

Primární zlatonosná mineralizace v Andělském údolí u Starého Města pod Sněžníkem (Česká republika)

Primary gold mineralization in the Andělské údolí Valley near Staré Město pod Sněžníkem (Czech Republic)

ZDENĚK DOLNÍČEK^{1)*}, MIROSLAV NEPEJCHAL²⁾, JAROSLAV KAPUSTA³⁾, JANA ULMANOVÁ¹⁾
A BOHUSLAV FOJT⁴⁾

¹⁾Mineralogicko-petrologické oddělení, Národní muzeum, Cirkusová 1740, 193 00 Praha 9 - Horní Počernice;

*e-mail: zdenek_dolnicek@nm.cz

²⁾Žižkova 8, 787 01 Šumperk

³⁾Katedra geologie, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Palackého, 17. listopadu 12, 771 46 Olomouc

⁴⁾Ústav geologických věd, Přírodovědecká fakulta, Masarykova univerzita, Kotlářská 2, 611 37 Brno

DOLNÍČEK Z, NEPEJCHAL M, KAPUSTA J, ULMANOVÁ J, FOJT B (2018) Primární zlatonosná mineralizace v Andělském údolí u Starého Města pod Sněžníkem (Česká republika). Bull Mineral Petrolog 26(1): 12-27. ISSN 2570-7337

Abstract

Placers after extensive old mining of alluvial gold occur in the Andělské údolí Valley near Staré Město pod Sněžníkem. However, nothing is known about primary gold mineralization in this area. New detailed investigation resulted in the discovery of three types of primary gold mineralization hosted by an up to 5 m thick NE-SW trending shear zone cutting mica schists and gneisses of the Staré Město Unit. The first type of Au mineralization is represented by small pyrite-rich lenses enclosed in mylonite. These lenses are dominated by Au-As-bearing pyrite containing also inclusions of galena, chalcopyrite, sphalerite and tetrahedrite, with ore minerals hosted by fine-grained matrix composed of muscovite, quartz and chamosite. The second type of Au mineralization is large quartz "blasts" hosted by mylonite. Small grains of As-bearing pyrite and arsenopyrite (both containing Au) are enclosed sporadically in quartz "blasts". The third (and youngest) type of gold mineralization is tiny steep NW-SE trending chlorite-dominated veinlets containing also native gold, xenotime and monazite. Gold sheets reaching up to 0.5 mm in size belong to electrum (fineness ranges between 663 and 830 w/w, i.e. 51.7 to 72.8 at. % Au, which is comparable to composition of alluvial gold). The composition of both chlorite (delessite) and alteration phyllosilicates in wall rock adjacent to chlorite veinlets (illite-smectite) are anomalous when compared with typical orogenic vein gold mineralizations, probably due to low temperatures of precipitation (probably below ca. 200 °C). We interpret small lenses of Au-bearing pyrite mineralization as well as Au-bearing quartz "blasts" to be the boudins of earlier mineralizations, which were incorporated into the mylonite during tectonic evolution of the host shear zone. The gold-bearing chlorite veinlets are considered to be the product of remobilization of gold from both older mineralizations, which took place during late evolution of the host shear zone. With respect to spatially very restricted occurrence of gold mineralization, we do not presuppose some significant fluid-mediated transport of gold from a deep source. All three newly recognized types of Au mineralization have not been reported in the wider area yet.

Key words: *orogenic gold deposits, shear zone, gold, electrum, chlorite, delessite, monazite, xenotime, Staré Město Crystalline Complex*

Obdrženo: 10. 5. 2018; přijato: 10. 7. 2018

Úvod

V širším okolí Starého Města pod Sněžníkem byl v nedávné době z nerostných surovin těžen především grafit a v Malém Vrbně i magnetit (Mücke et al. 2006). Počátky těžby těchto surovin jsou datovány do 18. století a jejich exploatace trvala téměř do konce 20. století. Pokud jde o rudy barevných kovů, malé pinky po středověké(?) těžbě Pb-Zn-Cu rud našel při mapování J. Skácel v roce 1988 u Šléglova (Skácel, Pecina 1990; Fojt et al. 1992).

Z archivních záznamů je známo, že v této oblasti také probíhala v průběhu 13. a 14. století těžba zlata a stříbra. Dostupné zprávy o těchto aktivitách jsou však velice kusé. V roce 1333 vyslal na Staroměstsko Jan Lucemburský zkušeného prospektora Václava Koppa, aby zde vy-

hledal ložiska drahých kovů (Buhl 1938; Hanke 1942). Za jeho působení zde měla být nalezena a také těžena ložiska stříbra a údajně i zlata. V roce 1336 markrabě moravský Václav, pozdější císař Karel IV, udělil Starému Městu statut horního města. Pozdější zánik hornické činnosti je přisuzován husitům, kteří v letech 1423 - 1424 táhli přes Staroměstsko do Kladska a pustošili církevní majetek. Po husitských válkách se zde dolování už nikdy nevzpamatovalo, zda to ale bylo z důvodu uvedeného zpusťování nebo pro malou vydatnost ložisek, však není známo (Skácel 1988). Po výše uvedeném dolování se do dnešních dnů zachovaly na dvou místech sejpy po rýžování zlata, a to severně od města u Květné (Pingewald) a v údolí Andělského potoka (dříve Bystřina) - viz obr. 1. Výše

uvedené zprávy o těžbě drahých kovů byly podnětem k pokusu o vyhledání primární zlaté mineralizace v této oblasti, o níž nebylo až donedávna prakticky nic známo. Ani regionální šlichovací průzkum v 60. až 80. letech minulého století nebyl z pohledu lokalizace zdrojů zlata úspěšný (Skácel 2008), v zájmové oblasti přinesl jen dílčí poznatky k výskytu a chemickému složení aluviálního zlata. Ve zprávě Malce et al. (1990) je uvedeno sedm analýz zlatinek, vyrýžovaných z Andělského údolí, s malým rozptylem ryzností (732 až 876). Na základě minerálního složení těžkého podílu šlichů s převahou granátu usoudili Malec et al. (1990) na metamorfogenní původ zlata. Skácel (2008) uvažuje o zdroji zlata v souvislosti s pyritizací a prokřemeněním blastomylonitů nýznerovského dislokačního pásma a metaofiolitové staroměstské zóny.

V roce 2014 se podařilo nalézt primární zlatonosnou mineralizaci u Květné, která však nesouvisí s nedalekým rýžovištěm (Nepejchal et al. 2017). Jde o strmě ukloněné pravé křemenné žíly směru SSZ - JJV, uložené v amfibolitech staroměstského krystalinika, s akcesorickým výskytem velmi jemnozrnného zlata (max. velikost zlatinek je 0.3 mm), které svým chemismem většinou odpovídá elektrů (ryznost 780-931). Následné pátrání bylo zaměřeno na oblast Andělského údolí, kterým se zabývá předložená studie.

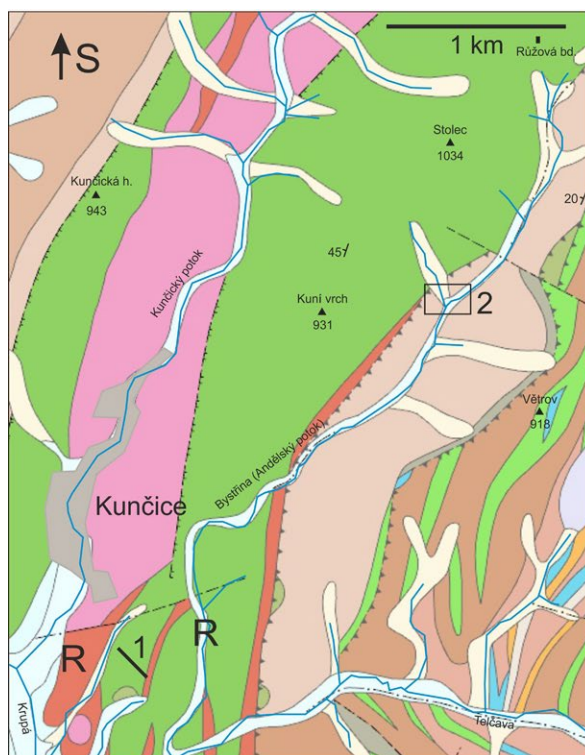
Metodika

V první fázi provedl druhý z autorů detailní šlichovou prospekci v celé oblasti horního a středního toku Andělského potoka. Vzorky byly systematicky odebrány jak ze sedimentů Andělského potoka, tak z deluvií na svazích nad oběma břehy potoka, s cílem identifikovat místo (místa), odkud bylo zlato do Andělského potoka splachováno. Vzhledem ke skutečnosti, že zlatonosné sedimenty bývají

v dané oblasti často překryty vrstvou sterilních splavenin, byl materiál pro šlichování odebírán z ručně kopaných sond z hloubky několika desítek centimetrů. Odebraný materiál byl hned na místě vyrýžován na prospektorské pánvi (bez předchozího síťování) a přítomnost zlata byla v získaném šlichu posléze ověřena prohlídkou pod binokulární lupou. Celkem bylo takto zpracováno a vyhodnoceno přibližně 70 šlichových vzorků.

Vzorky pevných hornin z nalezeného primárního výskytu zlatonosné mineralizace byly odebrány z ručně zhotovených výkopů a rýh a šlichovány po předchozím manuálním rozdrčení v ocelovém moždíři. Pro detailní mineralogické studium byly ze vzorků zhotoveny leštěné výbrusy a zalévané preparáty.

Chemické složení části fylosilikátů, zlata a sulfidů analyzoval na mikrosondě Jeol JXA-8600 J. Kapusta na Katedře geologie PŘF UP v Olomouci. Uvedené fáze byly analyzovány metodou EDS za následujících podmínek: urychlovací napětí 15 kV, svazek elektronů o průměru <1 μm a proud 10 nA. Jako standardy byly použity syntetické fáze a dobře definované minerály. Na témže přístroji byla zhotovena i většina snímků ve zpětně odražených elektronech (BSE). Další analýzy byly pořízeny (Z. D. a J. U.) ve WDS modu na mikrosondě Cameca SX-100 v Národním muzeu v Praze. Pro analýzy zlata a sulfidů bylo použito urychlovací napětí 25 kV, svazek elektronů o průměru 2 μm a proud 20 nA, zatímco pro analýzy slíd byly využity měřicí podmínky 15 kV, 5 μm a 10 nA. Jako standardy byly použity syntetické fáze a dobře definované minerály. Načtené hodnoty byly přepočítány automatickou PAP korekcí (Pouchou, Pichoir 1985). Analýzy REE minerálů provedl R. Škoda na elektronové mikrosondě Cameca SX-100 na společném pracovišti PŘF MU a ČGS v Brně. Při WDS analýzách zde bylo použito urychlovací napě-



Kvartérní pokryv:

- fluviální sedimenty
- deluvia

Staroměstská skupina:

- biotitické až dvojslídne ruly, dvojslídne svory
- feldspatizované biotitické ruly až svory
- amfibolity
- granodiority až tonality
- perlové ruly, místy migmatitizované
- kvarcity

Velkovrbenská skupina:

- fylonity svorového vzhledu
- fylonity s polohami rul
- amfibolity
- dolomitické mramory
- biotitické ruly, často s polohami kvarcitů

Obr. 1 Geologická pozice rýžovišť a primárních výskytů zlata v okolí Starého Města pod Sněžníkem. Výřez z elektronické verze Geologické mapy ČR 1:50 000 (www.geology.cz), upraveno. R - rýžoviska, 1 - zlatonosné křemenné žíly u Květné (Nepejchal et al. 2017), 2 - oblast výskytu primárního Au zrudnění, studovaná v této práci (obdělík indikuje oblast zachycenou na obr. 2).

tí 15 kV, svazek elektronů o průměru 1 μm a proud 20 nA. Jako standardy byly použity syntetické fáze a dobře definované minerály. Načtené hodnoty byly přepočítány automatickou PAP korekcí (Pouchou, Pichoir 1985).

Vzorky primární zlatonosné mineralizace a pyritem bohatých šlichů byly analyzovány i klasickými chemickými metodami na obsahy vybraných prvků. Vzorky byly nejprve rozpráškovány na analytickou jemnost v planetovém mlýnku z chromniklové oceli. Z důvodu větší reprezentativnosti výsledků byly k analýzám použity větší návážky kolem 5-10 g (pro potlačení tzv. nugetového efektu u zlata). Vzorky byly vylouženy v horké lučavce královské a ve filtrátu byly stanoveny vybrané prvky metodou ICP-MS. Analýzy byly provedeny v laboratořích ACME ve Vancouveru v Kanadě.

Geologická pozice

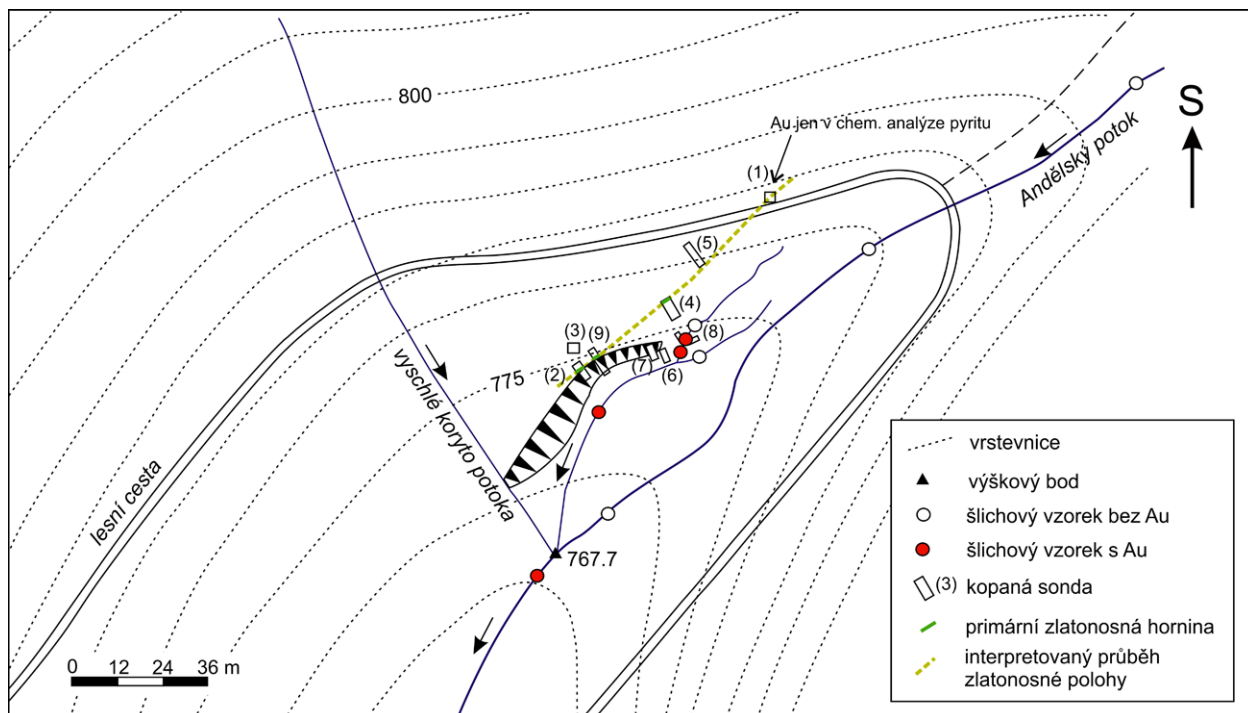
Detailní šlichová prospekce sedimentů Andělského potoka prokázala přítomnost aluviálního zlata v oblasti od soutoku s Telčavou až k soutoku s bezejmenným pravostranným potůčkem, který se do Andělského potoka vlévá cca 1 km jižně od vrcholu Stolce (obr. 1). V téže oblasti byla také konstatována nepřítomnost šlichovatelného zlata ve svahovinách, vzorkovaných průběžně po obou stranách Andělského údolí. Podrobný terénní průzkum bezprostředního okolí místa, kde mizí zlato ze sedimentů aktivního toku Andělského potoka, spojený s kopnými pracemi a šlichováním rozdrčených skalních hornin odebíraných v sondách, vedl k objevení výskytu primární zlaté mineralizace na pravém břehu Andělského potoka (viz detailní náčrt situace na obr. 2).

Geologicky je zájmová oblast budována horninami staroměstského krystalinika, zejména rulami, svory a amfibolity, lokálně pronikány intruzemi granodioritů až tonalitů (obr. 1). Charakteristickým rysem je intenzivní tektonické postižení hornin, mylonitizace a katakláza (viz též Pecina et al. 2000) související s hojně přítomnými násunovými

zlomy v dané oblasti (náznerovské nasunutí oddělující staroměstskou a velkovrbenskou skupinu, dílčí násunové struktury uvnitř staroměstské skupiny; obr. 1). Variabilní a někdy velmi intenzivní deformace a alterace hornin, zastížených v rýhách, často znemožňuje identifikaci původního litotypu (svor?, rula?); někdy lze jen konstatovat, že šlo o horninu s podstatným obsahem křemene.

Relativně nejméně deformacemi postiženou horninu, zastíženou ve výkopu č. 3, (viz obr. 2) lze označit jako drobnozrnnou plagioklasovou biotitickou rulu. Je obvykle nevýrazně foliovaná, rezavě hnědé barvy (v důsledku navětrání mělce podpovrchových výchozů). Ve výbruse mají ruly lepidogranoblastickou strukturu. Hlavní složky jsou plagioklas, křemen a biotit, vedlejší opakní fáze, z akcesorií se vyskytuje chlorit, apatit, monazit a zirkon. Minerály jsou v hornině distribuovány značně nerovnoměrně, zejména křemen a plagioklas se kumulují v páscích 0.5 - 1 cm mocných. Plagioklas vytváří izometrická nebo podél foliace mírně protažená zrna hypautomorfního až xenomorfního omezení. Je nezonální, obvykle bez polysyntetického lamelování. Je různou měrou, ale obvykle dosti silně sericitizovaný. Biotit je světle hnědý, bez druhotných přeměn, nezonální, bez pleochroických dvůrků. Dlažbovitý křemen je přítomen ve shlucích či samostatných anchimonominerálních páscích. Opakní minerály jsou dvojhojného typu - méně běžná velká (max. 0.4 mm) zrna čtvercových či okrouhlých tvarů jsou reprezentována limonitizovaným pyritem, zatímco hojná, drobná čočkovitá či vretenovitá zrnka rovnoměrně rozptýlená v horninové matici nebyla optickými metodami bezpečně identifikována. Chlorit je vzácný, slabě nazelenalý, s anomální modrou interferenční barvou, asociovaný hlavně s křemenem.

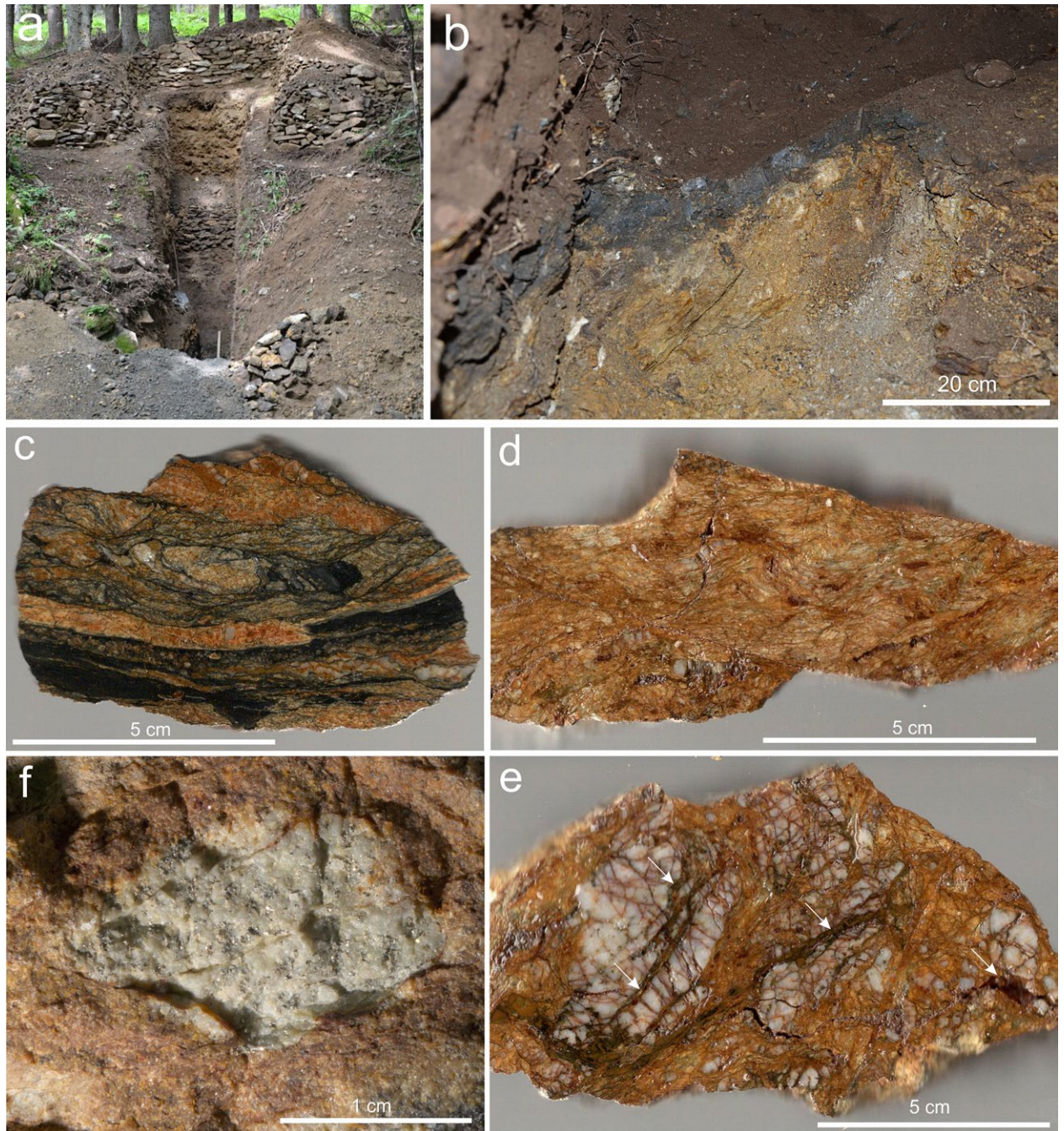
Horniny bezprostředně sousedící se zlatonosnou polohou, avšak neobsahující šlichovatelné zlato, byly odkryté rýhami č. 2, 4 a 9 (obr. 2, 3a-b). Vykazují podstatně větší stupeň deformačního postižení. Makroskopicky jde o texturně i barevně velmi nehomogenní horniny se zřetelným páskováním (mocnost pásků kolísá mezi 1 mm a



Obr. 2 Detailní náčrt topografické pozice studované primární zlatonosné mineralizace a realizovaných průzkumných prací v Andělském údolí.

1 cm; obr. 3c) a ojediněle patrnými většími (maximální velikost kolem 1 cm) křemennými „oky“. V mikroskopickém měřítku lze konstatovat značnou variabilitu v minerálním složení i mikrostruktuře jednotlivých pásků. Na složení relativně málo deformovaných partií, které mají granoblastickou strukturu, se podílí křemen, silně sericitizovaný plagioklas, muskovit, sericit, chlorit a opakní fáze. Silněji deformované partie mají maltovitou strukturu s většími zrny křemene (často granulovaného), zcela sericitizovanými žilci a eventuelně i většími šupinami muskovitu, která jsou uložena v jemnozrnné sericit-chlo-

rit-křemenné matrici. Časté jsou i grafitem zvýrazněné struktury připomínající stylolity. Nejvíce deformované partie mají až mylonitovou strukturu a jsou tvořeny hlavně jemnozrnnou sericit-chlorit-křemennou matricí (někdy je tato hmota prakticky opakní v důsledku přítomnosti jemně rozetřeného grafitového pigmentu) s občasným výskytem větších ostrohranných zrn křemene. Nezřídka se v silněji deformovaných partiích vyskytují i „příčné“ křemeny či muskovity, svým protažením orientované víceméně kolmo k hlavní foliaci horniny. Horniny jsou běžně protínány subparalelními vlasovými žilkami tvořenými sericitem



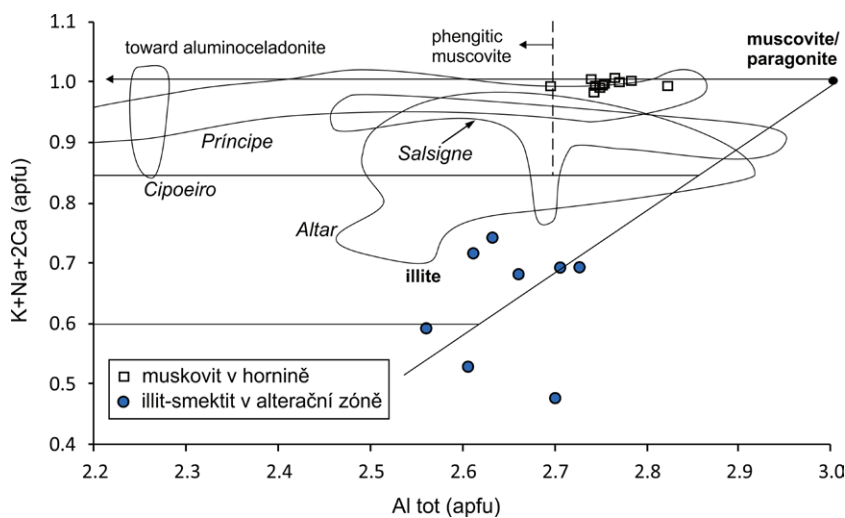
Obr. 3 Úložné poměry zlatonosné mineralizace a makroskopický vzhled hornin a rudnin. a - sonda č. 9, která zastihla výchoz primární zlatonosné horniny v hloubce cca 4 - 5 m. Foto M. Nepejchal. b - ostrý tektonický kontakt zlatonosné horniny (nažloutlá) s nadložní páskovanou navětralou rulou (hnědá), zvýrazněný grafitovým pigmentem (černý), odkrytý sondou č. 2. Foto M. Nepejchal. c - silně deformovaná páskovaná hornina neobsahující zlato ze sondy č. 2. d - silně deformovaná a hydrotermálně alterovaná zlatonosná horninová matrice ze sondy č. 2. e - zlatonosná horninová matrice ze sondy č. 2, obsahující rozpraskané velké křemenné „blasty“ a zlatonosné chloritové žilky (šipky). f - zlatonosná pyritová čočka ze sondy č. 1. Makrofota všech vzorků Z. Dolníček.

nebo světle zeleným chloritem, které probíhají kose až kolmo k hlavní foliaci. Velmi běžné jsou i žilky „limonitu“, který též představuje běžný pigment v partiích bohatých na fylosilikáty a někdy i výraznější intergranuláry a trhliny v zrnech všech ostatních minerálních fází.

Výskyt šlichovatelného zlata je omezen na 1.5 - 5 m mocnou polohu silně alterované mylonitizované horniny, která je od okolních, z pohledu obsahu šlichovatelného zlata sterilních, horninových sekvencí z obou stran oddělena grafitizovanými směrnými poruchami (obr. 3b), probíhajícími subparalelně s hlavní foliací celé horninové suity (SV - JZ, úklon 40-60° k SZ, v sondách č. 2 a 4), někdy i kose k hlavní foliaci (v sondě č. 9). Ojedinele na nich byl zaznamenán i výskyt tektonického rýhování. Striace mají subhorizontální průběh (sklony 0 - 9°), smysl pohybu se však nepodařilo určit. Zlatonosná hornina je začerstva poměrně světlá, žlutavá, v důsledku limonitizace tmavých

minerálů a sulfidů často i tmavěji rezavě zbarvená (obr. 3b,d). Charakteristickým rysem je její malá pevnost a soudržnost. Hmota horniny je jemnozrná, makroskopicky v ní lze identifikovat jen drobné (~0.5 mm) šupinky světlé slídy a zrnka křemene. V této jemnozrné matici se porůznu objevují relativně velké, silně rozpraskané nepravidelné kusy („blasty“) masivního křemene (obr. 3e), které dosahují velikosti až 10 cm.

Mikroskopické studium výbrusů potvrdilo silnou deformaci a hydrotermální alteraci zlatonosné horniny, takže původní protolit nelze identifikovat. Většina hmoty horniny je tvořena velmi jemnozrnou minerální fází, která v polarizačním mikroskopu optickými vlastnostmi připomíná sericit. Mikrosondové analýzy této fáze však ukázaly nízký obsah draslíku (5.69-8.09 hm. % K₂O, odpovídající 0.480 - 0.695 apfu K, tab. 1). V klasifikaci dioctaedrických fylosilikátů podle Riedera et al. (1998) spadá většina analýz do



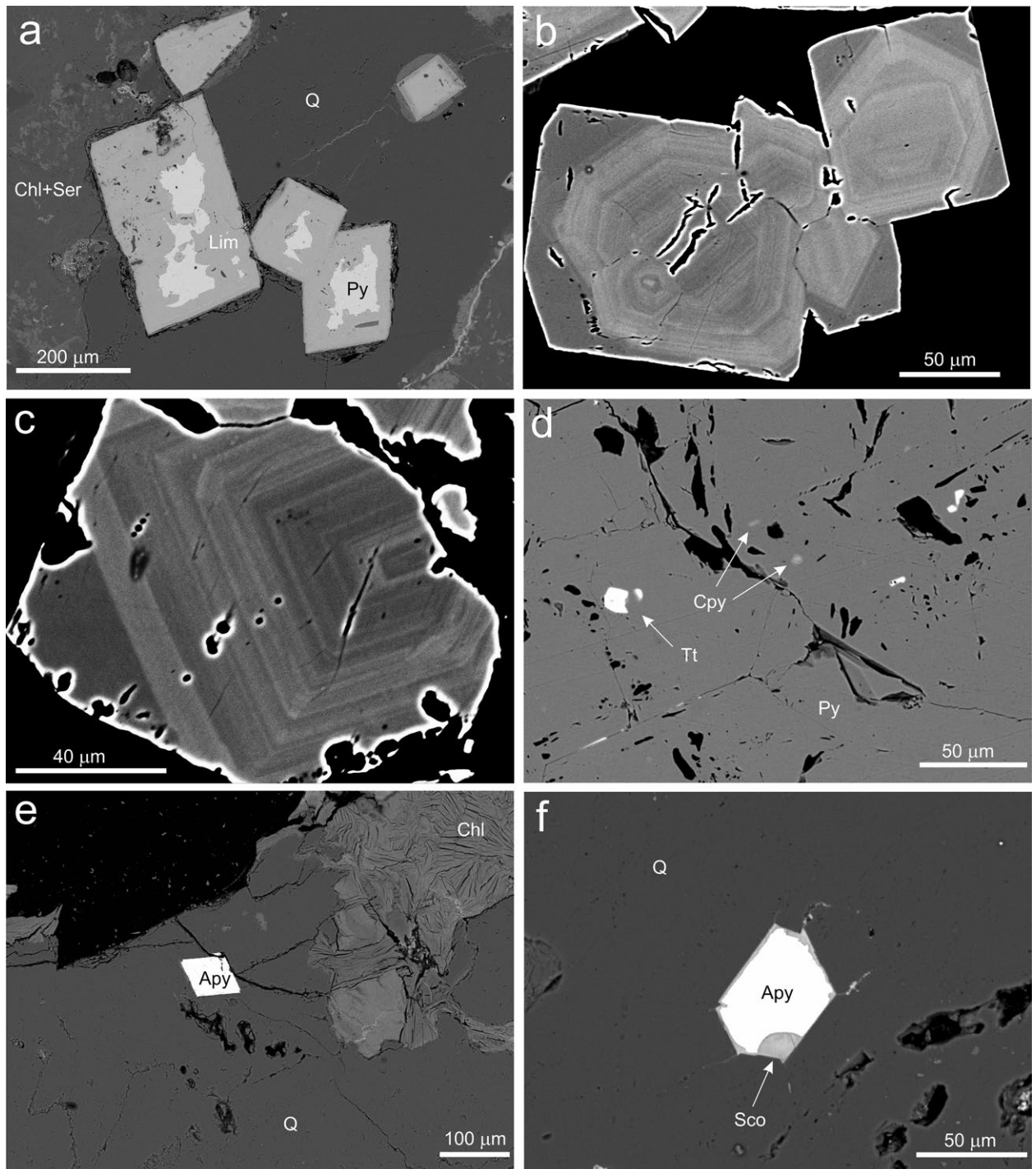
Obr. 4 Chemické složení světlých slíd ze zlatonosné polohy ve srovnání se slídami vybraných orogenních ložisek zlata. Diagram převzat z práce Maydagán et al. (2016), hraniční meze pro illit byly aktualizovány podle Riedera et al. (1998). Srovnávací data převzata z prací Maydagán et al. (2016), de Siqueira Corrêa et al. (2015), Klein et al. (2007) a Demange et al. (2006). Malé množství srovnávacích údajů je způsobeno absencí primárních analytických dat ve většině publikací.

Tabulka 1 Chemické složení (hm. %) novotvořené jemnozrné světlé slídy (analýzy 28 - 61) a velkých deformovaných šupin muskovitu (an. 1 - 8) ze silně alterované zlatonosné horniny. Koeficienty empirického vzorce jsou přepočítány na základ 11 atomů kyslíku.

Analýza	28	38	46	48	52	57	60	61	1	2	3	4	5	6	8
SiO ₂	49.75	47.96	49.80	46.74	45.19	49.91	47.01	47.39	45.88	46.08	45.94	45.55	46.17	45.48	44.13
TiO ₂					0.58		0.76	0.61	0.32	0.29	0.27	0.38	0.24	0.27	0.41
Al ₂ O ₃	34.68	34.41	33.20	33.85	32.21	32.56	32.90	33.61	35.26	35.37	35.70	34.93	35.72	35.66	35.60
MgO	0.93	0.58	1.31	0.82	0.99	1.45	1.14	0.93	0.90	0.79	0.83	0.97	0.89	0.87	0.88
FeO	0.81	1.03	1.10	2.16	4.28	1.09	3.60	2.61	3.29	3.17	3.11	3.15	2.95	3.19	3.29
BaO									0.43	0.42	0.43	0.42	0.37	0.35	0.44
Na ₂ O				0.33	0.36		0.58	0.38	0.57	0.87	0.82	0.89	0.75	0.88	0.81
K ₂ O	5.69	8.09	6.25	7.45	7.85	6.96	7.47	7.41	10.89	10.46	10.65	10.47	10.90	10.53	10.33
Celkem	91.86	92.07	91.66	91.35	91.46	91.97	93.47	92.94	97.52	97.46	97.75	96.76	97.99	97.23	95.89
Si	3.287	3.224	3.317	3.185	3.134	3.329	3.165	3.183	3.034	3.042	3.026	3.033	3.032	3.012	2.970
Ti					0.030		0.038	0.031	0.016	0.014	0.013	0.019	0.012	0.014	0.021
^{IV} Al	0.713	0.776	0.683	0.815	0.836	0.671	0.796	0.786	0.950	0.944	0.961	0.948	0.956	0.974	1.009
^{VI} Al	1.987	1.950	1.923	1.904	1.797	1.889	1.815	1.874	1.799	1.808	1.811	1.793	1.810	1.809	1.815
Mg	0.092	0.058	0.130	0.083	0.102	0.144	0.114	0.093	0.088	0.078	0.082	0.096	0.087	0.086	0.088
Fe	0.045	0.058	0.061	0.123	0.248	0.061	0.203	0.147	0.182	0.175	0.171	0.175	0.162	0.177	0.185
Ba									0.011	0.011	0.011	0.011	0.009	0.009	0.012
Na				0.044	0.048		0.076	0.049	0.073	0.112	0.105	0.115	0.095	0.113	0.105
K	0.480	0.694	0.531	0.648	0.695	0.592	0.642	0.635	0.919	0.881	0.895	0.889	0.913	0.890	0.887
Catsum	6.603	6.760	6.646	6.801	6.891	6.687	6.849	6.798	7.071	7.064	7.075	7.080	7.077	7.084	7.093
Al ^{tot}	2.700	2.726	2.606	2.719	2.633	2.560	2.611	2.661	2.749	2.752	2.772	2.742	2.765	2.784	2.824
Na+K	0.480	0.694	0.531	0.691	0.743	0.592	0.717	0.684	0.991	0.993	1.000	1.004	1.008	1.003	0.993
R ²⁺ /(R ²⁺ +R ³⁺)	0.064	0.056	0.090	0.098	0.163	0.098	0.149	0.113	0.131	0.123	0.123	0.131	0.121	0.127	0.131

pole illitu (obr. 4), tři analýzy mají obsah mezivrstevních kationů dokonce nižší než by odpovídalo illitu ($<0.6 \text{ apfu}$) a odpovídají tak smektitům. Průběžně zvýšené obsahy Mg, Fe a Ca (tab. 1) svědčí o přítomnosti smektitových mezivrstev i ve fázích klasifikovaných jako „illit“ (v dalším textu jsou všechny výše zmiňované fáze souhrnně označovány jako illit-smektit). Další hlavní složkou základní tkáně zlatonosné horniny je křemen v podobě drobných zrnek rozptýlených v illit-smektitové hmotě, šupiny (zcela

ojedinele i větší shluky, snad pseudomorfozy po neznámém minerálu) hnědé až hnědozelené chloritu a větší (až 0.5 mm velké) a silně deformované šupiny světlé slídy, jejíž chemické složení odpovídá regulárnímu muskovitu až fengitickému muskovitu (tab. 1, obr. 4). Porůznu se v matici horniny vyskytují i relativně velké (max. 0.7 mm) idioblasty pyritu (podle EDS spektra bez příměsí), které jsou však z větší části kompletně limonitizovány, zrna zirkonu, monazitu a místy i drobné šupinky grafitu.



Obr. 5 Minerální asociace a stavba čoček pyritového zrudnění (a-d) a velkých křemenných „blastů“ ze zlatonosné polohy (e-f). a - částečně či zcela limonitizovaná (Lim) automorfní individua pyritu (Py) uzavíraná v křemenné (Q) a chlorit-sericitové (Chl-Ser) mezerní hmotě. b-c - oscilační zonalita pyritových zrn, způsobená variacemi v obsazích As. d - inkluze tetradritu (Tt) a chalkopyritu (Cpy) uzavírané v pyritu (Py). e-f - automorfní zrna arsenopyritu (Apy), zčásti zatlačovaná skoroditem (Sco), uzavřená v křemenu (Q). Chl - zlatonosná chloritová žilka. BSE snímky, foto J. Kapusta a Z. Dolníček.

Charakteristika primární zlatonosné mineralizace

Ve studovaném území byly v ověřovacích sondách zjištěny tři typy primární zlatonosné mineralizace. Prvním typem jsou čočky pyritového zrudnění, druhým křemenné „blasty“ a třetím typem jsou chloritové žilky.

Čočky pyritového zrudnění

Drobné čočky pyritového zrudnění s obsahem zlata byly ojediněle zastíženy v sondách č. 1, 2 a 9 (obr. 2). Čočky (někdy dlouze protažené) dosahují maximální mocnosti 5 cm (obr. 3f), jsou uloženy ve výše charakterizované silně deformované hornině (a to jak v hornině obsahující šlichovatelné zlato, tak v hornině bez obsahu šlichovatelného zlata) a jejich protažení je orientováno souhlasně s hlavní foliací horniny. Okrajové partie jsou silně postiženy limonitizací.

Hlavním rudním minerálem je pyrit, který tvoří několik desítek objemových procent hmoty čoček. Pyritová individua o velikosti do 0.5 mm jsou automorfně až hypautomorfně omezena (obr. 5a). V BSE obraze vykazují často detailní oscilační zonálnost, způsobenou variabilními obsahy As v jednotlivých růstových zónách. Z BSE snímků je rovněž patrné, že během krystalizace opakovaně docházelo ke změnám morfologie rostoucího krystalu (obr. 5b,c). Bodo-ové WDS analýzy pyritu ($n = 54$; tab. 2) vykazovaly obsahy As mezi 0 a 3.53 hm. % a často i nízké příměsi Hg (max. 0.19 hm. %), Co (obvykle max. 0.05 hm. %), Ni (obvykle max. 0.08 hm. %), Pb (max. 0.17 hm. %) a Au (0-0.12 hm. %). Ostatní analyzované prvky (Se, Te, Cu, Zn, Bi, Sb, Cd, Ag, Cl, Sn, Mn, In) byly ve všech analýzách pod mezí stanovitelnosti. Zcela ojediněle byly zaznamenány v jádru jediného pyritového zrna výrazněji zvýšené obsahy Co (0.15 - 0.27 hm. %) a zejména Ni (0.23 - 0.69 hm. %).

Zrna pyritu někdy obsahují ojedinělé inkluze dalších minerálních fází. Kromě křemene a fylosilikátů, hojně přítomných v základní tkáni těchto čoček, byly při studiu na mikrosondě zjištěny i drobné (3 - 10 μm velké) nepravidelné inkluze dalších sulfidů, a sice galenitu, chalkopyritu, tetraedritu a sfaleritu (obr. 5d). Chalkopyrit a galenit nevykazovaly v EDS spektru žádné příměsi, v případě sfaleritu nebyla kvantitativní analýza provedena, a to vzhledem k velmi malým rozměrům inkluzí, kdy nebylo jisté, zda signál železa nepochází zčásti i z okolního pyritu. Zajímavý je chemismus tetraedritu, který kromě obvyklých příměsí Fe (3.64 - 5.84 hm. %) a Zn (3.41 - 4.41 hm. %) vykazuje v různých individuích i velmi variabilní obsahy Ag (pod mezí stanovitelnosti až 9.23 hm. %; tab. 4). Obsahy As v tetraedritech byly vždy pod mezí stanovitelnosti EDS mikroanalýzátora.

Zrna pyritu jsou uložena v jemnozrnné křemen-sericit-chloritové základní matici. Jedna provedená EDS analýza chloritu (tab. 3) spadá do pole chamositu v klasifikaci Melky (1965): $\text{Si} = 2.80 \text{ apfu}$, $\text{Fe}/(\text{Fe}+\text{Mg}) = 0.55$ (obr. 6). Z dalších fází byla při studiu na mikrosondě v mezerní hmotě ojediněle zaznamenána zrna TiO_2 fáze, xenotimu, monazitu, zirkonu, apatitu a magnetitu.

Zlato nebylo *in situ* zastíženo v žádném ze studovaných výbrusů ani při studiu na mikrosondě. Z pyritových čoček odebraných ze sondy č. 2 byly ojediněle drobné zlatinky identifikovány ve šlichu získaném rýžováním rozdrčené rudniny; vedle toho byla zvýšená koncentrace zlata prokázána i chemickou analýzou šlichu (viz níže). Naproti tomu pyritové čočky ze sondy č. 1 neposkytly žádné šlichovatelné zlato a zvýšená koncentrace zlata byla potvrzena jen chemickou analýzou pyritu a i celého šlichu (viz níže).

Tabulka 2 Vybrané WDS analýzy pyritu a arzenopyritu z Andělského údolí (hm. %) a koeficienty empirického vzorce (apfu) vypočítané na 3 apfu.

Analýza	9	11	12	14	15	17	124	96	3	4	5	13	15	16
Minerál	py	py	py	py	py	py	py	py	asp	asp	asp	asp	asp	asp
Pozice	qtz blast	qtz blast	qtz blast	py čočka	py čočka	py čočka	py čočka	py čočka	qtz blast	qtz blast	qtz blast	qtz blast	qtz blast	qtz blast
Fe	45.79	45.96	46.15	46.61	47.13	46.90	45.85	45.59	34.63	35.32	35.62	33.29	32.21	33.36
Co	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.03	0.04	0.17	0.05	0.02	0.03	0.03	0.02	0.01
Ni	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.67	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01
Cu	0.02	0.04	0.03	0.01	0.02	0.01	0.02	0.00	0.01	0.02	0.02	0.01	0.00	0.00
Ag	0.05	0.00	0.02	0.02	0.00	0.00	0.05	0.01	0.00	0.03	0.01	0.02	0.01	0.01
Au	0.13	0.03	0.08	0.03	0.01	0.02	0.05	0.00	0.08	0.12	0.09	0.13	0.05	0.06
Pb	0.09	0.06	0.10	0.10	0.11	0.06	0.09	0.17	0.06	0.00	0.04	0.08	0.04	0.06
Hg	0.14	0.00	0.04	0.01	0.01	0.05	0.00	0.06	0.00	0.01	0.00	0.02	0.10	0.10
As	2.38	1.91	0.59	1.23	0.39	1.95	3.44	0.00	42.48	41.72	41.32	44.33	47.13	45.63
Sb	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.21	0.49	0.51	0.00	0.00	0.03
S	52.93	53.57	53.89	52.49	53.24	52.63	51.02	53.11	22.83	23.58	23.91	21.40	20.59	20.92
Celkem	101.56	101.61	100.93	100.54	100.93	101.65	100.56	99.77	100.36	101.32	101.55	99.31	100.15	100.19
Fe	0.981	0.979	0.985	1.006	1.008	1.004	1.001	0.984	0.978	0.982	0.986	0.962	0.935	0.963
Co	0.001	0.001	0.001	0.001	0.000	0.001	0.001	0.003	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.000
Ni	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.014	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Cu	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ag	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Au	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000
Pb	0.001	0.000	0.001	0.001	0.001	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000
Hg	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001
As	0.038	0.030	0.009	0.020	0.006	0.031	0.056	0.000	0.894	0.865	0.852	0.955	1.020	0.982
Sb	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.006	0.006	0.000	0.000	0.000
S	1.976	1.988	2.003	1.973	1.984	1.963	1.940	1.997	1.123	1.142	1.153	1.078	1.041	1.052
S/As									1.26	1.32	1.35	1.13	1.02	1.07

Křemenné „blasty“

Druhý typ zlatonosného zrudnění je reprezentován velkými křemennými „blasty“, nalezenými v sondách č. 2, 4 a 9. Jde o až 10 cm velké, silně rozpraskané kusy šedobílého masivního křemene, uložené v silně alterovaném mylonitu. Základní horninová matrice tyto křemenné agregáty nejen obtéká, ale také jimi podél puklin žilkovitě proniká (obr. 3e). Do okrajových částí „blastů“ někdy zarůstají tabulky muskovitu, jemnozrnné agregáty illitu-smektitu a chloritu i idioblasty pyritu. Křemenné „blasty“ nesou známky silné deformace (granulace a undulózni zřášení větších křemenných zrn, křehké porušení). Ve výbruse je patrné zakalení křemene velkým množstvím fluidních inkluzí, jejichž nepatrná velikost ($\leq 2 \mu\text{m}$) bohužel neumožnila jejich bližší studium.

V malém množství, ale opakovaně, byly v křemenných „blastech“ nalezeny drobné, maximálně 50 μm velké, automorfně omezené krystalky arzenopyritu (obr. 5e, f). WDS analýzy arzenopyritu ($n = 10$) prokázaly obsahy zlata mezi 0.03 a 0.13 hm. % a někdy i nízké příměsi Sb

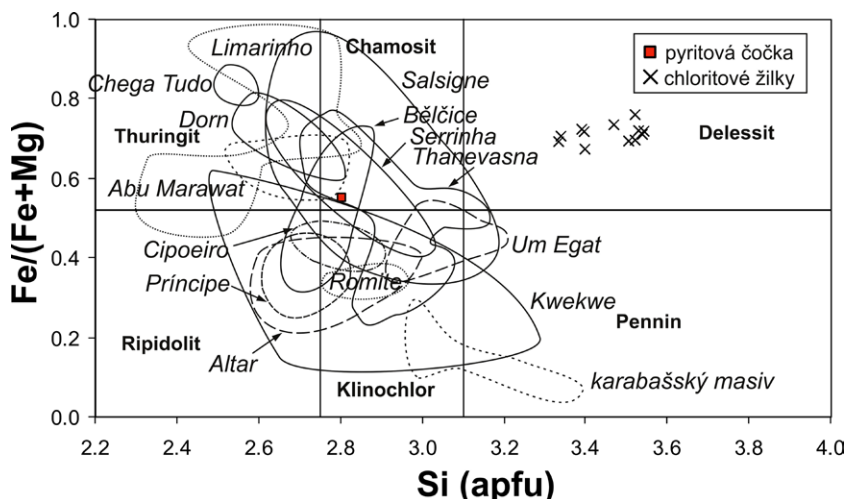
(max. 0.54 hm. %), Pb (max. 0.11 hm. %) či Hg (max. 0,1 hm. %); obsahy dalších analyzovaných prvků (analyzovány byly stejné prvky jako v pyritech) byly pod mezí stanovitelnosti nebo jen těsně nad ní (tab. 2). Atomární poměr S/As v arzenopyritech kolísá mezi 1.02 a 1.35. Arzenopyrit je místy od okrajů zatlačován skoroditem (obr. 5f). Ojedinele zjištěné hexaedrické krystalky pyritu, zarostlé v křemenu izolovaně od zrn arzenopyritu, jsou v BSE obraze oscilačně zonální v důsledku kolísajících obsahů As v růstových zónách (tab. 2). Obsahy As dosahují až 2.38 hm. % a část analýz vykázala i stanovitelné obsahy Au (max. 0.13 hm. %). Zcela ojedinele byla v křemenu zjištěna i přítomnost drobného izometrického xenomorfně omezeného zrnka sfaleritu o velikosti 6 μm , v jehož EDS spektru nebyly zjištěny žádné příměsi.

Přítomnost šlichovatelného zlata v křemenných „blastech“ nebyla zjištěna. S tím je v souladu i negativní výsledek ze studia preparátů v elektronovém mikroskopu. Přítomnost zlata byla doložena chemickými analýzami jednotlivých sulfidů na mikrosondě i celkovou chemickou analýzou „blastů“ (viz níže).

Tabulka 3 EDS analýzy chloritů (hm. %) z pyritové čočky (analýza č. 39) a zlatonosných chloritových žilek (všechny ostatní analýzy). Koeficienty empirického vzorce jsou přepočítány na základ 14 atomů kyslíku. $F/FM = \text{Fe}/(\text{Fe}+\text{Mg})$, T_1 - teplota indikovaná chloritovým termometrem podle Cathelineau (1988), T_2 - teplota indikovaná chloritovým termometrem podle Jowetta (1991).

Analýza	39	25	27	29	43	44	45	47	50	51	58	59	63
SiO ₂	25.77	27.79	31.74	32.29	30.77	32.65	30.43	32.07	33.40	31.24	33.84	31.49	29.88
Al ₂ O ₃	20.24	14.49	16.66	16.9	18.36	17.64	17.58	18.70	17.82	16.84	17.53	18.19	17.27
MgO	12.49	5.25	5.88	5.18	6.51	6.40	5.78	7.09	6.68	6.41	6.39	6.31	6.90
CaO	-	-	-	-	0.49	0.60	0.45	0.51	0.37	0.53	0.49	0.24	-
FeO	27.37	25.69	26.73	29.66	27.77	25.97	27.31	26.19	27.30	29.31	28.88	28.62	27.56
K ₂ O	-	2.32	2.74	1.76	2.16	1.91	2.33	2.71	2.66	2.76	1.27	1.39	2.71
Celkem	85.87	75.54	83.76	85.78	86.06	85.17	83.88	87.26	88.22	87.09	88.39	86.25	84.43
Si	2.800	3.474	3.532	3.529	3.344	3.527	3.398	3.403	3.511	3.400	3.544	3.401	3.337
Al	2.592	2.135	2.185	2.177	2.352	2.246	2.314	2.339	2.208	2.160	2.164	2.316	2.273
Mg	2.023	0.978	0.975	0.844	1.055	1.031	0.962	1.121	1.047	1.040	0.998	1.016	1.149
Ca	-	-	-	-	0.057	0.069	0.054	0.058	0.042	0.062	0.055	0.028	-
Fe	2.487	2.686	2.488	2.711	2.524	2.346	2.551	2.324	2.400	2.668	2.529	2.585	2.574
K	-	0.370	0.389	0.245	0.299	0.263	0.332	0.367	0.357	0.383	0.170	0.192	0.386
Catsum	9.903	9.643	9.570	9.506	9.630	9.482	9.611	9.611	9.564	9.712	9.459	9.537	9.719
F/FM	0.55	0.73	0.72	0.76	0.71	0.69	0.73	0.67	0.70	0.72	0.72	0.72	0.69
T ₁ (°C)	324	107	89	90	149	90	132	130	96	131	85	131	152
T ₂ (°C)	331	122	103	106	163	104	146	143	109	145	99	145	165

Obr. 6 Pozice analyzovaných chloritů v klasifikačním diagramu Melky (1965) a srovnání s chlority z výskytu zlata v karabašském masivu a vybraných českých, francouzských, portugalských, brazilských, egyptských, zimbabwských, indických a antarktických orogenních ložisek zlata. Srovnávací data převzata z prací Murzin et al. (2017), de Siqueira Corrêa et al. (2015), Demange et al. (2006), Moura et al. (2006), Buchholz et al. (2007), Klein et al. (2007, 2008), Zoheir et al. (2008, 2012), Zoheir a Akawy (2010), Crispini et al. (2011), Dora a Randive (2015), Fuertes-Fuente et al. (2016) a Zachariáš a Novák (2009).

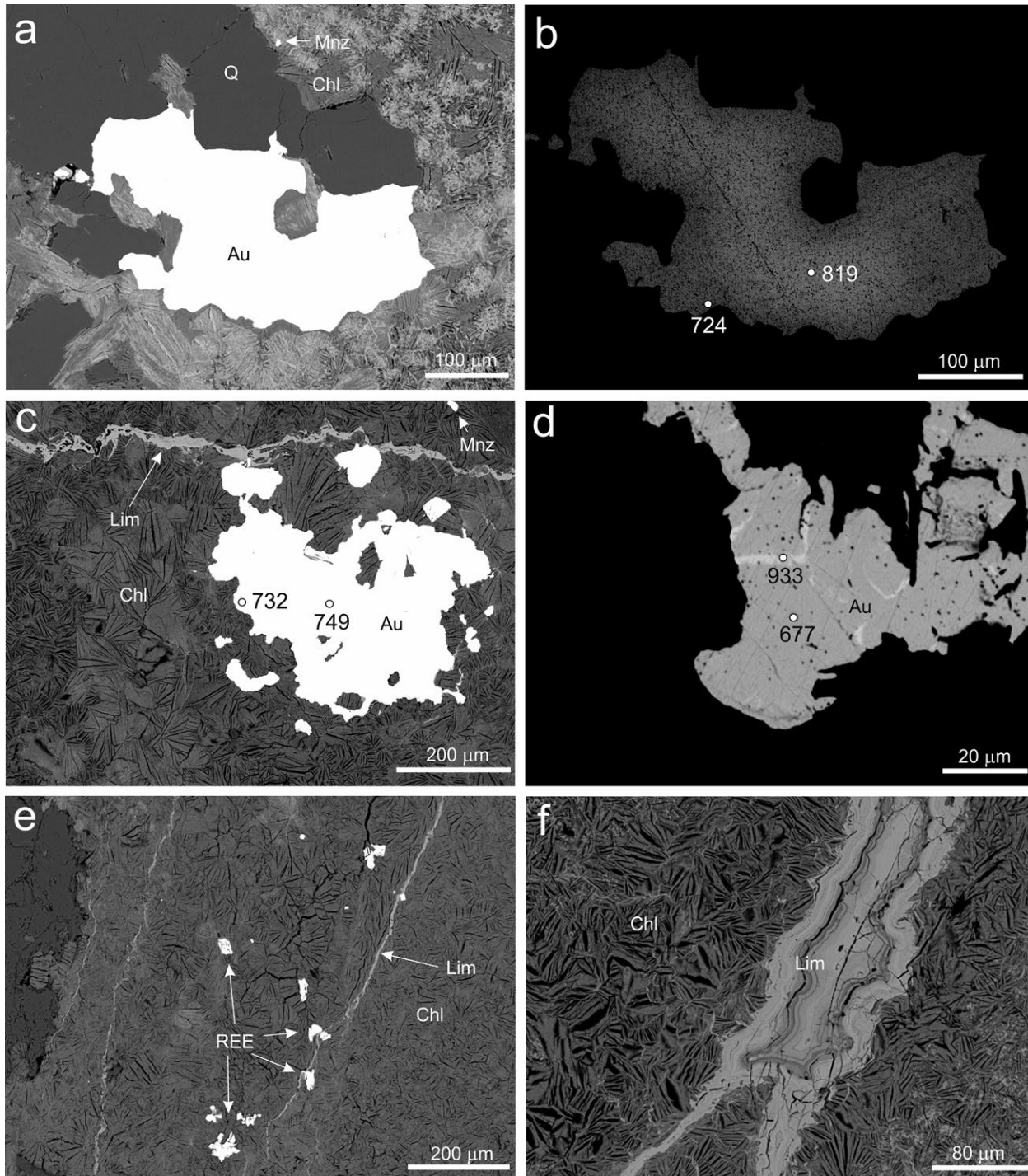


Chloritové žilky

Poslední typ primárního zlatonosného zrudnění byl zastížen v sondách č. 2, 4 a 9 (obr. 2). Jak základní horninová matrice, tak zejména křemenné „blasty“ jsou protínány tenkými hydrotermálními žilkami (obr. 3e), jejichž součástí je i ryzí zlato. Žilky probíhají kose či kolmo k hlavní foliaci horniny, mají směr SZ - JV a úklon cca 60° k SV. Začerstva mají černou barvu, v důsledku na-

větrání či impregnace limonitem získávají barvu rezavou. Mocnost žilek nepřesahuje obvykle 1 mm. V křemenných „blastech“ mají tyto žilky vysloveně postdeformační charakter, v prostředí jemnozrnné, fylosilikáty bohaté horninové matrice bylo ojediněle pozorováno i roztrhání těchto žilek v důsledku pohybu podél foliačních ploch.

Minerální složení žilek je velice jednoduché. Dominantní složkou je chlorit, akcesoricky se vyskytuje monazit, xenotim a zlato (obr. 7). Součástí žilek jsou ojediněle



Obr. 7 Minerální asociace a stavba zlatonosných chloritových žilek na BSE snímcích. a - zlatinka (Au) uzavřená v chloritové žilovině (Chl). Světlejší partie v chloritu jsou jemně impregnované limonitem. Q - křemen, Mnz - monazit. b - difuzní zonálnost zlatinky z obr. (a); čísla indikují ryzost zlaty v analyzovaných místech. c - zlatinka uzavíraná v chloritové žilovině. Lim - limonit, Mnz - monazit. d - neprůběžné žilečky ryzějšího zlaty v méně ryzím zlatě. e - inkluze monazitu a xenotimu (REE) v chloritové žilovině. f - žilka v chloritové žilovině (Chl), tvořená detailně zonálně limonitem (Lim). Foto J. Kapusta.

i shluky křemene a illitu-smektitu; jde však s největší pravděpodobností o úlomky okolní horniny. V mocnějších žilkách se chlorit vyskytuje ve dvou texturních typech, které však vykazují naprosto shodné optické vlastnosti i chemické složení. Přímo na stěnu žilky narůstá tenká vrstvička chloritu, složená z vějířovitě uspořádaných chloritových tabulek o velikosti 50 - 100 μm . Centrální, objemově rozhodující část žilné výplně je pak tvořena prostorově náhodně orientovanými šupinkami chloritu. Druhý jmenovaný texturní typ chloritu také zcela vyplňuje tenčí žilky (obr. 7c, e, f). Ve výbruse je chlorit hnědozelený až světle hnědý, slabě pleochroický, s šedou až namodralou interferenční barvou. Chemické složení chloritu je i v různých vzorcích velice stálé, variabilita v obsazích MgO nepřesahuje 2 hm. %, u SiO_2 , Al_2O_3 a FeO 4 hm. % (tab. 3). Vedle těchto hlavních komponent byly EDS analýzami zjištěny i zvýšené obsahy K_2O (1.27 - 2.76 hm. %) a často i CaO (pod mezí stanovitelnosti až 0.60 hm. %; tab. 3). Obsahy Si kolísají mezi 3.34 a 3.53 *apfu*, poměr Fe/(Fe+Mg) mezi 0.67 a 0.76. V klasifikaci Baylisse (1975) jde o chamosit, v klasifikaci Melky (1965) spadají všechny analýzy do pole *delessitu*; obr. 6).

Xenotim a monazit vytvářejí automorfně až xenomorfně omezená izometrická zrna o velikosti do 50 μm , porůznu uzavíraná v chloritu (obr. 7a,c,e), buď izolovaně nebo ve shlucích. V BSE obraze nejvíce jejich zrna žádnou zonalitu. Podle provedených WDS analýz jde o monazit-Ce a xenotim-Y. Chemismus obou fází je poměrně stálý a jednoduchý. Xenotimy mají 18 - 24 % strukturální pozice Y substituované těžšími prvky vzácných zemin (tab. 5). Z dalších příměsí stojí za zmínku zvýšený obsah Si (0.3 - 1.2 hm. % SiO_2), Fe (0.3 - 1.5 hm. % FeO), Zr (0.2 - 1.2 hm. % ZrO_2) a někdy i Sc (max. 0.5 hm. % Sc_2O_3). Monazity mají obsahy Si, As, Sr a Th v blízkosti meze stanovitelnosti nebo pod ní. Obsahy Ca (0.3 - 0.7

hm. % CaO), Zr (0.5 - 1 hm. % ZrO_2) a Fe (0.3 - 0.9 hm. % FeO) jsou slabě zvýšené (tab. 5). Pro srovnání byly analyzovány i monazity z okolní horniny, které se odlišují vyššími obsahy As (0.2 - 0.6 hm. % As_2O_5), Ca (0.6 - 1.6 hm. % CaO) a často i Th (0.8 - 8.7 hm. % ThO_2); naopak nižší jsou obsahy Fe (většinou pod mezí stanovitelnosti) - viz tab. 5.

Zlato se vyskytuje v podobě izolovaných, xenomorfně omezených zrn, uzavíraných v chloritové žilovině (obr. 7a-d). Velikost zlatinek se pohybuje nejčastěji mezi 0.05 a 0.5 mm. V BSE obraze lze pozorovat jemně porézní strukturu zlata (obr. 7b) a někdy i zonální stavbu, charakterizovanou pozvolným (difúzním) přechodem mezi světlejšími středy a tmavšími okraji zlatinek (obr. 7b). Ojedinele byly zjištěny na okrajích zlatinek tenké neprůběžné ryzejší lemy (pravděpodobně jde o důsledek vyloužení stříbra při supergenních procesech), případně i drobné nepravidelné inkluze či neprůběžné žilečky ryzejšího zlata uzavírané i ve vnitřních partiích zlatinek (obr. 7d). Chemické složení zlata bylo sledováno pomocí 96 mikrosondových EDS a WDS analýz. Vedle zlata je jedinou příměsí ve zlatinkách většinou jen stříbro (tab. 6). V několika WDS analýzách byly nad mezí stanovitelnosti zastíženy ještě Fe (max. 0.31 hm. %), Se (max. 0.11 hm. %) a Te (max. 0.06 hm. %). Obsahy Hg, Cu, Co, Ni, Pb, Cd, Mn, As, In, Sn, Zn, Sb a Bi byly vždy pod mezí detekce WDS mikroanalyzátoru. Ryzost hlavní hmoty zlatinek kolísá v poměrně širokém intervalu mezi 663 a 830 (tj. 51.7 až 72.8 at. % Au), zatímco lemy, inkluze a žilečky mají ryzost vyšší, mezi 891 a 1000 (tj. 81.7 až 100 at. % Au). Hlavní hmota zlatinek svým složením tedy odpovídá elektrů. Středy větších zlatinek mají obvykle nižší obsah stříbra než okraje (obr. 7b, tab. 6), menší zlatinky obvykle zonální nejsou.

Tabulka 4 Mikrosondové analýzy (hm. %) a vypočítané koeficienty empirického vzorce (*apfu*) tetraedritu, antimonitu, jamesonitu, galenitu, sfaleritu a covellinu z Andělského údolí. Analyzované tetraedrity pocházejí z pyritových čoček, všechny ostatní fáze byly vyrýžovány z rozdrčené alterované horniny obsahující zlatonosné chloritové žilky.

Analýza	32	35	36	37	40	77	80	82	91	T2-3	T2-4	T2-6	T2-5
Minerál	Ttd	Ttd	Ttd	Ttd	Ttd	Ant	Jam	Jam	Ga	Sp	Sp	Sp	Cv
Fe	5.54	5.84	5.38	6.12	3.64	0.01	3.91	3.64	0.04	0.36	0.60	1.16	
Mn						0.00	0.00	0.01	0.00	0.17	0.18		
Zn	3.92	3.60	3.78	3.41	4.41	0.00	0.00	0.01	0.04	66.29	66.74	66.00	
Cu	28.06	35.93	30.68	34.35	37.61	0.03	0.06	0.09	0.05				65.12
Pb						0.05	33.22	37.83	84.72				
Ag	9.23		7.50	1.78		0.00	0.01	0.00	0.05				
Sb	27.75	29.86	29.17	28.72	30.80	70.63	39.62	35.30	0.05				
S	23.47	24.51	23.65	24.61	24.78	27.80	23.34	21.48	13.78	32.14	32.27	32.23	31.17
Se						0.00	0.00	0.00	0.16				
Celkem	97.98	99.74	100.17	98.99	101.24	98.52	100.16	98.37	98.90	98.96	99.79	99.39	96.29
Fe	1.748	1.748	1.659	1.845	1.080	0.001	1.360	1.346	0.002	0.006	0.011	0.020	
Mn						0.000	0.000	0.004	0.000	0.003	0.003		
Zn	1.056	0.921	0.996	0.878	1.118	0.000	0.000	0.003	0.002	1.001	1.000	0.992	
Cu	7.779	9.453	8.316	9.103	9.807	0.002	0.019	0.031	0.002				1.026
Pb						0.001	3.115	3.768	0.966				
Ag	1.508		1.198	0.278		0.000	0.002	0.000	0.001				
Sb	4.015	4.100	4.127	3.972	4.192	2.003	6.323	5.983	0.001				
S	12.894	12.778	12.704	12.923	12.804	2.993	14.143	13.828	1.015	0.989	0.986	0.988	0.974
Se						0.000	0.000	0.000	0.005				
Celkem	29	29	29	29	29	5	25	25	2	2	2	2	2

Tabulka 5 Vybrané WDS analýzy REE minerálů z chloritových žilek a z okolní horniny (hm. %) a koeficienty empirického vzorce (apfu) vypočítané na základ čtyř atomů O.

Analýza	4	5	6	7	8	2	10	24	28	9	9a	10a	11	13	14
Fáze	mnz	mnz	mnz	mnz	mnz	mnz	mnz	mnz	mnz	xnt	xnt	xnt	xnt	xnt	xnt
Pozice	žila	žila	žila	žila	žila	žila	hornina	hornina	hornina	žila	žila	žila	žila	žila	žila
SO ₃	0.05	0.03	0.08	0.00	0.00	0.20		0.00	0.01		0.00	0.01	0.00	0.00	0.03
P ₂ O ₅	30.53	30.67	30.25	28.53	29.94	29.97	28.81	29.59	29.19	34.44	34.55	33.93	35.18	34.28	35.33
As ₂ O ₅	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.56	0.18	0.30	0.38	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SiO ₂	0.21	0.22	0.21	0.23	0.24	0.74	0.58	0.49	1.03	1.13	0.96	1.08	0.82	0.67	0.25
ZrO ₂	0.50	0.52	0.54	0.52	0.51	0.44	0.16	0.14	0.05	0.08	0.41	0.46	0.16	0.30	0.34
UO ₂	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.14	0.55	0.17	0.00	0.14	0.12	0.08	0.05	0.03
ThO ₂	0.08	0.06	0.02	0.01	0.03	1.87	3.20	4.37	8.68	0.00	0.15	0.20	0.06	0.05	0.01
Sc ₂ O ₃	0.02	0.00	0.01	0.02	0.01	0.00	0.02	0.05	0.00	0.13	0.17	0.16	0.45	0.01	0.03
Y ₂ O ₃	0.87	1.00	1.01	0.43	0.75	0.44	1.57	0.79	0.64	41.35	41.17	42.15	42.81	44.02	42.25
La ₂ O ₃	15.09	15.42	15.35	16.07	13.83	16.24	13.80	14.33	12.69	0.02	0.03	0.03	0.03	0.04	0.02
Ce ₂ O ₃	30.68	30.66	30.61	34.07	33.86	32.38	29.94	28.88	25.55	0.05	0.09	0.14	0.09	0.00	0.00
Pr ₂ O ₃	3.74	3.59	3.47	3.75	4.01	3.39	2.75	3.03	2.68	0.10	0.00	0.00	0.07	0.03	0.00
Nd ₂ O ₃	13.32	13.59	13.32	12.66	13.73	10.71	12.01	11.18	10.21	0.71	0.59	0.75	0.53	0.21	0.14
Sm ₂ O ₃	2.81	2.56	2.63	1.65	2.06	1.38	2.21	2.24	2.57	1.28	1.13	1.09	0.87	0.71	0.54
Eu ₂ O ₃	0.48	0.45	0.40	0.00	0.00	0.23	0.52	0.29	0.43	0.48	0.57	0.62	0.47	0.48	0.30
Gd ₂ O ₃	1.75	1.87	1.93	1.04	1.20	0.84	1.21	1.35	1.51	3.78	3.59	3.49	3.59	3.50	2.73
Tb ₂ O ₃							0.14	0.12	0.00	0.82	0.73	0.69	0.79	0.73	0.67
Dy ₂ O ₃	0.30	0.35	0.40	0.12	0.34	0.15	0.69	0.36	0.14	5.91	5.68	5.59	5.77	6.27	5.75
Ho ₂ O ₃							0.07	0.08	0.00	1.21	1.09	1.11	1.08	1.17	1.01
Er ₂ O ₃	0.04	0.05	0.11	0.01	0.04	0.03	0.13	0.09	0.00	3.39	3.67	3.60	3.37	3.35	4.19
Tm ₂ O ₃							0.00	0.00	0.01	0.59	0.54	0.56	0.46	0.48	0.78
Yb ₂ O ₃							0.12	0.20	0.13	3.21	3.68	3.32	3.20	2.62	4.70
Lu ₂ O ₃							0.00	0.00	0.00	0.28	0.73	0.50	0.55	0.43	0.95
CaO	0.49	0.41	0.43	0.67	0.33	0.69	0.98	1.01	1.60	0.15	0.08	0.05	0.05	0.03	0.06
SrO	0.26	0.26	0.23	0.03	0.03	0.29	0.03	0.04	0.14	0.00					
FeO	0.33	0.38	0.72	0.87	0.31	0.00	0.04	0.00	0.14	0.44	0.87	0.98	0.27	1.50	1.12
PbO	0.03	0.01	0.00	0.00	0.03	0.01	0.05	0.00	0.05	0.00	0.36	0.39	0.35	0.36	0.36
Na ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.13					
K ₂ O							0.04	0.06	0.05	0.03					
F							0.00	0.00	0.00	0.00	0.16	0.14	0.17	0.14	0.10
Celkem	101.66	102.28	101.84	100.70	101.37	100.16	99.93	99.46	98.04	100.10	101.13	101.14	101.26	101.44	101.69
S	0.001	0.001	0.002	0.000	0.000	0.006		0.000	0.000		0.000	0.000	0.000	0.000	0.001
P	0.990	0.989	0.982	0.956	0.982	0.980	0.959	0.983	0.976	0.971	0.973	0.959	0.980	0.964	0.989
As	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.012	0.004	0.006	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Si	0.008	0.008	0.008	0.009	0.009	0.028	0.023	0.019	0.041	0.038	0.032	0.036	0.027	0.022	0.008
Σ	0.999	0.999	0.993	0.965	0.992	1.014	0.993	1.006	1.023	1.015	1.005	0.995	1.007	0.986	0.998
Zr	0.009	0.010	0.010	0.010	0.010	0.008	0.003	0.003	0.001	0.001	0.007	0.008	0.003	0.005	0.005
U	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.005	0.001	0.000	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000
Th	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.016	0.029	0.039	0.078	0.000	0.001	0.002	0.000	0.000	0.000
Sc	0.001	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.001	0.002	0.000	0.004	0.005	0.005	0.013	0.000	0.001
Y	0.018	0.020	0.021	0.009	0.015	0.009	0.033	0.017	0.013	0.733	0.729	0.749	0.750	0.778	0.744
La	0.213	0.217	0.217	0.235	0.198	0.231	0.200	0.208	0.185	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ce	0.430	0.428	0.430	0.494	0.480	0.458	0.431	0.415	0.369	0.001	0.001	0.002	0.001	0.000	0.000
Pr	0.052	0.050	0.049	0.054	0.057	0.048	0.039	0.043	0.039	0.001	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000
Nd	0.182	0.185	0.183	0.179	0.190	0.148	0.169	0.157	0.144	0.008	0.007	0.009	0.006	0.002	0.002
Sm	0.037	0.034	0.035	0.022	0.027	0.018	0.030	0.030	0.035	0.015	0.013	0.012	0.010	0.008	0.006
Eu	0.006	0.006	0.005	0.000	0.000	0.003	0.007	0.004	0.006	0.005	0.006	0.007	0.005	0.005	0.003
Gd	0.022	0.024	0.025	0.014	0.015	0.011	0.016	0.018	0.020	0.042	0.040	0.039	0.039	0.039	0.030
Tb							0.002	0.002	0.000	0.009	0.008	0.008	0.009	0.008	0.007
Dy	0.004	0.004	0.005	0.001	0.004	0.002	0.009	0.005	0.002	0.063	0.061	0.060	0.061	0.067	0.061
Ho							0.001	0.001	0.000	0.013	0.011	0.012	0.011	0.012	0.011
Er	0.001	0.001	0.001	0.000	0.001	0.000	0.002	0.001	0.000	0.035	0.038	0.038	0.035	0.035	0.044
Tm							0.000	0.000	0.000	0.006	0.006	0.006	0.005	0.005	0.008
Yb							0.001	0.002	0.002	0.033	0.037	0.034	0.032	0.027	0.047
Lu							0.000	0.000	0.000	0.003	0.007	0.005	0.005	0.004	0.009
Ca	0.020	0.017	0.018	0.029	0.014	0.028	0.041	0.042	0.068	0.005	0.003	0.002	0.002	0.001	0.002
Sr	0.006	0.006	0.005	0.001	0.001	0.007	0.001	0.001	0.003	0.000					
Fe	0.011	0.012	0.023	0.029	0.010	0.000	0.001	0.000	0.005	0.012	0.024	0.027	0.008	0.042	0.031
Pb	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000	0.003	0.004	0.003	0.003	0.003
Na	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.008					
K							0.002	0.003	0.003	0.001					
Σ	1.012	1.013	1.026	1.077	1.022	0.988	1.018	0.997	0.978	1.000	1.009	1.027	1.000	1.044	1.015
F							0.000	0.000	0.000	0.000	0.017	0.015	0.018	0.015	0.011

Další minerály

Všudypřítomnou komponentou přítomnou v celé zlatonosné poloze je „limonit“, který jednak zabarvuje a jemně impregnuje fylsilikáty jak v hornině, tak v hydrotermálních žilkách (obr. 7a), jednak tvoří i samostatné žilky (obr. 7c,e), které vykazují často detailní růstovou zónalnost v důsledku rozdílné hydratace oxi-hydroxidů Fe v jednotlivých růstových zónách (obr. 7f).

Ve šlichových vzorcích získaných rýžováním rozdrčené rudniny obsahující zlatonosné chloritové žilky se relativně běžně vedle granátu, magnetitu, ilmenitu, zirkonu, xenotimu, monazitu, apatitu, pyritu a zlata vyskytuje v menším množství i baryt (s 0.1 hm. % SrO). Dále bylo nalezeno několik zrn sfaleritu obsahujících hojně drobné okrouhlé inkluze chalkopyritu (texturně jde o typickou tzv. „chalkopyritovou infekci“) a v jednom případě i uzavřeniny covellinu. Sfalerit obsahuje podle provedených EDS analýz 0.17 a 0.18 hm. % Mn a 0.36 - 1.16 hm. % Fe, covellin je bez příměsí (tab. 4). Dále byl v několika zrnech zaznamenán i antimonit (bez příměsí) s ojedinělou vrostlicí jamesonitu (obr. 8c, tab. 4). Několika individui byl zastoupen i galenit (s nízkými obsahy Ag a Sb do 0.08 hm. % a často i mírně zvýšenými obsahy Hg a Se do 0.21 hm. %; tab. 4), na okrajích někdy zatlačovaný směsí anglesitu a cerusitu. Čistý cerusit byl zaznamenán i v samostatném zrnu. Zcela ojediněle bylo nalezeno i zrno pyritu (v EDS spektru bez příměsí) s automorfně až hypautomorfně omezenými uzavřeními arzenopyritu (obr. 8a). Původ vyrýžovaných minerálů nelze odpovědně posoudit vzhledem ke skutečnosti, že nebyly zastiženy *in situ* v žádném typu studované primární mineralizace.

Chemismus rudnin a šlichů

Obsahy vybraných prvků v pyritových koncentrátech, získaných šlichováním rozdrčené rudniny, v křemenných „blastech“, i v celkové rudnině obsahující zlatonosné chloritové žilky, jsou uvedeny v tab. 7. Pyritové koncentráty jsou všechny poměrně bohaté na chalkofilní stopové prvky, bez ohledu na typ mineralizace/horniny, z níž byly získány. Všechny jsou také zlatonosné, přičemž se obsahy Au pohybují mezi 9 a >100 ppm. Druhý nejvyšší obsah zlata (26.1 ppm) byl zjištěn ve vzorku z pyritové čočky ze sondy č. 1, z něhož nebylo získáno žádné šlichovatelné zlato. Zlatinky jsou v tomto případě buď velmi drobné, nebo jde o tzv. „refractory gold“, vázané na struktury sulfidických minerálů (Zhu et al. 2011). Poměry Au/Ag jsou ve všech vzorcích poměrně stabilní, mezi 1.6 a 2.4. Dalším charakteristickým znakem jsou zvýšené obsahy As (0.46

až >1 hm. %), Se (3.5 - 7.0 ppm, s výjimkou jednoho vzorku s <0.1 ppm Se), Sb (19 - 32 ppm) a Hg (80 - 1080 ppb). Poměry Co/Ni jsou velmi vyrovnané a nízké (0.52 - 0.69). Vzorky celé rudniny s obsahem zlatonosných chloritových žilek mají obsahy Au mezi 0.4 a 7.5 ppm. Dva křemenné „blasty“ ukázaly obsahy zlata při spodní hranici rozsahu hodnot celkových rudnin s obsahem zlatonosných chloritových žilek (0.1 a 0.6 ppm).

Poznámky k aluviálnímu zlatu

Aluviální zlato z náplavů Andělského potoka bylo v rámci této práce studováno jen okrajově, vzhledem ke skutečnosti, že se jím už dříve zabývali Malec et al. (1990) a Nepejchal et al. (2017). Nově se podařilo na mikrosondě kvantitativně analyzovat lem ryzejšího zlata, který výjimečně dosáhl šířky dostačující pro analýzu. Lem je tvořen čistým zlatem, zatímco hlavní hmota zlatinky měla ryzost 858 (tj. 76.8 at. % Au). Navíc byla ojediněle ve zlatinkách doložena přítomnost drobných, xenomorfně omezených inkluzí pyritu a chalkopyritu (obr. 8b), v jejichž EDS spektrech nebyly zjištěny žádné příměsi. Pokud jde o chemismus aluviálního zlata, i s ohledem na publikovaná data lze konstatovat, že má poněkud užší rozsah ryzosti, než námi studované zlato primární (obr. 9). Prostorově velmi členité tvary některých zlatinek vyrýžovaných těsně pod místem výskytu zlatonosné mineralizace (obr. 8d) dokládají nepatrnou délku jejich transportu, a tedy lokální zdroj.

Diskuse

Provedené terénní práce nasvědčují vazbě primární zlaté mineralizace v závěru Andělského údolí na úzkou geologickou strukturu směru SV - JZ, která je subparalelní s průběhem foliace metamorfítů v dané oblasti (srov. obr. 1 a 2). Vzhledem k silné mylonitizaci bočních hornin a hojnému výskytu drobných poloh, čoček a budin různých typů/variet hornin předpokládáme, že se s největší pravděpodobností jedná o střížnou zónu subparalelní s průběhem nýznerovského nasunutí. Tenká poloha silně alterované a deformované zlatonosné horniny, zastižená sondami č. 2, 4 a 9 (obr. 2), s největší pravděpodobností představuje drobnou tektonickou šupinu, vpravenou do dnešní pozice během vývoje střížné zóny. Čočky pyritové zrudnění lze v této situaci interpretovat jako budiny starší, předmetamorfnní mineralizace, zapracované do dané horninové sekvence tektonickými procesy během formování dané střížné struktury. Rovněž nápadně velké „blasty“ křemene s akcesorickým obsahem arzenopyritu,

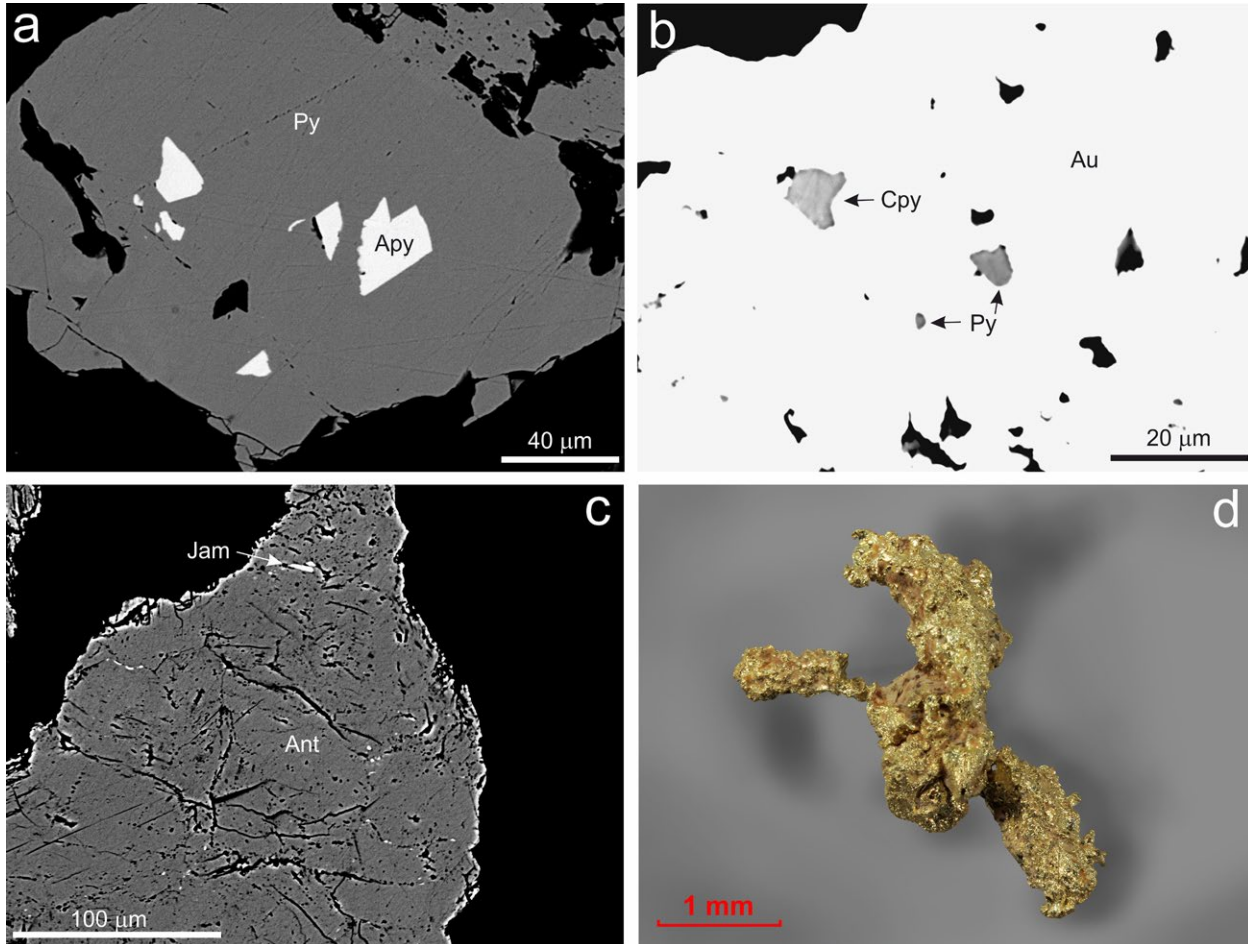
Tabulka 6 Vybrané mikrosondové analýzy primárního zlata (hm. %) z chloritových žilek v Andělském údolí. Vysvětlivky zkratk: c - střed zlatinky, r - okraj zlatinky, i - ryzejší inkluze, v - ryzejší žilečka.

Analýza	1	2	3	4	14	15	16	17	18	19	23	24	41	42
Pozice	1c	1r	2ic	2c	3c	3ir	4c	4r	5v	5c	6c	6r	7c	7r
Ag	27.72	0.45	3.55	29.92	31.61	10.73	28.64	30.02	6.57	32.03	27.36	28.76	25.28	27.36
Au	71.20	97.25	93.99	67.36	67.83	87.49	69.81	68.78	91.00	67.00	70.28	69.57	75.26	74.62
Celkem	98.92	97.71	97.54	97.28	99.44	98.22	98.47	98.81	97.57	99.03	97.64	98.32	100.54	101.98
Analýza	53	54	55	62	T2-7	T2-8	T2-9	T2-10	T2-12	T2-13	T2-14	T2-15	T2-16	T2-17
Pozice	8c	8r	8c	9	10c	10r	11i	11r	11c	12r	12c	12i	13r	13c
Ag	18.41	27.38	18.50	32.18	18.90	27.01	-	-	24.98	17.92	18.42	0.19	28.35	17.10
Au	83.21	71.93	83.20	68.95	81.18	71.30	102.54	99.90	76.13	82.91	82.67	100.58	72.74	83.74
Celkem	101.62	99.31	101.70	101.13	100.07	98.31	102.54	99.90	101.11	100.83	101.09	100.77	101.08	100.75

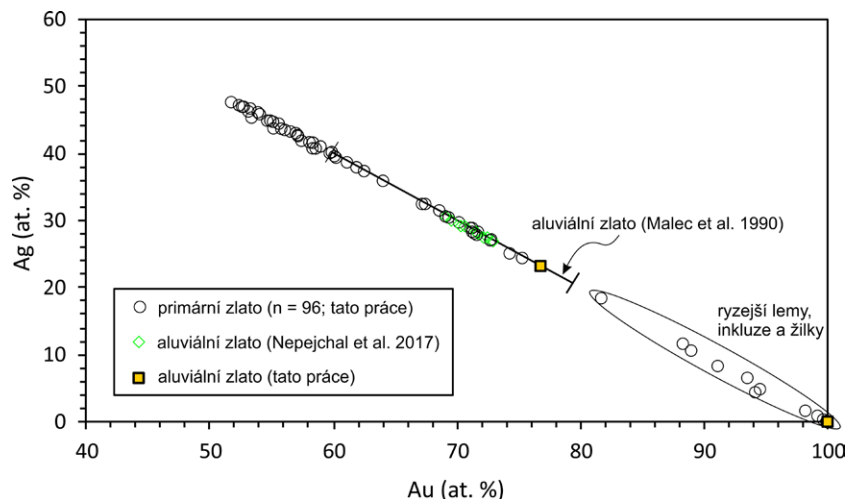
pyritu a sfaleritu, uzavřené v mylonitizované horninové matici této zlatonosné polohy, lze interpretovat jako výsledek budináže starší (pretektonické) žilné(?) křemenné mineralizace. Naproti tomu chloritové zlatonosné žilky jsou většinou zřetelně posttektonické (protínají hlavní foliaci horniny a nesou znaky krystalizace v otevřených trhlinách); jejich ojediněle pozorované mladší porušení foliačními plochami lze vysvětlit nekompetentním chová-

ním fyllosilikáty bohaté horninové matrice při mladší (povariské či neiodní) tektonické aktivitě v dané oblasti.

Z minerogenetického pohledu je studovaný výskyt zajímavý přítomností tří texturně i mineralogicky odlišných typů primární zlatonosné mineralizace. Navíc jde o typy zcela odlišné od dosud známé primární Au mineralizace v této oblasti: v povodí dolního toku Andělského potoka (obr. 1) popsali Nepejchal et al. (2017) z lokality Květná



Obr. 8 Snímky zajímavých vyrýžovaných minerálů. a - zrno pyritu (Py) uzavírající drobná individua arzenopyritu (Asp), pocházející ze silně alterované horniny s obsahem zlatonosných chloritových žilek. Obráz BSE, foto J. Kapusta. b - zlatinka z náplavů Andělského potoka, obsahující inkluze pyritu (Py) a chalkopyritu (Cpy). Obráz BSE, foto J. Kapusta. c - inkluze jamesonitu (Jam) uzavřená v antimonitu (Ant), z rozdrčené rudniny s obsahem zlatonosných chloritových žilek. BSE foto Z. Dolníček. d - tvarově velmi členitá zlatinka, vyrýžovaná z Andělského potoka u výškového bodu 767.7 m n. m. Foto J. Bajer.



Obr. 9 Porovnání obsahů Au a Ag primárního a aluviálního zlata z Andělského údolí.

postmetamorfní zlatonosné křemenné žíly, strmě pro-
rážející ve směru SSZ - JJV amfibolity staroměstského
krystalinika. Dosavadní výsledky jednoznačně ukazují
na polygenetický charakter výskytů zlata v této oblasti,
jak nepřímo naznačovaly dřívější výzkumy Malce et al.
(1990) a Nepejchala et al. (2017) týkající se aluviálního i
přímárodního zlata.

Zlato se na námi studované lokalitě vyskytuje jen
„bodově“ v krátkém úseku střížné zóny. S tímto konsta-
továním je v souladu i negativní výsledek podrobné šli-
chové prospekce svahovin podél celého středního a
horního toku Andělského potoka. Dále je pozoruhodné,
že se na - v dané horninové sekvenci všudypřítomných
- vlasových chloritových žilkách zlato vyskytuje jen v pro-
storu jedné konkrétní, maximálně 5 m mocné horninové
polohy (pravděpodobně samostatné drobné tektonicky
omezené šupiny). Skutečnost, že se na studované loka-
litě zlato vyskytuje jen v takto prostorově velice omezené
oblasti, vylučuje možnost, že by byl drahý kov ve větší
míře přinášěn z hloubky fluidy, vystupujícími podél hosti-
telského zlomu. Uvedená zjištění naopak podporují před-
stavu lokální remobilizace zlata ze starších mineralizací
(v našem případě představovaných čočkami zlatonosné-
ho pyritového zrudnění a/nebo křemenných „blastů“) do
mladších (v tomto případě reprezentovaných zlatonosným-
i chloritovými žilkami), s jen minimální laterální migrací
totoho kovu.

Čočky pyritového zrudnění s akcesorickým obsahem
zlata a řady dalších sulfidů představují pro danou oblast,
podle našich znalostí, dosud nepopsaný fenomén. Tex-
turně i mineralogicky nejsou nepodobné pyritem bohaté-

mu stratiformnímu zrudnění devonské vrbenské skupiny
silezika (ložiska Zlaté Hory, Horní Město; Fojt et al. 2001,
2007). Chemické složení chloritu, přítomného v mezerní
hmotě mezi krystaly pyritu, indikuje teploty jeho vzniku
kolem 330 °C (tab. 3), což je v souladu s představou me-
tamorfní rekrystalizace protolitu daného typu mineraliza-
ce v podmínkách epizóny.

Chloritové žilky s obsahem zlata představují z pohle-
du minerálního složení, chemického složení minerálních
fází i podmínek vzniku unikátní mineralizaci, a to i ve svě-
tovém měřítku, zejména v následujících aspektech:

- 1) Minerální složení studovaných zlatonosných žilek
je podle našich znalostí naprosto jedinečné: zlato je
součástí žilné mineralizace, v níž je zcela převládající
složkou žiloviny chlorit a úplně chybí křemen. Zlato-
nosné žilné mineralizace obvykle obsahují křemen
jako hlavní složku (někdy spolu s karbonáty a sulfidy)
a chlorit, pokud je vůbec přítomen, tvoří akcesorickou
či v krajním případě vedlejší komponentu (Groves et
al. 1998). Námi studovaná mineralizace se z pohledu
minerálního složení blíží výskytu v karabašském ul-
trabazickém masivu (jižní Ural), kde je zlato přítomno
v chloritové a magnetit-chlorit-karbonátové hornině,
jež jsou interpretovány jako produkt hydrotermál-
ních alterací hostitelských serpentinitů (Murzin et al.
2017). Rovněž relativně hojná přítomnost REE fázi
(xenotim, monazit) v žilné výplni není na zlatých lo-
žiskách obvyklým jevem.
- 2) Chemické složení fylosilikátů je pro danou lokalitu
rovněž specifické. Chlority orogenních ložisek zlata
mají typicky obsahy Si mezi 2.5 a 3.0 *apfu*; mírně

Tabulka 7 Obsahy vybraných prvků ve vyšlichovaných pyritem bohatých koncentrátech, celých rudninách s obsahem zlatonosných chloritových žilek a křemenných „blastech“ z Andělského údolí.

	Sonda	1	2	2	2	9	2	2	2	9	2	9
	TM	PČ	PČ	RChŽ	RChŽ	RChŽ	RChŽ	RChŽ	RChŽ	RChŽ	KB	KB
	TV	PK	PK	PK	PK	PK	CR	CR	CR	CR	CR	CR
Fe	hm. %	39.33	>40.00	>40.00	39.88	>40.00	4.58	4.52	4.37	2.31	1.00	0.68
S	hm. %	>10.00	>10.00	>10.00	>10.00	>10.00	0.02	<0.02	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Au	ppb	26100	9130	>100000	23180	8980	3230	7490	2340	351	593	99
Ag	ppb	11040	5720	70100	10300	4800	1380	1740	1200	300	300	<100
As	ppm	4600	>10000	9090	8810	7860	491	483	676	523	20.2	14.9
Cu	ppm	80.0	80.2	83.6	96.9	73.0	16.8	15.6	19.8	13.9	8.2	6.8
Pb	ppm	38.3	62.5	79.4	87.2	31.9	6.77	6.61	7.5	11.2	1.2	1.0
Zn	ppm	31.9	25.8	42.8	68.4	25.0	23.7	23.4	27.0	20.0	3.0	2.0
Ni	ppm	82	198	193	164	83	16.4	16.1	15.3	9.6	5.1	4.1
Co	ppm	47	138	134	105	43	8.2	8.2	4.1	3.0	0.7	0.6
Mn	ppm	76	59	162	265	53	220	220	83	68	69	46
Mo	ppm	7.6	6.7	3.5	6.8	8.4	0.7	0.7	0.7	0.4	0.5	0.5
Cd	ppm	0.14	0.08	0.11	0.34	<0.1	0.10	0.07	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Sb	ppm	26.8	31.5	22.9	28.1	18.5	3.78	3.77	3.9	3.7	0.6	0.6
Bi	ppm	1.17	2.62	2.77	2.58	0.80	0.22	0.22	0.20	0.20	<0.1	<0.1
Hg	ppb	142	81	1080	180	80	22	38	20	10	<10	<10
Se	ppm	5.4	5.4	<0.1	3.5	7.0	<0.1	<0.1	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
Te	ppm	0.30	0.52	0.21	0.64	0.40	0.09	0.06	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2
Tl	ppm	0.04	0.12	0.07	0.13	<0.1	0.10	0.10	0.1	0.2	<0.1	<0.1
Au/Ag	hm.	2.36	1.59	>1.43	2.25	1.87	2.34	4.30	1.95	1.17	1.98	>0.99
Co/Ni	hm.	0.57	0.69	0.69	0.64	0.52	0.50	0.51	0.27	0.31	0.14	0.15
Pb/Zn	hm.	1.20	2.42	1.85	1.28	1.28	0.29	0.28	0.28	0.56	0.40	0.50
Cu/Pb	hm.	2.9	1.28	1.5	1.11	2.29	2.47	2.37	2.64	1.24	6.83	6.80
Cu/Sb	hm.	2.99	2.55	3.65	3.45	3.95	4.44	4.14	5.8	3.76	13.7	11.3

Typ mineralizace (TM): PČ - pyritová čočka; RChŽ - rudnina s chloritovými žilkami; KB - křemenný „blast“. Typ vzorku (TV): PK - pyritový koncentrát; CR - celá rudnina; hm. - hmotnostní poměr.

vyšší či nižší hodnoty jsou zcela výjimečné (obr. 6). Typický *delessit* (v Andělském údolí s Si >3.3 *apfu*), obvykle popisovaný z prostředí hydrotermálně alterovaných intermediálních až bazických vulkanických hornin (Deer et al. 1962), je tak na zlatých ložiskách fází zcela neobvyklou. Zjištěné obsahy K a Ca v chloritu z Andělského údolí lze v kontextu publikovaných údajů z dalších ložisek zlata rovněž charakterizovat jako anomálně zvýšené; svědčí o přítomnosti illitových a smektitových mezivrstev ve struktuře chloritu. Chlority z výše zmíněného výskytu zlata v karabašském masivu jsou v kontrastu s námi studovanou lokalitou bohaté hořčíkem, někdy i chromem a téměř neobsahují draslík (Murzin et al. 2017; obr. 6). Světlé slídy orogenních ložisek zlata obvykle klasifikačně spadají k muskovitu či „fengitickému muskovitu“ (= pevný roztok seladonitu a muskovitu) a jen výjimečně přesahují až do pole illitu (např. ložisko Altar; Maydagán et al. 2016), zatímco v alterované zlatonosné hornině z Andělského údolí muskovit mezi novotvořenými alteračními fázemi zcela chybí a dominují illit se smektitem (obr. 4).

- 3) Výše uvedené odlišnosti v chemickém složení fylosilikátů nepochybně souvisejí s odlišnými podmínkami vzniku studované mineralizace a typických ložisek zlata. Orogeenní ložiska zlata vznikala obvykle v „mezotermálním“ teplotním režimu (cca 250 - 350 °C, Hagemann, Brown 1996; Groves et al. 1998). V případě námi studované žilkovité mineralizace indikují empirické kompoziční chloritové termometry teploty pouze mezi ~90 a 160 °C (tab. 3). Illit-smektit vzniká za teplot pod 220 °C, přítomnost samotného smektitu indikuje teploty pod cca 150 °C (Steiner 1968; Reyes 1990). S představou nízkoteplotního charakteru dané mineralizace je v souladu i převaha Ni nad Co v pyritových koncentracích, stejně jako přítomnost zvýšených koncentrací prvků charakteristických pro nízkoteplotní hydrotermální aktivitu (Hg, Sb, Se, As).

Závěr

V závěru Andělského údolí byly nalezeny tři typy primární zlatonosné mineralizace, prostorově omezené na úzkou (max. 5 m mocnou) zónu silně deformovaných hornin, vázanou pravděpodobně na zlom směru SV - JZ v metamorfitech staroměstského krystalinika. Boční horniny (původně pravděpodobně ruly či svory) jsou v místě výskytu silně hydrotermálně alterované ve směs křemene, chloritu a illit-smektitu. Prvním typem zlatonosné mineralizace jsou drobné čočky pyritového zrudnění s akcesorickým obsahem zlata a dalších sulfidů (galenitu, sfaleritu, chalkopyritu, tetradritu), uložené konformně s hlavní foliací, které mineralogicky a texturně připomínají pyritem bohaté slabě metamorfované stratiformní zrudnění vrbenské skupiny silezika. Druhým typem jsou křemenné „blasty“ uzavírané v mylonitové matici, s akcesorickým obsahem zlatonosného pyritu a arzenopyritu. Posledním typem Au zrudnění jsou postdeformační vlasové chloritové žilky, protínající foliační plochy hostitelských hornin, a vedle chloritu (klasifikačně odpovídajícímu *delessitu*) obsahující akcesoricky i zlato, xenotim a monazit. Zlatinky chloritových žilek dosahují velikosti do 0.5 mm a svou ryzostí odpovídají většinou elektrů (51.7 až 72.8 at. % Au); ojediněle jsou ve zlatinkách přítomny i lemy, žilky a inkluze s vyšší ryzostí (81.7 až 100 at. % Au). Primární zlato vykazuje poněkud širší rozptýl ryzosti než aluviální zlato vryžované ze sedimentů Andělského

potoka. Mineralogické poměry, chemické složení minerálních fází i celkový geochemický charakter studovaného zrudnění nasvědčují nízkoteplotním podmínkám formování dané mineralizace. Vzhledem k prostorově velmi omezenému výskytu Au zrudnění nepředpokládáme významnější přínos zlata fluidy „z hloubky“, nýbrž uvažujeme o uplatnění procesů lokální remobilizace zlata v rámci diskretní drobné tektonické šupiny s vhodným složením (tj. již primárně obsahující zlato), během hydrotermálních procesů souvisejících s pozdními fázemi vývoje hostitelské střížné zóny.

Poděkování

Autoři předloženého příspěvku děkují vedení lesní správy v Hanušovicích za umožnění provedení nemalého množství výkopových prací. Děkujeme také R. Škodovi (ÚGV MU Brno) za mikrosondové analýzy REE fází. Z. D. děkuje K. Kropáčovi (UP Olomouc) za vstřícnou a účinnou pomoc, díky níž bylo možno tuto studii v plném rozsahu dokončit i po nedobrovolném ukončení pracovního poměru Z. D. na PŘF UP v Olomouci. Práce na článku byly finančně zčásti podpořeny Ministerstvem kultury ČR v rámci institucionálního financování výzkumné organizace Národní muzeum (00023272 - cíle DKRVO 2017/01 a DKRVO 2018/01). Autoři děkují oběma recenzentům (S. Houzar a P. Pauliš) za konstruktivní připomínky, které přispěly k vylepšení rukopisu.

Literatura

- BAYLISS P (1975) Nomenclature of the trioctahedral chlorites. *Can Mineral* 13: 178-185
- BUHL G (1938) Die Geschichte des Bergbaues im Mährisch-Altstädter Bezirk. *Bergland-Bezirksbücher*, Bd. 3. Hohenstadt
- BUCHHOLZ P, OBERTHÜR T, LÜDERS V, WILKINSON J (2007) Multistage Au-As-Sb mineralization and crustal-scale fluid evolution in the Kwekwe District, Midlands Greenstone Belt, Zimbabwe: a combined geochemical, mineralogical, stable isotope, and fluid inclusion study. *Econ Geol* 102: 347-378
- CATHELINEAU M (1988) Cation site occupancy in chlorites and illites as a function of temperature. *Clay Miner* 23: 471-485
- CRISPINI L, FEDERICO L, CAPPONI G, TALARICO F (2011) The Dorn gold deposit in northern Victoria Land, Antarctica: Structure, hydrothermal alteration, and implications for the Gondwana Pacific margin. *Gondw Res* 19: 128-140
- DEER WA, HOWIE RA, ZUSSMAN J (1962) Rock-forming minerals. Vol. 3: sheet silicates. John Wiley. New York
- DEMANGE M, PASCAL M-L, RAIMBAULT L, ARMAND J, FORETTE MC, SERMENT R, TOUIL A (2006) The Salsigne Au-As-Bi-Ag-Cu deposit, France. *Econ Geol* 101: 199-234
- DORA ML, RANDIVE KR (2015) Chloritisation along the Thane-wasna shear zone, Western Bastar Craton, Central India: Its genetic linkage to Cu-Au mineralisation. *Ore Geol Rev* 70: 151-172
- FOJT B, ČULUUNBAATAR N, HLADÍKOVÁ J, KOPA D (1992) Paragenetická studie rudního výskytu u Starého Města pod Sněžníkem. *Čas Slezk. Muzea (A)* 41: 239-257
- FOJT B, DOLNÍČEK Z, HOFFMAN V, ŠKODA R, TRDLIČKA 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
- FOJT B, HLADÍKOVÁ J, KALENDA F (2001) Zlaté Hory ve Slezsku, největší rudní revír v Jeseníkách. Část 2. *Acta Mus Moraviae, Sci geol* 86: 3-51

- FUERTES-FUENTE M, CEPEDAL A, LIMA A, DÓRIA A, DOS ANJOS RIBEIRO M, GUEDES A (2016) The Au-bearing vein system of the Limarinho deposit (northern Portugal): Genetic constraints from Bi-chalcogenides and Bi-Pb-Ag sulfosalts, fluid inclusions and stable isotopes. *Ore Geol Rev* 72: 213-231
- GROVES DI, GOLDFARB RJ, GEBRE-MARIAM M, HAGEMANN SG, ROBERT F (1998) Orogenic gold deposits: A proposed classification in the context of their crustal distribution and relationship to other gold deposit types. *Ore Geol Rev* 13: 7-27
- HAGEMANN SG, BROWN PE (1996) Geobarometry in Archean lode-gold deposits. *Eur J Mineral* 8: 937-960
- HANKE R (1942) Bergbau im Landkreis Mähr.-Schönberg. - Teßtal. Mitteilungen für Heimatkunde im Landkreis M.-Schönberg. Beilage zum „Nordmähr. Grenzboten“, M. Schönberg. 3: 4
- JOWETT EC (1991) Fitting iron and magnesium into the hydrothermal chlorite geothermometer. GAC/MAC/SEG Joint Annual Meeting (Toronto, May 27-29, 1991), Program with Abstracts 16: A62. Toronto
- KLEIN EL, HARRIS C, GIRET A, MOURA CAV (2007) The Cipo-eiro gold deposit, Gurupi Belt, Brazil: Geology, chlorite geochemistry, and stable isotope study. *J South Amer Earth Sci* 23: 242-255
- KLEIN EL, RIBEIRO JWA, HARRIS C, MOURA CAV, GIRET A (2008) Geology and fluid characteristics of the Mina Velha and Mandiocacal orebodies and implications for the genesis of the orogenic Chega Tudo gold deposit, Gurupi Belt, Brazil. *Econ Geol* 103: 957-980
- MALEC J, KAVALÍR J, JANSKA J (1990) Zlato a doprovodné minerály z oblasti Jeseníků. MS, Ústav nerostných surovin, Kutná Hora
- MAYDAGÁN L, FRANCHINI M, IMPICCINI A, LENTZ D (2016) Phyllosilicates geochemistry and distribution in the Altar porphyry Cu-(Au) deposit, Andes Cordillera of San Juan, Argentina: Applications in exploration, geothermometry, and geometallurgy. *J Geoch Explor* 167: 83-109
- MELKA K (1965) Návrh na klasifikaci chloritových minerálů. *Věst Ústř Úst Geol* 40: 23-27
- MOURA MA, BOTELHO NF, OLIVO GM, KYSER TK (2006) Granite-related Paleoproterozoic, Serrinha gold deposit, southern Amazonia, Brazil: hydrothermal alteration, fluid inclusion and stable isotope constraints on genesis and evolution. *Econ Geol* 101: 585-605
- MÜCKE A, FOJT B, SKÁČEL J (2006) The Malé Vrbno magnetite occurrence of the Velké Vrbno Unit, Czech Republic: petrology, mineralogy, geochemistry and genesis. *Chem Erde Geochem* 66: 109-128
- MURZIN VV, VARLAMOV DA, PALYANOVA GA (2017) Conditions of formation of gold-bearing magnetite-chlorite-carbonate rocks of the Karabash ultrabasic massif (South Urals). *Russ Geol Geophys* 58: 803-814
- NEPEJCHAL M, DOLNÍČEK Z, FOJT B (2017) Výskyt zlata v regionu Starého Města pod Sněžníkem (Česká republika). *Bull Mineral Petrolog* 25: 33-42
- PECINA V, AICHLER J, ADAMOVÁ M, BURIÁNKOVÁ K, ČURDA J, HANŽL P, HOLÁSEK O, HROUDA F, CHLUPÁČOVÁ M, KREJČÍ Z, KOČANDRLE J, MANOVÁ M, NEKOVAŘÍK Č, OPLETAL M, ŠALANSKÝ K, VEČEŘA J, ŽÁČEK V (2000) Vysvětlivky k základní geologické mapě. - ČGÚ Praha
- POUCHOU J, PICHOR F (1985) „PAP“ $\varphi(\rho z)$ procedure for improved quantitative microanalysis. In: Armstrong JT (ed): *Microbeam Analysis*. 104-106. San Francisco Press. San Francisco.
- REYES AG (1990) Petrology of Philippine geothermal systems and the application of alteration mineralogy to their assessment. *J Volcanol Geotherm Res* 43: 279-309
- RIEDER M, CAVAZZINI G, D'YAKONOV YS, KAMENETSKII VAF, GOTTARDI G, GUGGENHEIM S, KOVAL' PV, MUELLER G, NEIVA AMR, RADOSLOVICH EW, ROBERT JL, SASSI FP, TAKEDA H, WEISS Z, WONES DR (1998) Nomenclature of micas. *Canad Mineral* 36: 905-912
- DE SIQUEIRA CORRÊA R, OLIVEIRA CG, VIDOTTI RM, DA SILVA SOUZA V (2015) Regional-scale pressure shadow-controlled mineralization in the Príncipe Orogenic Gold Deposit, Central Brazil. *Ore Geol Rev* 71: 273-304
- SKÁČEL J (1988) Rudné hornictví v okolí Starého Města. *Sev Morava* 55: 47-51
- SKÁČEL J (2008) K problému původu zlata ve starých rýžoviskách v Rychlebských horách a na Staroměstsku. *Čas Slez Muz (A)* 57: 179-184
- SKÁČEL J, PECINA V (1990) Staré báňské práce na drahé a barevné kovy u Starého Města p. Sněžníkem. *Čas Mineral Geol* 35: 203-208
- STEINER A (1968) Clay minerals in hydrothermally altered rocks at Wairakei, New Zealand. *Clays Clay Miner* 16: 193-213
- ZACHARIÁŠ J, NOVÁK T (2009) Gold-bearing quartz veins of the Bělčice ore district, Bohemian Massif: evidence for incursion of metamorphic fluids into a granodiorite body and for isothermal mixing between two types of metamorphic fluids. *J Geosci* 54: 57-72
- ZHU Y, AN F, TAN J (2011) Geochemistry of hydrothermal gold deposits: A review. *Geosci Front* 2: 367-374
- ZOHEIR BA (2012) Controls on lode gold mineralization, Romite deposit, South Eastern Desert, Egypt. *Geosci Front* 3: 571-585
- ZOHEIR BA, AKAWY A (2010) Genesis of the Abu Marawat gold deposit, central Eastern Desert of Egypt. *J Afr Earth Sci* 57: 306-320
- ZOHEIR BA, EL-SHAZLY AK, HELBA H, KHALIL KI, BODNAR RJ (2008) Origin and evolution of the Um Egat and Dungash orogenic gold deposits, Egyptian Eastern Desert: evidence from fluid inclusions in quartz. *Econ Geol* 103: 405-424