



9. MEDZINÁRODNÁ BANÍCKA KONFERENCIA 9th INTERNATIONAL MINING CONFERENCE

TECHNOLOGICKÁ CHARAKTERISTIKA RÚD LOŽISKA ZLATÁ BAŇA

TECHNOLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE ZLATÁ BAŇA ORES

Marián Košuth¹

Abstract: The main processing interest of examined Zlatá Baňa polymetallic ores was focused on copper-lead-zinc minerals with precious metals and trace elements. Gold occurs in a native form or as an isomorphism in pyrite. The role of inclusions of own Ag-minerals was inflated by geologists, but a prevailing amount of silver is isomorphous in galena and argentotetrahedrite. Almost no possibility to concentrate discrete silver minerals was proved technologically. In galena, an interesting content of Se and Te was registered. Among trace elements, a higher content of cadmium follows exclusively the content of zinc in blends.

1. Úvod

V rokoch 1983–1990 prebiehali na ložisku Zlatá Baňa mimoriadne rozsiahle technické geologicko-prieskumné práce, vedené š.p. Geoprieskum. Overované sulfidické, prevažne Pb-Zn rudy, sú tu vyvinuté v podobe krátkych, strmo uklonených žíl a žilníkov, doprevádzaných impregnovanými magmaticko-hydrotermálnymi brekciami. Paralelne s geologickými prácami bol vykonávaný technologický výskum upraviteľnosti všetkých typov rúd. Zvýšený záujem o zlatobanské ložisko vyplynul z uvažovaného komplexného spracovania suroviny, obsahujúcej drahé kovy, aj ďalšie sprievodné úžitkové prvky. Na ich technologicko-mineralogickú charakteristiku sa zameriava tento príspevok.

2. Prvkové a mineralogické zloženie rúd

Na skladbe karbonátovo–kremeňovej žilno-žilníkovej a impregnačnej mineralizácie sa zúčastňuje rad úžitkových prvkov, ktoré môžeme rozdeliť do štyroch skupín :

- I. dominantné prvky Fe, Zn, Pb, tvoriace hlavné sulfidické minerály pyrit, sfalerit a galenit s obsahmi v zrudnení na úrovni 0,X–X %, miestami aj X0 %.
- II. vedľajšie prvky Cu, Sb, As, viazané vo forme vlastných minerálov (najmä chalkopyrit, tetraedrit, bournonit, antimonit, arzenopyrit), zastúpených v rudnине často lokálne, v rozsahu 0,0X–0,X %.
- III. akcesoricky prítomné úžitkové elementy, obsiahnuté vo forme vlastných minerálov: Ag, Au, (Ba), Hg, Mo, Sn, Te. Prvky aj ich minerály sú zastúpené na úrovni pod 0,01 % v určitých zónach ložiska.
- IV. akcesoricky prítomné úžitkové prvky, prakticky bez zistených či koncentrovateľných vlastných minerálnych foriem výskytu v rudnине: Bi, Cd, Co, Ga, Ge, In, Ni, Se, Tl.

Takéto rozdelenie je významné z úpravnickeho hľadiska, kde dôležitými faktormi pre možnosť získavania sú kvantitatívne zastúpenie prvku v rôznych mineráloch a objemový faktor zastúpenia nosných

¹ Ing. Marián Košuth, Katedra geológie a mineralógie Fakulty BERG TU Košice, Park Komenského 15, 043 84 Košice. Tel. 095 / 6332721

Tabuľka 1: Kvantitatívne a semikvantitatívne zastúpenie rudných minerálov v súbore technologických vzoriek.

Označenie technologické vzorky :	sfalerit (%)	galenit (%)	pyrit + markazit (%)													
MT-ÚP, 30	29,0	6,1	26,7	2	2	1	3	2	2	1						
MT-ÚP, 81	0,07	0,03	4,5													
GT-ÚP, 36	0,53	0,15	8,4	3			1									+D
GT-ÚP, 92	1,3	0,16	3,5				1									+K
GST, 12	16,5	13,7	17,2				4									+D
GST-R2	1,4	0,48	5,8	3			2	2								+D
GT-ÚP, 269	0,02	0,01	6,1													
GT-ÚP, 368	9,5	1,6	8,7	2	2		2									
GT-Sm2, 53	4,4	1,1	7,6													
GT-Sm2, 61	17,9	7,9	18,2				2	1								
GT-Sm2, 116	7,4	1,8	11,6	3			2									
GT-P6, 8-10	13,4	5,3	10,2	1		1	3	2	2	2						+D
GT-P6, 128	0,03	0,003	3,2													+Ž
GT-Sm1, 56,5	19,7	3,9	7,9													+D
GT-Sm1, 278	0,01	0,0	7,2													
GT-ÚP, 458	0,02	0,002	9,0													
GT-SI 3Z, 8,3	0,3	0,07	9,3	2			1				2					
GT-SI 1Z, 14,2	13,1	3,1	9,4				2	1	2							+D
GT-P6ZP, 30	2,8	1,4	2,9				1									+K
GT-P6ZP, 52	4,8	1,4	10,4	2			1		1	1						
GT-ÚPZP, 371	1,9	0,33	8,1													
GT-Sm1, 344	0,9	0,36	8,0				1									+D
GT-Sm1, 432	4,1	1,1	14,3													+D
GT-SI 2Z, 61	1,9	0,29	9,0													
GT-P4, 91	8,3	2,0	12,8	1		2	2	1	1			1	1			
GT-SI 4SV, 29	9,2	4,2	10,4				2	1	1	1	3	1				
GT-SI 12, 3,6	6,8	1,0	6,9	1	1	1	1		1	1						
GT-SI 7C, 50,5	6,4	2,2	12,1				2	1	1							
GT-SI 8 ZP4	7,5	0,96	10,6	1			1	1								
3T-Sm1R2, 14	2,1	0,13	20,3	1			1									
3T-Sm1Z, 108	1,1	0,58	9,5	1			2	1						1		
3T-SI 1, 151,8	2,1	0,7	11,2	1		2	1			1	1			2		
GT-ZP, 371	0,4	0,05	6,2	2	1	1	2	1		1						
GT-P4, 91	4,0	1,0	12,0	1		1	2	1	1	1						
GT-SI 7K	4	3	4				1	1	1							+K
3T-SI 1 R4	1,5	0,47	11,7	2		1										
GT-SI 14, 38	9,9	4,0	12,7	1	1	1	3	1	1	2						+D
3T-K6, 10,5	8,9	1,7	9,4	1	1	2	1			1	3	1	1	1	1	
3T-SI 1, 326	7,3	1,8	21,2	2	1	2	1		1		2					1
GT-SI 14, 39	5,0	1,8	8,5	1	1	1	2	1	1	1						
3T-K6, 12,5	4,4	0,73	9,9			2	1			1	3	1	1	1	1	

Semikvantitatívne zastúpenie: 4 = podstatný (bežný) rudný minerál, 3 = vedľajší, nepravidelne prítomný, 2 = zriedkavý minerál 1 = ojedinelý minerál. Podstatné zastúpenie hlušivých minerálov okrem kremeňa : +D = dolomit, +K = kalcit, +Ž = živce.

minerálov v rudnине. Značná časť z vyše 70 známych minerálov ložiska však vystupuje len lokálne, v minimálnych množstvách aj rozmeroch (zistené len X–X0 mikróvové inklúzie). Na druhej strane aj prvky netvoriace samostatné minerálne fázy môžu byť pri systematicky vyšších obsahoch v bežných mineráloch ekonomicky využiteľné (Cd v sfalerite) . Obsahy minerálov kovov v súbore technologických vzoriek sumarizuje tabuľka 1. Z pohľadu cenovej lukrativnosti prvkov je výnimočné zlato, ostatné prvky môžeme z tohoto hľadiska

zoradiť do poradia : Ag, Ge, Ga, In, Te, Se, Cd . Prítomnosť Ge, Ga, In i Te je nepravidelná, na nízkej úrovni, pozornosť bola zameraná najmä na oba drahé kovy, Au a Ag.

2.1. Mineralogická väzba a obsahy zlata

Podľa publikovaných poznatkov sa zlato na ložisku Zlatá Baňa vyskytuje vo forme submikroskopických inklúzií, zistených mikroanalyticky v sulfidoch, alebo na rozhraní ich zŕn, zriedka aj v karbonátových žilkách. Zložením ide o elektrum až rýdze zlato, s max. 20 % podielom Ag, s veľkosťou pod 100 μm [1, 2, 5]. Obsahy Au boli sledované aj v separovaných mineráloch. Najviac ho obsahujú pyrity 0,3-53,1 gt^{-1} a galenity 0,054-64,9 gt^{-1} .

V súbore 41 overovaných technologických vzoriek (z troch prieskumných štôlní) obsahy zlata kolíšu v rozsahu stopy–16,5 gt^{-1} a nerovnomerné sú aj obsahy v hlavných sulfidoch paragenézy. Súvisia s lokálnou bohatosťou rudných štruktúr na zlato aj s vertikálnym klesaním obsahov Au i Ag smerom do hĺbky. Presnejší prehľad o zlatonosnosti vzoriek prezentuje nasledujúce roztriebenie :

obsahy stopy – 0,5 gt^{-1} Au: 21 vzoriek 2,01 – 3,0 gt^{-1} Au: 2 vzorky
 0,51 – 1,0 gt^{-1} Au: 7 vzoriek 3,01 – 10 gt^{-1} Au: 3 vzorky
 1,01 – 2,0 gt^{-1} Au: 6 vzoriek nad 10 gt^{-1} Au: 2 vzorky.

Zlato sa koncentruje predovšetkým v bohatom polymetalickom zrudnení, kde pri relatívne vysokých obsahoch v sulfidoch nemožno vylúčiť aj jeho izomorfnú viazanosť. Predovšetkým v separovaných pyritoch z vrchných častí ložiska boli zistené obsahy až 53,2 , resp. 55,6 gt^{-1} Au; „zlatonosný“ je však aj tamojší galenit s 28,4 gt^{-1} Au. Iné separované vzorky galenitov sú na zlato chudobné (st.–1,55 gt^{-1}), rovnako aj analyzované sfalerity (st.–1,85 gt^{-1} /7 vzoriek), chalkopyrity (<0,25–3,5 gt^{-1} /3 vz.) aj bournonity. [4]. Nedostatočne je overený možný obsah v zriedkavejšom arzenopyrite (rudnina s cca 10 % arzenopyritu obsahuje 17,75 gt^{-1} Au) [3].

Obsahy zlata vo flotačných koncentrátoch sú závislé od kvality vstupných vzoriek a čiastočne od schémy koncentracie a počtu prečistiek, použitých v rozdielnej miere pri maloobjemových laboratórnych postupoch, resp. na modelovej flotačnej linke. Vzorky podľa bohatosti meliva a selektivity možno rozdeliť do viacerých kategórií. Obsahy Au aj Ag v nich zhŕňa tabuľka 2.

Tabuľka 2: Obsahy Au, Ag v rôznych skupinách flotačných koncentrátov [gt^{-1}]

druh koncentrátov	počet	obsahy Au	$\bar{\text{Au}}$	obsahy Ag	$\bar{\text{Ag}}$
kolektívne, bežných vzoriek	6	0,4 – 14,9	4,46	26 – 263	89,3
kolektívne, pyritových vzoriek				1,5 – 36,8	8,6
kolektívne, modelový výskum	11	0,5– 7,25 ^A	3,80	18,8 – 576	222,1
Pb–Zn, bežných i bohatých vzoriek	20	st. – 17,5 ^B	1,95	24 – 700	252
Pb–Zn, modelový + labor. výskum	10	0,1 – 22,0	6,70	163 – 554	336,4
pyritové, bežných vzoriek	6	0,68 – 17,1	8,45	7 – 150	49,8
pyritové, bohatých vzoriek	17	0,75 – 8,45	3,20		
pyritové, modelový + labor. výskum	11	0,6– 23,4 ^C	5,80	16 – 432	173,5

extrémne maximá obsahov zlata : ^A = 27,3 gt^{-1} ^B = 37,5 gt^{-1} ^C = 99,6 gt^{-1} Au

Konjunkciou a spriemerovaním intervalov obsahov zlata (vynechajúc tri extrémne maximá), získame výsledné vážené priemery pre jednotlivé druhy koncentrátov: *kolektívne koncentráty*: 4,03 gt^{-1} Au; *Pb-Zn koncentráty*: 3,53 gt^{-1} Au; *pyritové koncentráty*: 4,97 gt^{-1} Au.

Z uvedeného vyplýva určitá prednostná väzba Au na pyrit, hoci rozdiely medzi uvedenými skupinami nie sú výrazné. Vo vzťahu k násobkom nabohatenia pyritu (galenitu) zo vstupným vzoriek do koncentrátov boli u zlata zaznamenané rôzne odchýlky. Sú interpretovateľné odlišnou formou prítomnosti zlata vo vzorkách. Okrem voľných mikrozlatiniek môže byť zlato v pyrite (podľa Boyla) i jemne dispergované v podobe pevných roztokov. Jeho submikroskopické častice sa viažu buď na rastové zóny kryštálikov pyritu, alebo ako atomárna difúzna zložka lokálne deformuje mriežku [4]. Potvrdzujú to minimálne obsahy zlata vo flotačných odpadoch.

2.2. Mineralogická väzba a obsahy striebra

Striebro sa na ložisku Zlatá Baňa vyskytuje v dvoch základných formách: viazané heterogénne, alebo izomorfné. V paragenéze bolo určených a popísaných viacero vlastných Ag–minerálov, ako Ag–tetraedrity až freibergity, miargyrit (16,44-35,92 % Ag), ramdohrit (7,25-8,26 %), freieslebenit (18,79-19,30 %), diaforit (23,0-24,04 %), owyheicit (6,42 %), andorit (10,26 %), fizelyit (8,26 %), hessit (63,3-66,4 %) i rýdze striebro [1,

5]. Vyskytujú sa v bohatších Pb–Zn rudách, najmä vo vrchných partiách ložiska. Izomorfne v rádovo nižších obsahoch obsahujú striebro galenit, tetraedrit–tenantit, bournonit (0,03 ,resp. 0,08 % Ag) príp. chalkopyrit (0,003–0,064 % Ag) [4].

V súbore 41 technologicky overovaných vzoriek kolišu obsahy striebra v rozsahu 0,6–155 gt^{-1} , s jedinou extrémnou hodnotou až 310 $g t^{-1}$. Prehľad o ich striebornososti je vidieť z nasledujúceho roztriedenia:

- obsahy stopy – 10 gt^{-1} Ag: 10 vzoriek, 50,1 – 100 gt^{-1} Ag: 6 vzoriek, 10,1 – 50 gt^{-1} Ag: 21 vzoriek nad 100 gt^{-1} Ag: 4 vzorky.

Podstatný objem striebra sa koncentruje izomorfne v treťom najbežnejšom sulfide galenite, pri pravidelných obsahoch 0,04–0,26 % Ag; $\bar{\varnothing}$ 0,13 /28 vz. [2], resp. 0,15–0,23 % Ag /6 vz. separovaného galenitu [4]. Najvyššie obsahy sú v separovaných galenitoch z vrchných častí ložiska. V technologických vzorkách Ag voči Pb vykazuje pozitívnu koreláciu, a to aj u násobkov nabohatenia do koncentrátov voči vzorkám melív. Jeho obsahy sú najvyššie v Pb–Zn koncentrátoch (tab. 2), prípadne v Pb-koncentrátoch z osobitných selektívnych skúšok – zistené boli obsahy 912 až 2041 gt^{-1} Ag pri 15,2–54,1 % galenitu. Pri prepočtoch na 100-percentné obsahy galenitu by viaceré príslušné obsahy Ag presahovali hodnoty analyzované v separovaných galenitoch. Prebytok spôsobujú prítomné Ag-sulfosoli [5], z ktorých jedinou výraznejšie zastúpenou je Ag-tetraedrit. Chemizmus tetraedritov je variabilný, s prevažne nízkym zastúpením As, Bi, Hg a relatívne vyššou prímiesou Fe, Zn aj Ag. Z pohľadu striebornososti zlatobanské tetraedrity poznáme chudobné (0,43–3,18 %), stredne bohaté (7,39–16,64 %) až freibergity (22,25–22,67 gt^{-1} , príp. s maximom 26,46 % nameraným EDX-analýzou) [1, 3, 4]. Tetraedrit je v rudách rádovo omnoho zriedkavejší ako galenit. Horeuvedené chudobné Ag-sulfosoli sú akcesorické dokonca v porovnaní s tetraedritom. V procese flotačnej úpravy prechádzajú do Pb–Zn koncentrátov a možnosť ich selektívneho skoncentrovania pre minimálne zastúpenie pokladáme za iluzórnu. Najbežnejšie sulfidy sfalerit (12–92 gt^{-1} Ag /7 vzoriek) ani pyrit (2,4–71 gt^{-1} /7 vz.) [4] za Ag-nosné minerály nepovažujeme.

2.3. Mineralogická väzba a obsahy ostatných stopových prvkov

Obsahy ďalších sprievodných kovových prvkov v technologických vzorkách sú nízke, často pod medzou stanoviteľnosti. Systematicky boli sledované len obsahy kadmia a cenovo lukratívneho kobaltu. Ako zaujímavé možno zhodnotiť aj obsahy selénu v galenitoch: 150–1750 gt^{-1} / 6 vz. [4], resp. 12–820 gt^{-1} Se; $\bar{\varnothing}$ = 179 gt^{-1} /19 vz. [2] a v pyritoch: 7–200 gt^{-1} /10 vz. [3] resp. 4–650 gt^{-1} Se; $\bar{\varnothing}$ = 24 gt^{-1} /21 vz. [2]. Galenit obsahuje aj menšie prímesi telúru. Najvyšší zistený obsah je 100 gt^{-1} Te.

Spomenuté obsahy Co sú spájané s väzbou predovšetkým v pyrite. V súbore technologických vzoriek sú však na pravidelne nízkej úrovni 2–15 gt^{-1} . Väčšiu pozornosť si zasluhujú obsahy Cd, ktoré ako tradičný mikroprvok sfaleritu boli zaznamenané aj na tomto ložisku. Vstupné vzorky (melivá) zoradené v tab. 1 obsahujú podľa typu zrudnenia stopové až 956 gt^{-1} obsahy Cd (prevažujú cca 50 až 150 gt^{-1}). V separovaných vzorkách sfaleritov obsahy dosahujú 0,29–0,37 % /8 vz. [4], resp. 0,13–0,42 % Cd; $\bar{\varnothing}$ = 0,30 % /42 vz. [2]. Výraznejšie obsahy Cd v ďalších mineráloch neboli zistené.

3. Záver

Mineralogické zhodnotenie rôznorodých vstupných technologických vzoriek a sérií flotačných produktov prinieslo poznatky o veľkosti, tvare a prerastaní zrn / distribúcií úžitkových sulfidov i praktické údaje pre možnosť skoncentrovania sprievodných elementov. Zloženie rúd umožňuje dobrú výťažnosť Pb a Zn vo forme spoločného koncentrátu, zloženého najmä zo sfaleritu a galenitu, ako aj na ne viazaných prvkov Cd a Ag. V prípade striebra, napriek zisteným časticiam diskretných Ag-minerálov Zlatá Baňa, nie je ložiskom „mexického“ typu s ich významným objemovým podielom, preto pozornosť aj v prípade Ag je treba sústrediť na koncentráciu galenitu s tendenciou hromadenia aj v pyritových koncentrátoch. Miestami je významným nositeľom časti striebra aj Ag-tetraedrit až freibergit.

Ako problematické pre úpravu – pre nízke obsahy v rudnине – sa ukazujú prvky Cu aj Au. Pohyb zlata v procese úpravy sleduje najmä pyrit, menej aj oba Pb, Zn sulfidy. Úroveň jeho obsahov (zväčša do 1 gt^{-1}) vo vstupných vzorkách i koncentrátoch je až na výnimky nízka (tab. 2). Pyrit vykazuje vo väčšine vzoriek dobrú selektívnosť, v koncentrátoch však môže lokálne nepriaznivo pôsobiť spoluúčasť minerálov arzénu a antimónu.

Literatúra

- [1] Ďuďa, R.: Mineralogické zhodnotenie ložiska Zlatá Baňa. *Manuskript; in ZS: Zlatá Baňa – polymetaly VP, 1986, 266 s., Archív Geologickej služby SR, Spišská Nová Ves.*
- [2] Ďuďa, R.: Väzba a distribúcia drahých a stopových prvkov v sulfidických mineráloch na ložisku Zlatá Baňa. *Zborník Východosl.múzea v Košiciach, Prírodné vedy, XXXII-XXXIII, 1992, s. 201-225.*
- [3] Fabiánová, R. a Košuth, M.: Zlatá Baňa II – polymetaly, BP; Laboratórny a modelový výskum upraviteľnosti polymetalickej rudy. *Manuskript, 1990; 107 s., Archív Geologickej služby SR, Spišská Nová Ves.*

- [4] Košuth, M.: Výsledky mineralogického výskumu výskytu stopových vzácnych prvkov a drahých kovov v skúmaných vzorkách. *Manuskript*, 259 s., in *ZS: Kušnierová a kol.: Zdroje SVP a DK na Slovensku, II. etapa; 1987, Archív Geologickej služby SR, Spišská Nová Ves.*
- [5] Kovalenker, V.A., et al.: Metallic minerals of productive assemblages of the Zlatá Baňa deposit (Eastern Slovakia), specialites of chemical composition. *Mineralia Slovaca*, 20, 1988, 6, s. 481-498.