

ZLATO KŘEMENNÝCH ŽIL „ZELENÉ JÁMY“ – ZLATÉ HORY V JESENÍKÁCH

Gold from the quartz veins at the “Zelená jáma” locality, Zlaté Hory Ore District, Jeseníky Mts., Czech Republic

MIROSLAV NEPEJCHAL, ZDENĚK DOLNÍČEK, BOHUSLAV FOJT,
KATEŘINA MIČUDOVÁ

Abstract

Nepejchal M., Dolníček Z., Fojt B., Mičudová K. (2014): Zlato křemenných žil „Zelené jámy“ – Zlaté Hory v Jeseníkách. – Acta Mus. Moraviae, Sci. geol. 99, 2, 37-48.

Gold from the quartz veins at the “Zelená jáma” locality, Zlaté Hory Ore District, Jeseníky Mts., Czech Republic

The gold-bearing quartz veins are slightly discordant with respect to the foliation of host “quartzite schists” at the studied site “Zelená jáma” (Zlaté Hory Ore District). Apart from quartz, the vein is formed by small amount of completely limonitized carbonate and fragments of host rocks. Chemical composition of gold corresponds mostly to electrum (62–72 at. % Au); sporadic diffuse domains are formed by gold-rich silver (12–20 at. % Au). Pyrite, galena (with elevated contents of Ag, Se, and Bi), rutile, and barite are accessories. The secondary phases are represented by goethite. Primary fluid inclusions hosted by gold-bearing quartz belong to two compositional types – CO₂-H₂O and H₂O. Microthermometric parameters of both types of inclusions are characteristic for late-metamorphic fluids of the Zlaté Hory Ore District. The vein formed at pressures of 0.5–1.4 kbar and temperatures of ~215–250 °C. The mechanism of vein formation and P-T conditions are similar to other vein-type gold mineralizations occurring in the Vrbno Group. The mineral composition of veins, their textural features, as well as chemical compositions of ore minerals are consistent with a late-metamorphic (secretory?) origin of this mineralization.

Key words: gold of the quartz veins; mineralogy; chemistry; fluid inclusions; genesis.

Miroslav Nepejchal, Žižkova 8,787 01 Šumperk, Czech Republic, e-mail: nepejchal.m@seznam.cz

Zdeněk Dolníček, Department of Geology, Palacký University, 17. listopadu 11,771 46 Olomouc, Czech Republic, e-mail: dolnicek@prfnw.upol.cz

Bohuslav Fojt, Institute of Geological Science, Masaryk University, Kotlářská 2, 611 37 Brno, Czech Republic, e-mail: fojt@sci.muni.cz

Kateřina Mičudová, Department of Geology, Palacký University, 17. listopadu 11, 771 46 Olomouc

ÚVOD

Ve zlatohorském rudním revíru je známo několik úseků se systémem různě mocných postmetamorfních křemenných žil, které byly těženy v historické minulosti jako zdroje zlata. Nejznámější je žilné pásmo se čtyřmi paralelně uspořádanými zónami o směru JJZ–SSV, nacházející se mezi poutním kostelem Panny Marie Pomocné a silnicí vedoucí ze Zlatých Hor do Vrbna pod Pradědem (VEČEŘA, VEČEŘOVÁ 2010), pro něž se dnes vžil označení PMP I až IV. V terénu je však patrné i několik dalších míst, kde došlo buď k historické těžbě, nebo k pokusům o ověřování obsahu zlata zmíněných žil. Mezi ně patří i území „Zelené jámy“, které je předmětem tohoto pojednání.

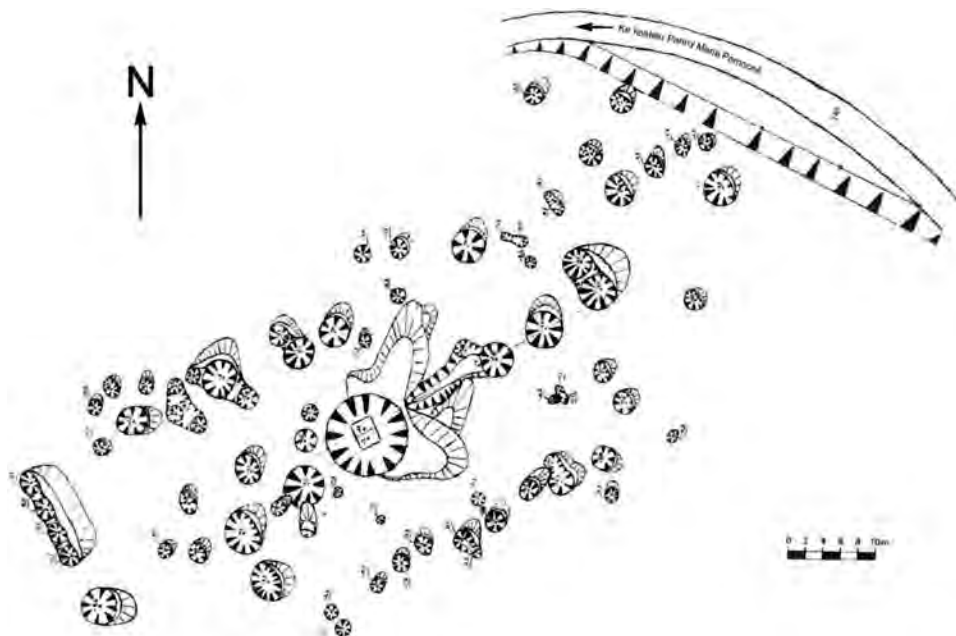
PŘEHLED DOSAVADNÍCH POZNATKŮ

„Zelená jáma“ byla dříve označována jako „Štola č. IV“ (BARTAS 1950) nebo „Štolka v lesním oddělení 33“ (STUHLÍKOVÁ-KOTRČOVÁ 1955), či „Bezejmenná jáma“ (FOJT 1966). Novodobý název vznikl poněkud nevhodně při asanačních pracích v oblasti. Na rozdíl od „Zelené stoly“, která se nachází cca 110 m na SZ, je zmíněná jáma již mimo území „zelených břidlic“. BARTAS (1950) má v topografické skice vyznačeny 3 křemenné žíly, STUHLÍKOVÁ-KOTRČOVÁ (1955) v diplomní práci uvádí v plánu šachtice jen jednu žilu protínající kose „sericitické křemence“ a zdůrazňuje její bezrudní obsah. Bližší údaje o území „Zelené jámy“ chybějí.

Řadu poznatků však obsahují práce pojednávající o podobných křemenných žilách zlatohorské oblasti (MALEC *et al.* 1990; NOVOTNÝ, ZIMÁK 2002; STANĚK, MALEC *a kol.* 2005; NOVOTNÝ, KRÁL 2007; BÁRTKOVÁ 2010; ZIMÁK, NEPEJCHAL 2011; NEPEJCHAL *et al.* 2013). Kromě zlata o ryzosti 350 až 994 jsou ze zmíněných žil uváděny nejen akcesorické obecné sulfidy, ale i rutil a anatas, zcela ojediněle i kobaltin, xenotim a uraninit, z karbonátů pak běžně kalcit a značně limonitizované karbonáty ze skupiny dolomitu, z nerudních komponent také chlorit a muskovit.

STRUČNÁ CHARAKTERISTIKA LOŽISKOVÉ SITUACE

Území „Zelené jámy“ se nachází cca 400 m na JJV od poutního kostela Panny Marie Pomocné, 4 km jižně od města Zlaté Hory v Jeseníkách (GPS souřadnice: 50,2227081° N; 17,3952247° E). V prostoru okolo ohlubné šachtice, v nadmořské výšce cca 720 m, je ve směru JZ-SV a v délce přibližně 90 m řada malých pinek a obvalů (obr. 1). Uvedený směr naznačuje i průběh žilného pásma, který je kosý vůči metamorfní břidličnatosti okolních kvarcitových břidlic (SSV-JJZ), jak uvedla již STUHLÍKOVÁ-KOTRČOVÁ (1955). Zmíněné



Obr. 1. Šachtice „Zelená jáma“ s polem přilehlých pinek. Situace z 25. 8. 2013, zaměřil a kreslil M. Nepejchal.
Fig. 1. The „Zelená jáma“ ore field. Situation from 25. 8. 2013, drawn by M. Nepejchal.

zjištění názorně dokumentuje i fotografie pořízená z počvy šachtice v hloubce 12 m (obr. 2), z níž byly raženy krátké štolky ve směru zjištěných tří žil (BARTAS 1950). Mocnost křemenných žil se pohybuje řádově v desítkách cm. Výrazným morfologickým znakem je dlouze čočkovitý vývin se sporadickými ložními proniky podél *s-ploch* do okolních hornin.

Hostitelskou horninou křemenných žil jsou *kvarcitové břidlice*, v jejichž základní osnově se střídají proužky granoblastických shluků křemene s lepidoblastickými smouhami jemných slíd (*sericitu*) v nichž jsou drobné automorfní krystalky akcesorického rutilu a ojediněle i monazitu. V *s-plochách* slídnatých shluků je patrná výrazná metamorfni lineace.

PŘEHLED POUŽITÉ METODIKY

Všechny zkoumané vzorky odebral a v terénu dokumentoval M. Nepejchal, který také provedl rozduřování rudnin, separace minerálů a rýžování těžkého podílu. Mikroskopické preparáty zhotovil P. Zaustöck v brusírně Ústavu geologických věd Přírodovědecké fakulty MU Brno. Jejich vyhodnocení na mikroskopu Jenapol provedl B. Fojt.

Dotové analýzy chemického složení jednotlivých minerálních fází změřili na mikrosondě Cameca SX 100 R. Škoda a P. Gadas na společném pracovišti PřF MU a ČGS v Brně. Pro sulfidy a zlato bylo použito urychlovací napětí 25 kV, svazek elektronů o průměru 1 μm proud 20 nA. Silikáty, oxidy a karbonáty byly analyzovány při urychlovacím napětí 15 kV a proudu 10 nA, přičemž průměr svazku pro karbonáty byl 8 μm , pro silikáty a oxidy 5 μm . Jako standardy byly použity syntetické fáze a dobře definované minerály. Načtené hodnoty byly přepočítány automatickou PAP korekcí (POUCHOU a PICHOR 1985). Na toméž pracovišti byly pořízeny i mikrofotografie v odražených elektronech (BSE). Mikrofotografie (SEI) na elektronovém mikroskopu Jeol JSM-6490 s přidaným EDX detektorem provedl J. Štelcl při urychlovacím napětí 15 kV v laboratoři elektronové mikroskopie a mikroanalýzy PřF MU Brno.

Fluidní inkluze byly studovány Z. Dolníčkem a K. Mičudovou na Katedře geologie PřF UP Olomouc v jednom vzorku, z něhož byla zhotovena standardní oboustranně leštěná destička, lepená za studena vteřinovým lepidlem. Rozlišení primárních (P), pseudosekundárních (PS) a sekundárních (S) inkluzí bylo provedeno podle kritérií uvedených v literatuře (SHEPHERD *et al.* 1985). V inkluzích byla konstatována přítomnost kapalné (L), někdy i plynné fáze (V). Mikrotermometrické parametry inkluzí byly po odlepení destičky nitrometanem změřeny výše zmíněnými pracovníky na Katedře geologie PřF UP v Olomouci v termokomoře Linkam THMSG 600. Komora byla kalibrována měřením anorganických standardů a fluidních inkluzí se známými teplotami fázových přechodů. Byly měřeny následující parametry u vodných inkluzí: teplota homogenizace (Th), teplota zamrznutí inkluze (Tf), teplota eutektika (Te) a teplota tání ledu (Tm ledu). U inkluzí



Obr. 2. Křemenná žila ve stropě krátké štolky založené v počvě „Zelené jámy“. Foto M. Nepejchal.

Fig. 2. Quartz vein in the “Zelená jáma” shaft. Photo made by M. Nepejchal.

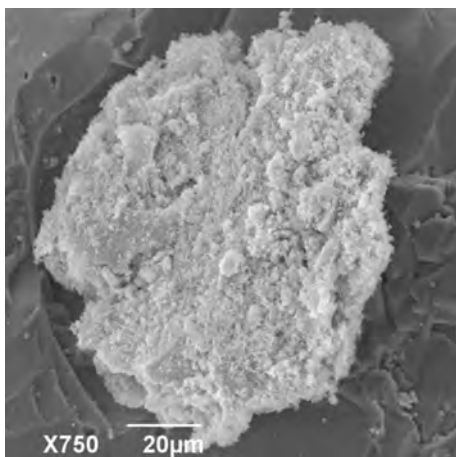
s obsahem CO_2 byly dále měřeny: teplota parciální homogenizace CO_2 fáze (Th-car), teplota tání pevného CO_2 (Tm- CO_2) a teplota tání klatrátu (Tm-cla). Kryometrická měření u inkluzí s CO_2 vždy předcházela měřením homogenizačním. Jednofázové vodné L-inkluzie byly přehřátý na 180–300 °C, čímž došlo k roztažení inkluzí a snížení jejich hustoty, což následně umožnilo po ochlazení a nukleaci plynné fáze změřit kryometrické charakteristiky.

MINERALOGICKÁ CHARAKTERISTIKA KŘEMENNÝCH ŽIL SE ZLATEM

Texturní znaky a složení křemenných žil jsou nápadně shodné s obdobnými sekrečními žilami zlatohorského revíru – a to i v našem případě, kdy jde o čočkovité agregace s mírně kosým průběhem vůči metamorfní břídlíčnatosti okolních metamorfítů. *Křemenná zrna* základní osnovy s granoblastickou stavbou tvoří plošně paralelní čočkovité smouhy obklopující o řád větší, mírně laločnatá křemenná individua se zřetelným undulózním zhášením. Původní shluky karbonátů jsou zcela limonitizovány a uzavírají ojediněle zrna *rutilu* a ko-

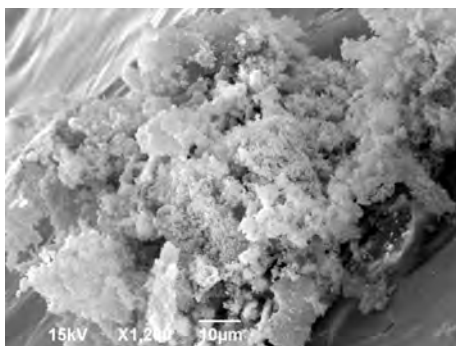
rodovaného *barytu*. Sloupečky *rutilu* bývají uzavírány i v křemenné matici. WDX analýza jednoho ze zrn *rutilu* vykazala poněkud zvýšené obsahy FeO (3,86 hm. %) vedle SiO_2 (0,31 hm. %), Al_2O_3 (0,11 hm. %), Nb_2O_5 (0,21 hm. %) a stopových obsahů dalších oxidů (údaje v hm. %: V_2O_5 - 0,05; Cr_2O_3 - 0,06; WO_3 - 0,06; CaO - 0,05; PbO - 0,06; MnO - 0,05; ZnO - 0,12). Křemenná matrice uzavírá běžně úlomky okolních hornin.

Zlato je v žilách rozmístěno velmi nepravidelně a značně sporadicky – a to jak v křemenu, tak také (relativně častěji) v limonitizovaných karbonátech, méně často i v limonitizovaném pyritu. Jde většinou o izometrické shluky velmi jemných, tvarově nepravidelných, na sebe narůstajících



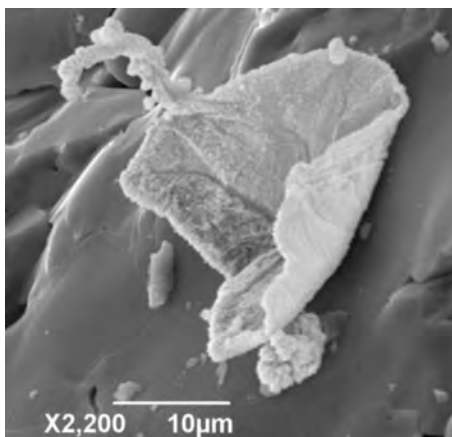
Obr. 3a. Plíškový agregát zlata. SEI, foto J. Štelcl.

Fig. 3a. Morphology of the gold leaf. SEI, photo J. Štelcl.



Obr. 3b. Porézní keříčkovitá forma zlata. SEI, foto J. Štelcl.

Fig. 3b. Morphology of the shaggy gold. SEI, photo J. Štelcl.



Obr. 4. Ohnutý plíšek zlata. SEI, foto J. Štelcl.

Fig. 4. Deformed gold sheet. SEI, photo J. Štelcl.

Tabulka 1. WDX-analýzy zlata (hm. %).
Table 1. WDX-analyses of gold (wt. %).

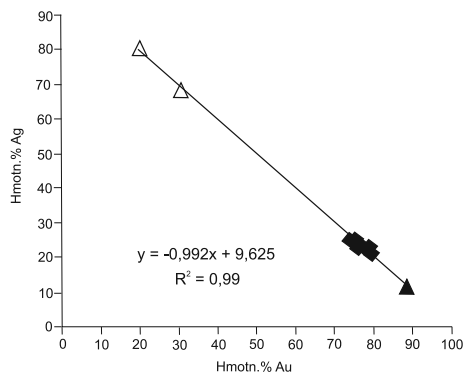
	Au	Ag	As	Bi	Hg	Fe	Total
ZJ (1)	79,00	21,60	0,08	b.d.	b.d.	b.d.	100,68
ZJ (2)	78,79	22,23	0,06	b.d.	0,06	b.d.	101,14
ZJ (3)	78,44	22,45	0,13	b.d.	0,13	b.d.	101,15
ZJ (4)	75,65	24,67	b.d.	0,04	0,21	0,06	100,63
ZJ (5)	79,50	21,39	0,14	b.d.	b.d.	b.d.	101,03
ZJ (6)	76,24	24,17	0,08	b.d.	b.d.	b.d.	100,49
ZJ (7)	77,36	22,92	0,03	0,07	b.d.	b.d.	100,38
ZJ (8)	77,36	22,64	0,08	0,08	b.d.	b.d.	100,16
ZJ (9)	76,70	23,18	0,07	b.d.	0,15	b.d.	100,10
ZJ (10)	74,83	25,27	0,06	b.d.	b.d.	0,03	100,19
ZJ (11)	78,15	22,89	0,12	b.d.	b.d.	b.d.	101,16
ZJ (12)	78,82	22,97	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	101,79
ZJ (13)	74,42	24,83	0,03	0,07	b.d.	b.d.	99,35
ZJ (14)	73,90	25,02	b.d.	b.d.	b.d.	0,04	98,96
ZJ (15)	75,05	24,98	0,04	0,09	b.d.	b.d.	100,16
ZJ (16)	75,50	24,85	0,07	b.d.	b.d.	b.d.	100,42
ZJ (17)	75,73	23,03	0,05	b.d.	b.d.	b.d.	98,81
ZJ (18)	81,43	17,61	0,11	b.d.	0,06	b.d.	99,21
ZJ (19)	82,74	18,33	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	101,07
ZJ (20)	82,85	17,86	0,06	b.d.	0,05	b.d.	100,82
ZJ (21)	82,65	17,94	0,16	b.d.	b.d.	0,04	100,79
ZJ (22)	30,61	68,39	0,25	0,07	0,11	b.d.	99,43
ZJ (23)	20,08	80,61	0,32	b.d.	b.d.	b.d.	101,01
ZJ (24)	88,45	11,38	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	99,83

b.d. – pod mezi detekce (b.d. – below the detection limit)

porézních plíšků a keříčků s členitým povrchem (obr. 3a, b). Izolovaná plíškovitá individua se vyskytují ojediněle – někdy bývají i zprohýbána (obr. 4). Velikost takových agregátů se pohybuje většinou v desítkách mikrometrů, výjimečně byly nalezeny shluky o rozměru $0,3 \times 0,6$ mm.

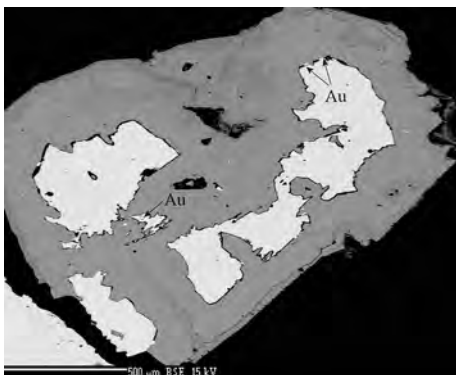
Většina WDX analýz zlata vykazuje jednoduché, nepatrně proměnlivé složení (tab. 1). Obsahy Au v rozmezí 73,5 až 82,9 hm. % (tj. 61,8 až 70,8 at. %) odpovídají *elektru*. Dvě analýzy z méně častých difúzních domén v *elektru* s nižší odrazností elektronů (tab. 1 – analýzy č. 22 a 23) lze označit za *zlatnaté stříbro* (20,1 a 30,6 hm. % Au, tj. 12,0 a 19,7 at. % Au). Pouze jediná analýza odpovídá *zlatu* s relativně vysokou ryzostí (88,45 hm. %, tj. 80,98 at. %). Vzhledem k tomu, že jde o izolovanou zlatinku z umělého šlichu žiloviny, nelze její charakter bezpečně identifikovat. Není vyloučeno, že jde o cementační zlato. Chemismus této zlatinky je přibližně shodný s cementačním zlatem „zlatého sloupu“ ložiska Zlaté Hory - západ (FOJT *et al.* 2001) i cementačním zlatem štoly Anna stejného rudního revíru (NEPEJCHAL *et al.* 2013). Grafické vyjádření analýz je znázorněno na obr. 5.

Ze sulfidů byla v křemenných žilách zjištěna téměř výlučně jen izolovaná zrna *pyritu* a jeho goethitizované pseudomorfózy s relikty původního sulfidu a droboučkými zlatinkami (obr. 6). Pouze v jednom vzorku rýžovaného koncentrátu z křemenné žiloviny byla nalezena také zrníčka *galenitu*.



Obr. 5. Srovnání obsahů zlata a stříbra v analyzovaných zlatinkách. ◆ – *elektrum*, △ – *zlatnaté stříbro*, ▲ – *zlato*.

Fig. 5. Relationship between contents of gold and silver in the gold sheets. ◆ – *elektrum*, △ – *gold-rich silver*, ▲ – *gold*.



Obr. 6. Goethit s relikty resorbovaného pyritu (bílý) a drobnými zlatinkami (Au). BSE, foto R. Škoda.

Fig. 6. Relics of pyrite enclosed in goethite (white) with little gold sheets (Au). BSE, photo R. Škoda.

Jeho chemické složení se liší od galenitů stratiformních zlatohorských rudnin i jejich mobilizovaných asociací o řád vyšším obsahem stříbra (1,43–1,50 hm. %), selenu (0,16–0,18 hm. %) a bismutu (3,08–3,38 hm. %) – viz tab. 2. Buněčnatě smyčkovité textury „limonitu“ i zjištěná přítomnost mědi v limonitizovaných partiích (tab. 3) naznačují možnost, že rudnina obsahovala i chalkopyrit, který zcela podlehl supergenní přeměně.

Shluky celistvého i porézniho „limonitu“ jsou svým chemickým složením (viz tab. 3) blízké různě hydratovanému *goethitu*, který byl zjištěn mikroskopicky i v nábrusovém materiálu. Zvýšené obsahy SiO_2 (2,7–6,0 hm. %) lze vysvětlit sorpčními vlastnostmi oxihydroxidů Fe^{3+} . Značnou intenzitu supergenního postižení rudnin dokumentují také zjištěné drobné žilky sekundárního barytu v „limonitu“.

V namátkově odebraném vzorku křemenné žiloviny s převahou limonitizovaného karbonátu bylo zjištěno 0,047 hm. % Au (laboratoř ACME, Kanada).

Tabulka 2. WDX-analýzy sulfidů (hm.%).

Table 2. WDX-analyses of sulfides (wt.%).

	Fe	Cu	Pb	Zn	Ag	Bi	Sb	Co	Ni	As	Se	S	Total
ZJ (36)	n.a.	b.d.	81,01	b.d.	1,48	3,33	0,07	b.d.	b.d.	b.d.	0,18	13,41	99,48
ZJ (37)	n.a.	b.d.	81,05	b.d.	1,50	3,39	b.d.	b.d.	b.d.	0,05	0,16	13,50	99,65
ZJ (38)	n.a.	b.d.	80,54	b.d.	1,43	3,08	b.d.	b.d.	b.d.	0,08	0,16	13,26	98,55
ZJ (39)	46,58	b.d.	0,06	b.d.	b.d.	n.a.	n.a.	b.d.	0,20	0,05	b.d.	53,70	100,59
ZJ (40)	46,49	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	n.a.	n.a.	b.d.	b.d.	0,06	b.d.	53,05	99,60

n.a. – nebylo analyzováno (not analyzed); b.d. – pod mezí detekce (below the detection limit);

36, 37, 38 – galenit (galena); 39, 40 – pyrit (pyrite)

Tabulka 3. WDX-analýzy Fe-oxihydroxidů (hm.%).

Table 3. WDX-analyses of Fe-oxohydroxides (wt.%).

	Fe_2O_3	Al_2O_3	TiO_2	SiO_2	MnO	MgO	BaO	NiO	SrO	ZnO	PbO	CuO	Total
ZJ (25)	82,86	0,06	0,06	3,52	0,03	b.d.	n.a.	b.d.	n.a.	0,16	n.a.	n.a.	86,69
ZJ (26)	81,94	b.d.	b.d.	3,23	b.d.	b.d.	b.d.	0,04	b.d.	0,04	n.a.	n.a.	85,25
ZJ (27)	82,83	b.d.	b.d.	2,66	b.d.	0,03	b.d.	0,06	0,05	b.d.	n.a.	n.a.	85,63
ZJ (28)	81,05	0,16	b.d.	4,72	b.d.	b.d.	0,15	b.d.	b.d.	0,03	n.a.	n.a.	86,11
ZJ (29)	85,77	b.d.	b.d.	0,61	0,03	b.d.	0,05	b.d.	b.d.	b.d.	n.a.	n.a.	86,46
ZJ (30)	80,48	b.d.	b.d.	2,94	b.d.	0,05	0,05	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	83,52
ZJ (31)	80,79	0,05	b.d.	2,73	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0,06	0,25	83,88
ZJ (32)	86,32	0,33	b.d.	2,33	0,11	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0,06	b.d.	0,14	89,29
ZJ (33)	80,85	b.d.	b.d.	2,36	b.d.	0,14	0,05	0,16	b.d.	b.d.	b.d.	0,07	83,63
ZJ (34)	75,21	0,54	b.d.	6,02	b.d.	0,03	b.d.	b.d.	b.d.	0,08	n.a.	n.a.	81,88
ZJ (35)	69,90	3,86	b.d.	1,87	0,05	b.d.	0,05	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0,34	76,07

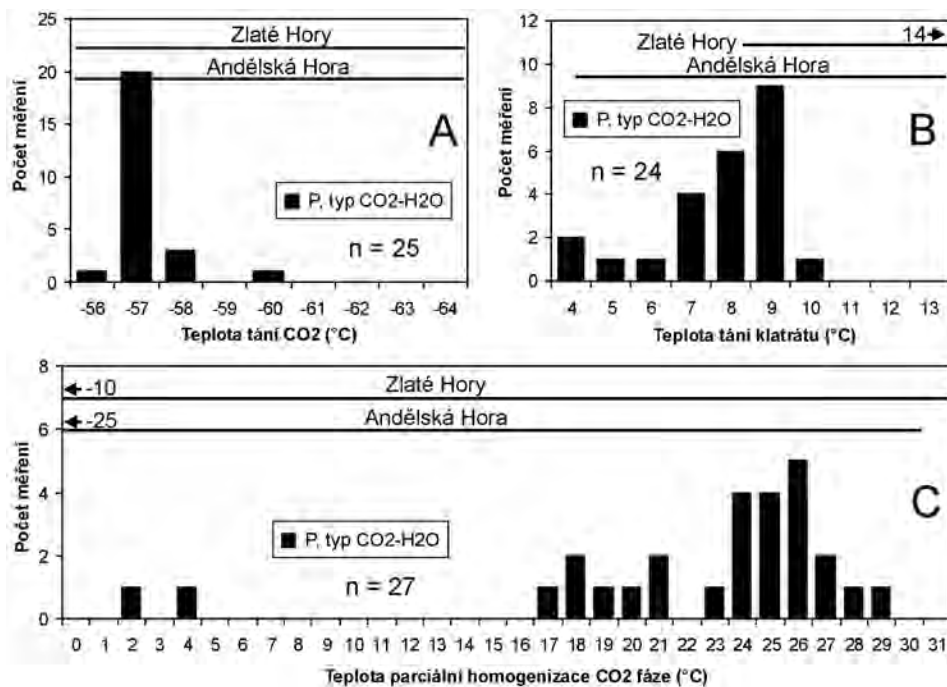
n.a. – nebylo analyzováno (n.a. – not analyzed); b.d. – pod mezí detekce (b.d. – below the detection limit)

Fluidní inkluze

Fluidní inkluze byly studovány v jednom vzorku žilného křemene, odebraného přímo v šachtici. Fluidní inkluze se ve vzorku vyskytují v hojném počtu, ale spíše v drobných velikostech (běžně 2–10 μm , maximálně 21 μm). Lze identifikovat všechny tři genetické typy inkluzí – primární, pseudosekundární i sekundární.

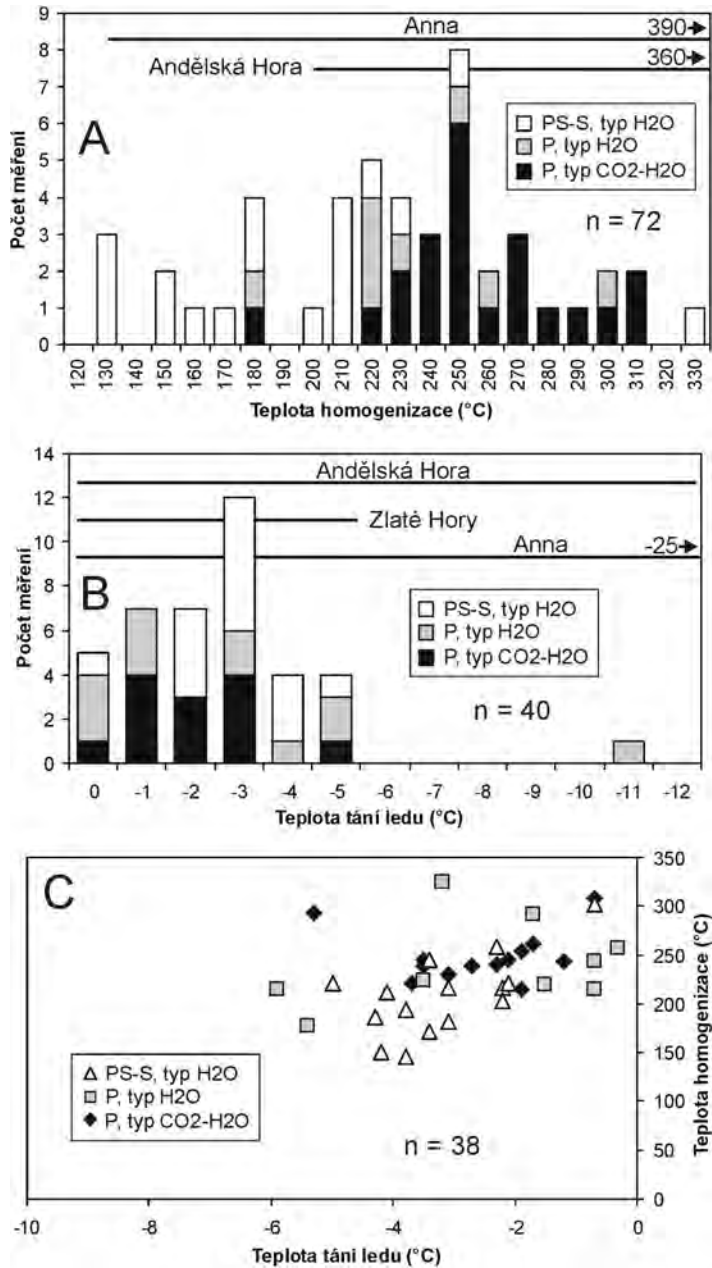
Velmi hojně primární (P) inkluze se vyskytují jako solitérní nebo v trojrozměrných shlucích. Primární inkluze náležejí většinou typu $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O}$, méně často byly pozorovány i inkluze typu H_2O . Tvary primárních inkluzí jsou zpravidla izometrické, nepravidelné, obvykle bez ostrých špičatých výběžků. Za pokojové teploty jsou inkluze typu $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O}$ dvoj- až trojfázové, s asociací 1) vodný roztok + kapalná CO_2 -bohatá fáze + plynná CO_2 -bohatá fáze, nebo 2) vodný roztok + kapalná CO_2 -bohatá fáze. Pro tyto inkluze je charakteristické velmi kolísavé fázové složení za pokojové teploty (30–90 obj. % CO_2 -bohaté fáze). Značnou variabilitu fázového složení vykazují jak inkluze ve shlucích, tak inkluze solitérní. Primární inkluze typu H_2O jsou za pokojové teploty dvoufázové (L+V), přičemž plynná bublina zaujímá stálých cca 20–30 obj. %. Tyto inkluze se vyskytují jako solitérní a nebyla pozorována jejich přednostní koncentrace do některých částí křemenných zrn. Vzhledem k malému přítomnému množství tohoto typu inkluzí se nelze odpovědně vyjádřit k otázce relativní chronologie obou typů primárních inkluzí.

Velmi hojně jsou pseudosekundární až sekundární inkluze, rozmístěné podél řádků probíhajících křemennými zrny v různých směrech. Většina PS-S inkluzí má velmi malé rozměry (do 5 μm). Jde o inkluze typu H_2O . Většina inkluzí je dvoufázová (typ L+V), v nichž plynná bublina zaujímá cca 5–20 obj. %, ojediněle byly pozorovány i inkluze jedno- fázové, vyplněné pouze kapalinou (typ L).



Obr. 7. Grafická prezentace výsledků mikrotermometrie fluidních inkluzí typu $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O}$. a - histogram hodnot teplot tání pevného CO_2 , b - histogram hodnot teplot tání klatrátu, c - histogram hodnot teplot parciální homogenizace CO_2 fáze. Srovnávací data znázorněná horizontálními úsečkami jsou převzata z ĎURIŠOVÁ (1990) a FOJT *et al.* (2012).

Fig. 7. Graphical presentation of results of microthermometry of fluid inclusions of the $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O}$ type. a - histogram of melting temperatures of solid CO_2 , b - histogram of melting temperatures of clathrate, c - histogram temperatures of partial homogenization of CO_2 phase. The comparative data shown using horizontal bars are taken from ĎURIŠOVÁ (1990) and FOJT *et al.* (2012).



Obr. 8. Grafická prezentace výsledků mikrotermometrie fluidních inkluzí typu $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O}$ a H_2O . a - histogram hodnot teplot homogenizace inkluzí, b - histogram hodnot teplot tání ledu, c - diagram T_h vs. T_m ledu. Srovnávací data znázorněná horizontálními úsečkami jsou převzata z prací ĎURIŠOVÁ (1990), FOJT *et al.* (2012) a NEPEJCHAL *et al.* (2013).

Fig. 8. Graphical presentation of results of microthermometry of fluid inclusions of the $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O}$ and H_2O types. a - histogram of homogenization temperatures, b - histogram of melting temperatures of ice, c - T_h vs. T_m ice plot. The comparative data shown using horizontal bars are taken from ĎURIŠOVÁ (1990), FOJT *et al.* (2012), and NEPEJCHAL *et al.* (2013).

Výsledky mikrotermometrických měření inkluzí jsou ilustrovány na obr. 7 a 8. V primárních inkluzích typu $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O}$ se pohybují teploty parciální homogenizace CO_2 fáze většinou mezi $+17,6$ a $+29,2$ °C, dvě inkluze vykázaly i výrazně nižší hodnoty ($+2,4$ a $+4,1$ °C; obr. 7c). Ve všech případech jde o homogenizaci na kapalinu. Kapalná fáze CO_2 vymrzá za teplot -92 až -102 °C. Další ochlazování již nevede k pozorovatelným fázovým změnám. Teploty tání pevného CO_2 se pohybují mezi $-57,0$ a $-60,6$ °C (obr. 7a). Led taje za teplot $-0,7$ až $-5,3$ °C. Teploty tání klatrátu kolísají mezi $+4,2$ a $+10,5$ °C (obr. 7b). Při zahřívání inkluzí za účelem získání teplot celkové homogenizace většina inkluzí dekrepitovala ještě před dosažením homogenního stavu (za teplot 240 °C a vyšších). Byly pozorovány dva módy celkové homogenizace. Většina inkluzí homogenizuje vymizením minoritní CO_2 -bohaté fáze („bubble-point homogenization“), k níž docházelo za teplot $215\text{--}243$ °C. Ostatní inkluze homogenizovaly vymizením minoritní vodné fáze („dew-point homogenization“), jež byla pozorována za teplot $230\text{--}308$ °C (obr. 8a).

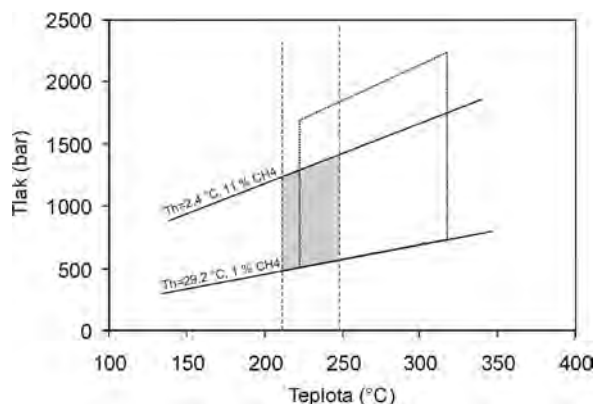
Primární inkluze typu H_2O homogenizují za teplot 177 až 291 °C na kapalinu (obr. 8a). Inkluze zamrzají za teplot -29 až -45 °C, přičemž zůstávají bezbarvé. Ojedinele naměřené eutektické teploty se pohybují mezi -18 a -21 °C. Tání hydrátů solí či hydrátů plynů nebylo pozorováno. Poslední led v inkluzích taje za teplot $-0,3$ až $-11,5$ °C (obr. 8b).

Pseudosekundární-sekundární L+V inkluze zamrzají za teplot -29 až -39 °C, přičemž zůstávají bezbarvé. Eutektické teploty a teploty tání hydrátů solí či plynů nebyly zaregistrovány. Poslední led tál za teplot $-0,7$ až $-5,0$ °C (obr. 8b). Teploty homogenizací se pohybovaly mezi 122 a 243 °C (obr. 8a). Pseudosekundární-sekundární L inkluze zamrzají za teplot -30 až -33 °C, přičemž zůstávají bezbarvé. Eutektické teploty a teploty tání hydrátů solí či plynů nebyly zaregistrovány. Poslední led tál za teplot $-2,2$ až $-4,3$ °C.

INTERPRETACE A DISKUSE VÝSLEDKŮ STUDIA FLUIDNÍCH INKLUZÍ

Snížení teploty tání tuhého CO_2 v P inkluzích typu $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O}$ pod teoretickou hodnotu trojného bodu čistého CO_2 ($-56,6$ °C) nasvědčuje přítomnosti dalšího nízkovroucího plynu (metanu či dusíku) v nevodné fázi. Totéž naznačují hodnoty teplot tání klatrátu vyšší než $+10,0$ °C. Projektce naměřených hodnot $T_m\text{-CO}_2$ a $T_h\text{-CO}_2$ do V-X diagramu systému $\text{CO}_2\text{-CH}_4$ (THIÉRY *et al.* 1994) nasvědčuje přítomnosti 1–11 mol. % metanu v nevodné fázi. Z téhož diagramu lze zároveň odečíst molární objem plyné směsi, který kolísá mezi 52 a 67 cm^3/mol . S V-X diagramem systému $\text{CO}_2\text{-N}_2$ již nejsou minimální zjištěné hodnoty ($T_m\text{-CO}_2 = -60,6$ °C a $T_h\text{-CO}_2 = 2,4$ °C) kompatibilní, převahu dusíku tedy nelze v těchto inkluzích očekávat. Salinita vodného roztoku, počítaná z teplot disociace klatrátu, se pohybovala mezi 1 a 10 hm. % NaCl.

Velmi variabilní fázové složení P inkluzí typu $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O}$ (zastoupení CO_2 a H_2O fází), nasvědčuje zachycení inkluzí z heterogenního fluida, složeného z mechanické směsi vodného roztoku a nevodné fáze. V takové situaci je možno specifikovat P-T podmínky zachycení inkluzí přímo z mikrotermometrických dat. Homogenizační teploty inkluzí s minimálním obsahem nevodné fáze pak budou reprezentovat skutečné teploty zachycení inkluzí (cca $215\text{--}243$ °C). Tlak je možno vypočítat pro tyto teploty z hustoty a složení nevodné fáze (např. HURAI *et al.* 2002). V našem případě lze takto odvodit tlaky v intervalu 0,5–1,4 kbar (obr. 9). Maximální indikovaný tlak je přibližně trojnásobkem minimálních hodnot tlaku. Tento jev je obvykle v literatuře vysvětlován kolísáním mezi tlakem litostatickým (maximální hodnoty) a hydrostatickým (minimální hodnoty). Proces formování žil v takových situacích obvykle odpovídá mechanismu crack-seal (HURAIOVÁ *et al.* 2002). Nastíněná interpretace by dobře odpovídala i našim pozorováním – výrazné kolísání tlaku může být jednak příčinou krystalizace četných minerálních fází (rozpuštěnost minerálních fází ve fluidech závisí na tlaku či obsahu těkavých komponent ve fluidech) a také dobře vysvětluje heterogenizovaný charakter fluidní fáze.



Obr. 9. Interpretované P-T podmínky zachycení fluidních inkluzí typu $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O}$ ve zlatonosné křemenné žilovině z lokality Zelená jáma (šedé pole). Tečkovaně omezené pole představuje P-T podmínky zachycení fluidních inkluzí typu $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O}$ ve zlatonosné křemenné žilovině z lokalit Hláška a Vysoká hora (rudní revír Andělská hora; FOJT *et al.* 2012).

Fig. 9. Interpreted P-T conditions of trapping of $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O}$ fluid inclusions from gold-bearing quartz vein from the "Zelená jáma" site (grey field). Field bordered by dotted line represents P-T conditions of trapping of $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O}$ fluid inclusions from gold-bearing quartz vein from the Hláška and Vysoká hora sites (Andělská Hora Ore District; FOJT *et al.* 2012).

Pokud jde o interpretaci vzájemného vztahu primárních inkluzí typu H_2O a primárních inkluzí typu $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O}$, k němuž petrografické studium nepřineslo jednoznačný závěr, určitá možnost vychází z porovnání teplot celkové homogenizace a salinit obou typů inkluzí. Primární inkluze typu H_2O homogenizují za teplot 177 až 291 °C, dominantní solnou složkou je v nich NaCl (T_m kolem -20 °C) a jejich salinita se podle hodnot T_m (-0,3 až -11,5 °C) pohybuje mezi 0,5 a 15,5 hm. % NaCl ekv. (BODNAR 1993). Tyto charakteristiky jsou prakticky totožné s parametry primárních inkluzí typu $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O}$ (viz výše). Je tedy možné, že inkluze typu H_2O představují čistý koncový člen (vodný roztok), zachycený při heterogenizaci fluida v okamžiku poklesu tlaku na nejnižší hodnoty, kdy došlo k nejlepšímu „odplynění“ vodného roztoku.

Rozsah salinit vodných fluid v pseudosekundárních-sekundárních inkluzích je užší a posunutý směrem k nižším hodnotám než u inkluzí primárních, mezi 1,2 a 7,9 hm. % NaCl ekv. (BODNAR 1993), což nasvědčuje mísení s nízkosalinní (? meteorickou) vodou v pozdních fázích hydrotermální aktivity. Uvedené interpretaci by nasvědčovala i klesající teplota fluid (jednofázové L inkluze jsou zachytávány za teplot pod cca 100 °C; KRÍBEK *et al.* 2009).

Porovnáme-li získané poznatky s dříve publikovanými údaji (viz též obr. 7–9), můžeme konstatovat, že složení a hustoty fluid v primárních inkluzích (typu $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O}$ i H_2O) jsou charakteristické pro typická metamorfická fluida, jak je ze zlatohorského revíru popisuje ĎURIŠOVÁ (1990). Složením fluid anomální je zlatonosná mineralizace ze štoly Anna, vázaná na čočkovité ložní křemen-karbonátové žíly v muskovitových fylitech Cu-ložiska Zlaté Hory-sever, kde byly zastíženy jen inkluze typu H_2O s bimodálním rozdělením salinit. Četnější inkluze tam obsahují roztoky se salinitou 0–15 hm. % NaCl ekv., méně početné inkluze obsahují Na-Ca-Cl solanky se salinitou až 25 hm. % NaCl ekv.; NEPEJCHAL *et al.* 2013). Zjištěný interval homogenizačních teplot (160–280 °C) však dobře odpovídá poznatkům z lokality Zelená jáma. V neposlední řadě lze konstatovat i velmi dobrou shodu, pokud se týká charakteru fluid a P-T podmínek jejich zachycení během formování žilkovitých zlatonosných paragenéz andělskohorského revíru (ĎURIŠOVÁ 1990, FOJT *et al.* 2012), vázané zčásti rovněž na fylity vrbenské skupiny a zčásti na slabě metamorfované sedimenty.

ty kulmu. Výsledky všech výše zmiňovaných prací jasně ukazují, že v dané oblasti, v prostředí relativně slabě metamorfovaných hornin, byla aktivita pozdně-metamorfních fluid v teplotním intervalu cca 200–300 °C rozhodující pro mobilizaci zlata a jeho následnou koncentraci v žilných strukturách.

SOUHRN VÝLEDKŮ

Křemenné žily se zlatem lokality Zelená jáma ve zlatohorském rudním revíru probíhají mírně kose vůči foliaci hostitelských hornin (kvarcitových břidlic). Vedle křemene jsou žily tvořeny také malým množstvím zcela limonitizovaného karbonátu a úlomky okolní horniny. Velmi jemné, plíškovité, keříčkovité a houbovitě zlato odpovídá svým chemismem elektrů (62–72 at. % Au), sporadické difúzní domény pak zlatnatému stříbru (12–20 at. % Au). Pyrit, galenit (se zvýšeným obsahem Ag, Se a Bi, odpovídající metamorfně mobilizovaným zlatohorským asociacím), rutil a baryt tvoří v žilách akcesorický podíl. Sekundární fáze jsou reprezentovány goethitem, výjimečně i supergenním barytem. Primární fluidní inkluze ve zlatonosném křemenu náležejí dvěma kompozičním typům – CO₂-H₂O a H₂O. Oba typy inkluzí vykazují mikrotermometrické parametry charakteristické pro pozdně metamorfní fluida zlatohorského revíru. K formování žil docházelo za tlaků 0,5–1,4 kbar a teplot ~215–250 °C. Mechanismus vzniku žil a P-T podmínky jejich konsolidace jsou obdobné jako na dalších lokalitách ve vrbenské skupině. Pozdně metamorfnímu (sekrečnímu?) původu mineralizace nasvědčuje i minerální složení žil, jejich stavební znaky i chemismus rudních minerálů.

PODĚKOVÁNÍ

Autorský kolektiv děkuje mateřským pracovištím za vytvoření příznivých podmínek k práci na dané problematice, P. Zaunstöckovi za zhotovení mikroskopických preparátů, R. Škodovi a P. Gadasovi za WDX analýzy minerálních fází a J. Štelcovi za SE snímky elektronovým mikroskopem. Studium fluidních inkluzí bylo podpořeno projektem IGA PŘF-2014019. Velmi srdečně a upřímně děkujeme za podnětné recenzi posouzení textu J. Malcovi a P. Morávkovi.

LITERATURA

- BARTAS, F., 1950: Geologické a petrografické poměry území Zlaté Hory – Heřmanovice. – *Přir. sbor. Ostravského kraje*, 11: 134–162. Ostrava.
- BÁRTKOVÁ, V., 2010: Zlatonosná mineralizace na historickém ložisku zlata Marie Pomocná ve zlatohorském rudním revíru. – *MS, bakalářská práce PŘF UP Olomouc*.
- BODNAR, R. J., 1993: Revised equation and table for determining the freezing point depression of H₂O-NaCl solutions. – *Geochim. Cosmochim. Acta*, 57: 683–684.
- ĐURIŠOVÁ, J., 1990: Charakteristika nerostotvorného prostředí na vybraných lokalitách Jeseníků na základě studia fluidních inkluzí. – *Sbor. geol. věd, Ložisk. geol. mineral.*, 29: 167–186. Praha.
- FOJT, B., 1966: Stručná charakteristika chemismu hlavních sulfidických minerálů zlatohorské rudní oblasti v Hrubém Jeseníku. – *Acta Mus. Silesiae*, A, 15: 1–23. Opava.
- FOJT, B., DOLNÍČEK, Z., NEPEJCHAL, M., 2012: Zlato v křemenných žilách lokalit Hláška a Vysoká hora – severní část revíru Andělská Hora. – *Acta Mus. Moraviae, Sci. geol.*, 97, 2: 47–67. Brno.
- FOJT, B., HLADÍKOVÁ, J., KALENDA, F., 2001: Zlaté Hory ve Slezsku – největší rudní revír v Jeseníkách, část 2. – *Acta Mus. Moraviae, Sci. geol.*, 86: 3–58. Brno.
- HURAI, V., KIHLE, J., KOTULOVÁ, J., MARKO, F., ŚWIERCZEWSKA, A., 2002: Origin of methane in quartz crystals from the Tertiary accretionary wedge and fore-arc basin of the Western Carpathians. – *Appl. Geoch.*, 17: 1259–1271.
- HURAIOVÁ, M., HURAI, V., SLOBODNÍK, M., 2002: Základy štúdia fluidných inklúzií v mineráloch. – MU Brno a UK Bratislava.

- KŘÍBEK, B., ŽÁK, K., DOBEŠ, P., LEICHMANN, J., PUDILOVÁ, M., RENÉ, M., SCHARM, B., SCHARMOVÁ, M., HÁJEK, A., HOLECZY, D., HEIN, U. F., LEHMANN, B., 2009: The Rožná uranium deposit (Bohemian Massif, Czech Republic): shear zone-hosted, late Variscan and post-Variscan hydrothermal mineralization. - *Miner. Deposita*, 44: 99-128.
- MALEC, J., KAVALÍR, J., JANSÁ, J., 1990: Zlato a doprovodné minerály z oblasti Jeseníků. 2. část výskytů. - *MS ÚNS Kutná Hora*.
- NEPEJCHAL, M., DOLNÍČEK, Z., FOJT, B., MÍČUDOVÁ, K., 2013: Zlato historického důlního díla Anna - Zlaté Hory v Jeseníkách. - *Acta Mus. Moravice, Sci. geol.*, 98: 25-37. Brno.
- NOVOTNÝ, P., ZIMÁK, J., 2002: Chemizmus zlata v křemenné žíle štoly Maria Hilfe I ve Zlatých Horách. - *Sborník „Mineralogie Českého masivu a Západních Karpat 2002“*: 67-69. Olomouc.
- NOVOTNÝ, P., KRÁL, J., 2007: Zlato v Schäffer Pinge, Zlaté Hory. - *Zprávy Vlast. Muz. v Olomouci*, 289-291: 51-53. Olomouc.
- POUCHOU, J., PICOIR, F., 1985: „PAP“ procedure for improved quantitative microanalysis. - *Microbeam Analysis*, 20: 104-105. London.
- SHEPHERD, T. J., RANKIN, A. H., ALDERTON, D. H. M., 1985: A practical guide to fluid inclusion studies. - Blackie. Glasgow and London.
- STANĚK, S., MALEC, J. a kol., 2005: Nález kobaltinu a zlata na křemenné struktuře Marie Pomocná III ve Zlatých Horách. - *Hornická Příbram ve vědě a technice, sekce T, přednáška T7*: 1-2. Příbram.
- STUHLÍKOVÁ-KOTRČOVÁ, K., 1955: Geologické mapování území mezi Zlatými Horami a Heřmanovicemi. - *MS, dipl. práce PřF MU Brno*.
- THIÉRY, R., VAN DEN KERKHOFF, A. M., DUBESSY, J., 1994: VX properties of CH₄-CO₂ and CO₂-N₂ fluid inclusions: modelling for T <31 °C and P <400 bars. - *Eur. J. Mineral.*, 6: 753-771.
- VEČERA, J., VEČEROVÁ, V., 2010: Historie zlatohorských dolů. - Jeseník.
- ZIMÁK, J., NEPEJCHAL, M., 2010: Zlato z dolu Marie Pomocná III ve zlatohorském rudním revíru. - *Geol. výzk. Mor. Slez. v r. 2010*: 115-116. Brno.