

ZLATO HISTORICKÉHO DŮLNÍHO DÍLA ANNA - ZLATÉ HORY V JESENÍKÁCH

GOLD FROM THE HISTORIC ORE DEPOSIT "ANNA" - 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. (2013): Zlato historického důlního díla „Anna“ - Zlaté Hory v Jeseníkách. – *Acta Mus. Moraviae, Sci. geol.*, 98, 2, 25-37.

Gold from the historic ore deposit "Anna" - Zlaté Hory Ore District, Jeseníky Mts., Czech Republic

Small gold sheets corresponding to electrum-to-silver-rich gold (35-65 at. % Ag) were found in lenticular quartz-carbonate veins hosted by sericite phyllites of the Cu-deposit Anna (Zlaté Hory - North Ore District). The amount of other minerals including chalcopyrite, pyrrhotite, sphalerite, anatase, rutile, and albite is low. The lower fineness of gold in comparison with formerly analyzed gold sheets from quartz vein of the Zlaté Hory Ore District (6-25 at. % Ag) is probably related to Ag-richer sulphide-bearing environment, in which the veins formed during the metamorphic mobilization. The supergene products are dominated by iron oxohydroxides (goethite), undetermined hydrated manganese oxides, malachite, rare supergene chalcopyrite, native copper, and secondary gold (with fineness of 840-850). Quartz-hosted aqueous fluid inclusions homogenized mostly between 160 and 280 °C. Two compositional types of fluid inclusions were found: (i) dominating low-salinity (0-12 wt. % NaCl eq.) Na-(Mg,Fe)-Cl, and rare high-salinity (up to 25 wt. % NaCl eq.) Na-Ca-Cl brines. These data are consistent with late-metamorphic origin of the fluid phase. The participation of brines can explain both the presence of sulphides in vein and high Ag contents in primary gold, since high-salinity fluids have a high complexation capacity for heavy metals.

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

Miroslav Nepejchal, Žižkova 8, 787 01 Šumperk, Czech Republic, e-mail: miroslav.nepejchal@pramet.com

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, e-mail: fojt@sci.muni.cz

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

ÚVOD

Ve zlatohorském rudním revíru se zlato vyskytuje jednak v pobobě drobných vtroušených zlatinek ve stratiformních sulfidických rudních tělesech, jednak v tzv. „zlatých sloupech“ vzniklých v důsledku metamorfního přepracování a mobilizace stratiformní mineralizace (např. na ložisku Zlaté Hory - západ). V historickém důlním podnikání bylo zlato získáváno i z postmetamorfních sekrečních křemenných žil, jak o tom svědčí např. důlní díla Marie Pomocná I až IV, seřazená paralelně ve směru SV-JZ po svahu od

poutního místa stejného jména ke Zlatým Horám. Je velmi pravděpodobné, že valouny křemene se zlatem, nalezené v glaciáluálních sedimentech v 16. a 17. století v „měkkých dolech“ v severním předpolí primárních zlatohorských ložisek (VEČERA a kol. 1994; VEČERA, VEČEROVÁ 1998, 2010) pocházejí ze zmíněných křemenných žil.

Při systematické terénní rekonoskaci rudních výskytnů v zlatohorské oblasti jedním z autorů (M.N.) bylo nově zjištěno zlato i v historickém důlním díle Anna poblíž Výrova kamene v severní části revíru. Bližší charakteristika zlata a doprovodných minerálů je předmětem následujícího pojednání.

PŘEHLED DOSAVADNÍCH POZNATKŮ

Údaje o výskytu zlata v postmetamorfních křemenných žilách zlatohorského území (MALEC *et al.* 1990, NOVOTNÝ, ZIMÁK 2002; STANĚK, MALEC a kol. 2005; NOVOTNÝ, KRÁL 2007; BÁRTKOVÁ 2010; ZIMÁK, NEPEJCHAL 2011) se shodují v tom, že jde o zlatinky o velikosti 0,00X až 3 mm s 6–25 atomovými % stříbra (median 17 at. % Ag, n = 22) a nepříliš častým doprovodem obecných sulfidů. Výjimečně byly zjištěny i nedokonalé oktaedrické krystalky zlata (NOVOTNÝ, ZIMÁK 2002). Jako hlavní matrice vtroušených zlatinek je popisován křemen, částečně rekrystalovaný, místy v dutinkách i korodovaný, s chloritem (ZIMÁK, NEPEJCHAL 2011) i muskovitem; uváděn je i xenotim a uraninit (NOVOTNÝ, ZIMÁK 2002), rutil a kobaltin (MALEC *et al.* 1990; STANĚK, MALEC a kol. 2005).

VEČERA A VEČEROVÁ (2010) předpokládají, že těžba zlata z křemenných žil je velmi starého data a mohla být ukončena již na přelomu 13. a 14. století. Křemenných žil, které byly starými prospektory „testovány“ na zlato, je ve zlatohorském regionu více – viz např. vyrubané výklenky ve výchozech metamorfítů u Sovích skal a dnes již zasutá jáma při lesní silnici k poutnímu kostelu Marie Pomocné. Na Habtmannově mapě z roku 1769 jsou uvedena čtyři těžená ložiska tohoto typu (údaj z manuskriptu MALCE a STAŇKA 2005). KALENDA a kol. (1990) se zmiňují o pěti takových ložiskových tělesech.

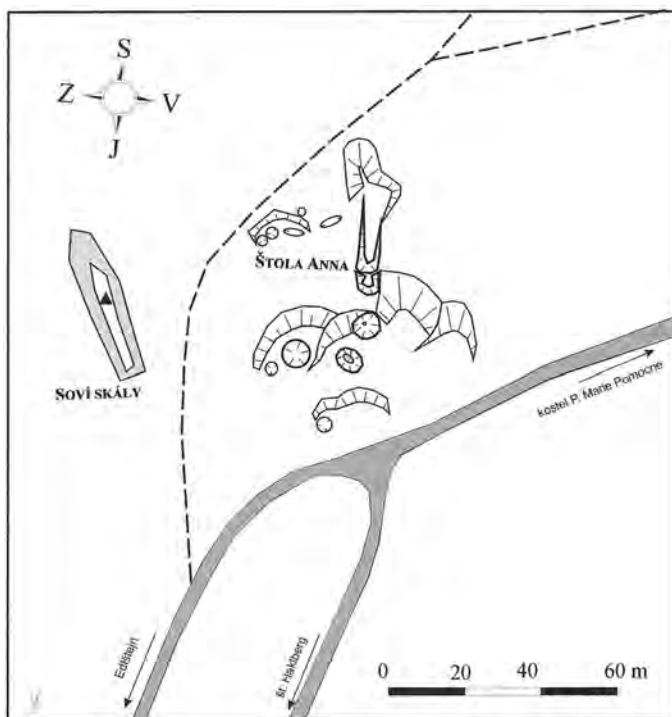
GEOLOGICKO-LOŽISKOVÁ SITUACE STUDOVANÉ LOKALITY

Ústí historické štoly Anna se nachází v nadmořské výšce 730 m na západním svahu Výrova kamene, poblíž nápadných Sovích skal (obr. 1). Po vyzmáhání, při vyhledávacím průzkumu v 50. letech minulého století, je ještě i dnes omezeně přístupná propadlým kominem ze vstupního překopu. Je ražena ve fylitech a kvarcitech devonské vrbenské skupiny. Zrudnění, jak je patrné z materiálu základky nad zatopenou dobývkou, je tvořeno převážně vtroušeným až žilkovitým chalkopyritem, který je doprovázen pyrotinem, akcesorickým sfaleritem a zcela sporadickým pyritem, výjimečně i galenitem v antiklinální struktuře masivního kvarcitu (ZÍTEK 1955). Ve foliačních plochách hornin o směru SSZ-JJV, s proměnlivým úklonem k VSV, se vyskytují ložní, výrazně čočkovitě vyvinuté křemeno ± karbonátové žíly s akcesorickým obsahem zlata. Jejich mocnost kolísá v rámci centimetrů až decimetrů.

Hostitelskými horninami zmíněných žil jsou muskovitové fylity. Jejich matrice je složena téměř výhradně z paralelních proužků krenulačně zvrásněných agregátů *světých slíd*. Zcela podřadnými jsou drobozrné čočkovité agregáty *křemene s karbonátem*. Jedinou výraznou akcesorií tvoří tyčinkovitá, v plochách s paralelně uspořádaná, jemná individua tmavě zbarveného *rutilu*, zatímco izometrická drobná zrna *apatitu* jsou zastoupena jen ojediněle.

Přibližně 60 m východně od štoly Anna, při lesní silnici směrem k poutnímu kostelu Marie Pomocné, byla zjištěna rozvlečená malá halda se sericitovými kvarcity s chalkopyrit-pyrotinovými vtroušeninami a mladšími čočkovitými shluky hruběji zrnitého křemene, v nichž bylo také nalezeno sporadické zlato.

Obr. 1. Situace starých
 báňských prací Cu-ložiska
 „Anna“ podle J. Večeří.
 Fig. 1. Situation of the old
 mine works at the locality
 “Anna” according
 to J. Večeřa.



PŘEHLED POUŽITÉ METODIKY

Všechny vzorky použité v předložené práci odebral a v terénu dokumentoval první z autorů. Také všechny procesy rozdužování rudnin, separace a rýžování těžkého podílu provedl tentýž pracovník. Mikroskopické preparáty pořídili pracovníci brusírny ÚGV PrF MU Brno J. Povolný a P. Zaunstöck. Jejich vyhodnocení bylo provedeno běžným způsobem při použití mikroskopu JenaPol.

Bodové chemické analýzy jednotlivých minerálních fází změřil R. Škoda na mikrosondě Cameca SX 100 na společném pracovišti PrF MU a ČGS v Brně ve vlnově disperzním modu za těchto podmínek: pro sulfidy a zlato bylo použito urychlovací napětí 25 kV, proud svazku o průměru 1 μm 20 nA; silikáty, oxidy a karbonáty byly analyzovány při urychlovacím napětí 15 kV a proudu 10 nA, při čemž průměr svazku pro karbonáty byl 8 μm , pro silikáty a oxidy 5 μm . Jako standardy byly aplikovány syntetické fáze a dobře definované minerály. Pro přepočítání načtených hodnot byla použita automatická PAP korekce (POUCHOU a PICHOR 1985). Tentýž pracovník pořídil i mikrofotografie v odražených elektronech (BSE). Mikrofotografie a semikvantitativní analýzy na elektronovém mikroskopu Jeol JSM-6490 s přidaným EDX detektorem provedl J. Štelcl při urychlovacím napětí 15 kV. Mikrofotografie nábrusů a výbrusů zajistil D. Všianský - vše na pracovišti ÚGV PrF MU Brno. Index světelného lomu n_B albitu byl změřen imerzní metodou.

Fluidní inkluze byly studovány ve třech nově odebraných vzorcích, z nichž byly zhotoveny standardní oboustranně leštěné destičky, lepené 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 vodného roztoku (L), někdy i plynné fáze (V). Mikro-

termometrické parametry inkluzí byly po odlepení destiček od skel pomocí nitrometanu změřeny na Katedře geologie PříF UP v Olomouci v termokomůře Linkam THMSG 600. Komora byla kalibrována měřením anorganických standardů a fluidních inkluzí se známými teplotami fázových přechodů. Byly měřeny následující parametry: teplota homogenizace (Th), teplota zamrznutí inkluze (Tf), teplota eutektika (Te) a teplota tání ledu (Tm ledu). Jednofázové 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.

Vlastní studium bylo soustředěno na čočkovitě vyvinuté žíly na kříži starého překopu a sledné a jedné žíly z dobývkové komory. Jejich směr, souhlasný s foliací okolních fylitů, se pohybuje mezi hodnotami 256 až 330° s úklonem k V.

MINERALOGICKÁ A CHEMICKÁ CHARAKTERISTIKA KŘEMENNO-KARBONÁTOVÝCH ŽIL SE ZLATEM

Výrazně převládající matici sledovaných čočkovitých žil tvoří agregát hrubozrnného, často undulózně zhášejiého *křemene*. V prostoru intergranulár se vyskytují jemnozrnné rekrystalované shluky téhož minerálu. Drobné křemenné krystalky v dutinách jsou značně korodované. Běžně uzavírá křemen útržky okolních fylitů.

Karbonáty jsou nejčastěji soustředěny při okrajích křemenných žil. Převládající složkou zmíněných agregátů tvoří až centimetrová, místy automorfní zrna *ankeritu*, která bývají obklopena a uzavírána *kalcitem* s ostrůvky *Fe-dolomitu*. Na chemickém složení karbonátů se podílejí vedle hlavních složek (Ca, Fe, Mg) také mírně zvýšené obsahy manganu (až 2,8 hmotn. % MnO) – viz tab. 1. Ankerit je výrazně limonitizován, zvláště podél žilkovitých proužků nejmladšího kalcitu.

Tabulka 1. Reprezentativní WDX analýzy karbonátů (hmotn. %).

Table 1. Representative WDX carbonate analyses (wt. %).

	A		B		C		
	A3 (1)	A3 (2)	A3 (3)	A3 (4)	A3 (5)	A3 (6)	A3 (7)
CaO	52,44	52,73	28,37	28,38	29,30	29,58	29,70
FeO	1,31	1,27	18,67	18,11	9,73	10,94	11,81
MgO	0,62	0,53	9,09	9,27	13,34	13,19	12,78
SrO	0,12	0,10	0,03	0,05	0,09	0,04	0,08
MnO	1,62	1,61	0,83	0,78	2,81	1,94	1,62
ZnO	b.d.	0,02	0,04	0,08	0,02	b.d.	b.d.
CO ₂ calc.	43,69	43,79	44,18	44,04	45,35	45,54	45,54
Σ	99,80	100,05	101,21	100,71	100,64	101,23	101,53
CaCO ₃	93,6	94,1	0,2	0,7	4,1	4,4	4,6
FeCO ₃	2,1	2,0					
MgCO ₃	1,3	1,1					
SrCO ₃	0,2	0,1		0,1	0,1	0,1	0,1
MnCO ₃	2,6	2,6					
ZnCO ₃			0,1	0,1			
CaFe(CO ₃) ₂			60,2	58,4	31,4	35,9	38,1
CaMg(CO ₃) ₂			38,0	38,8	55,8	55,2	53,5
CaMn(CO ₃) ₂			2,7	2,5	8,7	6,3	5,3

A – kalcit (calcite), B – ankerit (ankerite), C – Fe-dolomit (Fe-dolomite),

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

Tabulka 2. WDX analýzy rutilu a anatasu (hmotn. %).

Table 2. Rutile and anatase WDX analyses (wt. %).

	SiO ₂	ZrO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	V ₂ O ₃	FeO	WO ₃	Nb ₂ O ₅	Σ
A4(1)	b.d.	0,05	93,31	0,05	0,22	2,36	3,11	0,36	99,46
A4(2)	0,11	b.d.	97,64	b.d.	b.d.	0,79	b.d.	0,05	98,59
Apfu									
A4(1)		0,001	1,931	0,001	0,002	0,043	0,020	0,002	2,000
A4(2)	0,003		1,983			0,014			2,000

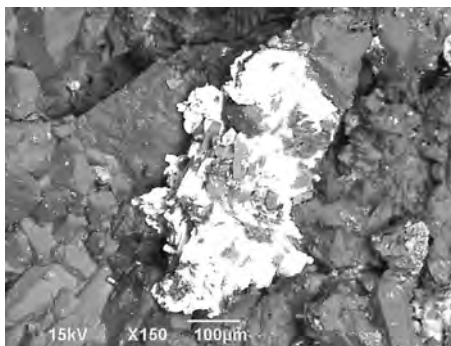
A4(1) – rutil (rutile); A4(2) – anatas (anatase); b.d. – pod mezí detekce (below the detection limit)

Porůznu se v žilách objevují i značně přeměněné hnízdovité shluky živců. Podle přibližně stanoveného světelného indexu lomu ($n_p \approx 1,533$) jde o *albit*.

Z akcesorií se vyskytují v křemenných žilách *rutil* a častější *anatas*. Chemismus obou fází je uveden v tab. 2. Zatím co anatas je chemicky relativně velmi čistý, v rutilu byl zjištěn zvýšený obsah železa, wolframu, niobu a vanadu.

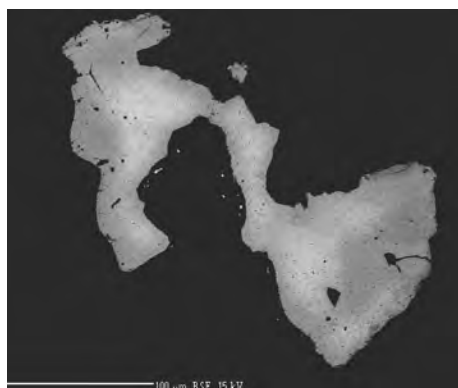
Zlato se vyskytuje jak v křemenu, tak také v karbonátech (většinou značně limonitizovaných), v nichž je jeho výskyt hojnější. Velikost zlatinek kolísá od desítek mikrometrů až po 1,5 mm, tvar zrn je velmi variabilní (rozečkané plíšky, bizarní červíkovité formy i zaoblená zrna, místy s náznaky automorfního vývinu v podobě nedokonalých oktaedrů) – obr. 2, 3 a 4.

Výsledky 30 bodových WDX analýz jsou uvedeny v tab. 3. Z diagramu poměru hmotnostního zastoupení Au/Ag (obr. 6) vyplývá, že jde o dva typy zlata. Výrazně početnější (26 analýz) jsou zlatinky s obsahy 35 až 65 atomových (23–51 hmotn.) % stříbra, což je blíže charakterizuje jako *elekttrum* až *stříbrnaté zlato* (median = 47,9 atom.,



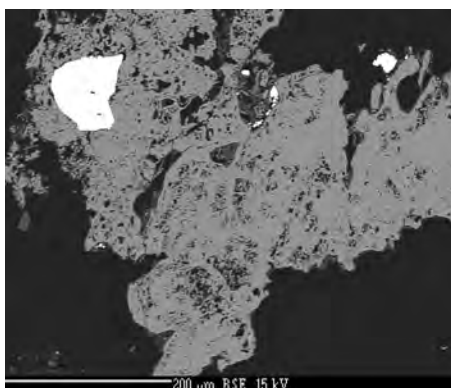
Obr. 2. Rozečkané plíšky zlata (bílé) na křemenu (šedý). SEM, BSE foto.

Fig. 2. Irregular gold sheets (white) in quartz (grey). SEM, BSE photo.



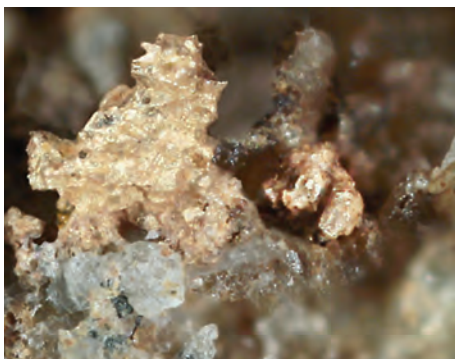
Obr. 3a. Zlato s difúzně zonální distribucí Au-Ag. BSE foto.

Fig. 3a. Gold with diffusively zonal distribution of Au-Ag. BSE photo.



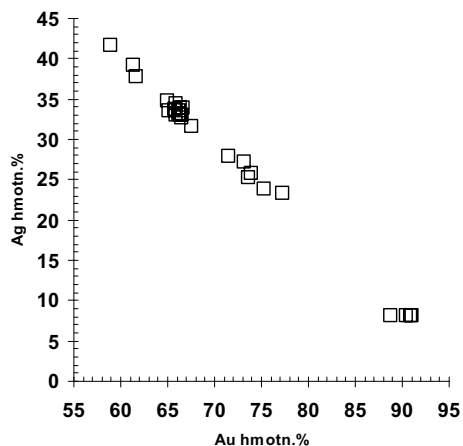
Obr. 3b. Zlato ve zcela limonitizovaném karbonátu. BSE foto.

Fig. 3b. Gold hosted by totally limonitized carbonate. BSE photo.



Obr. 4. Zlatinka z dutiny křemene (velikost 0,5 mm). Makrofoto J. Bajer.

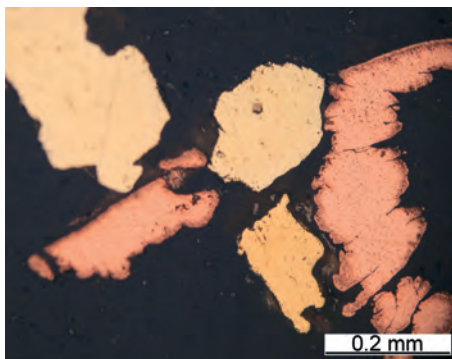
Fig. 4. Gold sheet in the cavity of quartz vein (0.5 mm). Macrophoto by J. Bajer.



Obr. 6. Srovnání obsahů zlata a stříbra v analyzovaných zlatinkách (hmotn. %).

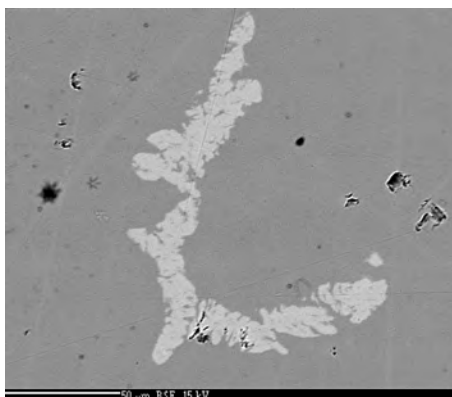
Fig. 6. Relationship between contents of gold and silver in the gold sheets (wt. %).

33,5 hmotn. % Ag). Druhý typ, reprezentovaný pouze 4 analýzami – tab. 3, vz. A7 (1) až (4) – jsou svým složením méně variabilní (84,4 až 85,2 atom. % Au; 13,7 až 14,1 atom. % Ag). Dva rozdílné typy zlatinek jsou nápadné i v mikroskopickém obrazu v odraženém světle (obr. 5). Je velmi pravděpodobné, že zlato vyšší ryzosti vzniklo v procesu supergeneze / cementace: bylo zjištěno jen ve vyrýžovaném podílu z limonitizovaných karbonátů v asociaci s ryzí mědí; měď figuruje i v chemismu tohoto zlata (0,04–0,39 hmotn. % Cu). Při sledování chemismu zlatinek byla zjištěna v některých zrnech i difúzní zonálnost v zastoupení stříbra a zlata: relativně vyšší obsahy zlata jsou soustředěny do centrálních částí zrn. Rozdíly v obsahu zlata se pohybují kolem 10 až 15 atom. % (obr. 3a). Zastoupení ostatních prvků je malé, z větší části pod mezi detekce. Kromě mědi byl ojediněle zjištěn arzén (do 0,20 hmotn. %) a bismut (do 0,20 hmotn. %). Rtuť byla analyzována jen v šesti vzorcích, v nichž její obsah kolísá od 0,96 až do 1,56 hmotn. %.



Obr. 5. „Bílé“ a „žluté“ zlato a ryzí měď. Vyrýžovaný podíl ze zcela limonitizovaného karbonátu křemeno-karbonátové žíly. Odražené světlo, PPL.

Fig. 5. „White“ and „yellow“ gold and native copper. Heavy mineral concentrate panned from totally limonitized vein carbonate. Reflected light, PPL.



Obr. 7. Kostrovité krystaly sfaleritu v chalkopyritu. BSE foto.

Fig. 7. Skeletal sphalerite crystals in chalcopyrite. BSE photo.

Tabulka 3. WDX analýzy zlata (hmotn. %).

Table 3. WDX gold analyses (wt. %).

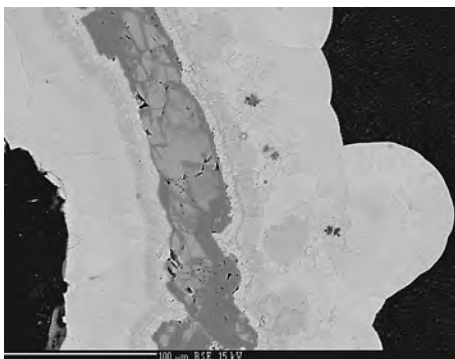
	Au	Ag	Cu	As	Bi	Hg	Total
A1 (1)	65,95	33,07	b.d.	0,15	b.d.	n.a.	99,17
A1 (2)	66,28	33,18	b.d.	0,04	0,10	n.a.	99,60
A1 (3)	66,58	32,98	b.d.	0,13	b.d.	n.a.	99,69
A1 (4)	65,71	33,73	b.d.	b.d.	b.d.	n.a.	99,44
A2 (1)	77,01	23,25	0,08	0,12	0,20	n.a.	100,66
A2 (2)	73,25	27,25	0,04	b.d.	0,14	n.a.	100,68
A2 (3)	73,69	25,17	0,05	0,13	b.d.	n.a.	99,04
A3 (1)	65,22	33,45	b.d.	0,09	b.d.	n.a.	98,76
A3 (2)	64,96	34,81	b.d.	0,09	b.d.	n.a.	99,86
A3 (3)	66,38	32,97	b.d.	0,07	b.d.	n.a.	99,42
A3 (4)	67,64	31,56	b.d.	0,11	b.d.	n.a.	99,31
A3 (5)	66,18	33,48	b.d.	0,06	0,06	n.a.	99,78
A4 (1)	54,81	45,99	b.d.	0,08	b.d.	0,96	101,84
A4 (2)	75,30	23,79	b.d.	0,07	0,09	1,21	100,46
A4 (3)	71,57	27,96	b.d.	0,05	0,10	1,20	100,88
A4 (4)	73,97	25,85	b.d.	0,10	b.d.	1,36	101,28
A5 (1)	66,56	32,73	b.d.	0,04	0,05	n.a.	99,38
A5 (2)	49,50	50,80	b.d.	0,06	b.d.	n.a.	100,36
A5 (3)	65,94	34,34	b.d.	0,10	b.d.	n.a.	100,38
A5 (4)	58,87	41,56	b.d.	0,19	0,04	n.a.	100,66
A5 (5)	49,40	50,49	b.d.	0,06	b.d.	n.a.	99,95
A5 (6)	61,31	39,26	b.d.	0,10	b.d.	n.a.	100,67
A5 (7)	66,39	33,97	b.d.	b.d.	0,15	n.a.	100,51
A5 (8)	66,70	33,86	b.d.	0,16	b.d.	n.a.	100,72
A6 (1)	53,39	46,58	b.d.	0,20	0,04	n.a.	100,21
A6 (2)	61,69	37,85	b.d.	0,12	b.d.	n.a.	99,66
A7 (1)	91,05	8,03	0,28	0,08	0,06	n.a.	99,50
A7 (2)	90,92	8,04	0,39	b.d.	b.d.	n.a.	99,35
A7 (3)	88,83	8,15	0,05	b.d.	b.d.	1,46	98,49
A7 (4)	90,46	8,14	0,04	b.d.	b.d.	1,56	100,20

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

Ze sulfidů je relativně nejčastěji přítomen *chalkopyrit*, který tvoří ojedinělá zrna s běžnými růstovými lamelami, méně i drobné tvarově nepravidelné agregáty individuí, výjimečně provázené částečně, nebo úplně přeměněným *pyrhotinem*. Velmi typickou inkluzí v chalkopyritu jsou kostrovité krystalky *sfaleritu* (obr. 7). Tentýž sulfid mimo zrna chalkopyritu je zastoupen zcela akcesoricky. V tab. 3 jsou uvedeny výsledky WDX analýz chalkopyritu a sfaleritu. Z běžného chemismu se vymykají zvýšené obsahy mědi ve skeletárních inkluzích sfaleritu (vz. A3/1/ – 3,3 hmotn. % Cu) v chalkopyritu. Zastoupení kadmia je vyšší (~ 0,7 hmotn. %) než ve sfaleritech zlatohorských stratiformních ložiskových poloh (~ 0,35 hmotn. %).

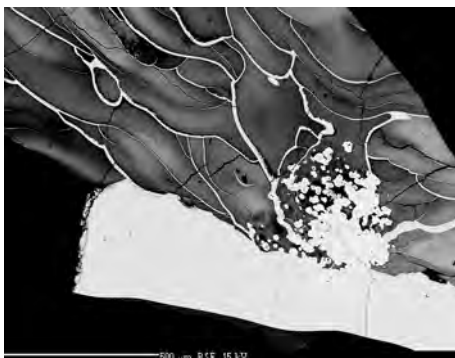
PRODUKTY ZVĚTRÁVÁNÍ

Vzhledem k tomu, že zpracovávaný materiál byl odebrán z mělce podpovrchových partií ložiska, jsou vzorky značně postiženy supergeními procesy, jejichž účinky se projevují hlavně výraznou limonitizací karbonátů. V těch částech žil, kde se původně vyskytovaly



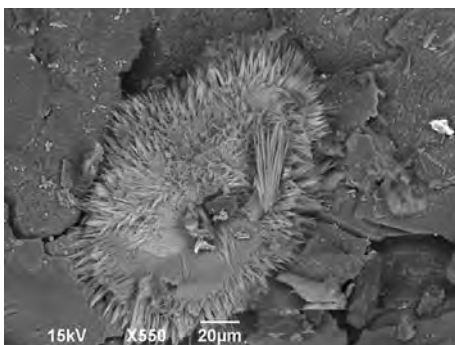
Obr. 8. Agregát rutilu (světle šedý) s anatasem (šedý) uzavřený v kolomorfním goethitu (bílý). BSE foto.

Fig. 8. Rutile (light grey) and anatase (grey) aggregate surrounded by collomorphic goethite (white). BSE photo.



Obr. 9. Dvě neidentifikované Mn(Fe) fáze. BSE foto.

Fig. 9. Two undefined Mn(Fe) phases. BSE photo.



Obr. 10. Radiálně-paprscovitý agregát malachitu na limonitu. SEM, BSE foto.

Fig. 10. Spherulitic aggregate of malachite on limonite. SEM, BSE photo.

shluky karbonátů, byly v mikroskopických preparátech konstatovány kolomorfní formy oxohydroxidů železa se střídajícími se zónami s mírně odlišnou odrazností, která souvisí s proměnlivou hydratací. Rozdíly jsou dobře patrné i v obrazu BSE. Na fotografii (obr. 8) je zastížen typický kolomorfní agregát, který vznikl kolem centra rutilu s anatasem. WDX analýzy (tab. 4, analýzy A4 /1/ až A4 /4/) prokázaly výraznou převahu oxidu železitého (~ 82–85 hmotn. % Fe_2O_3), příměsí SiO_2 (~ 1,5 hmotn. %) a Al_2O_3 (až 1,7 hmotn. %), vedle běžného stopového obsahu ZnO (~ 0,1 hmotn. %) a zvýšeného zastoupení MnO (0,3–0,7 hmotn. %). Podlimitní hodnoty CuO (< 0,05 hmotn. %) lze odůvodnit tím, že měď primárního chalkopyritu se v supergenním procesu koncentrovala spíše v karbonátových minerálních fázích (viz níže). Zmíněné zastoupení oxidu železitého se blíží hodnotě *goethitu* (89,9 hmotn. %), což bylo potvrzeno i výsledky RTG analýz – a to i když stechiometrické výpočty (po teoretickém dopočtu H_2O) vykazují deficit sumy až o 6 hmotn. %.

Další dvě supergenní fáze zjištěné ve vzorcích jedné z žil jsou typické výraznou převahou MnO nad Fe_2O_3 (tab. 4). První (vz. A4 /5/ až /7/) se vyznačuje zřetelně vyššími obsahy MnO (53–56 hmotn. %) než druhá fáze (vz. A4 /8/ a /9/) se 46–49 hmotn. % MnO . Uvedený rozdíl je opět dobře patrný v kolomorfních agregátech jak v efektu odraznosti, tak obrazu BSE. Kolísavý a proměnlivý obsah železa a manganu se projevuje bizarními morfologickými formami jak je patrné na obr. 9. Stechiometrické výpočty nelze provést, protože mangan existuje v daných supergenních podmínkách v rozdílných valencích. Lze jen konstatovat, že jde o hydratované *oxidy Mn/Fe*. Na rozdíl od goethitových asociací mají kolomorfní Mn/Fe agregáty nižší obsahy SiO_2 a vyšší zastoupení Al_2O_3 , CaO , CuO a MgO . Relativně zvýšené koncentrace NiO (0,4–0,9 hmotn. %) a zvláště BaO (1,1–1,7 hmotn. %) jsou v supergenních produktech s převahou manganu nad železem zcela běžné.

Světle modré tenké povlaky na některých místech dobývkové komory, které ZÍTEK (1955) označil za *allofan*, nebyly blíže zkoumány.

Tabulka 4. Reprezentativní WDX analýzy sulfidů (hmotn.%).

Table 4. Representative sulphide WDX analyses (wt. %).

Chalkopyrit (Chalkopyrite)												
	Fe	Cu	Zn	Cd	Ag	Pb	Mn	Co	S	Se	As	Σ
A3(1)	30,00	35,13	0,08	b.d.	0,05	0,07	n.a.	n.a.	34,79	b.d.	n.a.	100,16
A2(5)	31,85	32,77	0,06	b.d.	0,06	0,07	n.a.	n.a.	35,29	0,04	n.a.	100,14
A3(3)	28,18	32,90	b.d.	b.d.	4,99	b.d.	n.a.	n.a.	33,98	b.d.	n.a.	100,05
A3(4)	28,16	32,69	b.d.	b.d.	5,57	b.d.	n.a.	n.a.	33,76	b.d.	n.a.	100,18
Apfu												
A3(1)	0,947	0,975	0,002		0,001				2,075			4,000
A2(5)	1,042	0,943	0,002		0,001				2,012			4,000
A3(3)	0,948	0,973	0,001		0,087				1,991			4,000
A3(4)	0,95	0,969	0,001		0,097				1,983			4,000
Sfalerit (Sphalerite)												
A3(1)	8,06	3,33	55,78	0,67	b.d.	n.a.	b.d.	b.d.	32,21	b.d.	b.d.	100,10
A3(3)	6,56	0,38	58,93	0,65	b.d.	n.a.	b.d.	0,09	32,82	b.d.	0,05	99,530
Apfu												
A3(1)	0,140	0,051	0,828	0,006					0,975			2,000
A3(3)	0,114	0,006	0,876	0,006				0,001	0,996		0,001	2,000

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

Vzhledem k přítomnosti vtoušenin chalkopyritu v žilách je dalším poměrně hojně zastoupeným sekundárním minerálem *malachit*, který tvoří většinou náteky, radiálně paprscité agregáty i ježkovité shluky (obr. 10). Ojedinele byl zjištěn i supergenní *chalkopyrit* s poměrně vysokými obsahy stříbra – viz tab. 3, analýzy A3(2) a A3(3). Jde o podobný výskyt, jaký byl popsán FOJTEM A ZIMÁKEM (1983) z ložiska Hornické skály, štoly Josef. Ve vyrýžovaném podílu z limonitizovaných partií žil byla nalezena i rzy *měď* (obr. 6). Ve WDX analýzách mědi byl zjištěn jen nepatrný obsah rtuti (0,06 hmotn. %) a podlimitní stopy niklu, stříbra a bismutu (< 0,01 hmotn. %). Výše zmíněné oxohydroxidy Fe s relikty chalkopyritu, provázejí i drobné shluky *covellinu*.

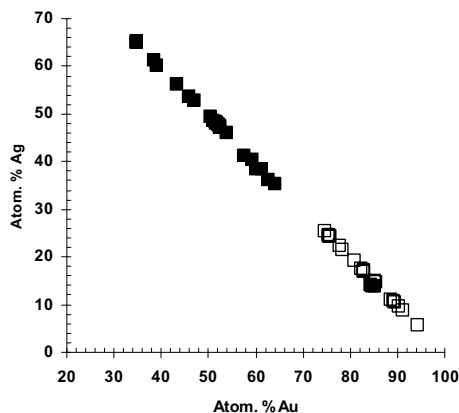
Rozkladem pyrotinu (pyrotin → markazit → pyrit) vznikají mikroskopicky nesnadno definovatelné fáze. V našem případě byl WDX analýzami „meziprojektu“ zjištěn atomární poměr S/Fe = 1,77 – 1,87.

V chemických analýzách tří vzorků z limonitizovaných partií žil (18,8–23,2 hmotn. % Fe₂O₃) byla zjištěna měď (0,31–0,37 hmotn. %), v menší míře i olovo (max. 33 ppm) a zinek (42–103 ppm).

FLUIDNÍ INKLUZE

Mikrotermometricky měřitelné fluidní inkluze byly zastíženy pouze v křemenu ve dvou vzorcích žilné mineralizace. Třetí vzorek, stejně jako karbonáty z ostatních vzorků, obsahovaly pouze sporadické inkluze velmi malých rozměrů (pod 4 mm). Fluidní inkluze v křemenu jsou reprezentovány výhradně typem H₂O. Inkluze považované za primární se vyskytují jako solitérní, či v náhodné trojrozměrné distribuci. Další inkluze, označené v dalším textu jako pseudosekundární až sekundární (PS-S) jsou přítomny v krátkých, většinou neprůběžných řádcích nebo v řádcích protínajících celé minerální zrno. Většina přítomných P i PS inkluzí náleží typu L+V a zpravidla mají relativně stálý stupeň zaplnění (80–90 obj. % kapalné fáze). V některých případech může plynná fáze v inkluzi chybět (metastabilita?). Velikost uzavření bývá nejčastěji mezi 5 a 10 μm. Tvary inkluzí jsou oválné, izometrické (P inkluze), často také nepravidelné (PS-S inkluze).

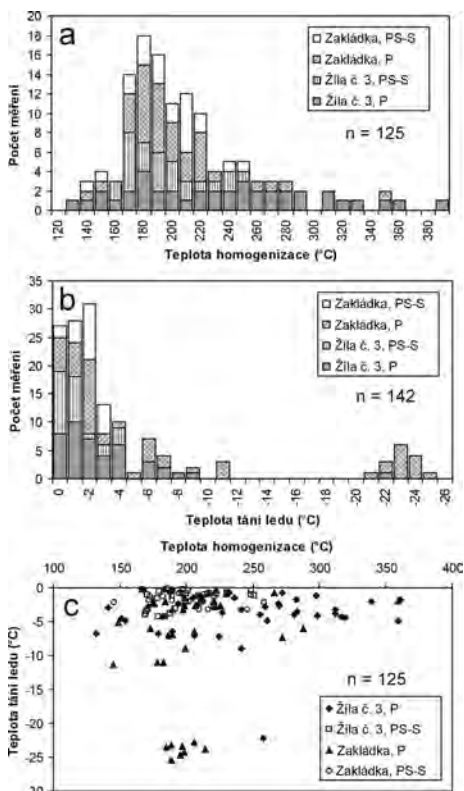
Výsledky mikrotermometrických měření inkluzí jsou shrnuty v tab. 6 a graficky prezentovány na obr. 12. V obou vzorcích křemene byly přítomny pouze vodné inkluze bez mikrotermometricky detekovatelné příměsi plynů, které vykazovaly do značné míry velmi po-



Obr. 11. Srovnání Au/Ag zlatinek štolý „Anna“ (■) s výskyty zlata jiných křemenných žil zlatohorského revíru (MALEC *et al.* 1990; NOVOTNÝ, ZIMÁK 2002; STANĚK, MALEC *a kol.* 2005; NOVOTNÝ, KRÁL 2007; BÁRTKOVÁ 2010; ZIMÁK, NEPEJCHAL 2012 - □). Atomová %.

Fig. 11. Relationship between the contents of gold and silver in the gold sheets of the „Anna“ locality (■) and those from other quartz veins of the Zlaté Hory Ore District (MALEC *et al.* 1990; NOVOTNÝ, ZIMÁK 2002; STANĚK, MALEC *a kol.* 2005; NOVOTNÝ, KRÁL 2007; BÁRTKOVÁ 2010; ZIMÁK, NEPEJCHAL 2011 - □). Data in at. %.

dobné mikrotermometrické charakteristiky. Teploty homogenizací dvoufázových primárních inkluzí se pohybovaly v širokém intervalu mezi 132 a 390 °C, nicméně většina hodnot spadá do intervalu 160–280 °C (obr. 12a). PS-S inkluze vykazují rozsah teplot homogenizací zcela shodný s uvedeným rozsahem nejčtenějších Th primárních inkluzí (obr. 12a). Valná většina P i PS-S inkluzí zamrzá v teplotním intervalu -31 až -76 °C. Většina inkluzí, zamrzajících za relativně vyšších teplot (do cca -45 °C) zůstává po vymrznutí bezbarvá. Část primárních inkluzí mrzne až za nižších teplot, přičemž jejich obsah výrazněji tmavne. Eutektické teploty se u většiny inkluzí pohybují mezi -17 až -38 °C, nasvědčující přítomnosti systémů NaCl-H₂O, NaCl-MgCl₂-H₂O či NaCl-FeCl₂-H₂O (SHEPHERD *et al.* 1985). Menší část inkluzí má Te nižší, až -55 °C, naznačující přítomnost fluid systému NaCl-CaCl₂-H₂O. Tání hydrátů solí nebylo registrováno vzhledem k malým velikostem inkluzí. Poslední led ve většině inkluzí taje za teplot -0,3 až -11,0 °C, nasvědčující salinitě 0,5–15,0 hmot. % NaCl ekv. (BODNAR 1993). Maximum hodnot Tm ledu je mezi 0 a -4 °C (obr. 12b). Malá část primárních inkluzí obsahujících fluida systému NaCl-CaCl₂-H₂O má výrazně nižší hodnoty Tm ledu (až -25,4 °C), odpovídající vysoké salinitě fluid (až 25,8 hm. % NaCl ekv.). V diagramu Th-Tm (obr. 12c) jsou jasně patrné dvě skupiny dat, lišící se hlavně salinitou. Mnohem čtenější relativně nízkosalinní P i PS-S inkluze vykazují



Obr. 12. Grafická prezentace výsledků mikrotermometrických analýz fluidních inkluzí. a - histogram homogenizačních teplot dvoufázových L+V fluidních inkluzí b - histogram teplot tání posledního krystalu ledu c - diagram Th vs. Tm ledu.

Fig. 12. A graphical presentation of results of microthermometric measurements of fluid inclusions. a - histogram of homogenization temperatures of two-phase L+V fluid inclusions b - histogram of ice melting temperatures c - Th vs. Tm ice plot.

Tabulka 5. WDX analýzy supergenních produktů (hmotn. %).

Table 5. WDX analyses of the supergenne products (wt. %).

	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	BaO	ZnO	MnO	MgO	NiO	CuO	PbO	Cl	Σ
A4 (1)	1,52	0,28	b.d.	80,92	b.d.	b.d.	0,12	0,26	0,08	b.d.	b.d.	0,07	b.d.	83,25
A4 (2)	1,58	0,16	b.d.	82,83	b.d.	b.d.	0,07	0,61	0,12	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	85,37
A4 (3)	1,49	b.d.	1,73	78,05	b.d.	b.d.	0,08	0,50	0,14	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	81,99
A4 (4)	1,47	b.d.	1,57	78,76	b.d.	b.d.	0,12	0,72	0,13	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	82,77
A4 (5)	0,40	b.d.	3,02	16,77	0,33	1,41	b.d.	53,35	0,78	0,40	0,10	b.d.	b.d.	76,56
A4 (6)	0,32	b.d.	2,92	16,54	0,35	1,40	0,06	53,83	0,76	0,45	0,05	0,05	b.d.	76,73
A4 (7)	0,30	0,04	3,58	9,4	0,34	1,74	0,05	55,65	0,78	0,91	0,09	b.d.	b.d.	72,88
A4 (8)	0,13	b.d.	4,14	8,91	0,24	1,12	b.d.	45,92	0,55	0,72	b.d.	b.d.	0,09	61,82
A4 (9)	0,15	b.d.	2,67	12,24	0,25	1,18	b.d.	49,31	0,72	0,42	b.d.	b.d.	0,06	67,00

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

Tabulka 6. Výsledky mikrotermometrického studia fluidních inkluzí v křemenu.

Table 6. Results of microthermometry of quartz-hosted fluid inclusions.

Vzorek	Geneze	Typ FI	LVR	Th (°C)	Tf (°C)	Te (°C)	Tm ledu (°C)	Salinita (hm. % NaCl ekv.)
Žíla č. 3	P	L+V, L	0,7–0,95	132–390	-31/-76	-17/-55	-0,3/-22,2	0,5–23,8
	PS–S?	L+V, L	0,7–0,95	167–251	-32/-42	-17 a -21	-0,3/-4,2	0,5–6,7
Základka	P	L+V, L	0,7–0,95	145–359	-31/-72	-18/-55	-0,2/-25,4	0,4–25,8
	PS–S?	L+V, L	0,7–0,9	146–259	-35/-46	-20/-36	-0,2/-3,3	0,4–5,4

výrazný subhorizontální trend, který může indikovat proměnlivé teplotní či tlakové podmínky během zachytávání inkluzí. Druhá, méně početná skupina inkluzí představuje ojedinělé primární inkluze s výrazně nižšími hodnotami Tm.

V porovnání s údaji publikovanými ĎURIŠOVOU (1990) je nápadná úplná absence fluidních inkluzí obsahujících systém CO₂-H₂O-NaCl. Inkluze s CO₂ autorka popisuje jako převažující ve všech jí studovaných vzorcích ze zlatohorského rudního revíru s výjimkou nejmladších partií křemenné výplně rudonosných žilných struktur typu „Katanga“. V nich autorka konstatuje pouze přítomnost vodných inkluzí, jejichž salinita (2–16 hm. % NaCl ekv.), teploty homogenizace (rozsah 120–290 °C, maximum hodnot mezi 200 a 250 °C) i solný systém (převaha NaCl) zcela odpovídají údajům zjištěným v této práci. Naproti tomu citovaná autorka ze zlatohorského revíru vůbec neuvádí přítomnost vysokosalinních inkluzí systému NaCl-CaCl₂-H₂O. V obdobné pozici (mineralizace konformní s foliací) však daný systém ve fluidních inkluzích sporadicky zaznamenali FOJT *et al.* (2010) a MÜCKE *et al.* (subm.) v polymetalické i železnorudné mineralizaci ložiska Horní Benešov.

STRUČNÉ SHRUTÍ POZNATKŮ, DISKUSE

Vtroušené a žilkovité zrudnění v masivních kvarcitech štoly Anna (Zlaté Hory - sever) je tvořeno převážně chalkopyritem s podřadným pyrrhotinem a akcesorickým sfaleritem a galenitem. V bezprostředně přilehlých sericitových fylitech dané lokality bylo zastíženo důlními pracemi i několik ložních sekrečních čočkovitých žil, v nichž byly zjištěny vedle výše zmíněných sulfidů i drobné zlatinky, které lze na základě WDX analýz označit za elektum až stříbrnaté zlato. Srovnáním s chemismem dříve popsanych, geneticky podobných výskytů ve zlatohorském regionu (Marie Pomocná I, Marie Pomocná III – MALEC *et al.* 1990; NOVOTNÝ, ZIMÁK 2002; MALEC, STANĚK 2005; ZIMÁK, NEPEJCHAL 2011 a Schäffer Pinge – NOVOTNÝ, KRÁL 2007) s lokalitou Anna existují rozdíly v zastoupení stříbra ve zlatě zmíněných výskytů – viz obr. 11. Ty lze vysvětlit, pokud přijmeme hypotézu o vlivu minerálního prostředí při procesech krystalizace / rekrystalizace / mobilizace zlata. (FOJT *et al.* 2001). Dříve analyzované zlatinky vyšší ryzosti pocházejí z křemenných žil z relativně sterilnější oblasti, mimo polymetalické mineralizace, zatímco křemeno-karbonátové žíly štoly Anna jsou v přímém kontaktu s měděným zrudněním (s obsahy stříbra v chalkopyritu

kolem 600 ppm). Například zlato z nápadně podobného výskytu Vysoká hora / Hláška v rudním revíru Andělská Hora (FOJT *et al.* 2012), také bez koncentrací polymetalického zrudnění, je vysocí ryzí (850-920). Zlatinky obou lokalit byly zjištěny častěji v limonitizovaných karbonátech (ankeritu a Fe-dolomitu), než v křemeni. Na tuto skutečnost upozornili již MALEC *et al.* (1990). Zlato štoly Anna poměrně vysoké ryzosti (840 až 850), vzniklo pravděpodobně v procesu supergeneze / cementace - bylo zjištěno jen ve vyrýžovaném podílu v asociaci s ryzí měď a v jeho složení je, na rozdíl od ostatních méně ryzích zlatinek, zastoupena i měď (0,04-0,39 hmotn. %).

Názor na genezi žil procesem metamorfní sekrece lze podpořit akcesorickou přítomností albitu a Ti-minerálů - rutilu a anatasu, stejně jako relativně zvýšeným (~ 0,66 hmotn. %) zastoupením kadmia ve sfaleritu (stratiformní zlatohorské sfalerity obsahují ~ 0,35 hmotn. %, metamorfně mobilizované ~ 0,85 hmotn. % Cd - FOJT *et al.* 2001). Na základě přítomnosti skeletárních forem sfaleritu v chalkopyritu lze uvažovat o teplotě krystalizace daných fází kolem 350 °C.

Mezi produkty supergeneze, v nichž převládá goethit a malachit, byly zjištěny i dvě blíže neidentifikované Mn-(Fe)-fáze, sekundární chalkopyrit s relativně vysokým obsahem stříbra (~ 5 hmotn. % Ag), ryzí měď a výše zmíněné cementační zlato.

Údaje získané studiem fluidních inkluzí nasvědčují formování dané mineralizace během pozdních fází metamorfního přepracování daného horninového prostředí. Vzhledem k tomu, že fluidní inkluze byly s největší pravděpodobností zachyceny z homogenního fluida, nelze bez použití nezávislých termometrů či barometrů specifikovat P-T podmínky zachycení fluida a tedy i formování dané mineralizace. Širší rozsah hodnot Th by nasvědčoval proměnlivým teplotním či tlakovým podmínkám při krystalizaci, což je v souladu s předpokládaným pozdně metamorfním vznikem. Spoluúčast vysokosalinních fluid dobře vysvětluje zvýšené obsahy sulfidů na žilách a vyšší obsahy stříbra v primárním zlatě - je známo, že vysokosalinní chloridová fluida mají značnou komplexační (a tedy i transportní) kapacitu pro těžké kovy (srov. FOJT *et al.* 2007).

PODĚKOVÁNÍ

Autorský kolektiv děkuje mateřským pracovištím za vytvoření příznivých podmínek k práci na dané problematice, J. Povolnému a P. Zaunstöckovi za výrobu mikroskopických preparátů, D. Všianskému za provedení mikrofotografií, R. Škodovi za WDX analýzy jednotlivých minerálních fází, J. Štelcovi za aplikaci metod elektronové mikroskopie, P. Kadlecovi za klasické chemické analýzy rudnin, V. Vávrovi za provedení difrakčních analýz, J. Večeřovi za poskytnutí topografických podkladů ke studované lokalitě a oběma recenzentům (dr. J. Litochlebovi a dr. K. Malému) za podnětné poznámky k předložené studii.

LITERATURA

- BÁRTKOVÁ, V., 2010: Zlatonosná mineralizace na historickém ložisku zlata Marie Pomocná ve zlatohorském rudním revíru. - *MS, bakalářská práce, PrF 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., ZIMÁK, J., 1983: Supergenní minerály mědi z ložiska Zlaté Hory - Hornické skály. - *Zprávy Kraj. Vlastivěd. Muz. v Olomouci*, 221: 28-36. Olomouc.
- 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.

- FOJT, B., DOLNÍČEK, Z., HLADÍKOVÁ, J., ŠKODA, R., ZEMAN, J., 2010: Paragenetická charakteristika ložisek Zn-Pb a Fe rud u Horního Benešova v Nízkém Jeseníku. - Část I.: Ložisko Zn-Pb rud. - *Čas. Slez. Muz. Opava (A)*, 59, 1, 1-58. Opava.
- FOJT, B., DOLNÍČEK, Z., HOFFMAN, V., ŠKODA, R., TRDLÍČKA, Z., ZEMAN, J., 2007: Paragenetická charakteristika ložisek Zn-Pb rud v širším okolí Horního Města u Rýmařova (Nízký Jeseník). - *Acta Mus. Moraviae, Sci. geol.*, 92, 3-57. Brno.
- 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.
- KALENDA, F. a kol., 1990: Zlaté Hory - okolí. Závěrečná zpráva. - *MS, Geofond Praha*, P 50702.
- MALEC, J., STANĚK, S., 2005: Nález kobaltinu a zlata na křemenné struktuře Marie Pomocné III ve Zlatých Horách. - *MS, písemné podklady k referátu na „Hornické Příbrami 2005“*.
- MALEC, J., KAVALÍR, J., JANSKA, J., 1990: Zlato a doprovodné minerály z oblasti Jeseníků. 2.část výskytů. - *MS ÚNS Kutná Hora*.
- MŮCKE, A., DOLNÍČEK, Z., FOJT, B., HLADÍKOVÁ, J., HERMANN, K., PUDILOVÁ, M., REIF, J., ŠKODA, R. (subm.): Horní Benešov ore deposit in the Devonian Šternberk-Horní Benešov Belt, Jeseníky Mts., Czech Republic. Part II: Fe-ore occurrence. - *Čas. Slez. Muz. (A)*.
- NOVOTNÝ, P., ZIMÁK, J., 2002: Chemizmus zlata v křemenné žile 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 v Jeseníkách. - *Zprávy Vlast. muz. v Olomouci*, 289-291: 51-53. Olomouc.
- 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.
- VEČEŘA, J. a kol., 1994: Zlatohorský rudní revír. Průvodce hornickou naučnou stezkou. - Montanisticko-geologická nadace Zlaté Hory.
- VEČEŘA, J., VEČEŘOVÁ, V., 1998: Byly ve Zlatých Horách valouny se zlatem raritou? - *Minerál* 6, 3: 198-200. Brno.
- VEČEŘA, J., VEČEŘOVÁ, V., 2010: Historie zlatohorských dolů. - Jeseník.
- ZIMÁK, J., NEPEJCHAL, M., 2011: Zlato z dolu Marie Pomocná III ve zlatohorském rudním revíru. - *Geol. výzk. Mor. Slez. v r. 2010*: 115-116. Brno.
- ZÍTEK, B., 1955: Geologické mapování oblasti jižně Zlatých Hor - úsek Míserich-sever. - *MS, diplomní práce PpF MU Brno*.