is sikerült azonosítani. Ezek jelenléte a kvarc anyaidatának gőztelített (felforr) állapotára utal (ROEDDER, 1984).

A kőzetalkotó kvarc folyadék- és gázfázist tartalmazó zárványai egyrészt az ásvány behegedt repedéseiben, másrészt a primer üvegzárványok hidrotermás folyamatokhoz kapcsolódó kioldódásával képződött üregekben helyezkednek el. Ez utóbbi, sajátos genetikájú, szekunder zárványtípus részletes jellemzése és hidrotermás folyamatok rekonstrukciójában történő felhasználhatósága a korábbi vizsgálatok során (MOLNÁR, 1988) már bizonyításra került.

A hidrotermás és kőzetalkotó kvarc kétfázisú zárványain meghatározott homogenizációs hőmérsékleti értékek eloszlását a 3. ábra szemlélteti. Az eloszlási diagram alapján

kitűnik, hogy a vizsgált terület hidrotermás folyamatai két, határozottan elkülönülő hőmérsékleti intervallumban mentek végbe. A nagyobb, 200 és 300 °C közötti hőmérsékletű fluidumokat az idiomorf megjelenésű hidrotermás kvarc és a kőzetalkotó kvarc folyadékzárványai őrizték meg. A 130 és 180 °C közötti hőmérsékleten befogott folyadékzárványok részben az ér- és repedéskitöltő kvarcaggregátumokban, részben a kőzetalkotó kvarc kristályaiban fordultak elő.



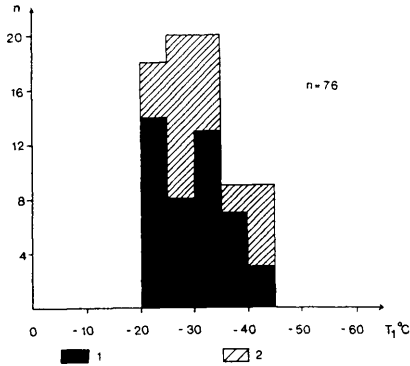
3. ábra: A vizsgált terület kőzetalkotó (1) és hidrotermás (2) kvarckristályaiban előforduló folyadékzárványok homogenizációs hőmérsékleteinek ( $T_h$ ) eloszlása.

Fig. 3. Distribution of homogenization temperatures ( $T_h$ ) of fluid inclusions in rock-forming (1) and hydrothermal (2) quartz crystals.

A különböző ásványfázisok folyadékzárványainak eutektikus/kotektikus hőmérsékleti értékeinek és a fagyáspontcsökkenés alapján számított koncentráció adatoknak eloszlása egymaximumos jellegű (4. és 5. ábra). Az eutektikus/kotektikus adatok alapján a zárványokban megőrzött hidrotermás oldatok összetétele a NaCl–CaCl<sub>2</sub>–H<sub>2</sub>O terner rendszerrel modellezhető (SHEPHERD et al., 1985). A fluidumok össz-szalinitása uralkodóan 4–7,5 NaCl ekvivalens súly % közötti volt.

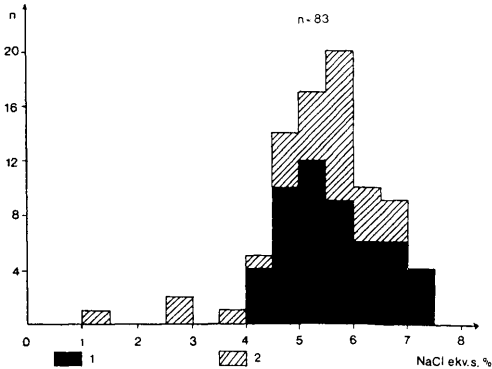
Az eutektikus/kotektikus hőmérsékleti adatoknak a homogenizációs hőmérsékletek függvényében tapasztalt eloszlása (6. ábra) összetett fluidumfejlődésre utal. A hidrotermás folyamatok korai szakaszában (250–300 °C) befogott folyadékzárványok eutektikus/kotektikus adatai a csökkenő homogenizációs hőmérséklettel párhuzamosan csökkennek. Ez a változási tendencia a kloridos-típusú hidrotermás oldatok Ca<sup>2+</sup> (alkáli





4. ábra: A vizsgált terület kőzetalkotó (1) és hidrotermás (2) kvarckristályaiban előforduló folyadékzárványok eutektikus/kotektikus hőmérsékleteinek ( $T_1$ ) eloszlása.

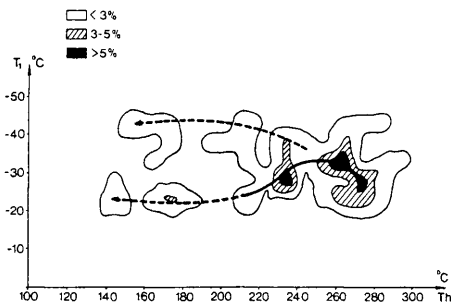
Fig. 4. Distribution of eutectic/cotectic temperatures ( $T_1$ ) of fluid inclusions in rock-forming (1) and hydrothermal (2) quartz crystals.



5. ábra: A vizsgált terület kőzetalkotó (1) és hidrotermás (2) kvarckristályaiban előforduló folyadékzárványok koncentráció ( $c$ ) adatainak eloszlása.

Fig. 5. Distribution of concentration values ( $c$ ) of fluid inclusions in rock-forming (1) and hydrothermal (2) quartz crystals.

földfém)-ionokban történt dúsulására utal (a Na/Ca arány csökkent; HAYNES, 1985). 250 °C-nál kisebb hőmérsékleten a hidrotermás fluidumok differenciálódása ment végbe. Az oldatok egy része a hőmérséklet csökkenésével párhuzamosan tovább dúsult  $\text{Ca}^{2+}$  (alkáli-földfém)-ionokban, míg másik részük ezen ionokban elszegényedett.



6. ábra: A folyadékzárványok eutektikus/kotektikus hőmérsékleti értékeinek ( $T_e$ ) eloszlási gyakorisága a homogenizációs hőmérsékletek ( $T_h$ ) függvényében.

Fig. 6. Distribution frequency of eutectic/cotectic temperatures ( $T_e$ ) of fluid inclusions as a function of homogenization temperature ( $T_h$ ).

A fluidumok koncentráció értékeinek eloszlása a hőmérséklet függvényében (7. ábra) szintén a hidrotermás oldatok differenciálódását tükrözi. Általános a hőmérséklet csökkenésével párhuzamos koncentráció csökkenés. Ez a nagyobb hőmérsékletű és koncentrációjú hidrotermás fluidumoknak a kisebb hőmérsékletű és hígabb oldatokkal (a rendszer peremi zónáiból betörő meteorikus eredetű vízzel?) történő keveredésére utal. Ezen általános változási irányra szuperponálódik a többszöri felforrásra utaló koncentráció-növekedés.

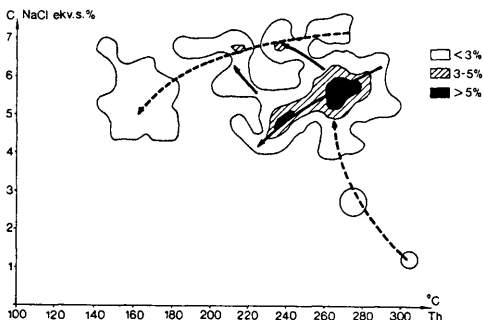
A zárványok fázisviszonyainak megfigyelése alapján a Fekete-hegy idiomorf kvarckristályainak képződése során volt azonosítható a felforrás. A minta adatai a 230–210 °C hőmérsékleti intervallumban tapasztalható koncentráció-növekedést jelölik ki a 7. ábrán (III. felforrási periódus). A koncentráció értékek növekedése azonban 285–260 °C és 260–230 °C közötti hőmérsékleten is utalnak a hidrotermás fluidumok gőzteltett állapotának kialakulására (I. és II. felforrási periódus).

### A vizsgálati eredmények értelmezése

#### A mellékközet-fluidum kölcsönhatás modellezése

A vizsgálati eredmények alapján kitűnik, hogy a hidrotermás tevékenység különböző hőmérsékletű szakaszaiban befogott folyadékzárványok összetétele a  $\text{Ca}^{2+}$  (alkáliföldfém)-ion tartalom tekintetében változékonyságot mutat. A Tokaji-hegység DK-i részén a bádeni korú üde riolitufa CaO-tartalma 0,82–3,12% közötti. Ezzel szemben a

Rudabányáscka és Vágáshuta közötti zónában a hidrotermás hatások következtében átalakult riolittufa CaO-tartalma kisebb, 0,09–0,92% közötti (GÖBEL, 1956; GYARMATI és PENTELENYI, 1973). Ezek alapján a 250 °C-nál magasabb hőmérsékletű hidrotermás oldatoknak a folyadékzárvány vizsgálatok alapján azonosított  $\text{Ca}^{2+}$  (alkáliföldfém)-ion tartalmának megnövekedése a riolittufa elbontása során fellépő Ca-mobilizációt tükrözheti.



7. ábra: A folyadékzárványok koncentráció értékeinek (c) eloszlási gyakorisága a homogenizációs hőmérsékletek ( $T_h$ ) függvényében.

Fig. 7. Distribution frequency of concentration values (c) of fluid inclusions as a function of homogenization temperature ( $T_h$ ).

A kisebb hőmérsékleten végbement, a kation-összetételben (Na/Ca arány változásában) tapasztalt oldatdifferenciáció a zárványtartalmú ásványfázisok mellékközetek eltérő jellegeire vezethető vissza. A riolittufából származó kőzetalkotó kvarc esetében az alacsony hőmérsékleten befogott folyadékzárványok  $\text{Ca}^{2+}$  (alkáliföldfém)-ionokban elszegényedtek, feltehetően azért, mert a magasabb hőmérsékletű fluidumok a kőzet Ca-tartalmát már mobilizálták. Ezzel szemben az amfiboldácitban húzóó erezéseket, teléreket kitöltő, alacsony hőmérsékleten képződött tömeges kvarc zárvényaiban erőteljes  $\text{Ca}^{2+}$  (alkáliföldfém)-ion dúsulás tapasztalható. A dácitnak a riolittufánál nagyobb, 4,15–7,96% CaO-tartalma az erősen lebontott (kálimetaszomatizált) változatában 0,2–1,01%-ra csökkent (GYARMATI és PENTELENYI, 1973). A dácittal reakcióba lépő hidrotermás fluidumok a riolittufához képest Ca-ban jelentősebben dúsulhattak, és ezen oldatok őrződtek meg az ér- és repedéskitöltő kvarc zárvényaiban.

A hidrotermás folyamatok különböző szakaszaiban befogott folyadékzárványokat tartalmazó kvarcváltozatok közvetlen környezetének metasztatikus-hidrotermás eredetű ásványparagenezisei is egymástól eltérőek (3. táblázat). A riolittufából származó minták környezetében kvarc-adulár-kalcisillám (szericit)-pirit(-montmorillonit) ásványegyüttes azonosítható. Az adulár-tartalmú paragenezisek esetében a folyadékzárványok homogenizációs adatai alapján a hidrotermás folyamatok 200 °C feletti hőmérséklete rögzíthető. A dácittesten belül azonban csak 200 °C alatt képződött ér- és telérkitöltő

Minta	Ásvány	Th °C	Ásványparagenezis (+ kvarc)
1	A	250-290	adulár - szericit(*) - pirit
2	B	230-270	adulár - szericit(*) - pirit
3	A	200-220	adulár - szericit(*)
5	B	140-190	szericit (*)
		230-280	
6	C	140-180	hematit-pirit
7	C	140-160	hematit-szericit(*)-káli földpát (szanidin)
8	B	230-290	adulár-szericit(*)
9	B	230-270	adulár-szericit(*) - montmorillonit

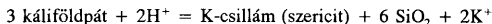
A - idiomorf hidrotermás kvarc, B - közetalkotó kvarc, C - ér- és telér-kitöltő tömeges kvarc; (\*) - a közetben előforduló káli földpát átalakulásával képződött, 10 Å-ös bázisreflexiója rétegszilikát

3. táblázat: A vizsgált ásványfázisok folyadékzárványainak jellemző homogenizációs hőmérsékletei ( $T_h$ ) és környezetük metasztatikus-hidrotermás ásványparagenezisei.

Table 3. Characteristic homogenization temperatures ( $T_h$ ) of fluid inclusions and the surrounding metasomatic-hydrothermal parageneses. A. euhedral, hydrothermal quartz, B. rock-forming quartz, C. massive vein quartz. (\*) layer silicate with 10 Å base reflection, altered from potash feldspar.

kvarckiválások azonosíthatók, melyekben adulár nem fordul elő, és a pirit mellett a hematit is megjelenik.

A riolituffa szanidinjének szericitesedését követő adulár képződés arra utal, hogy a



reakciónak megfelelően a hidrotermás fluidumok pH értéke a szericitesedést követően megnövekedett. A dácittesten belül a plagioklászok káli földpát általi kiszorítását szintén szericitesedés követte, ami a fenti egyenletnek megfelelően a fluidumok pH-értékének csökkenését jelzi.

A megfigyelések alapján a dácit metasztatikus káli földpátosodása és a riolituffában a hidrotermás folyamatokhoz kapcsolódó adulár-képződés nem tekinthető szingenetikus folyamatnak. A metasztatikus káli földpátosodás a riolituffában nem hozott létre új ásványfázist, mivel abban a káli földpát már közetalkotóként jelen volt. Az ezt követő szericitesedés (pH-csökkenés) mind a dácitban, mind a riolituffában kimutatható. A következő szakaszban a hidrotermás repedésrendszerek felnyílásához 200 °C feletti hőmérsékleten az adulár képződése társult. Az adulár kristályosodása a fluidumok pH-értékeinek megnövekedését is jelzi. Ez a szakasz a dácittesten belül nem mutatható ki.

A recens geotermális mezőkön végzett vízanalízisek, továbbá az epitermás ércesedések ásványainak fluidzárvány vizsgálata alapján (KAMILLI és OHMOTO, 1977; HEDENQUIST és HENLEY, 1985; KRUPP és SEWARD, 1987; SANDER és EINAUDI, 1990;

MOLNÁR, 1993) a káliföldpátosodott-sericitesedett mellékkőzettel egyensúlyba került híg oldatokban a  $K^+$ -ion aktivitására 0,01 és 0,001 m közötti értékek jó közelítéssel elfogadhatóak. A fenti reakció egyensúlyi állandójának (K) hőmérsékletfüggése (HELGESON et al., 1978) és a  $K^+$ -ion aktivitásának ( $a_{K^+}$ ) közelítése alapján a fluidumok pH-értéke a következőképpen számítható:

$$pH = 0,5 \log K - \log a_{K^+}$$

Ennek megfelelően a sericitesedett szanidinnel jellemzett kőzetben előforduló üde adalárt tartalmazó paragenézisekben meghatározott átlagos homogenizációs hőmérsékletek ismeretében a hidrotermás fluidumok minimális pH-értékeire a 4. táblázatban feltüntetett adatok számíthatók.

Minta	$T_h$ °C	logK	pH
1	270	7.8	5.9-6.9
2	250	8	6-7
3	216	8.8	6.4-7.4
8	262	7.6	5.8-6.8

4. táblázat: Az adalártartalmú paragenézisekben előforduló kvarc átlagos homogenizációs hőmérsékleteinek ( $T_h$ ) és a káliföldpát sericitesedését leíró reakció (ld. a szövegben) egyensúlyi állandóinak (log K) ismeretében számítható minimális pH értékek ( $a_{K^+} = 0,01$  m és 0,001 m esetén)

Table 4. Minimal pH values calculated from average homogenization temperatures ( $T_h$ ) of quartz in adularia-containing parageneses, and from equilibrium constants (log K) of the reaction describing sericitization of potash feldspar ( $a_{K^+} = 0,01$  m and 0,001 m).

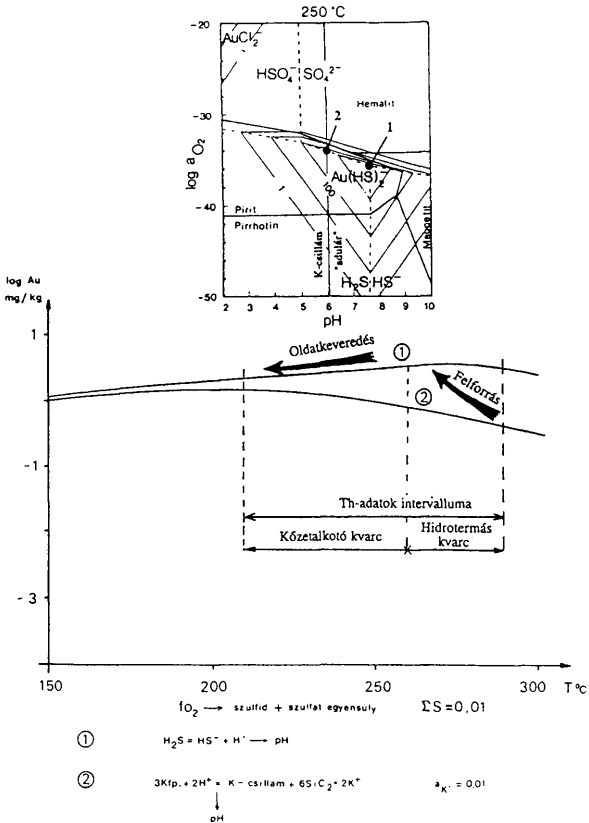
A vizsgált területen rögzített metasomatikus-hidrotermás folyamatok hasonlóak a Telkibányán megfigyeltékhez. Telkibányán is azonosításra került, hogy a metasomatikus káliföldpátosodást sericitesedés követte, majd a hidrotermás repedés-rendszerek felnyílásának korai szakaszaiban (240–270 °C) adalárt képződött (MOLNÁR, 1993).

#### Az Au-dúsulás kialakulásának modellezése

Az ásvány-kőzettani és folyadékzárvány vizsgálatok alapján az egykori bányászat központi területén, a Bányi-hegy körzetében a hidrotermás fluidumok jellemzőinek változása a következőekben foglalható össze:

1. 300 °C körüli hőmérsékleten enyhén savanyú-neutrális kémhatású fluidumok jelenléte (a riolitufa szanidinjének sericitesedése).
2. 200–300 °C között többszöri felforrás során a pH-viszonyok bázisos irányba történő eltolódása (az adalárt stabilitásának megfelelő viszonyok kialakulása).
3. Viszonylag redukzív közeg fennállása (a pirit stabilitása).
4. Intenzív oldatkeveredés (a fluidumok hőmérsékletének csökkenésével párhuzamos hígulás).

A laboratóriumi kísérletek eredményei (SEWARD, 1973; SHENBERGER és BARNES, 1989) arra utalnak, hogy az epitermás rendszerekre jellemző fluidumokban leginkább  $\text{Au}(\text{HS})_2$ -komplex formájában történik az arany szállítása. Az  $\text{Au}(\text{HS})_2$ -komplex stabilitásának hőmérséklet-, pH- és oxigén-aktivitás függését szemlélteti a 8. ábra.



8. ábra: Az  $\text{Au}(\text{HS})_2$ -komplex oldhatósága a hőmérséklet ( $T$ ), a pH és az oxigén-aktivitás függvényében. A maximális oldhatóság a pirít stabilitása esetén az 1. pontban, illetve az 1. görbe mentén tapasztalható (SHENBERGER és BARNES, 1989 nyomán).

Fig. 8. Solubility of the  $\text{Au}(\text{HS})_2$  complex as a function of temperature ( $T$ ), pH and oxygen activity. Maximum solubility is observed at Point 1, or along Curve 1, if pyrite is stable (after SHENBERGER and BARNES, 1989).

Az  $\text{Au}(\text{HS})_2$ -komplex oldhatóságának pH-log  $a_{\text{O}_2}$ -függése alapján kitűnik, hogy a szericesedést követő adularósdással jelzett pH-növekedés a pirit stabilitási viszonyai között az arany kicsapódásának nem kedvező folyamat. A kialakult bázikus kémhatású közegben az adular stabilitása mellett végbement hűlési folyamat azonban már az  $\text{Au}(\text{HS})_2$ -komplex stabilitását csökkenti (ld. a 8. ábrán az arany oldhatóságának hőmérsékletfüggését az 1. görbe mentén). Ezek alapján a zárványvizsgálatok során azonosított, oldatkeveredés által kiváltott hűlési folyamat vezethetett az arany fel-dúsulásához.

A 8. ábra alapján az is kitűnik, hogy az  $\text{Au}(\text{HS})_2$ -komplex stabilitását az oxidációs-redukciós viszonyok is nagymértékben szabályozzák. A korábbi adatok alapján (VARGÁNÉ MÁTHÉ, 1961) a Száva-hegyen azonosított kálimetaszomatózis viszonylag oxidatív körülmények között ment végbe, mivel a színes elegrészek hematitosodtak. A hidrotermás folyamatok zárófázisában képződött tömeges kvarckiválásokban azonban a hematit mellett már a pirit is megjelent (3. táblázat). Ez arra utalhat, hogy a Száva-hegy körzetében azonosított, 150 °C körüli hőmérsékletű folyamatok során a rendszer oxidációs viszonyai lokálisan változóak voltak. A reaktívabb közegből (pirit stabilitása) az oxidatívabb környezetbe (hematit stabilitása) történő átmenet az arany kicsapódásának kedvező folyamat. A 8. ábra alapján azonban az is kitűnik, hogy 200 °C alatt a hőmérséklet csökkenése — lényegében a pH-viszonyoktól függetlenül — szintén az arany oldhatóságát csökkentő folyamat. Ezen tényezőknek megfelelően a Száva-hegy körzetében is kialakulhattak kisebb nemesfém-dúsulások, melyeknek egykori meg-kutatásáról a Tarda-völgy talpáról induló vágatok, illetve a Száva-hegy gerincén található horpák is tanúskodnak.

*A hidrotermás folyamatok nyomásviszonyai  
és az ércesedés kialakulásának mélysége*

A zárványvizsgálati eredmények alapján a kérdéses terület hidrotermás fluidumainak periodikus felforrása került azonosításra 200 és 300 °C közötti hőmérsékleten. A felforrás felismerése alapján az oldatok hőmérsékleti és koncentráció adatainak megfelelően a gőznyomás értékek meghatározhatók, és ezen keresztül a hidrotermás folyamatok mélysége is megadható (HAAS, 1971). A vizsgált területen azonosított felforrási fázisok hőmérsékleti és koncentráció adatai alapján számított sűrűség és gőznyomás értékeket foglalja össze az 5. táblázat.

	Hőmérséklet °C	Koncentráció NaCl ekv. s%	Sűrűség g/cm <sup>3</sup>	Gőznyomás bar
I	285-260	2.75-4.5	0.77-0.81	47-68
II	260-235	5.5 -6.75	0.83-0.88	31-47
III	230-210	5.5-6.75	0.87-0.91	18-28

5. táblázat: Az egyes felforrási periódusok hőmérsékletének ( $T_b$ ) és oldatkonzentrációjának (c) megfelelően számítható sűrűség (d) és gőznyomás értékek HAAS (1976) adatai alapján.

Table 5. Densities and vapour pressures calculated for temperature ( $T_b$ ) and solution concentration (c) of boiling periods (data after HAAS, 1976).

Az 5. táblázat adatainak megfelelően a hidrosztatikus viszonyokra számítható fedettségi értékek 200 és 900 m közöttiek. A minimális és maximális értékek közötti különbség túl nagy; a fedőképződmények mintegy 700 méteres vastagságú lepusztulása a hidrotermás folyamatok során valószínűtlen.

A Bányi-hegyen felismert hidrotermás brecczásodás környezetében előforduló kvarc folyadékzárványai az I. felforrási periódusban (285–260 °C) fogódtak be. A hidrotermás brecczásodás túlnyomós zónákra jellemző, melyekben a fluidumok gőznyomása a litosztatikus nyomás nagyságát is meghaladhatja (HEDENQUIST és HENLEY, 1985). Az I. felforrási periódus gőznyomás értékeiből litosztatikus viszonyokra (2,6 g/cm<sup>3</sup> közetsűrűség) számított fedettség 184–267 méternek adódik. Ez a mélységintervallum jól közelíti a III. felforrási periódus (230–210 °C) fluidumainak gőznyomása alapján hidrosztatikus viszonyokra számítható 200–330 méter fedettségi értéket.

Az adatok mérleglése alapján megállapítható, hogy a fluidumok periodikus felforrása a hidrotermás repedésrendszerek felnyílási folyamatahoz kapcsolható, mely során a nyomás a litosztatikusnak megfelelő értékekről a hidrosztatikusnak megfelelő értékekre csökkent.

### Következtetések

A Sátoraljaújhely-Rudabányáscka és Vágáshuta közötti, nemesfém-dúsulásokkal jellemzett zónában végzett vizsgálatok eredményei azt mutatják, hogy az ásványtani-kőzettani vizsgálatokkal párhuzamosan végzett zárványvizsgálatok alapján az ércképződési folyamatok a korábbiaknál részletesebben értelmezhetőek. A vizsgálati módszernek a kérdéses területen történő alkalmazása révén megállapítást nyert, hogy a hidrotermás folyamatok 130 és 300 °C közötti hőmérsékleti intervallumban mentek végbe. A magasabb hőmérsékletű (200–300 °C) forróvízes oldatokhoz kapcsolódott a metasomatikus káliföldpátosodást és szericitesedést követően a kvarc-adulár-pirit paragenézis képződése. A hidrotermás rendszerben az adulár stabilitásával jelzett bázikus kémhatás és a pirit jelenlétével rögzíthető redukzív közeg kialakulásával párhuzamosan az oldatvezető csatornák felnyílását kísérő nyomáscsökkenés a fluidumok periodikus felforrását okozta. A felnyíló repedésrendszereken beáramló (meteorikus eredetű?) oldatok a hidrotermás fluidumok hőmérsékletét lecsökkentették. A nemesfém akkumuláció modellezése alapján ez a folyamat vezethetett az arany feldúsulásához. 200 °C alatt az arany akkumulációját a hőmérséklet csökkenése mellett az oxidációs-redukciós viszonyok változása révén kialakult lokális geokémiai gátak is elősegíthették. Mindezen folyamatok a jelenleg felszínen levő képződmények 200–330 méteres fedettsége idején mentek végbe.

### Irodalom — References

- ERMAKOV, N.P. & DOLGOV, J.A. (1979): Termobarogeohimia. Nyedra, Moskva. p.271. (In Russian)
- GÖBEL E. (1956): A rudabányásckai Nagybányi-hegy környékének bányaföldtani leírása. (Description géologique minière des environs du Mont Nagybányi de Rudabányáscka.) — A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése az 1954. évről, 45–62, Budapest. (In Hungarian with French abstract)



- GYARMATI P. (1977): A Tokaji-hegység intermedier vulkanizmus. [Intermediate volcanism in the Tokaj Mountains.] — A Magyar Állami Földtani Intézet Évkönyve 58, 196p, Budapest. (In Hungarian and English)
- GYARMATI P. & PENTELENYI L. (1973): Magyarázó a Tokaji-hegység 1:25.000 méretarányú földtani térképsorozatához. Makkoshotyka—Sátoraljuújhely. [Explanations to the 1:25.000 geological map series of Tokaj Mountains: Makkoshotyka—Sátoraljuújhely.] Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest. (In Hungarian)
- GYARMATI P., ILKEYNÉ PERLAKI E. & PENTELENYI L. (1976): A Tokaji-hegység földtani térképe, 1:50 000. [Geological map of Tokaj Mountains, 1:50.000] Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest.
- HAAS, J.L. (1971): The effect of salinity on the maximum thermal gradient of hydrothermal system at hydrostatic pressure. — *Economic Geology* 66, 940-946.
- HAAS, J.L. (1976): Physical properties of the coexisting phases and thermochemical properties of the H<sub>2</sub>O component in boiling NaCl solutions. — *United States Geological Survey Bulletin* 1421-A, 73 p.
- HARTIKAINEN, A., HORVÁTH, I., ÓDOR, L., O. KOVÁCS, L. & CSONGRÁDI, J. (1992): Regional multimedia geochemical exploration for Au in the Tokaj Mountains, Northeast Hungary. — *Applied Geochemistry* 7, 533-546.
- HAYNES, F.M. (1985): Determination of fluid composition by sequential freezing. — *Economic Geology* 80, 1436-1439.
- HEDENQUIST, J.W. & HENLEY, R.W. (1985): Hydrothermal eruptions in the Waiotapu geothermal systems, New Zealand: their origin, associated breccias and relation to precious metal mineralization. — *Economic Geology* 80, 1640-1668.
- HELGESON, H.C., DELANY, J.M., NESBITT, H.W. & BIRD, D.K. (1978): Summary and critique of the thermodynamic properties of rock forming minerals. — *American Journal of Science* 278-A, 1-229, New Haven.
- HOFFER A. (1928): Rudabányáscka egykori bányászata. [Ancient mining at Rudabányáscka.] A Debreceni Tisza István Tudományos Társaság II. osztályának kiadványa, Debrecen, 23 p. (In Hungarian)
- JASKÓ S. & MÉHES K. (1951): Sátoraljuújhely és Sárospatak környékének geológiai leírása. [Geological description of the areas of Sátoraljuújhely and Sárospatak.] — A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése az 1945-47. évekről, 65-73, Budapest. (In Hungarian with English abstract)
- KAMILLI, R.J. & OHMOTO, H. (1977): Paragenesis, zoning, fluid inclusion, and isotopic studies of the Finlandia vein, Colqui district, Central Peru. — *Economic Geology* 72, 950-982.
- KRUPP, R. & SEWARD, T.M. (1987): The Rotokawa geothermal system, New Zealand: An active epithermal gold depositing environment. — *Economic Geology* 82, 1109-1129.
- KULCSÁR L. (1970): Goldführende und polymetallische Erzindikationen am Ostrand des Tokajer Gebirges. — *Acta Geologica Academiae Scientiarum Hungaricae* 14, 179-192.
- MOLNÁR, F. (1988): Genetical peculiarities of the mercury indications near Sárospatak (Tokaj Mts., NE-Hungary) on the basis of fluid inclusion studies. — *Acta Mineralogica-Petrographica* 29, 59-68, Szeged.
- MOLNÁR F. (1993): Tokaji-hegységi ércesedések és indikációk genetikája folyadékzárványvizsgálatok lapján. Egyetemi doktori értekezés. Kézirat. [Origin of ore mineralizations in the Tokaj Mts., based on fluid inclusion studies. Unpublished Ph.D. thesis., Department of Mineralogy, Eötvös University, Budapest.]
- PANTÓ Gy. & GAGYI PÁLFI A. (1950): Jelentés a rudabányásckai ércutatás bányageológiai vizsgálatáról. Kézirat, MÁFI Adattár. [Report on mining geological investigations at Rudabányáscka. Manuscript. Hungarian Geological Institute, Budapest.]
- PÉCSKAY, Z., BALOGH, K., SZÉKY-FUX, V. & GYARMATI, P. (1986): Geochronological investigations on the Neogene volcanism of the Tokaj Mountains. — *Geologický Zborník—Geologica Carpathica* p. 635-655, Bratislava.
- POTTER, R.W., CLYNNE, M.A. & BROWN, D.L. (1978): Freezing point depression of aqueous sodium chloride solutions. — *Economic Geology* 73, 284-285.
- POTY, B., LEROY, J. & JACHIMOWITZ, L. (1976): A new device for measuring temperatures under the microscope: the Chixameca microthermometry apparatus. — *Fluid Inclusion Research* 9, 173-178.
- ROEDDER, E. (1984): Fluid inclusion. — *Reviews in Mineralogy* 12, 644 p.
- SANDER, M.V. & EINAUDI, M.T. (1990): Epithermal deposition of gold during transition from propylitic to potassic alteration at Round Mountain, Nevada. — *Economic Geology* 85, 285-311.
- SEWARD, T.M. (1973): Thiocomplexes of gold and the transport of gold in hydrothermal ore solutions. — *Geochimica et Cosmochimica Acta* 37, 379-399.
- SHENBERGER, D.M. & BARNES, H.L. (1989): Solubility of gold in aqueous sulfide solutions from 150 to 300 °C. — *Geochimica et Cosmochimica Acta* 53, 269-278.

- SHEPHERD, T., RANKIN, A.H. & ALDERTON, D.H.M. (1985): A Practical Guide to Fluid Inclusion Studies. Blackie and Son Ltd., Glasgow. 239 p.
- SILLITOE, R.H. (1985): Ore-related breccias in vulcanoplutonic arcs. — *Economic Geology* 80, 1467–1514.
- STEINER, A. (1970): Genesis of hydrothermal K-feldspar (adularia) in an active geothermal environment at Wairakei, New Zealand. — *Mineralogical Magazine* 37/292, 916–922.
- SZÁDECZKY Gy. (1897): Sátoralja-Újhelytől északnyugatra Ruda-bányácska és Kovácsvágás közé eső terület geologiai és kőzettani tekintetben. (Das nordwestlich von Sátoralja-Ujhely und Kovácsvágás liegende Gebiet in geologischer und Petrographischer Hinsicht.) — *Földtani Közlöny* 27, 273–326 (in Hungarian), 349–386 (in German) Budapest.
- VARGÁNÉ MÁTHÉ K. (1970): Kálimetaszomatózis és kálifeldúsulás a Sátoraljaújhely és Vágáshuta közti területen. (Métasomatose et enrichissement de potasse sur le territoire situé entre Sátoraljaújhely et Vágáshuta (Mte Tokaj, Hongrie septentrionale).) — *Földtani Közlöny* 91, 391–396. (In Hungarian with French abstract)