

METAMORFNÍ PŮVOD STRUKTUR PYRHOTINU, ARZENOPYRITU A LÖLLINGITU Z ORLÍKU U HUMPOLCE, ČESKÁ REPUBLIKA

METAMORPHIC ORIGIN OF TEXTURES OF PYRRHOTITE, ARSENOPYRITE AND LÖLLINGITE
FROM ORLÍK NEAR HUMPOLEC, CZECH REPUBLIC

LENKA LOSERTOVÁ, ZBYNĚK BUŘIVAL, JIŘÍ LITOCHEB & ZDENĚK LOSOS

Abstract

Losertová, L., Buřival, Z., Litochleb, J., Losos, Z., 2013: Metamorfní původ struktur pyrrhotinu, arzenopyritu a löllingitu z Orlíku u Humpolce, Česká republika. - Acta Mus. Moraviae, Sci. geol., 98, 2, 59-67.

Metamorphic origin of textures of pyrrhotite, arsenopyrite and löllingite from Orlík near Humpolec, Czech Republic

Sulphidic ores with gold were studied at locality Orlík near Humpolec. Origin of typical arsenopyrite-löllingite-pyrrhotite assemblages with invisible gold were previously described as result of LP-HT metamorphism of older gold-bearing sulphidic ores on various localities worldwide. Results from Orlík show typical features of such assemblages and confirm premetamorphic origin of gold-bearing ores. The conditions of older migmatite metamorphism with temperatures up to 730 °C and pressure decreasing from 6 kbar to 2 kbar were sufficient to decompose premetamorphic arsenopyrite and form löllingite-pyrrhotite assemblages with younger generation of arsenopyrite. Subsequent periplutonic metamorphism was too weak to significantly affect sulphidic textures.

Key words: pyrrhotite, arsenopyrite, löllingite, gold inclusions, textures, Orlík near Humpolec, Moldanubian Zone.

Lenka Losertová, Zbyněk Buřival, Zdeněk Losos - Institute of Geological Sciences, Masaryk University, Kotlářská 2, 611 37 Brno, Czech Republic. e-mail: lena.los@seznam.cz, zbynek@burival.com, losos@sci.muni.cz

Jiří Litochleb - National Museum - Natural History Museum, Cirkusová 1740, 193 00 Praha 9 - Horní Počernice, Czech Republic. e-mail: jiri_litochleb@nm.cz

ÚVOD

V tomto příspěvku jsou uvedeny novější poznatky o strukturních znacích a srůstech jednotlivých sulfidických minerálů, jejichž vznik byl způsoben účinky progradní a retrogradní metamorfózy. Průběžný korový model (crustal continuum model) byl dlouhou dobu pokládán za základ při vysvětlování geneze metamorfovaných ložisek zlata. Tento model předpokládá přínos fluid za vrcholné metamorfózy za podmínek od 180 do 700 °C (BARNICOAT *et al.* 1991), později byl však zpochybněn řadou autorů (PHILLIPS a POWELL 2009, TOMKINS a GRUNDY 2009). Pro metamorfovaná ložiska je typický vznik agregátů pyrrhotinu a löllingitu, které vznikají rozkladem arzenopyritu při progradní metamorfóze za vyšších teplot. Při retrogradní fázi dochází opětovně ke vzniku arzenopyritu na úkor löllingitu (TOMKINS a MAVROGENES 2001). Díky těmto typickým strukturám je možné vymezit období přínosu fluid a nutné metamorfní podmínky pro jejich vznik (TOMKINS a GRUNDY 2009).

CHARAKTERISTIKA LOKALITY

Zlatonosné zrudnění stratiformního metamorfogenního charakteru je vyvinuto na lokalitě Orlík, která se nalézá 1,5 km v. od města Humpolce. Lokalita je také někdy označována pomístním názvem „Na Štúlách“. Orlík u Humpolce spadá do tzv. humpolecko-pacovské zóny, někdy je vyčleňována i humpolecká zlatonosná zóna s lokalitami Orlík a Trubába – Valcha (LITOCHEB 1979, MORÁVEK *et al.* 1985).

Ve středověku zde probíhala těžba zlata a její pozůstatky se dochovaly dodnes ve třech pinkových tazích ve směru ZJZ-VSV a SSZ-JJV. Na začátku hlavního pinkového tahu je dodnes patrná hlavní dobývka se strmými stěnami a zachovanými horninovými celíky. Příčný pinkový tah směru SSZ-JJV představuje povrchovou těžbu deluviálních rozsypů. Západně od pinkových tahů se rozkládá velké pinkoviště s průzkumnými díly (LOSERTOVÁ *et al.* 2011).

Lokalita se nachází v pruhu hornin pestré jednotky moldanubika v migmatitizovaných biotit-sillimanitických pararulách s přechody až do stromatitických migmatitů. Pararuly obsahují vločky pestrých hornin, a to zejména kvarcitů nebo erlanů, na které je vázána rudní mineralizace (SZTACHO 1982, LUNA *et al.* 1988). Setkávají se zde účinky regionální metamorfózy, které se kombinují s vlivem periplutonické metamorfózy, způsobené intruzí centrálního moldanubického plutonu. Metamorfni postižení odpovídá granulitové a vyšší amfibolitové facii (ŽÁK *et al.* 2011).

Zrudnění se vyskytuje v rozptýlené podobě v pararulách, v křemenných čočkách, budinovaných a vrásově deformovaných křemenných polohách sekrečního charakteru s proměnlivým podílem rudních minerálů, dále je zrudnění vázáno na hrubozrnné prokřemeněné a rekrystalované erlany se sulfidy (LITOCHEB *et al.* 1982).

Zlato o velikosti okolo 0,01–1,00 mm tvoří automorfni až hypautomorfni ostrohranná izometrická zrnka a plíšky. Vyskytuje se v několika typech, často v myrmekitových srůstech s maldonitem a ryzím bizmutem (LITOCHEB *et al.* 1982, LITOCHEB a MALEC 1985). Typické jsou srůsty zlata s ostatními minerály, a to zejména se sulfidy a horninotvornými minerály, jako je diopsid, plagioklas, titanit a sillimanit (MORÁVEK *et al.* 1985). Zlato se vyskytuje i ve formě inkluzí v arzenopyritu a löllingitu (LITOCHEB *et al.* 1982, LITOCHEB *et al.* 2001).

Parageneticky je zrudnění charakterizováno arzenopyritem dvou generací, löllingitem, pyrotinem, markazitem, scheelitem, chalkopyritem, hematitem, apatitem a molybdenitem. Dále se v asociaci se sulfidy vyskytují Au-Bi minerály, pyrit, Ti minerály, hawleyit, Bi-tellurid blížký hedleyitu, Bi-karbonáty, Bi-oxidy a ojedinele galenit a sfalerit (LITOCHEB *et al.* 1982, LITOCHEB *et al.* 2001).

METODIKA

Ze vzorků žiloviny odebrané v hlavní dobývce „Na Štúlách“ byly zhotoveny leštěné výbrusy, které byly dále zkoumány mikroskopicky a analyticky. Bodové analýzy (WDX) byly provedeny na elektronové mikrosondě Cameca SX 100 v Brně na společném pracovišti elektronové mikroskopie a mikroanalýzy ÚGV PrF MU a ČGS. Analyzoval Mgr. P. Gadas, PhD. za těchto podmínek: urychlovací napětí 25 keV, proud svazku 20 nA a průměr svazku <1 μm. Pro stanovení chemického složení pyrotinu, arzenopyritu a löllingitu bylo použito těchto standardů: Zn (ZnS), Fe (chalkopyrit, FeS₂), Cu (chalkopyrit upraveno), Ni, As (pararammelsbergit), Se (PbSe), S (FeS₂), In (InAs upraveno), Cd (sulfid CdTe) a čistých kovů Ag, Au, Co, Ge a Mn.

VÝSLEDKY STUDIA RUDNÍCH STRUKTUR

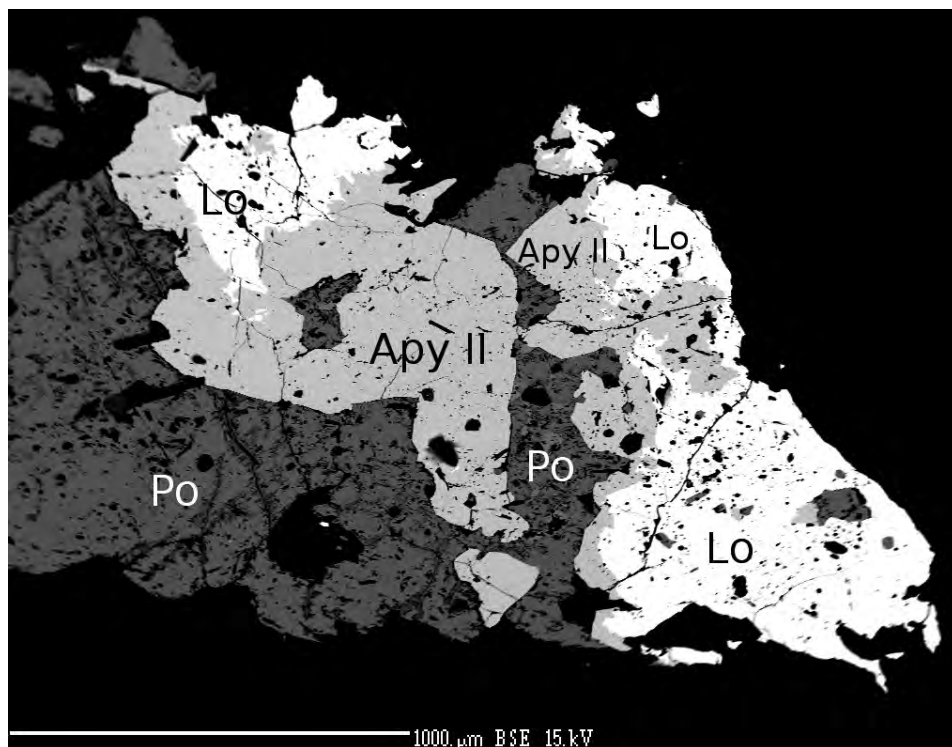
Studované zrudnění je vyvinuto v biotit-sillimanitických migmatitizovaných pararulách s páskovanou stavbou. Jedná se o ložní žilky metamorfního původu s křemenem a s občasnými agregáty sulfidů. Typické je střídání hrubozrnnějších poloh křemene s jemnozrnnějšími polohami ostatních horninotvorných minerálů.

Nejčastějšími rudními minerály jsou pyrrhotin, arzenopyrit a löllingit v asociaci s křemenem, plagioklasem, K-živcem, biotitem, s hnízdy sillimanitu, titanitem, apatitem a zirkonem. Mezi akcesorické minerály patří zlato, ryzí bizmut, galenit a kasiterit.

V migmatitizované rule jsou vyvinuty žilky a čočky křemene o mocnosti okolo 1 mm. Žilky a čočky místy obsahují mocnější polohy se zrudněním o velikosti až 3 mm. Mimo pásy a žilky křemene jsou rudní agregace obsaženy v jemnozrnnějších částech horniny, kde dosahují velikosti 0,2–1 mm.

Pyrrhotin je hypautomorfně až xenomorfně omezen a nejčastěji se nalézá v asociaci s arzenopyritem a löllingitem (obr. 1). Velikost jeho zrn se pohybuje v rozmezí 0,6–1,5 mm. Je bez přeměn s patrnou odlučností podle báze. Může tvořit i samostatná zrna v křemeni nebo srůstat s titanitem a rutilem, který zatlačuje ilmenit. Pokud se vyskytuje v asociaci s arzenopyritem, má s ním ostrou hranici. Pyrrhotin se také nachází v podobě oválných uzavření v löllingitu, bez obrůstání mladší generací arzenopyritu II.

Pyrrhotin byl zjištěn také v asociaci se sillimanitem, apatitem, arzenopyritem a monazitem. Starší sillimanit je obklopen mladším pyrrhotinem a apatitem. V pyrrhotinu v těsné



Obr. 1. Strukturní znaky pyrrhotinu (Po), arzenopyritu II (Apy II) a löllingitu (Lo) s typickým zatlačováním löllingitu arzenopyritem II; BSE foto R. Škoda.

Fig. 1. Textures of pyrrhotite (Po), arsenopyrite (Apy II) and löllingite (Lo) with typical replacing of löllingite by arsenopyrite II; BSE photo by R. Škoda.

Tabulka 1. Chemické analýzy löllingitu, arzenopyritu a pyrrhotinu z lokality Orlík u Humpolce. Löllingit přepočten na 2 atomy arzenu, arzenopyrit a pyrrhotin na 1 atom síry.
Table 1. Chemical analysis of löllingite, arsenopyrite and pyrrhotite from locality Orlík near Humpolce. Löllingite calculated for 2 apfu of As, arsenopyrite and pyrrhotite for 1 apfu of S.

	löllingit (löllingite)				arsenopyrit (arsenopyrite)					pyrrhotin (pyrrhotite)											
	44	45	46	1	2	4	9	12	47	48	49	3	5	10	11	13	50	51	6	7	8
Fe	28.29	28.26	28.32	27.63	27.59	27.37	27.49	27.54	34.81	34.75	34.74	33.46	33.63	33.82	33.62	33.78	60.04	60.12	58.78	58.32	58.83
Co	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.09	0.11	0.05	-	-	-	0.05	0.06	-	-	-	-	-	-	-	-
Ni	0.13	0.14	0.14	0.11	0.12	0.35	0.24	0.14	-	-	-	0.05	-	-	-	-	-	-	-	-	-
As	68.08	68.19	68.19	68.74	68.34	68.36	68.38	68.11	45.63	45.84	45.86	46.65	45.59	45.67	46.14	45.10	-	0.09	-	-	0.09
Se	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.06	-	-
S	1.80	1.83	1.78	1.76	1.68	1.76	1.75	1.68	19.82	19.57	19.53	18.26	18.99	19.08	18.59	19.01	39.71	39.91	38.76	39.03	39.04
Total	98.34	98.45	98.47	98.29	97.78	97.93	97.97	97.52	100.25	100.16	100.13	98.47	98.27	98.57	98.35	97.89	99.74	100.12	97.60	97.35	97.96
hm. % - wt. %	1.115	1.112	1.114	1.078	1.083	1.074	1.079	1.085	1.009	1.020	1.021	1.052	1.017	1.018	1.038	1.020	0.867	0.865	0.871	0.858	0.865
Co	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.003	0.004	0.002	-	-	-	0.001	0.002	-	-	-	-	-	-	-	-
Ni	0.005	0.005	0.005	0.004	0.005	0.013	0.009	0.005	-	-	-	0.001	-	-	-	-	-	-	-	-	-
As	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	0.896	1.003	1.005	1.093	1.028	1.024	1.062	1.015	-	0.001	-	-	0.001
Se	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.001	-	-
S	0.124	0.125	0.122	0.119	0.115	0.121	0.120	0.116	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Total	3.246	3.244	3.243	3.203	3.205	3.211	3.212	3.208	2.905	3.023	3.026	3.147	3.047	3.042	3.100	3.035	1.867	1.866	1.872	1.858	1.866

pod mezí detekce / below detection limit: In, Au, Zn, Cu, Mn, Ge, Ag

blízkosti sillimanitu se nacházejí inkluze monazitu. Automorfni až xenomorfni apatit o velikosti 0,2–0,4 mm se vyskytuje při kontaktu arzenopyritu a pyrrhotinu se zrny okolních horninotvorných minerálů.

Z chemického hlediska je pyrrhotin velmi čistý a blíží se ideálnímu vzorci s malými příměsmi As a Se. Obsah niklu byl pod mezí detekce (tab. 1).

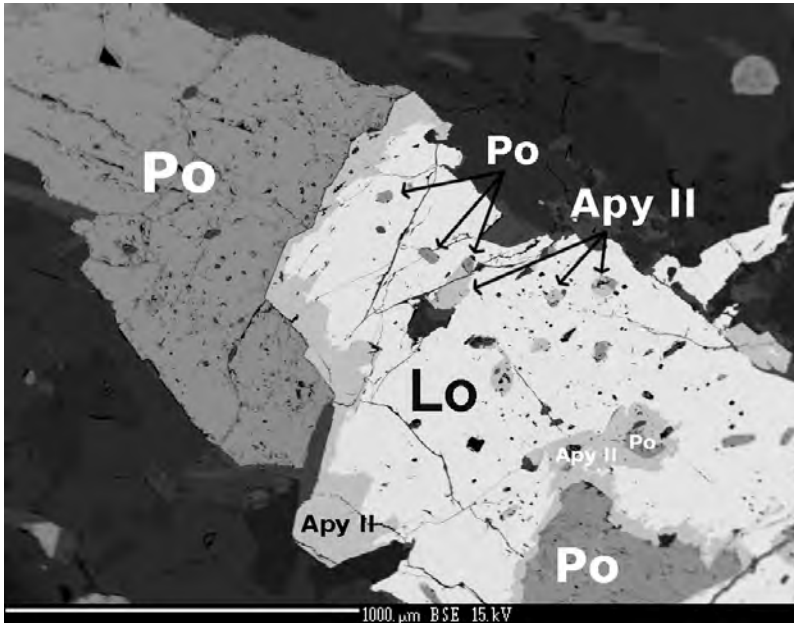
Arzenopyrit je přítomen ve dvou generacích. Arzenopyrit I byl zastížen jen v několika ojedinělých, automorfních zrnech. Zkoumán byl geneticky zajímavější arzenopyrit II, který vytváří reakční lemy mezi pyrrhotinem a löllingitem, široké několik málo μm až stovky μm (obr. 2). Hranice mezi pyrrhotinem a arzenopyritem je ostrá, hranice arzenopyritu a löllingitu je členitější a tím méně výrazná. Zatlačování löllingitu arzenopyritem probíhá většinou na styku s pyrrhotinem. Na kontaktu arzenopyritu II s okolní horninou se vyskytují několik μm velké zlatinky, tvořené Ag-zlatem (ryzost odhadem z EDX-spektra cca 0,700) – (obr. 3).

Chemické složení arzenopyritu II je homogenní (tab. 1) a blíží se ideálnímu vzorci. Z příměsí byly zjištěny jen Co a Ni v obsazích těsně nad mezí detekce.

Löllingit je ve většině případů xenomorfni, díky zatlačování arzenopyritem II. Ojediněle se vyskytl v podobě hypautomorfni zrn v křemenu. Většina zrn löllingitu dosahuje velikosti 0,2–0,8 mm. Při rozhraní löllingitu a arzenopyritu II se vyskytují malá zrnka zlatnatého stříbra o velikosti několika μm (max. 5 μm ; obr. 4). Jejich ryzost je odhadem z EDX-spektra cca 0,300. Löllingit místy obsahuje inkluze ryzího bizmutu. Zajímavý byl nálezkový krystal K-živce (130 μm) s kasiteritem (10 μm), obklopený agregátem löllingitu. Löllingit se vyznačuje zvýšeným obsahem síry 1,68–1,80 hm. % (0,115–0,125 apfu S) a malými příměsmi Ni (0,004–0,013 apfu) a Co (0,002–0,004 apfu) – viz tab. 1.

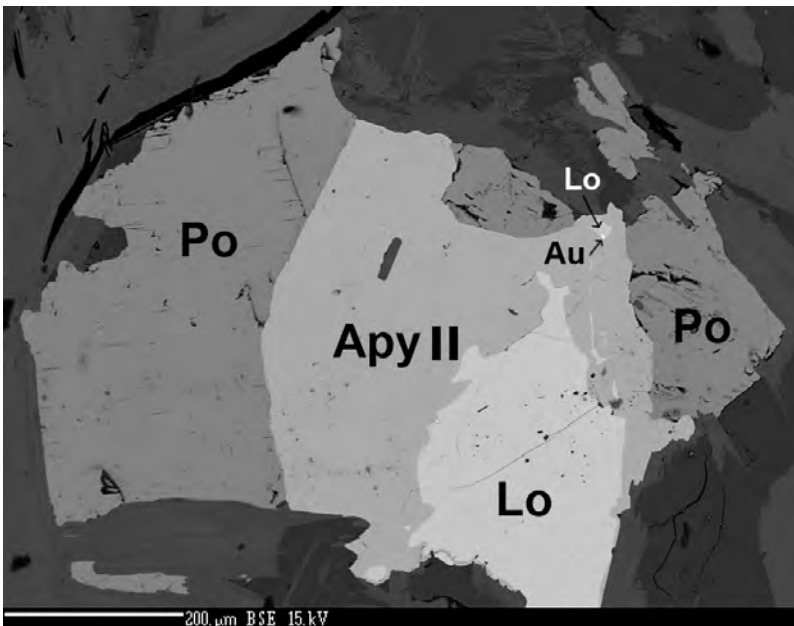
DISKUZE

Sulfidické textury a struktury na lokalitě Orlík u Humpolce podrobně po-



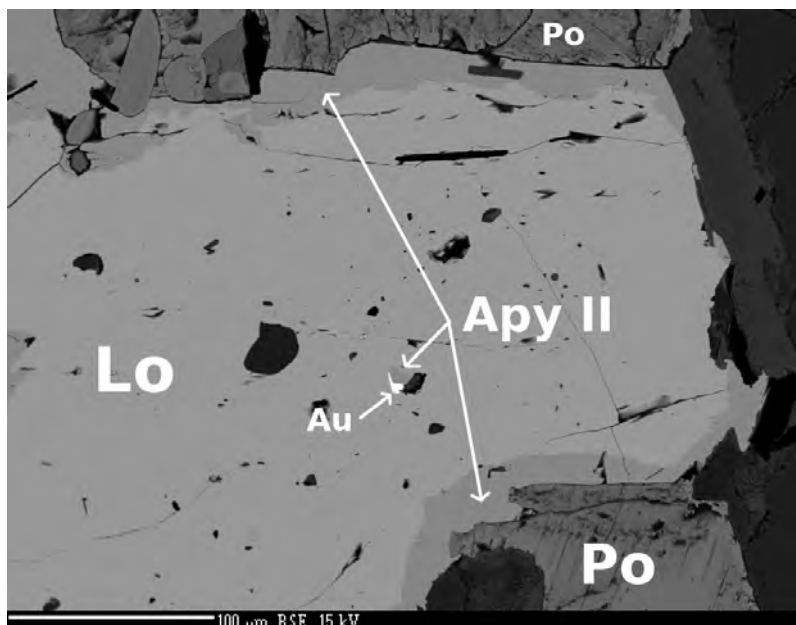
Obr. 2. Arzenopyrit II (Apy II), který vytváří reakční lemy mezi pyrrhotinem (Po) a löllingitem (Lo); BSE foto R. Škoda.

Fig. 2. Arsenopyrite II (Apy II) forms reaction rim between pyrrhotite (Po) and löllingite (Lo); BSE photo by R. Škoda.



Obr. 3. Pyrrhotin (Po), arzenopyrit II (Apy II) a löllingit (Lo) s inkluzí zlata (Au) na rozhraní arzenopyritu a löllingitu; BSE foto P. Gadas.

Fig. 3. Pyrrhotite (Po), arsenopyrite II (Apy II) and löllingite (Lo) with gold inclusion (Au) on the border between arsenopyrite and löllingite; BSE photo by P. Gadas.



Obr. 4. Inkluze zlata (Au) a arsenopyrit II (Apy II) v löllingitu (Lo); BSE foto R. Škoda.

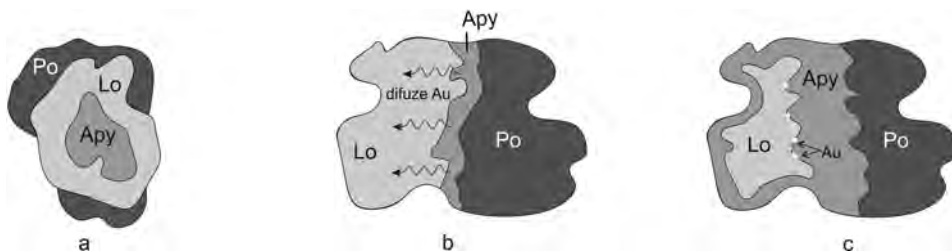
Fig. 4. Gold inclusion (Au) and arsenopyrite II (Apy II) in löllingite (Lo); BSE photo R. Škoda.

psali již LITOCHEB *et al.* (1982), nicméně v té době ještě nebyl zcela objasněn jejich vznik. Struktury arsenopyritu, löllingitu a pyrrhotinu s přítomností inkluzí zlata v sulfidech jsou známy z řady ložisek již několik desítek let, ohledně jejich vzniku však panovaly dlouho nejasnosti (BARNICOAT *et al.* 1991, NEUMAYR *et al.* 1993, TOMKINS a MAVROGENES 2001). Podrobně se tomuto problému věnovali TOMKINS a MAVROGENES (2001) při srovnání experimentálních výsledků s reálnými ložisky a zároveň posuzovali dobu vzniku a vývoj uvedených minerálních fází. U mezotermálních ložisek je zlato často přítomno v podobě submikroskopických inkluzí v arsenopyritu, pokud však dojde k metamorfóze takového zrudnění, rozpustnost zlata v arsenopyritu s růstem teploty rychle klesá (COOK *et al.* 2013).

Studium reálných ložisek i experimentálních výsledků naznačuje, že při **prográdní metamorfóze** Au-zrudnění s arsenopyritem dochází při růstu teploty nejprve k vypuzení zlata z arsenopyritu a vzniku samostatných a vysoce ryzích zrn zlata. Pokud teplota překročí 702 °C, dojde k úplnému rozpadu arsenopyritu (TOMKINS a GRUNDY 2009) a následně ke vzniku agregátů zrn pyrrhotinu a löllingitu (obr. 3). Zlato uvolněné z arsenopyritu může zůstat částečně ve formě samostatných zlatých zrněk, často se však rozpustí v submikroskopické podobě v löllingitu, naopak do pyrrhotinu zlato téměř nevstupuje (TOMKINS a MAVROGENES 2001). Typickým znakem je také přítomnost síry v löllingitu až do výše 2 hm. % (TOMKINS a MAVROGENES 2001); na lokalitě Orlík obsahuje löllingit 1,68–1,80 hm. % síry.

V případě následné **retrográdní metamorfózy** dochází k opětovnému vzniku arsenopyritu (obr. 3), který se začne formovat na rozhraní zrn pyrrhotinu a löllingitu a postupně zatlačuje löllingit. Nově vzniklý arsenopyrit však není kvůli vysoké teplotě schopen pojmout zlato obsažené v löllingitu, proto běžně dochází ke vzniku zrněk zlata na rozhraní löllingitu a nově formovaného arsenopyritu (TOMKINS a MAVROGENES 2001).

Původně byly tyto typické struktury pokládány za důkaz synmetamorfního přínosu fluid (BARNICOAT 1991, NEUMAYR 1993), nicméně tato úvaha byla prokázána jako chybná (TOMKINS a MAVROGENES 2001, PHILLIPS a POWELL 2009). Ke vzniku těchto struktur je



Obr. 5. Postupný vývoj struktury sulfidů v průběhu metamorfózy (upraveno podle TOMKINSE a MAVROGENESE, 2001): a) zatlačování arsenopyritu I (Apy) löllingitem (Lo) a pyrrhotinem (Po) v prográdní fázi; b) začátek zatlačování löllingitu arsenopyritem II v retrogradní fázi; c) pokročilé zatlačení löllingitu arsenopyritem II za vzniku odmišenin zlata (Au).

Fig. 5. Continuous evolution of sulphide texture during metamorphism (modified after TOMKINS and MAVROGENES, 2001): a) replacing of arsenopyrite I (Apy) by löllingite (Lo) and pyrrhotite (Po) during prograde metamorphism; b) beginning of replacing of löllingite by arsenopyrite II during retrograde metamorphism; c) evolved replacing of löllingite by arsenopyrite II with newly formed gold inclusions (Au).

totiž třeba teplot nad 700 °C, při kterých by přínos fluid způsobil výrazné tavení a hydrotermální alterace. TOMKINS a MAVROGENES (2001) proto považují tvorbu hydrotermálního zrudnění při metamorfóze nad 600–650 °C za prakticky nemožnou. Na australských lokalitách Griffin's Find a Challenger byl dokázán předmetamorfní původ zrudnění, které bylo až následkem pozdější metamorfózy v granulitové facii částečně remobilizováno za vzniku zmíněných typických struktur (TOMKINS a MAVROGENES 2001, TOMKINS a MAVROGENES 2002, TOMKINS a GRUNDY 2009).

Lokalita Orlík je na rozdíl od výše uvedených australských lokalit žilného původu považována za stratiformní (LITOCHEB 1979), nicméně vykazuje řadu shodných znaků zejména s ložiskem Challenger. Lokalita Challenger má podobné nepravidelné čočkovité zrudnění s charakteristickým výskytem stejných sulfidických textur a struktur, okolní horniny jsou zejména stromatitické migmatity metamorfované až do granulitové facie. Lokalita Orlík se nachází v migmatitech metamorfovaných do vyšší amfibolitové až granulitové facie (ŽÁK *et al.* 2011). Teplota zde vzhledem k rozkladu primárního arsenopyritu prokazatelně překročila 700 °C. Na obou lokalitách je sulfidické i zlatonosné zrudnění shodně vázáno především na čočkovitá tělesa až žilky křemene a světlé partie migmatitu, zrudnění může být v menší míře rozptýleno i v celém objemu horniny. Tento jev je zdůvodňován vznikem oddělené silikátové a sulfidické taveniny během metamorfózy původního zrudnění, kdy sulfidická tavenina přednostně migruje do leukosomu migmatitů, díky nižší viskozitě a teplotě tání však může po puklinách migrovat i do melanosomu (TOMKINS a MAVROGENES 2002). Shodný je i výskyt ryzejšího zlata v podobě samostatných zrn a naopak výrazně Ag-bohatšího zlata v löllingitu. Vzhledem k velikosti inkluzí zlata okolo 1 μm a méně bylo složení tohoto zlata na Orlíku sledováno pouze orientačně pomocí EDX-analýz (ryzost cca 0,700 a 0,300), je však ve shodě s výsledky z Griffin's Find v Austrálii (TOMKINS a MAVROGENES 2001). Nižší ryzost některých zrn zlata v löllingitu je často způsobena přednostní migrací Ag a Sb do löllingitu během jeho vzniku, v retrogradní fázi se pak při vzniku arsenopyritu II často vylučují zrna zlata v podobě elektrů či aurostibitu (TOMKINS a GRUNDY 2009).

ŽÁK *et al.* (2011) uvažují v okolí severní části centrálního moldanubického plutonu o LP-HT metamorfóze za teploty 730 °C a poklesu tlaku z 6 kbar na 2 kbar. Tato metamorfóza byla původcem vzniku hojně rozšířených migmatitů v exokontaktu plutonu. Teprve po jejich zchladnutí došlo k intruzi plutonu a periplutonické metamorfóze za teplot do 500 °C a tlaku do 2,5 kbar. O něco vyšší metamorfní podmínky s teplotami 800–850 °C a tlaku až 7 kbar uvádějí TOMKINS a GRUNDY (2009) z australského ložiska Griffin's Find,

kde byl podrobně zdokumentován vývoj velmi podobného sulfidického zrudnění se zlatem. Z podmínek vzniku zkoumaných sulfidických struktur vyplývá, že na lokalitě Orlík existovala původní rudní mineralizace již před LP-HT metamorfózou a až v jejím průběhu se vyvinula do současné podoby. Následná periplutonická metamorfóza již zřejmě neměla na vzniklé sulfidické struktury významný vliv, ale mohla ovlivnit minerální fáze systému Au-Bi, resp. Au-Bi-Sb. Výskyt maldonitu v sírou chudé Au-paragenezi ukazuje na teploty vzniku kolem 300 °C a specifické podmínky vzniku v prostředí bohatém Au a Bi s nízkou fugacitou síry a kyslíku. Maldonit je stabilní v poměrně úzkém poli vyšších teplot s horní hranicí 373 °C (± 2 °C) a s poklesem teploty dochází k jeho rozpadu na samostatné fáze. Tento proces v přírodních podmínkách neprobíhá úplně, bývají tak zachovány reliktů maldonitu společně s myrmekity Au a Bi nebo se zrny vysoce ryzího zlata a bizmutu (LITOCHEB a MALEC 1995).

Metamorfnní genezi odpovídá kromě specifické parageneze Au zrudnění i charakter a pestré chemické složení inkludovaných roztoků v křemeni sekrečního typu s teplotou homogenizace fluidních inkluzí typu H₂O-CO₂ a H₂O-CH₄ kolem 370–400 °C (ĎURIŠOVÁ *et al.* 1992).

Na zkoumané lokalitě Orlík je přítomnost hydrotermálních alterací nevýrazná (LITOCHEB *et al.* 2001) a zřejmě tyto alterace souvisejí s dozríváním procesů spjatých s variskou intruzí nedalekého plutonu. Málo významné hydrotermální alterace uvádějí na kontaktu plutonu a migmatitů také ŽÁK *et al.* (2011). Pokud by zrudnění bylo hydrotermálního variského původu, nemohly by vzniknout pozorované textury a zejména struktury a došlo by k výrazné hydrotermální alteraci v blízkosti zrudnění. Teplota periplutonické metamorfózy cca 500 °C, uváděná ŽÁKEM *et al.* (2011), je pro rozklad arzenopyritu a vznik uvedených struktur příliš nízká.

ZÁVĚR

Na základě výše uvedených skutečností lze konstatovat, že lokalita Orlík má prokazatelně předmetamorfnní (prevariské ?) sulfidické zrudnění a prodělala progradní i retrogradní metamorfózu. V progradní fázi došlo k rozkladu primárního arzenopyritu a teplota musela překročit 702 °C, což je mezní teplota stability arzenopyritu. Došlo ke vzniku agregátů pyrhotinu a löllingitu typické morfologie, s velmi jemnozrnným zlatem (1 μ m a méně). Při retrogradní fázi došlo ke vzniku mladší generace arzenopyritu II na rozhraní zrn pyrhotinu a löllingitu a dále k vyloučení drobných zrn z zlata s nižší ryzostí na okrajích arzenopyritu II.

PODĚKOVÁNÍ

Příprava publikace a analytické práce byly finančně podpořeny prostředky specifického výzkumu ÚGV PrF MU a Ministerstva kultury ČR v rámci dlouhodobého koncepčního rozvoje výzkumné organizace Národní muzeum (DKRVO 2013/01, 00023272) (JL). Autoři by také rádi poděkovali recenzentům za věcné připomínky a rady.

LITERATURA

- BARNICOAT, A., C., FARE, R., J., GROVES, D., I., MCNAUGHTON, N., J., 1991: Synmetamorphic lode-gold deposits in high-grade Archaean settings. – *Geology* 19, 921–924.
- COOK, N., J., CIOBANU, C., L., MERIA, D., SILCOCK, D., WADE, B., 2013: Arsenopyrite-pyrite association in an orogenic gold ore: tracing mineralization history from textures and trace elements. – *Econ. Geology*, 108, 1273–1283.

- ĎURIŠOVÁ, J., SZTACHO, P., DUBESSA, J., 1992: A fluid inclusions study of Au-W stratiform mineralization at Orlik near Humpolec, Czechoslovakia. - *Eur. J. Mineral.*, 4, 965-976.
- LITOCHEB, J., 1979: Stratifórní zlatonosné zrudnéni v moldanubiku jv. Čech. - *Geol. Průzk.* 21, 347-349.
- LITOCHEB, J., MALEC, J., 1985: Humpolec, Orlik. - In: Malec a kol. (vedoucí): Mineralogický výzkum postmagmatických ložisek zlata Českého masivu. Zhodnocení prognóz zlata v Českém masivu. - *MS, Ústav nerostných surovin, Kutná Hora*, 70-72.
- LITOCHEB, J., MALEC, J., SZTACHO, P., 1982: Příspěvek k mineralogii zlatonosného zrudnéni z Orlíku u Humpolce. - *Sbor. Jihočes. Muz.*, 22, 37-50.
- LITOCHEB, J., MALEC, J., 1995: Genetický význam myrmekitových struktur zlata a bismutu. - *Bull. mineral-petrolog. Odd. Nár. Muz. (Praha)*, 3, 209-210.
- LITOCHEB, J., MALEC, J., TÁBORSKÝ, Z., ŠREINOVÁ, B., 2001: Chemické složení a fyzikální vlastnosti maldonitu a doprovodných minerálů zlata a bismutu z Orlíku u Humpolce. - *Bull. mineral-petrolog. Odd. Nár. Muz. (Praha)*, 9, 213-224.
- LOSERTOVÁ, L., BUŘIVAL, Z., LOSOS, Z., VELEBA, B., 2011: Pozůstatky po historické těžbě v okolí Humpolce. - *Acta rerum naturalium*, 10, 1-10.
- LUNA, J., LITOCHEB, J., PÁRAL, L., ŠTÍCHA, R., KARBAN, L., BÁRTŮ, J., 1988: Český masív - ověřování prognóz Au. Dílčí závěrečná zpráva Humpolec - Orlik. Surovina: Au. - *MS, Geoindustria, Praha*.
- MORÁVEK, P., BUBENÍČEK, J., HOŠEK, M., HRACH, S., HRON, M., JANATKA, J., KUDRNÁČ, J., KVĚTOŇ, P., LIENERT, H., MALEC, J., MRÁZEK, T., NOVÁK, F., PUNČOCHÁŘ, M., SOUKUP, B., ŠPAČEK, V., ŠPONAR, P., ÚRBAN, K., VÁNA, T., VANĚČEK, M., VESELÝ, O., 1985: Zhodnocení prognóz zlata v Českém Masívu. - *MS, Geoindustria, Praha*.
- NEUMAYR, P., CABRI, L. J., GROVES, D. I., MIKUCKI, E. J., JACKMAN, J. A., 1993: The mineralogical distribution of gold and relative timing of gold mineralisation in two Archaean settings of high metamorphic grade in Australia. - *Canad. Mineralogist*, 31, 711-725.
- PHILLIPS, G., N., POWELL, R., 2009: Formation of gold deposits: Review and evaluation of the continuum model. - *Earth-Science Review*, 94, 1-21.
- SZTACHO, P., 1982: Zhodnocení akumulací zlata v širším okolí Humpolce. - *MS, Diplomová práce, PŕUK Praha*.
- TOMKINS, A., G., GRUNDY, C., 2009: Upper temperature limits of orogenic gold deposit formation: Constraints from the granulite-hosted Griffin's find deposit, Yalgarn craton. - *Econ. Geology*, 104, 669-685.
- TOMKINS, A., G., MAVROGENES, J., A., 2001: Redistribution of gold within arsenopyrite and löllingite during pro- and retrograde metamorphism: Application to timing of mineralization. - *Econ. Geology*, 96, 535-534.
- TOMKINS, A., G., MAVROGENES, J., A., 2002: Mobilization of gold as a polymetallic melt during pelite anatexis at the Challenger deposit, South Australia: A metamorphosed Archaean gold deposit. - *Econ. Geology*, 97, 1249-1271.
- ŽÁK, J., VERNER, K., FINGER, F., FARYAD, S., W., CHLUPÁČOVÁ, M., VESELOVSKÝ, F., 2011: The generation of voluminous S-type granites in the Moldanubian unit, Bohemian Massif, by rapid isothermal exhumation of the metapelitic middle crust. - *Lithos*, 121, 25-40.