

<https://doi.org/10.46861/bmp.28.210>

PŮVODNÍ PRÁCE/ORIGINAL PAPER

# Výskyty hydrotermálnej Sb-Au mineralizácie na lokalitách Lomnistá, Husárka a Suchá dolina pri Jasení (Nízke Tatry)

## Occurrences of hydrothermal Sb–Au mineralization at Lomnistá, Husárka and Suchá dolina near Jasenie (Nízke Tatry Mts.)

ŠTEFAN ČÍK<sup>1)</sup>, MARTIN CHOVAN<sup>1)</sup> A JURAJ MAJZLAN<sup>2)\*</sup>

<sup>1)</sup>Katedra mineralógie a petrológie Prírodovedeckej fakulty Univerzity Komenského Bratislava, Ilkovičova 6, 842 15 Bratislava, Slovensko

<sup>2)</sup>Institut für Geowissenschaften, Friedrich-Schiller-Universität Jena, Burgweg 11, 07749 Jena, Německo;  
\*e-mail: Juraj.Majzlan@uni-jena.de

ČÍK Š, CHOVAN M, MAJZLAN J (2020) Výskyty hydrotermálnej Sb-Au mineralizácie na lokalitách Lomnistá, Husárka a Suchá dolina pri Jasení (Nízke Tatry). Bull Mineral Petrolog 28(1): 210-218 ISSN 2570-7337

### Abstract

Ore mineralization in small Sb-Au occurrences Lomnistá, Husárka and Suchá dolina (Nízke Tatry Mts., Western Carpathians) was investigated by reflected-light microscopy, electron microprobe, fluid inclusion measurements, identification of host rock alteration and secondary minerals. Hydrothermal Sb-Au mineralization was formed during the arsenopyrite-pyrite-gold and stibnite-Pb-Sb-sulfosalts stages. The first stage of mineralization consists of arsenopyrite, pyrite, and quartz, but gold, typical for this stage in the Nízke Tatry Mts., is missing. Stibnite and zinkenite are dominant in the following stage in Lomnistá and Husárka. Berthierite and jamesonite are frequent in Suchá dolina. Other ore minerals identified here are sphalerite, chalcostibite, chalcopyrite, cinnabar, tetrahedrite-(Hg) at Lomnistá and Husárka and pyrrhotite, chalcostibite, tetrahedrite-(Fe), chalcopyrite, antimony, and gold in Suchá dolina. Identified secondary minerals are valentinite and stibiconite. Stibnite, gold, and other ore minerals were found in heavy-mineral fractions from alluvial sediments, pointing to short transport from the primary sources. Two quartz samples, thought to be related to stibnite or berthierite, contained two-phase fluid inclusions with salinity of 10 - 20 wt.% NaCl eq. The total homogenization temperatures are 230 - 330 °C in Lomnistá and 200 - 260 °C in Suchá dolina.

**Key words:** Sb-Au mineralization, Lomnistá, Husárka, Suchá dolina, Nízke Tatry Mts.

Obdrženo 20. 4. 2020; přijato 5. 6. 2020

### Úvod

Tatrické kryštalinikum Ďumbierskych Nízkych Tatier je známe svojimi výskytmi rôznych typov hydrotermálnych rudných mineralizácií. Chovan et al. (1996; 1998) a Majzlan et al. (2020) rozčlenili rudné mineralizácie podľa ich minerálneho a chemického obsahu. Z historického a ekonomického hľadiska boli najvýznamnejšie mineralizácie zlatá s arzenopyritom a pyritom (napr. ložiská Magurka, Dve Vody) a antimonitová (napr. ložiská Dúbrava, Lom, Medzibrod). Žily so sideritom, kremeňom a Cu sulfidmi sa koncentrujú najmä na východnom okraji Ďumbierskych Nízkych Tatier, napríklad v oblasti Vyšnej Boce (Ozdín a Chovan 1999). Napriek intenzívnemu mineralogickému, geochemickému a metalogenetickému výskumu rudných lokalít v tejto oblasti za posledné desaťročia zostáva ešte stále niekoľko výskytov, ktoré neboli spracované modernými metódami.

Niekoľko takýchto výskytov sa nachádza na južných svahoch pohoria, severne od obce Jasenie (obr. 1). Z hľadiska ložiskovo-geologického patrí chotár obce Jasenie k jednému z najpestrejších rudných rajónov v Nízkych Tatrách (Slavkay 1971; Koděra et al. 1986). Okrem výskytov, ktoré sú predmetom tejto práce, je veľmi dobre známe polymetalické ložisko Jasenie - Soviansko (Pouba, Vejnár

1955; Luptáková, Pršek 2004; Luptáková 2007), scheelitová mineralizácia v oblasti Jasenie - Kyslá, skúmaná ako potenciálne ložisko volfrámu (Beňka, Suchý 1983) alebo drobné sideritovo-sulfidické žily (Hak 1966).

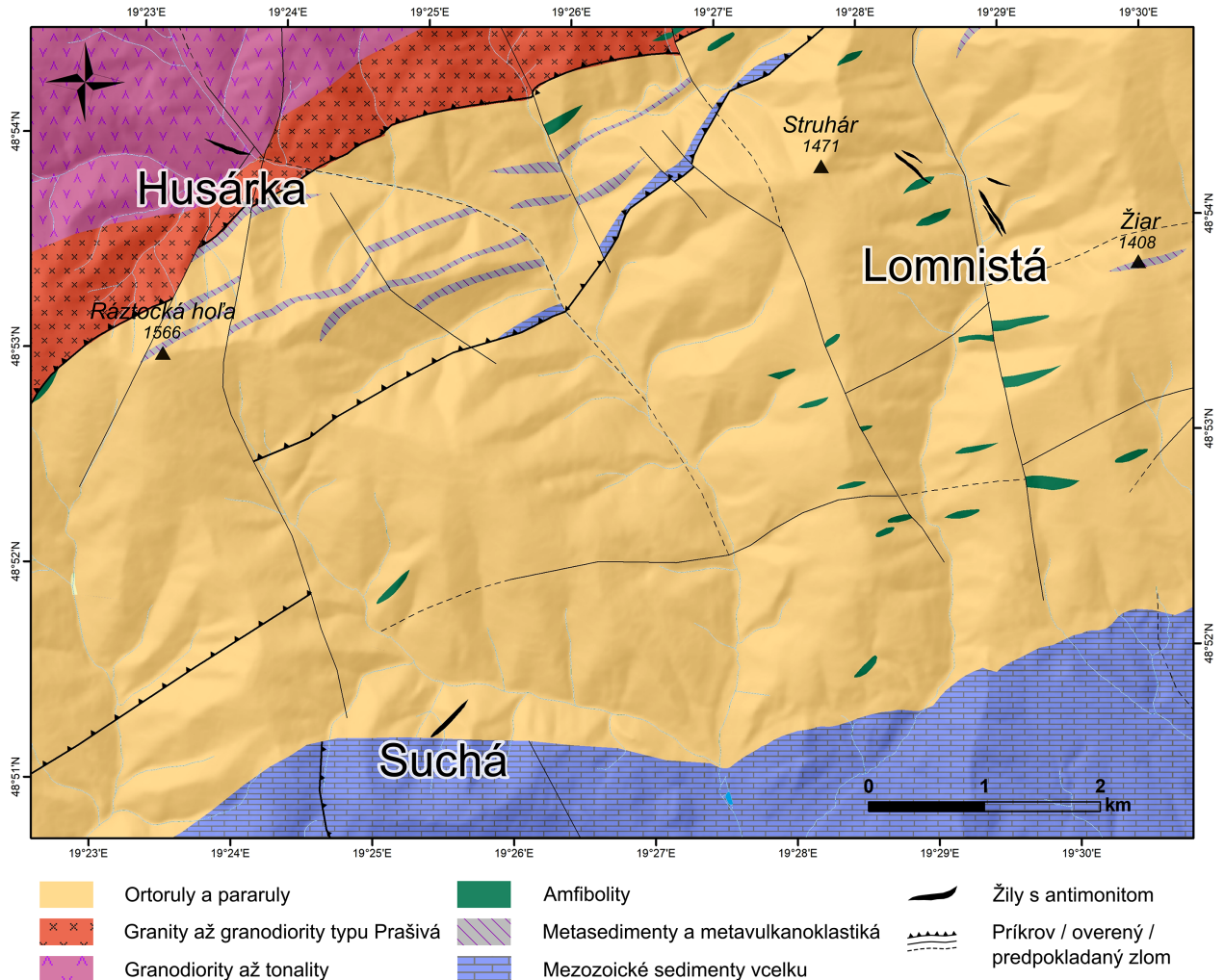
V tomto príspevku sú zhrnuté výsledky mineralogického štúdia hydrotermálnych minerálov Sb mineralizácie na lokalitách Lomnistá, Husárka a Suchá dolina. Údaje o primárnych a sekundárnych rudných a nerudných mineráloch sú doplnené výsledkami šlichovej prospekcie, štúdiom okoložilných alterácií a fluidných inklúzií.

### Geologicko-ložisková charakteristika

Skúmané lokality sa nachádzajú v Ďumbierskych Nízkych Tatrách (obr. 1), tvorených variským tatickým kryštalinikom, jeho autochtóнным mladopaleozoicko-mezozoickým obalom a alochtóнными mezozoickými sekvenciami. Granitoidy sú významne zastúpené v kryštaliniku, a to predovšetkým v jeho severnej časti a sú rozdelené do dvoch genetických typov. Prvú skupinu predstavujú peraluminózne granitoidy typu S, kam patria granitoidy typu Králička a Latiborská hoľa. Druhú skupinu tvoria postorogénne granitoidy typu I, ku ktorým patria granitoidy typu Prašivá a Ďumbier (Petřík et al. 1994). Okrem granitoidov sa na stavbe kryštalinika Ďumbierskych Nízkych

Tatier podieľajú aj žily pegmatitov a aplitov, tiež kremenné diority a porfýry. Z metamorfovaných hornín vyskytujúcich sa predovšetkým v južnej časti pohoria sú v prevahe biotitické a dvojsľudné ruly, zriedkavejšie sú amfibolické ruly (Putiš et al. 1992). Obal kryštalinika pozostáva s mlado-

paleozoických zlepcov a arkózových metadrob, mezozoikum je zastúpené lúžňanským súvrstvom (kremencami a drobami), tiež doskovitými a ramsauskými dolomitmi, sivými lavicovitými vápencami, kremitými vápencami a rádiolaritmi (Biely et al. 1998).



Obr. 1 Geologická mapa územia severne od Jasenia s vyznačením študovaných výskytov. Zjednodušené podľa Bieleho et al. (1998), priebeh rudných žíl podľa Slavkaya (1971).

Tabuľka 1 Lokalizácia vybraných hald a prieskumných prác, z ktorých boli odoberané vzorky pre túto štúdiu. Súradnice sú udávané v severnej zemepisnej šírke a východnej zemepisnej dĺžke.

z. šírka	z. dĺžka	lokality a poznámky
48°53'54"	19°28'53"	Lomnístá, Dolná Anton štôľňa, asi 20 m od ústia
48°53'53"	19°28'58"	Lomnístá, Horná Anton štôľňa, asi 50 m sv. od ústia
48°53'53"	19°28'55"	Lomnístá, rozvezená halda asi 25 m pod ústím Hornej Anton štôľne
48°54'6"	19°28'25"	Lomnístá, halda štôľne Emília
48°54'9"	19°28'21"	Lomnístá, halda štôľne Gregor
48°54'9"	19°28'18"	Lomnístá, halda štôľne Jozef
48°53'55"	19°23'28"	Husárka, halda nad lesnou cestou blízko potoka Husárka
48°53'50"	19°23'30"	Husárka, 30 m nad starou štôľňou a veľkou haldou
48°51'31"	19°25'14"	Suchá dolina, halda so zavalenou štôľňou
48°51'31"	19°25'24"	Suchá dolina, najvyššia halda so zavalenou štôľňou
48°51'29"	19°25'25"	Suchá dolina, asi 30 m nad predošlým výskytom, najväčšia halda
48°51'30"	19°25'23"	Suchá dolina, halda
48°53'6"	19°33'9"	Lom, najvýchodnejšia halda
48°52'57"	19°33'17"	Lom, prieskumná ryha

Rudné telesá v Lomnistej a v Suchej doline sú podľa Slavkaya (1971) a Michálka (1988) umiestnené v prostredí rúl a migmatitov, na Husárke však v mylonitizovanom granite typu Prašivá. Metamorfované horniny sú lokálne prenikané žilami pegmatitov a aplitov a sú zvrásnené do mikrovrás i vrás mezoskopických rozmerov (Slavkay 1971). Výsledky mineralogického výskumu na lokalitách Lomnistá a Husárka publikoval Hak (1966). Neskôr v rokoch 1970 - 1971 sa na ložisku Lomnistá vykonával základný ložiskovo-geologický prieskum a toto ložisko bolo aj krátko ťažené. Na Husárke sa uskutočnili len prieskumné bansko-geologické práce s cieľom overiť zásoby Sb rúd, ku ťažbe však nikdy nedošlo (Slavkay 1971).

Údolie potoka **Lomnistá** rozdeľuje ložisko na dve časti - na západnú a východnú (obr. 1). Celkovo sa na ložisku vyčlenilo sedem rudných štruktúr, v západnej časti sú dve z nich, východná časť ložiska sa delí na severnú, strednú a južnú. Najvýznamnejšia a najbohatšia je stredná zóna východnej časti ložiska, ktorá sa sprístupnila pri prieskumných prácach Hornou a Dolnou Anton štôľňou. Rudné zóny majú smernú dĺžku 150 až 250 m, výrazne strmý sklon 70 - 90° k JZ, hrúbka žíl je od 0.1 do 1.6 m a hĺbkový dosah je do 70 m (Slavkay 1971). Na tomto ložisku je podľa Haka (1966) žilná výplň veľmi nepravidelná a má charakter šošoviek, niekedy s prechodom do impregnácií v okolitých horninách. Na zložení žilnej výplne sa v podstatnej miere zúčastňuje kremeň s antimonitom, menej jamesonit a berthierit (Hak 1966; Slavkay 1971).

Výplň rudných žíl pozostáva z mliečnobielyho kremeňa, sivého Fe-bohatého dolomitu, zriedkavo je prítomný tiež siderit, albit a ankerit. Z rudných minerálov je najhojnejší antimonit, menej hojný je berthierit, pyrit, ja-

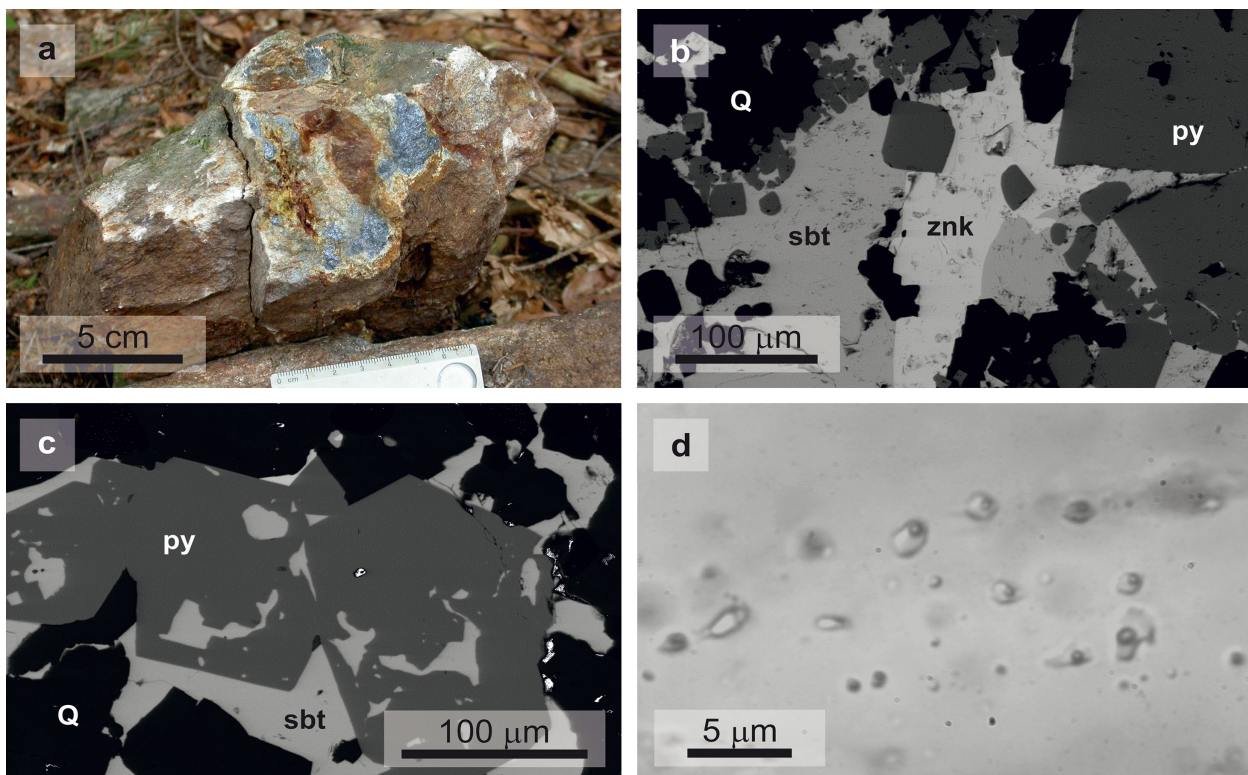
mesonit, vzáčne arzenopyrit, chalkopyrit, hematit, pyrotit, sfalerit a zlato, sekundárny je kermezit a valentinit (Slavkay 1971; Michálek 1988).

Ložisko **Husárka** je situované v oblasti sútoku Bieleho potoka a Husárky, približne 7 km SSZ od Jasenia. Rudné žilky sú niekoľko cm až dm hrubé, prípadne Sb ruda tvorí ploché, kulisovito usporiadané šošovky. Smerná dĺžka rudnej zóny je do 250 m, pričom jednotlivé časti majú rozsah do 30 m. Smer rudných žíl je SV - JZ, ich sklon je 30° k JV (Slavkay 1971).

Jemne kryštalický až liaty antimonit je najbežnejší rudný minerál, menej hojný je drobnozrnný idiomorfny pyrit, vzáčne arzenopyrit, galenit, sfalerit, chalkopyrit, rutil, zinkenit a zlato (Hak 1966; Slavkay 1971; Michálek 1988). Z nerudných minerálov na žilách prevláda modrastosivý kremeň, menej rozšírený je sivý Fe-bohatý dolomit.

Výskyty Sb rúd v **Suchej doline** sú situované na severovýchodné úbočia Čierneho dielu, západne od obce Jasenie. Samotná mineralizácia je situovaná do mylonitizovaných zón migmatitov, ktoré prebiehajú v smere 45 - 50° s úklonom 20 - 30° k JV. Žilné pásmo má smernú dĺžku od 250 do 300 m, antimonitové žilky so zlatom v nej vyvinuté majú s ňou zhodný smerný i hĺbkový priebeh. Hĺbkový dosah zrudnenia nebol preskúmaný, vývoj kremeno-antimonitových žiliek v rudnej zóne je kolísavý, ich priemerná mocnosť sa pohybuje v rozpätí 0.2 - 2 cm, len výnimočne až do 8 cm (Michálek 1988).

Žilky rudnej mineralizácie sú tvorené mliečnobielym kremeňom a drobnozrnným antimonitom v mylonitizovanej hornine. Zriedkavejšie minerály sú sfalerit, galenit, jamesonit, siderit, tetradrit a zlato (Hak 1966; Slavkay 1971; Michálek 1988).



**Obr. 2** Makrofotografia rudnej žiloviny (a) a mikrofotografie v späťne rozptýlených elektrónoch (b,c) a prechádzajúcom polarizovanom svetle (d) z lokalít Lomnistá a Husárka. a) Antimonitová žila, lemovaná z oboch strán hydrotermálne alterovanou metamorfovanou horninou. Na vzorke sú viditeľné aj biele, žlté a hnedé sekundárne minerály. Lokalita Lomnistá. b) Prerastanie antimonitu (sbt), zinkenitu (znk) a pyritu (py) v kremeň (Q). Lokalita Husárka. c) Antimonit (sbt) zatláčaný kryštálmi pyritu (py). Lokalita Lomnistá. d) Dvojfázové fluidné inklúzie v kremeň. Lokalita Lomnistá.

## Metodika

Vzorky na štúdium hydrotermálnych mineralizácií sa odoberali zo starých hľad, prieskumných rýh a šachtíc. Presnú lokalizáciu niektorých hľad (GPS súradnice) uvádzame v tabuľke 1.

Koncentráty ťažkých minerálov, získané šlichovou prospekciou v teréne, sa ďalej spracovávali v laboratóriu. Išlo o separáciu minerálov v bromoforme a magnetickou separáciou na magnetickom separátore. Koncentráty získané v teréne sa tak rozdelili na ľahkú, magnetickú a ťažkú frakciu. Minerály v týchto frakciách boli identifikované pri pozorovaní v binokulárnej lupe. Pozornosť sa zameriavala najmä na minerály, ktoré môžu indikovať blízkosť rudných žíl.

Minerály a minerálne asociácie sa študovali v prechádzajúcom aj odrazenom svetle na mikroskopoch Leica a Jenapol na Katedre mineralógie a petrológie na Prírodovedeckej fakulte UK (PriF UK) v Bratislave. RTG difrakčná prášková analýza sa vykonala vo VVCE SOLIPHA (PriF UK v Bratislave) na prístroji BRUKER D8 Advance v geometrii  $\theta$ - $2\theta$  s Cu antikatódou ( $\lambda_{\text{Cu}}$  = 1.54060 Å), Ni K $\beta$  filterami a detektorom LynxEye, pri napätí 40 kV a prúde 40 mA. Krok zaznamenávania intenzít bol  $0.01^\circ 2\theta$  pri čase 1 s, meraný rozsah záznamov 4 -  $65^\circ 2\theta$ . Difrakčné záznamy boli spracované pomocou programu Diffra<sup>plus</sup> EVA a Rietveldovou metódou v programe GSAS.

Chemické zloženie minerálov sa stanovovalo energiodisperznou (EDS) aj vlnovo-disperznou (WDS) analýzou. Metódou EDS sa skúmali minerály na prístroji Jeol JXA 840 A v laboratóriu elektrónovo-optických metód na PriF UK. WDS analýzy sa vykonali na prístroji elektrónová mikrosonda CAMECA SX 100 na Štátnom geologickom ústave Dionýza Štúra (Bratislava) za nasledovných pod-

mienok: urýchľovacie napätie 15-20 kV a priemer elektrónového lúča 1 - 10  $\mu\text{m}$ . Použité štandardy a emisné línie: CuFeS<sub>2</sub> (Cu K $\alpha$ ), Sb (Sb L $\beta$ ), Ag (Ag L $\alpha$ ), PbS (Pb M $\alpha$ ), HgS (Hg L $\alpha$ ), CuFeS<sub>2</sub> (Fe K $\alpha$ ), ZnS (Zn K $\alpha$ ), Bi<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> (Bi L $\alpha$ ), NaCl (Cl K $\alpha$ ), FeAsS (As K $\beta$  a K $\alpha$ ), Cd (Cd L $\alpha$ ), Co (Co K $\alpha$ ), Ni (Ni K $\alpha$ ), CuFeS<sub>2</sub> (S K $\alpha$ ). Kryštalochemické vzorce niektorých sulfidov a sulfosolí sa prepočítali na sumu katiónov zodpovedajúcich teoretickému zloženiu (Moëlo et al. 2008).

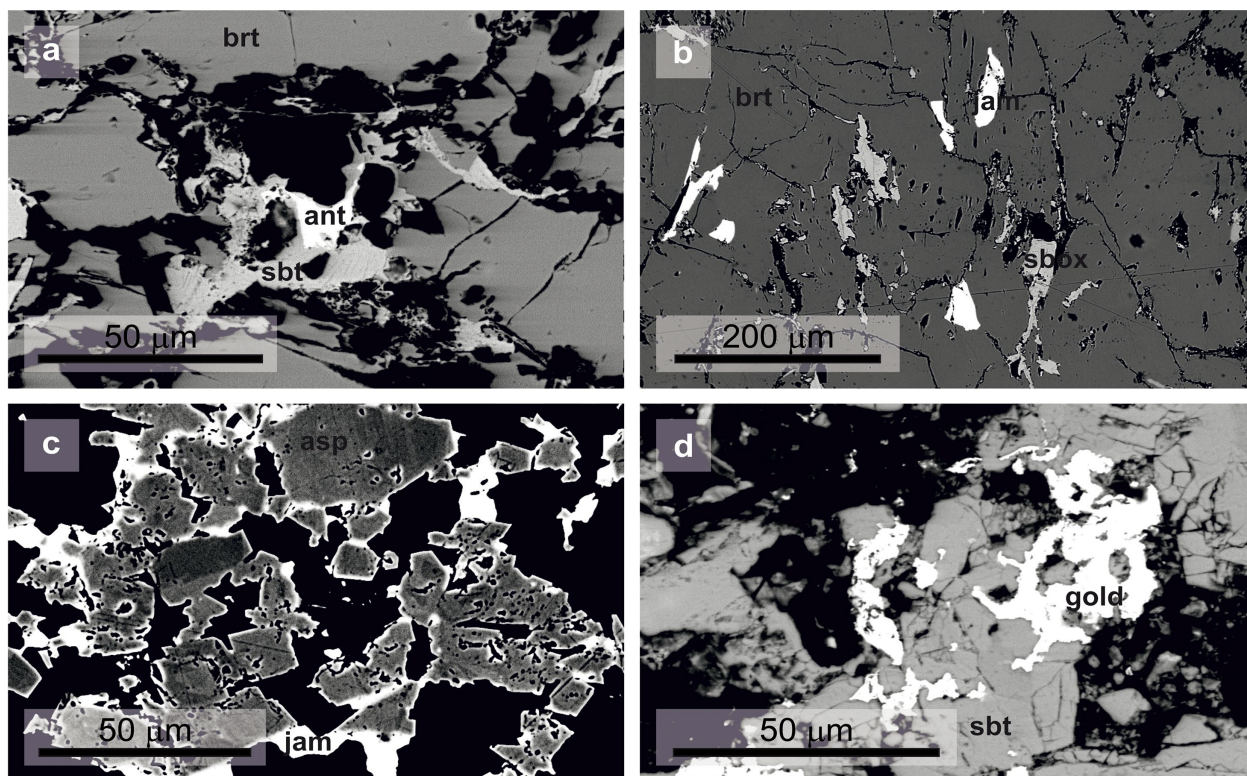
Fluidné inklúzie sa skúmali v obojstranne leštených preparátoch vyhotovených z kremeňa. Vybrané fázové prechody sa merali na mikrotermometrickom stolčeku napojenom na zariadenie LINKAM THMSG-600. Zariadenie sa kalibrovalo na známych fázových prechodoch (tavenie CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O a K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>). V blízkosti fázových prechodov sa rýchlosť zahrievania znížila na minimum. Odhadnuté chyby merania sú  $\pm 0.1^\circ\text{C}$  pre prechody pri nízkych teplotách ( $< 0^\circ\text{C}$ ) a  $\pm 1^\circ\text{C}$  pre vyššie teploty (celková homogenizácia,  $> 100^\circ\text{C}$ ).

## Výsledky

### Šlichová prospekcia

V aluviálnych sedimentoch potoka Lomníštá a v Suchej doline boli skúmané obsahy ťažkých minerálov, s dôrazom na indikátory zrudnenia (antimonit, zlato).

V potoku Lomníštá sa v šlichoch zistil hojne antimonit, miestami pokrytý žlto-oranžovými povlakmi sekundárnych minerálov, zriedkavo sfalerit, pyrit, magnetit, hematit a zlato. Zlato sa tu nachádza v podobe zrníček veľkosti do 1 mm s hákovitým povrchom, len s minimálnymi stopami ováľania. Preto sa predpokladá primárny pôvod a blízkosť primárneho zdroja. Z ďalších ťažkých minerálov boli prítomné bežné granáty a zriedkavý apatit, rutil a monazit.



Obr. 3 Obrázky paragenéz rudných minerálov zo Suchej doliny, nasnímané pomocou späťne rozptýlených elektrónov. a) Prerastanie berthieritu (brt) a antimonitu (sbt) s drobnou inklúziou antimónu (ant). b) Inklúzie jamesonitu (jam) a bližšie neidentifikovaného primárneho Sb oxidu (Sb ox) v berthierite (brt). c) Kryštály arsenopyritu (asp) sú obrastené jamesonitom (jam). d) Agregát zlata (gold) vrastený v antimonite (sbt).

**Tabuľka 2** Bodové chemické analýzy arzenopyritu zo Suchej doliny (vzorka Su-4-2-2).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
S	20.44	20.38	19.96	20.51	19.35	19.88	19.62	19.73	19.77	19.75
As	44.04	43.52	44.96	43.68	45.95	44.96	45.72	45.41	45.62	45.28
Fe	35.40	35.70	35.52	36.16	34.99	35.79	35.54	36.76	35.58	35.42
Co	0.06	0.06	0.05	0.08	0.07	0.06	0.07	0.06	0.08	0.07
Sb	0.49	0.46	0.24	0.55	0.31	0.26	0.04	0.23	0.22	0.32
suma	100.43	100.12	100.73	100.98	100.67	100.95	100.99	102.19	101.27	100.84
kryštalochemické koeficienty (prepočet na bázu As+S = 2)										
S	1.041	1.045	1.018	1.046	0.992	1.016	1.001	1.008	1.006	1.009
As	0.959	0.955	0.982	0.954	1.008	0.984	0.999	0.992	0.994	0.991
Fe	1.035	1.051	1.040	1.059	1.030	1.050	1.041	1.078	1.040	1.039
Co	0.002	0.002	0.001	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
Sb	0.007	0.006	0.003	0.007	0.004	0.004	0.001	0.003	0.003	0.004

**Tabuľka 3** Bodové chemické analýzy berthieritu zo Suchej doliny (vzorka Su-3-1-1).

	1	2	3	4	5
S	29.83	29.79	29.74	29.70	29.65
As	0.38	0.38	0.48	0.11	0.31
Fe	13.02	13.10	12.99	13.07	12.91
Sb	56.68	56.96	57.29	57.11	56.69
Bi	0	0	0.01	0.01	0.02
Pb	0.58	0.46	0.48	0.45	0.48
Cu	0.02	0	0.01	0.01	0.01
Zn	0.02	0.01	0	0	0.02
suma	100.56	100.74	101.00	100.57	100.10
kryštalochemické koeficienty (prepočet na bázu 3 katiónov)					
S	3.95	3.93	3.91	3.93	3.94
As	0.02	0.02	0.03	0.01	0.02
Fe	0.99	0.99	0.98	0.99	0.99
Sb	1.97	1.98	1.98	1.99	1.98
Bi	0	0	0	0	0
Pb	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Cu	0	0	0	0	0
Zn	0	0	0	0	0

**Tabuľka 4** Bodové chemické analýzy cinabaritu z Husárky (vzorka Hus-2-A).

	1	2	3	4	5
S	14.20	14.50	14.26	13.70	14.85
Sb	0.17	0.66	0.07	0.11	0.04
Ag	0.04	0.05	0.13	0.06	0.07
Hg	84.76	83.53	84.88	84.89	83.66
Fe	0.01	0.15	0.02	0.07	0.65
Cd	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02
suma	99.19	98.90	99.38	98.84	99.29
kryštalochemické koeficienty (prepočet na bázu 1 katiónu)					
S	1.044	1.064	1.046	1.004	1.078
Sb	0.003	0.013	0.001	0.002	0.001
Ag	0.001	0.001	0.003	0.001	0.002
Hg	0.995	0.980	0.995	0.993	0.970
Fe	0	0.006	0.001	0.003	0.027
Cd	0	0	0	0	0

**Tabuľka 5** Bodové chemické analýzy chalkostibitu z Husárky (vzorka Hus-2-A).

	1	2	3
S	26.02	25.87	25.76
Sb	48.68	48.15	47.97
Cu	26.05	26.27	25.68
Pb	0.07	0.08	0.66
Hg	0.10	0.27	0.16
Zn	0.07	0.08	0.20
suma	101.37	101.12	100.56
kryštalochemické koeficienty (prepočet na bázu 2 katiónov)			
S	2.001	1.989	1.997
Sb	0.985	0.974	0.979
Cu	1.010	1.018	1.004
Pb	0.001	0.001	0.008
Hg	0.001	0.003	0.002
Zn	0.003	0.003	0.008

Veľmi podobné mineralogické zloženie sa zistilo aj v suchých šliach z hľad a prieskumných prác v Suchej doline. Zlato sa zistilo zriedkavo, v jednom prípade (z troch zistených zlatiniek) malo zrno zlata veľkosť až 1.5 mm.

### Primárne rudné minerály

**Antimonit** je na lokalitách Lomnista a Husárka hlavným rudným minerálom (obr. 2a-c), v Suchej doline je hojný, avšak v prevahe je berthierit (obr. 3a,d). Najčastejší je jemnozrnný až liaty a lištovitý antimonit, agregáty drobných ihličkovitých kryštálov sú zriedkavé. Antimonit sa väčšinou nachádza spolu s pyritom, berthieritom alebo Pb-Sb sulfosolami. Miestami sa mikroskopicky pozorovalo prerastanie s inými minerálmi, napríklad s tetraedritom-(Hg) a chalkostibitom (Husárka), so zlatom, sfaleritom a galenitom (Suchá dolina). Identifikovaný bol opticky a pomocou WDS analýz. Chemicky zodpovedá teoretickému zloženiu  $Sb_2S_3$ .

**Antimón** sa našiel len v jednej vzorke zo Suchej doliny (obr. 3a), a to spolu s antimonitom a berthieritom. Identifikovaný bol len pomocou EDS, pričom sa nezistila prítomnosť žiadnych iných prvkov.

**Arzenopyrit** je na všetkých troch lokalitách pomerne vzácny, vo forme hypidiomorfných a idiomorfných kryštálov, ktoré sú súčasťou agregátov s pyritom. Do týchto

agregátov preniká antimonit, a preto sa zdá, že arzenopyrit patrí k jedným z najstarších minerálov. Tiež vystupuje spolu alebo je zatláčaný jamesonitom (obr. 3c), berthieritom, tetraedritom-(Fe), rutilom, baritom, karbonátom a chalkopyritom. Pomocou WDS bol analyzovaný len arzenopyrit zo Suchej doliny (tab. 2). V jeho vzorci mierne prevláda S nad As.

**Berthierit** je hlavný rudný minerál v Suchej doline, inak je pomerne vzácny. Väčšinou ho sprevádza antimonit a pyrit, v Suchej doline aj antimón, jamesonit, chalkostibit a sfalerit. V Lomnistej sa nachádza len s antimonitom. Analyzoval sa len berthierit zo Suchej doliny, ktorý obsahuje mierne zvýšené koncentrácie As a Pb (tab. 3).

**Cinabarit** je vzácny, identifikoval sa pomocou elektrónovej mikroanalýzy len v jednej vzorke z Husárky. Tvorí drobné alotriomorfné zrnká (< 20 µm) v dolomite v asociácii s drobnými zrnkami Pb-Sb sulfosolí (bližšie neidentifikované), dolomitom a kremeňom. Chemicky zodpovedá teoretickému zloženiu HgS (tab. 4).

**Chalkostibit** je vzácny, identifikovaný mikroskopicky len na Husárke a v Suchej doline. Nachádza sa spolu s berthieritom, jamesonitom, galenitom, tetraedritom-(Fe), alebo so zlatom a antimonitom. V Suchej doline je v podobe hrubotabuľkovitých lištovitých zrn miestami obrastaný jamesonitom. Identifikovaný bol opticky aj WDS analyza-

mi (tab. 5). Chemicky zodpovedá teoretickému zloženiu CuSbS<sub>2</sub>.

**Chalkopyrit** je vzácny, ako mikroskopické zrnká s tetraedritom-(Fe) alebo tetraedritom-(Hg) a chalkostibitom, prípadne ďalšími minerálmi, na všetkých troch lokalitách. Identifikovaný bol v odrazenom svetle.

**Jamesonit** je bežnejší len v Suchej doline, na Lomnistej vzácny, v podobe ihličiek a hrubotabuľkovitých agregátov. Zatláča a obaľuje arzenopyrit (obr. 3c), obrastá chalkostibit alebo tvorí inklúzie spolu s primárnym Sb oxidom v berthierite. Elektrónové mikroanalýzy jamesonitu sú v tabuľke 6.

**Pyrit** je spolu s antimonitom najbežnejší rudný minerál na lokalitách Lomnista a Husárka (obr. 2b,c), v Suchej doline je zriedkavejší. Nachádza sa v 2 generáciách. Pyrit I je idiomorfný, ide väčšinou o zhluky a pyrit II je hypidiomorfný, ten vystupuje zväčša samostatne.

**Pyrotit** sa našiel len vzácne v Suchej doline a bol identifikovaný v odrazenom svetle. Vystupuje samostatne v kremeňi alebo v asociácii s berthieritom a pyritom.

**Sb oxid** sa zistil len v jednej vzorke zo Suchej doliny, kde tvorí inklúzie a žilky v berthierite (obr. 3b). Podľa mikrotextúr a pozície v agregátoch sulfidov ho považujeme za primárny. Mikrotextúry Sb oxidu a jamesonitu, ktoré sa prerastajú s berthieritom, sú veľmi podobné a podstatne sa líšia od textúr sekundárneho zatláčania. WDS analyzy

**Tabuľka 6** Bodové chemické analýzy jamesonitu z Lomnistej (vzorka LT-1-C) a zo Suchej doliny (vzorka Su-3-1-1). Vzhľadom na to, že boli prítomné len hlavné prvky a obsah Cu je len stopový, kryštalochemické vzorce neuvádzame.

	Lomnista				Suchá dolina				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
S	22.05	21.98	22.05	22.02	21.49	21.60	22.10	22.03	22.13
Sb	35.53	35.63	35.60	36.01	35.88	35.56	35.96	35.87	36.03
Cu	0.09	0.05	0.05	0.07	0.04	0.06	0.06	0.11	0.08
Pb	39.41	39.00	39.37	39.17	38.61	38.63	39.4	39.47	39.53
Fe	2.73	2.69	2.66	2.71	2.74	2.78	2.70	2.62	2.69
Total	99.81	99.35	99.73	99.98	98.76	98.63	100.30	100.17	100.52

**Tabuľka 7** Bodové chemické analýzy tetraedritu-(Hg) z Husárky (analýzy 1-6, vzorka HUS-2A) a tetraedritu-(Fe) zo Suchej doliny (analýzy 7-9, vzorka Su-3-1-1). n.a. = neanalyzované

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Ag	4.11	4.26	3.46	4.24	4.21	4.9	4.21	4.45
S	22.40	22.31	22.68	22.89	22.74	23.13	24.98	24.93	24.80
Cu	31.03	31.39	32.68	31.78	32.51	32.57	34.82	34.86	34.50
Hg	12.82	11.94	10.18	13.11	12.35	11.36	n.a.	n.a.	n.a.
Pb	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0.06	0.05	0.07
Sb	25.81	26.04	25.91	25.29	25.21	25.57	28.91	28.98	28.88
Fe	0.10	0.11	0.09	0.13	0.11	0.16	5.24	5.18	5.30
Zn	3.17	3.17	3.08	3.21	3.24	3.21	1.69	1.79	1.67
As	0.43	0.48	0.43	0	0	0.04	0.44	0.3	0.44
suma	99.99	99.85	98.71	100.67	100.56	101.20	100.47	100.57	100.49
kryštalochemické koeficienty (prepočet na bázu 16 katiónov)									
Ag	0.71	0.73	0.59	0.73	0.72	0.83	0.66	0.69	0.72
S	13.02	12.89	13.09	13.22	13.03	13.16	13.12	13.06	13.04
Cu	9.10	9.15	9.52	9.26	9.40	9.35	9.23	9.22	9.15
Hg	1.19	1.10	0.94	1.21	1.13	1.03			
Pb							0	0	0.01
Sb	3.95	3.96	3.94	3.85	3.80	3.83	4.00	4.00	4.00
Fe	0.03	0.04	0.03	0.04	0.04	0.05	1.58	1.56	1.60
Zn	0.90	0.90	0.87	0.91	0.91	0.90	0.44	0.46	0.43
As	0.11	0.12	0.11	0	0	0.01	0.10	0.07	0.10

zistili len prítomnosť Sb a stôp As (do 0.37 hm.%), veľmi pravdepodobne ide o valentinit alebo senarmonitit.

**Sfalerit** je vzácny, na Husárke aj v Suchej doline. Nachádza sa v kremeň a v antimonite. Identifikovaný bol v odrazenom svetle.

**Tetraedrit** je zriedkavý, len mikroskopický. Na Husárke sa prerastá s antimonitom a chalkostibitom v kremenno-karbonátovej žilovine a má vysoké obsahy Hg (tab. 7). Podľa pomeru Hg/(Hg+Fe+Zn), ktorý je vyšší ako 0.5, patrí k tetraedritu-(Hg) (Biagioni et al. 2019, 2020). Zaznamenal sa aj v jednej vzorke zo Suchej doliny ako inklúzia v chalkostibite. Tu prevláda jednoznačne Sb nad As a Fe prevláda nad Zn (tab. 7), ortuť chýba, a preto patrí k tetraedritu-(Fe) (Biagioni et al. 2020). V oboch prípadoch sa zaznamenal zvýšený obsah Ag.

**Zinkenit** je najhojnejšou sulfosólou v Lomnistej (obr. 2b) a tiež je hojný na Husárke. Alotriomorfné až ihličkovité agregáty vystupujú spolu s antimonitom, pyritom a kremeňom. Identifikovaný bol v odrazenom svetle a pomocou WDS analýz (tab. 8).

**Zlato** je vzácné, nájdené len v jednej vzorke zo Suchej doliny (obr. 3d), aj keď ho Slavkay (1971) opísal aj z Lomnistej a Husárky. V našej vzorke sa nachádza na antimonitovej žilke v kremeň (obr. 3d).

## Nerudné minerály

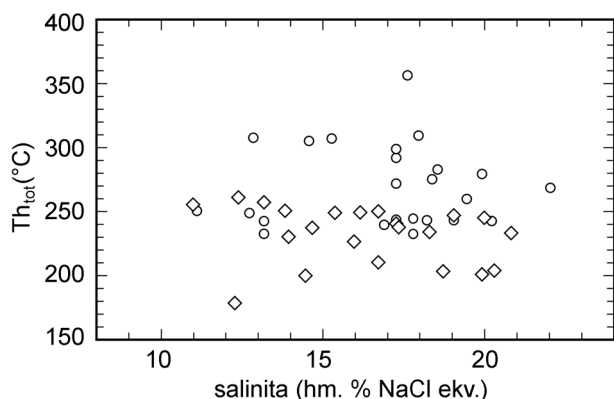
**Barit** je vzácny a našiel sa len v jednej vzorke z Husárky, v nej tvorí žilku s rudnými minerálmi. Vystupuje spolu s antimonitom, tetraedritom-(Hg), chalkostibitom a karbonátom v kremeň. Identifikovaný bol pomocou EDS.

**Kremeň** je najhojnejší minerál na lokalitách Lomnista a Husárka, v Suchej doline je menej hojný, pravdepodobne vznikol v 2 generáciách. Kremeň I je starší, tvorí hlavne žilky a žily, často v ňom pozorovať inklúzie rudných minerálov. Kremeň II je o niečo mladší a je hrubo kryštalický, buď „obteká“ zrná pyritu, alebo vystupuje v podobe drobných inklúzií v antimonite spolu so sfaleritom a pyritom prípadne preráža vo forme žiliek antimonit a v ňom uzavretý drobný kremeň I.

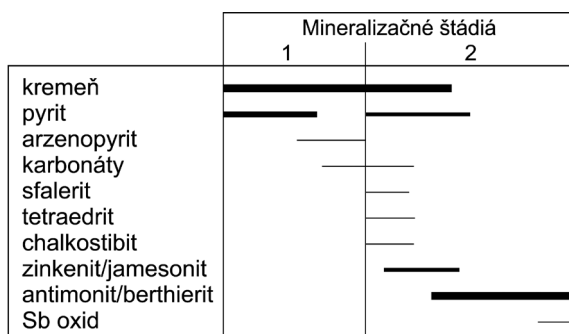
**Karbonát** - pomocou EDS sa identifikoval ako Fe-bohatý dolomit. Je menej hojný ako kremeň, s ktorým tvorí buď žilky alebo je vo forme samostatných zrn v kremeň. V Lomnistej je Fe-bohatý dolomit v paragenéze s kremeňom, antimonitom a zinkenitom. Na Husárke sa nachádza v paragenéze s cinabaritom, Pb-Sb sulfosólami a kremeňom, alebo s tetraedritom-(Hg) a baritom. V Suchej doline býva tiež hojný, makroskopicky vo forme tmavohnedých romboédrov, ktoré vystupujú v asociácii spolu s kremeňom, berthieritom, jamesonitom a chalkostibitom.

**Tabuľka 8** Bodové chemické analýzy zinkenitu z Lomnistej (analýzy 1-3, vzorka LT-2-5) a Husárky (analýzy 4-9, HUS-2A).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ag	0.04	0.05	0.05	0.17	0.15	0.20	0.19	0.20	0.17
S	22.09	21.85	22.15	22.72	22.34	22.52	22.67	23.02	22.81
Cu	0.32	0.31	0.31	0.29	0.29	0.35	0.29	0.30	0.31
Sb	43.55	43.65	44.09	44.88	44.86	44.72	44.13	44.88	43.64
Bi	0.17	0.14	0	0.02	0.35	0.08	0.10	0.09	0
Pb	30.42	30.60	30.74	31.06	30.93	31.05	30.79	31.08	30.95
As	0.35	0.33	0.36	0.05	0.08	0.07	0	0	0
Total	96.94	96.93	97.70	99.19	99.00	98.99	98.17	99.57	97.88
kryštalochemické koeficienty (prepočet na bázu 31 kationov)									
Ag	0.02	0.03	0.03	0.09	0.08	0.11	0.10	0.11	0.10
S	41.43	40.88	41.13	41.80	41.04	41.40	42.33	42.35	42.88
Cu	0.30	0.29	0.29	0.27	0.27	0.33	0.27	0.28	0.30
Sb	21.51	21.51	21.56	21.75	21.70	21.65	21.70	21.74	21.60
Bi	0.05	0.04	0	0.01	0.10	0.02	0.03	0.02	0
Pb	8.83	8.86	8.84	8.85	8.79	8.83	8.90	8.85	9.01
As	0.28	0.27	0.29	0.04	0.06	0.06	0	0	0



**Obr. 4** Salinita a celkové homogenizačné teploty ( $Th_{tot}$ ) fluidných inklúzií z Lomnistej (krúžky) a Suchej doliny (otočené štvorce).



**Obr. 5** Sukcesná schéma pre všetky tri skúmané lokality. Detaily sú diskutované v texte. Štádium 1 zodpovedá arzenopyritovo-pyritovo-zlatému štádiu, štádium 2 zodpovedá štádiu antimonitu a Pb-Sb sulfosólí podľa Majzlana et al. (2020).

## Sekundárne minerály

**Stibiconit** je na skúmaných lokalitách najhojnejší sekundárny minerál, makroskopicky tvorí miestami 2 - 5 mm hrubé, biele, žlté alebo hnedé povlaky a kôry na antimonite, tiež sýtožlté kôry a poprašky v dutinách kremeňa i okolo zrn antimonitu. Práškové RTG difrakčné záznamy poukázali na jeho dobrú kryštalinitu. Vypočítané mriežkové parametre ( $a = 10.25, 10.27 \text{ \AA}$ , Lomnista;  $a = 10.46$ , Husárka;  $a = 9.39 \text{ \AA}$ , Suchá dolina) sú v dobrej zhode s inými publikovanými údajmi pre tento minerál (napr. Handbook of Mineralogy). Variácie v mriežkových parametroch môžu byť spôsobené prímiesami v ich štruktúre (napr. Ca alebo Pb), ktoré sa ale ďalej nezistovali.

**Valentinit** je hojný na Husárke, v Suchej doline zriedkavý. Tvorí žlté až žltohnedé zemité nálety a kôry na antimonite a prerastá sa so stibiconitom. Identifikovaný bol mikroskopickým štúdiom a pomocou práškovej RTG difrakčnej analýzy; jednoznačne určený pomocou spresnených mriežkových parametrov ( $a = 4.64 \text{ \AA}$ ,  $b = 12.65 \text{ \AA}$ ,  $c = 5.27 \text{ \AA}$ , Suchá dolina).

## Okoložilné premeny

Okoložilné premeny sa sledovali na Lomnistej. Ruly a migmatity v najvnútornejšej, prížilnej zóne sú zmenené pravdepodobne na zmes fylsilikátov a horninotvorného kremeňa. Ďalej od kontaktu možno ešte pozorovať reliktu horninotvorných živcov a sfúd, ktoré sú ale aj tam do veľkej miery nahrádzané illitom. V najexternejšej zóne sa nachádzajú aj reliktu biotitu, do veľkej miery ale premenené na chlorit. Charakter aj zonálnosť premien je veľmi podobná na alterácie na ložisku Dúbrava, kde boli aj detailne študované (Orvošová et al. 1998).

## Fluidné inklúzie

Fluidné inklúzie vhodné na mikrotermometrické merania sa našli len v jednej vzorke kremeňa z Lomnistej (obr. 2d) a v jednej vzorke kremeňa zo Suchej doliny. V oboch prípadoch bol hlavný rudný minerál v týchto vzorkách antimonit. Na základe detailného mikroskopického štúdia týchto vzoriek predpokladáme, že ide o kremeň, ktorý sa dá aj geneticky (t.j. nielen priestorovo) spojiť s antimonitom. Všetky merané inklúzie boli primárne, dvojfázové, obsahovali kvapalnú a plynnú fázu v približne rovnakom objemovom pomere. Boli drobné ( $< 5 \mu\text{m}$ ), čo znemožnilo meranie eutektickej teploty.

Salinita, vypočítaná z teplôt tavenia ľadu (s predpokladom, že prevládajúci elektrolyt je NaCl) a totálne homogenizačné teploty sú vynesené v obr. 4. Salinita sa väčšinou pohybuje medzi 10 a 20 hm.% NaCl ekv. a je podobná pre obidve lokality. Totálne homogenizačné teploty sa však líšia. Kým pre Suchú dolinu sú tieto teploty nižšie a obmedzené na úzky interval (väčšinou medzi 200 - 260 °C), rozptyl teplôt pre vzorku z Lomnistej je väčší, od 230 až po 330 °C, s jedným meraním až nad 350 °C.

## Diskusia

Na predmetných lokalitách sú zastúpené nasledujúce žilné minerály: Lomnista: hlavné minerály - kremeň, pyrit a antimonit, vedľajšie minerály - arzenopyrit, Fe-dolomit, sfalerit, jamesonit, chalkopyrit, zinkenit a berthierit. Na Husárke sú hlavné minerály - kremeň, pyrit, zinkenit a antimonit, vedľajšie minerály - rutil, arzenopyrit, dolomit, barit, sfalerit, chalkostibit, tetraedrit-(Hg), cinabarit,

berthierit. V Suchej doline sú hlavné minerály - prevládajúci berthierit, kremeň, antimonit, pyrit a vedľajšie minerály - arzenopyrit, karbonáty, sfalerit, pyrotit, chalkostibit, galeinit, tetraedrit-(Fe), chalkopyrit, antimón, jamesonit, zlato.

Sukcesná schéma je uvedená pre všetky tri skúmané lokality na obr. 5. Vzácnějšíe minerály v nej nie sú uvedené, lebo ich postavenie v sukcesii a vzťah k ostatným minerálom nebol jasný. Postupnosť kryštalizácie rudných aj nerudných minerálov je veľmi podobná na sukcesiu na väčších Sb-Au ložiskách v dumbierskej časti Nízkych Tatier. Salinita fluid a neprítomnosť  $\text{CO}_2$  je porovnateľná s vlastnosťami rudotvorných fluid na iných lokalitách. Homogenizačné teploty sú však nápadne vyššie ako teploty stanovené pre fluida geneticky spojené s minerálmi Sb (Majzlan et al. 2020). Tieto teploty sú skôr podobné na teploty zistené pre štádium, v ktorom sa tvorili pyrit, arzenopyrit a zlato. Pôvod a význam týchto rozdielov pre metalogénu Nízkych Tatier nie je jasný.

Mineralizácia sa tvorila vo dvoch mineralizačných štádiách. V prvom vznikali najmä kremeň, pyrit a arzenopyrit. Toto štádium mohlo byť doprevádzané intenzívnou alteráciou hornín, snáď so vznikom alteračného rutilu. Zlato ako typický sprievodca tejto mineralizácie na mnohých nízkotatranských ložiskách (napr. Magurka, Chovan et al. 1995) tu chýba.

V druhom mineralizačnom štádiu sa tvoril ďalší kremeň a karbonáty identifikované ako Fe-bohatý dolomit. Zo sulfidov dominovali najmä minerály Sb, ale prítomné sú aj iné sulfidy. Na začiatku tohto štádia sa tvorili malé množstvá sfaleritu, tetraedritu a chalkostibitu, prípadne ďalších sulfidov. Hlavný objem sulfidov vznikal neskôr. Boli to sulfosoli, zastúpené buď zinkenitom alebo jamesonitom a jednoduché sulfidy - antimonit a berthierit.

Prítomnosť berthieritu/antimonitu alebo jamesonitu/zinkenitu je kontrolovaná fugacitou síry v rudonosných fluidách. Zinkenit a antimonit vyžadujú vyššiu fugacitu  $\text{S}_2$ , druhý pár nižšiu. Pozorovanie, že zinkenit a jamesonit sa nenachádzajú na ložisku Husárka spolu, uvádza už Hak (1966). Berthierit a jamesonit uvádzajú ako časté minerály z ložiska Medzibrod Lalinská-Voleková, Chovan (2006). Zníženú fugacitu síry na Suchej doline dokazuje aj identifikácia pyrotitu v týchto rudách.

Je možné, že rozdiely v mineralógii odrážajú len lokálne topominerálne rozdiely, najmä vzhľadom na hostiteľské horniny. Horniny, ktoré obsahujú viac mafických minerálov, sú totižto schopné efektívne odstrániť síru z fluida, pričom vzniká pyrit a mafické minerály sa rozpadajú. Aj keď uloženie rudných telies v rulách (Lomnista, Suchá dolina) alebo v mylonitizovaných granitoch (Husárka) nesvedčí priamo v prospech takého vysvetlenia, je možné, že v heterogénnom komplexe kryštalínika sa nachádzajú horninové telesá, o ktorých nemáme poznatky a sú schopné spôsobiť také rozdiely.

Ukončenie zrážania Sb výskytom primárnych Sb oxidov je známe aj z iných tatrických ložísk, najmä z ložiska Pezinok v Malých Karpatoch (Bukovina 2006), ale aj z ložiska Dúbrava (Chovan et al. 1990).

Záverom možno skonštatovať, že všeobecné rysy skúmaných mineralizácií sa neodchyľujú od mnohých iných výskytov a ložísk v Nízkych Tatrách, kde sa nachádza pyrit, arzenopyrit a antimonit (Chovan et al. 1996). Je veľmi pravdepodobné, že výskyt, ktoré sme spracovali v tomto príspevku, mineralogicky, geochemicky a geneticky úzko súvisia s inými, často väčšími akumuláciami podobných rúd, napríklad na Dúbrave, Magurke, Dvoch Vodách a inde.



Výskytom cinabaritu a tetraedritu-(Hg) na Husárke sa dajú uspokojivo vysvetliť analytické výsledky Haka (1966), ktorý uvádza zvýšené obsahy Hg v Sb rude, ale väzbu ortuti na tieto rudy nepoznal.

#### PodĎakovanie

*Sme vďační Pavlíne Radkovej za vyhotovenie mapy na obr. 1. Ďakujeme Tomášovi Mikušovi a Martinovi Števkovi za recenziu, ktoré vylepšili rukopis, Patrikovi Konečnému, Danielovi Ozdínovi a Viere Kolárovej za vyhotovenie mikrosondových analýz a Petrovi Bačíkovi za pomoc pri vyhotovení RTG-difrakčných analýz.*

#### Literatúra

- BIAGIONI C, SEJKORA J, MUSETTI S, VELEBIL D, PASERO M (2019) Tetraedrite-(Hg), IMA 2019-003. CNMNC Newsletter No. 51
- BIAGIONI C, GEORGE LL, COOK NJ, MAKOVICKY E, MOELO Y, PASERO M, SEJKORA J, STANLEY CJ, WELCH MD, BOSI F (2020) The tetraedrite group: Nomenclature and classification. *Am Mineral* 105: 109-122
- BIELY A, BEZÁK V, VOZÁROVÁ A, BUJNOVSKÝ A, KLINIEC A, MIKO O, HALOUZKA R, VOZÁR J, BEŇUŠKA P, MAHEL V, KUBEŠ P, LIŠČÁK P, LUKÁČIK E, MAGLAY J, MOLÁK B, PULEC M, PUTIŠ M, SLAVKAY M (1998) Vysvetlivky ku geologickej mape Nízkych Tatier. GÚDŠ, 232 s
- BEŇKA J, SUCHÝ Š (1983) Mineralogická charakteristika volfrámového zrudnenia v Kyslej pri Jasení. In: PECHO J: Scheelitovo-zlatonosné zrudnenie v Nízkych Tatrách. GÚDŠ, 71-84
- BUKOVINA J (2006) Hydrotermálny Fe-Sb-S-O systém: mineralógia a podmienky vzniku (na príklade Sb-ložísk v Malých Karpatoch). Diplomová práca, Univ Komenského Bratislava, 49 s
- CHOVAN M, RAGAN M, SPIŠIAK J, PITOŇÁK P, HOJSTRIČOVÁ M, HURAI V (1990) Mineralógia, geochemia a petrológia žilno-žilníkovej a žilnej mineralizácie na úseku Dúbrava-Lubelská. Záverečná správa, Univ Komenského Bratislava, 341 s
- CHOVAN M, PÓČ I, JANCZY P, MAJZLAN J, KRISTÍN J (1995): Sb-Au(As-Pb) mineralizácia ložiska Magurka, Nízke Tatry. *Miner Slov* 27: 397-406
- CHOVAN M, SLAVKAY M, MICHÁLEK J (1996) Ore mineralizations of the Ďumbierske Tatry Mts. (Western Carpathians, Slovakia). *Geol Carpath* 47: 371-382
- CHOVAN M, SLAVKAY M, MICHÁLEK J (1998) Metalogenéza Ďumbierskej časti Nízkych Tatier. *Miner Slov* 30: 3-8
- HAK J (1966) Mineralogie a geochemie nízkotatranských antimónových ložísk. *Sbor geol věd* 7: 71-144
- HANDBOOK OF MINERALOGY: <http://www.handbookofmineralogy.org/pdfs/stibiconite.pdf>, 26. mája 2020
- KODÉRA M (editor) (1986) Topografická Mineralógia Slovenska 1. Veda, Bratislava.
- LALINSKÁ-VOLEKOVÁ B, CHOVAN M (2006) Hydrotermálna mineralizácia na lokalite Medzibrod a Sopotnícká dolina. *Miner Slov* 38: 261-272
- LUPTÁKOVÁ J, PRŠEK J (2004) Sulfosoli z Pb-Zn mineralizácie na ložisku Jasenie-Soviansko (Nízke Tatry). *Miner Slov* 36: 286-290
- LUPTÁKOVÁ J (2007) Hydrotermálna Pb-Zn mineralizácia v tatrickej tektonickej jednotke Západných Karpát. Dizertačná práca, Univ Komenského Bratislava, 201 s
- MAJZLAN J, CHOVAN M, HURAI V, LUPTÁKOVÁ J (2020) Hydrothermal mineralisation of the Tatric Superunit (Western Carpathians, Slovakia): I. A review of mineralogical, thermometry and isotope data. *Geol Carpath* 71: 85-112
- MICHÁLEK J (1988) Nízke Tatry: Záverečná správa úlohy 11 74 0064, Geologický prieskum n. p. Spišská Nová Ves. ŠGÚDŠ Geofond Bratislava
- MOELO Y, MAKOVICKY E, MOZGOVA NN, JAMBOR JL, COOK N, PRING A, PAAR W, NICKEL EH, GRAESER S, KARUP-MØLLER S, BALIC-ZUNIC T, MUMME GW, VURRO F, TOPA D, BINDI L, BENTE K, SHIMIZU M (2008) Sulfosalt systematics: A review. Report of the sulfosalt sub-committee of the IMA Commission on Ore Mineralogy, *Eur J Mineral* 20: 7-46
- ORVOŠOVÁ M, MAJZLAN J, CHOVAN M (1998) Hydrothermal alteration of granitoid rocks and gneisses in the Dúbrava Sb-Au deposit, Western Carpathians. *Geol Carpath* 49: 377-387
- OZDÍN D, CHOVAN M (1999) New mineralogical and paragenetic knowledge about siderite veins in the vicinity of Vyšná Boca, Nízke Tatry Mts. *Slov Geol Mag* 5: 255-271
- PETRIK I, BROSKA I, UHER P (1994) Evolution of the Western Carpathian granite magmatism: age, source rock, geotectonic setting and relation to the Variscan structure. *Geol Carpath* 45: 283-292
- POUBA Z, VEJNAR Z (1955) Polymetalické rudní žíly u Jasenie v Nízkych Tatrách. *Sbor Ústř Úst geol* 22: 485-530
- PUTIŠ M, KRIST E, KORIKOVSKIJ SP, JANÁK M, FARYAD SW (1992) Geology and Petrology of Metamorphic Rocks of the Western Carpathian Crystalline Complexes. Univ Komenského Bratislava, 324 s
- SLAVKAY M (1971) Vzťah niektorých nízkotatranských antimónových ložísk ku geologickým štruktúram. *Miner Slov* 3: 5-22