

## **MINERALOGICKÁ CHARAKTERISTIKA Cu-MINERALIZACE Z LOMU PODHŮRA U LIPNÍKA NAD BEČVOU (MORAVSKOSLEZSKÝ KULM, ČESKÁ REPUBLIKA)**

MINERALOGY OF THE Cu-MINERALIZATION FROM THE QUARRY PODHŮRA NEAR LIPNÍK  
NAD BEČVOU (MORAVO-SILESIAN CULM, CZECH REPUBLIC)

ZDENĚK DOLNÍČEK, MICHAELA KREJČÍ KOTLÁNOVÁ, ROSTISLAV KOUTŇÁK,  
JANA ULMANOVÁ

### *Abstract*

Dolníček, Z., Krejčí Kotlánová, M., Koutňák, R., Ulmanová, J., 2024: Mineralogická charakteristika Cu-mineralizace z lomu Podhůra u Lipníka nad Bečvou (moravskoslezský kulm, Česká republika). - *Acta Musei Moraviae, Scientiae geologicae*, 109, 1, 51-69 (with English summary).

*Mineralogy of the Cu-mineralization from the quarry Podhůra near Lipník nad Bečvou (Moravo-Silesian Culm, Czech Republic)*

A mineralogical study of newly collected samples of Cu-mineralization from the quarry Podhůra (Czech Republic) revealed an extraordinary rich mineral assemblage bound on steep NW-SE trending hydrothermal veins. The veins are hosted by folded Lower Carboniferous marine flysch sediments of the Hradec-Kyjovice Formation, belonging to the Moravo-Silesian Palaeozoic. The primary mineralization is very simple, being formed by chalcopyrite and minor pyrite, both disseminated in calcite gangue with numerous inclusions of dolomite to Fe-rich dolomite and rarely minute grains of xenotime-(Y) and quartz. The near-surface parts of the vein are strongly weathered. The completely weathered ore is formed by common powdery *limonite*, malachite, and rare cuprite and azurite. Gently weathered chalcopyrite is rimmed by common Cu-sulphides (including djurleite, digenite/roxybite, anilite, geerite, and spionkopite) and rare bornite. In addition, a piece of native copper was found among supergene products. Chemical compositions based on spot electron microprobe analyses are given for most mineral phases. Although the similar simple primary Cu-mineralization occurs at several localities in wider surroundings, the newly studied supergene assemblage belongs to the mineralogically richest one in the whole area of the Moravo-Silesian Culm.

*Key words:* Moravo-Silesian Culm, ore veins, Cu-mineralization, cuprite, supergene processes

Zdeněk Dolníček, Department of Mineralogy and Petrology, National Museum, Cirkusová 1740, 193 00 Praha 9-Horní Počernice; e-mail: zdenek.dolnicek@nm.cz

Michaela Krejčí Kotlánová, Research Institute for Building Materials, Hněvkovského 30/65, 617 00 Brno; Institute of Geological Sciences, Masaryk University, Kotlářská 267/2, 611 37 Brno

Rostislav Koutňák, Bezručova 1168, 765 02 Otrokovice

Jana Ulmanová, Department of Mineralogy and Petrology, National Museum, Cirkusová 1740, 193 00 Praha 9-Horní Počernice

## ÚVOD

Činný kamenolom Podhůra, situovaný cca 2,5 km jižně od Lipníku nad Bečvou, je významnou geologickou lokalitou, ilustrující geologické poměry severní části tektonické kry Maleníku, karpatskou předhlubní oddělené od hlavního masivu nízkohesenického kulmu.

Lomem jsou instruktivně odkryty varisky deformované spodnokarbonské sedimenty hra-decko-kyjovického souvrství. Litologicky jde zejména o droby a prachovité břidlice, místy s polohami drobnozrnných petromiktních slepenců. Spodnokarbonské stáří sedimentů je doloženo nálezy přesliček *Archaecalamites scrobiculatus* (DOLNÍČEK *et al.* 2008). Deformačními strukturami se v lomu Podhůra zabýval HAVÍŘ (2016). Zvrásněné sedimentární souvrství je v prostoru lomu protínáno žilným rojem hydrotermálně silně alterované magmatické horniny, jejíž umístění lze na základě geologické pozice a genetických charakteristik magmatické žíly protínajících kalcitových žilek lokalizovat do závěru variských tektonotermálních procesů (PŘICHYSTAL 1986; DOLNÍČEK *et al.* 2008). Jednotlivé žíly magmatitu mají mocnost až 120 cm, směr SZ–JV a strmý sklon k JZ. Alterace magmatitu se projevily rozsáhlou penetrativní albitizací živců, chloritizací tmavých minerálů, leukoxenizací ilmenitu, karbonatizací vyrostlic i základní hmoty, pyritizací okrajů žil a také vznikem albitu, prehnitu, epidotu, hematitu, K-živce, kalcitu a křemene v mandlích (DOLNÍČEK *et al.* 2008). Chemickým složením je hornina blízká pozdně variským lamprofyřům (PŘICHYSTAL 1986; DOLNÍČEK *et al.* 2008; KRMÍČEK 2011). V nadloží kulmských hornin jsou uloženy drobné reliktky písčitých neogenních sedimentů a hlavně kvartérní uloženiny, reprezentované mocnými kamenitohlinitými deluvii a sprašovými hlínami. Z lomu byl popsán i násun kulmských hornin přes miocenní sedimenty (NEŠVARA 1981), dokumentující neoidní tektonické oživení oblasti v důsledku orogenních procesů v sousedících Karpatech.

V lomu Podhůra se vyskytují i hydrotermální mineralizace, jež podle dosavadních literárních poznatků náleží minimálně čtyřem genetickým typům. Nejstarší jsou v lomu běžně přítomné syntektonické hydrotermální žíly, vyvinuté zejména v drobách, a tvořené hlavně křemenem, kalcitem a chloritem klinochlor-chamositové řady, akcesoricky i albitem, apatitem, pyritem, blíže neurčeným  $TiO_2$  minerálem a vzácně i monazitem (ZIMÁK 1999; ZIMÁK a NOVOTNÝ 2002). Vznik této generace žil souvisel s variskými deformacemi hostitelského horninového prostředí. Druhým typem je mineralizace mandlí přítomných v žilách výše zmíněné magmatické horniny, jež vznikala z nízkosalinních roztoků velmi pravděpodobně v souvislosti s postmagmatickými alteracemi hostitelské magmatické horniny (DOLNÍČEK *et al.* 2008). Třetím typem jsou povariské posttektonické žíly, reprezentované zejména karbonátovou výplní (kalcit, karbonát dolomit-ankeritové řady) a křemenem, které bývají vzácně doprovázeny i vtroušenými sulfidy (pyrit, sfalerit, chalkopyrit, galenit – LOSERT 1962; KRUŽA 1966). Strmé kalcitové žilky této generace směru SZ–JV a S–J protínají i žíly magmatické horniny a vznikaly z vysokosalinních (22–27 hm. %  $NaCl+CaCl_2$ ) fluid za teplot pod 100 °C (DOLNÍČEK *et al.* 2008). Nejmladším zjištěným typem hydrotermální mineralizace jsou strmé kalcitové žilky směru SZ–JV a V–Z protínající žilnou magmatickou horninu, které vznikly z nízkosalinních (do 3,7 hm. %  $NaCl$  ekv.) roztoků za nízkých teplot. Ty pravděpodobně reprezentují neoidní mineralizaci (DOLNÍČEK *et al.* 2008), vzniklou během terciérní tektonické reaktivace dané oblasti.

Dosavadní nálezy rudních minerálů z lomu Podhůra představovaly jen ojedinelé drobné vtroušeniny dosahující maximálně milimetrové velikosti, které v nejlepším případě nevybočovaly z průměru charakteristického pro širší okolí. Překvapením byl proto nález poměrně bohatého Cu zrudnění, uskutečněný na podzim roku 2022 v odstřeleném materiálu v západní části lomu. Další návštěva lokality po odklizení rubaniny v r. 2023 pak umožnila i dokumentaci úložných poměrů mineralizace. V tomto příspěvku přinášíme výsledky provedených terénních prací a následného laboratorního studia minerální asociace tohoto výjimečného nálezu.

## METODIKA VÝZKUMU

Vzorky studované v této práci byly odebrány autory v lomu v letech 2022 a 2023. Z vybraných vzorků byly vyhotoveny nábrusy (P. Sečkář, Přírodovědecká fakulta Univerzity Komenského v Bratislavě), které byly nejprve prostudovány v odraženém světle v mikroskopu Nikon Eclipse ME600 vybaveném digitální kamerou Nikon DXM1200F.

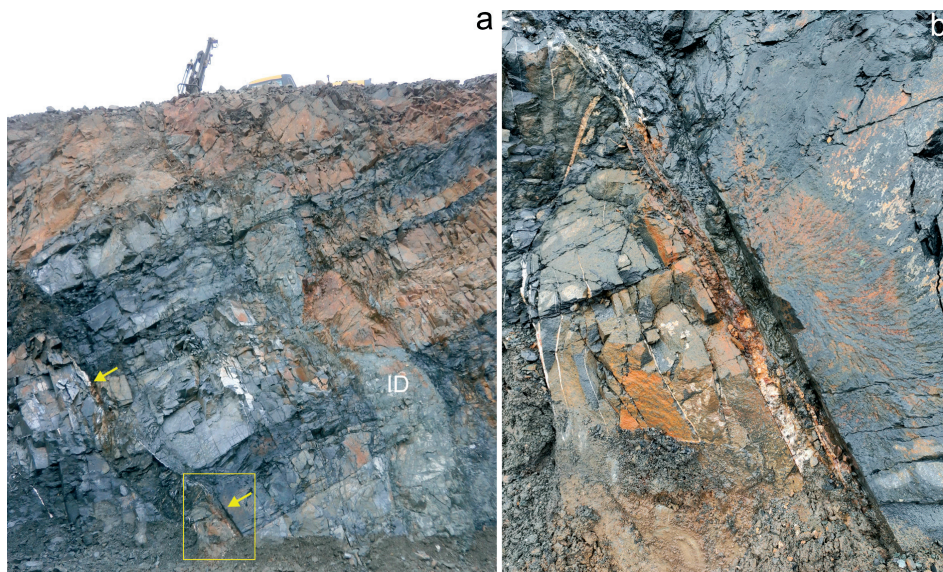
Následně byly nábrusy vakuově napařeny uhlíkovou vrstvou o tloušťce 30 nm a studovány na elektronové mikrosondě Cameca SX 100 (Národní muzeum, Praha). Na přístroji byly pořízeny snímky ve zpětně odražených elektronech (BSE), provedena identifikace jednotlivých fází pomocí energiově disperzních (EDS) spekter a kvantitativně měřeno chemické složení vybraných fází ve vlnově disperzním (WDS) modu. Při bodových analýzách *sulfidických minerálů a mědi* bylo použito urychlovací napětí 25 kV, proud svazku 20 nA a průměr elektronového svazku 0,7  $\mu\text{m}$ . Stanovovány byly obsahy Ag, As, Au, Ba, Bi, Ca, Cd, Cl, Co, Cr, Cu, Fe, Ga, Ge, Hg, In, K, Mn, Na, Ni, P, Pb, S, Sb, Se, Sn, Te, Tl, V a Zn. Použité standardy a analytické čáry: Ag (AgLa), albit (NaKa), Au (AuMa), baryt (BaLa),  $\text{Bi}_2\text{Se}_3$  (BiM $\beta$ ), CdTe (CdLa), Co (CoKa), Cr (CrKa),  $\text{CuFeS}_2$  (CuKa, SKa),  $\text{FeS}_2$  (FeKa), fluorapatit (CaKa, PKa), GaAs (GaLa), Ge (GeLa), HgTe (HgLa), InAs (InLa), Mn (MnKa), NaCl (ClKa), NiAs (AsL $\beta$ ), Ni (NiKa), PbS (PbMa), PbSe (SeL $\beta$ ), PbTe (TeLa), sanidin (KKa),  $\text{Sb}_2\text{S}_3$  (SbLa), Sn (SnLa), Tl(Br,I) (TILa), V (VKa) a ZnS (ZnKa). *Kyslíkaté minerály* byly měřeny při urychlovacím napětí 15 kV, proudu svazku 20 nA (*xenotim*), 10 nA (*kuprit*), respektive 5 nA (*karbonáty*) a průměru elektronového svazku 0,7  $\mu\text{m}$  (*kuprit, xenotim*), respektive 5  $\mu\text{m}$  (*karbonáty*). V *kalcitech, dolomitech a kupritu* byly měřeny obsahy Al, Ba, Ca, Co, Cu, Fe, Mg, Mn, Na, Ni, P, Pb, S, Si, Sr a Zn, v *Cu-karbonátech* Al, As, Ba, Bi, Ca, Cl, Co, Cu, F, Fe, K, Mg, Mn, N, Na, Ni, P, Pb, S, Si, Sr, V a Zn a v *xenotimu* Al, As, Ba, Bi, Ca, Ce, Cl, Cu, Dy, Eu, Er, F, Fe, Gd, Hf, Ho, K, La, Lu, Mg, Mn, Na, Nd, P, Pb, Pr, S, Sc, Si, Sm, Sr, Tb, Th, Ti, Tm, U, V, W, Y, Yb a Zr. Při analýzách byly použity následující standardy a analytické čáry: albit (NaKa), almandin (AlKa, FeKa), apatit (PKa), baryt (BaLa), Bi (BiMa), BN (NKa), celestin (SKa, SrL $\beta$ ),  $\text{CePO}_4$  (CeLa), diopsid (MgKa),  $\text{DyPO}_4$  (DyL $\beta$ ),  $\text{ErPO}_4$  (ErLa),  $\text{EuPO}_4$  (EuLa),  $\text{GdPO}_4$  (GdLa), halit (ClKa), hematit (FeKa), Hf (HfMa),  $\text{HoPO}_4$  (HoL $\beta$ ), chalkopyrit (CuKa), klinoklas (AsLa),  $\text{LaPO}_4$  (LaLa), LiF (FKa),  $\text{LuPO}_4$  (LuLa),  $\text{NdPO}_4$  (NdL $\beta$ ), Ni (NiKa),  $\text{PrPO}_4$  (PrL $\beta$ ), rodonit (MnKa), sanidin (KKa, SiKa, AlKa),  $\text{ScVO}_4$  (ScKa), scheelit (WLa),  $\text{SmPO}_4$  (SmLa),  $\text{TbPO}_4$  (TbLa), Th (ThMa),  $\text{TiO}_2$  (TiKa),  $\text{TmPO}_4$  (TmLa),  $\text{UO}_2$  (UMa), V (VKa), vanadinit (PbMa), wollastonit (CaKa, SiKa),  $\text{YbPO}_4$  (YbLa),  $\text{YVO}_4$  (YLa), zinkit (ZnKa), zirkon (ZrLa). Měřicí časy na píku se pohybovaly obvykle mezi 10 a 30 s (pro N 100 s), měřicí čas každého pozadí trval polovinu času měření na píku. Načtená data byla přepočítána na obsahy prvků vyjádřené v hm. %, s použitím standardní PAP korekce (POUCHOU a PICHOR, 1985). Obsahy výše uvedených prvků, které nejsou uvedeny v tabulkách minerálních analýz, byly ve všech případech pod mezí stanovitelnosti (obvykle mezi 0,05 a 0,1 hm. %, v případě F, N, Tl, Hg a těžších prvků vzácných zemin (REE) kolem 0,2 hm. %). Normalizace obsahů prvků vzácných zemin byla provedena na C1 chondrit s využitím dat ANDERSE a GREVESSEHO (1989). Výpočet velikosti Eu a Yb anomálií byl proveden podle vztahů McLENNANA (1989).

## CHARAKTERISTIKA ZJIŠTĚNÉ MINERALIZACE

V prostoru západní části čtvrté etáže lomu byl zaznamenán výskyt primární i sekundární Cu-mineralizace, a to jak v odstřeleném materiálu, tak i přímo v lomové stěně. Zjištěný relativně rozsáhlý výskyt Cu-zrudnění byl nápadný pestře zbarvenými supergenními produkty zelené, modré a červené barvy ve zcela zvětralých přípovrchových partiích. Naproti tomu při bázi etáže byla primární mineralizace zvětrávacími procesy postižena jen velmi slabě, díky čemuž bylo možno posoudit vedle minerální asociace i úložné poměry mineralizace. Zrudnění je v jižní části etáže vázáno na jedinou cca 10 cm mocnou hydrotermální žílu, protínající kulmské souvrství v blízkosti jedné pravé žíly magmatické horniny (obr. 1a, b). Směrem k severu se tato hydrotermální žíla pravděpodobně rozmršťuje v sérii subparalelních žilek o mocnosti 2–5 cm, které byly zjištěny v drobách severního ukončení z. stěny lomu. Dokumentované žíly mají směr SZ–JV až SSZ–JJV se strmými úklony hlavně k SV, méně i JZ a VSV (obr. 2). Směr hydrotermálních žil je přibližně shodný se směrem zmiňované

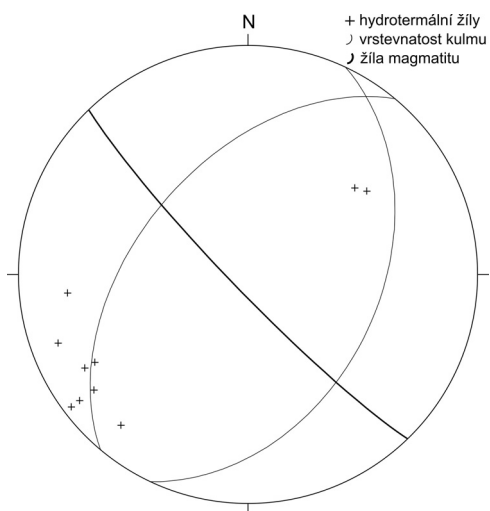
magmatické žily a přibližně kolmý k vrstevnatosti hostitelských kulmských sedimentů (obr. 2). Sklony hydrotermálních žil (50–86°) jsou větší než u vrstevnatosti horniny v daném místě (jen kolem 40–50°), ale v průměru nižší než u magmatické žily (84°).

Výplň žily tvoří makroskopicky bílý až růžový zrnitý karbonát bez drúzových dutin (obr. 1b, 3a–c). Žilná výplň lokálně obsahuje i ostrohanné úlomky okolní droby. Okoložilné alterace boční horniny nejsou makroskopicky patrné. Rudní minerály, makroskopicky reprezen-



Obr. 1. Pozice nejmocnější žíly s chalkopyritem v jižní stěně lomu. a) Celkový pohled na kulmské souvrství protínané hydrotermální žilou (šipky) v sousedství žíly magmatické horniny (ID). Maximální mocnost magmatické žíly činí 120 cm. b) Detailní pohled na spodní část těže rudní žíly o mocnosti cca 10 cm.

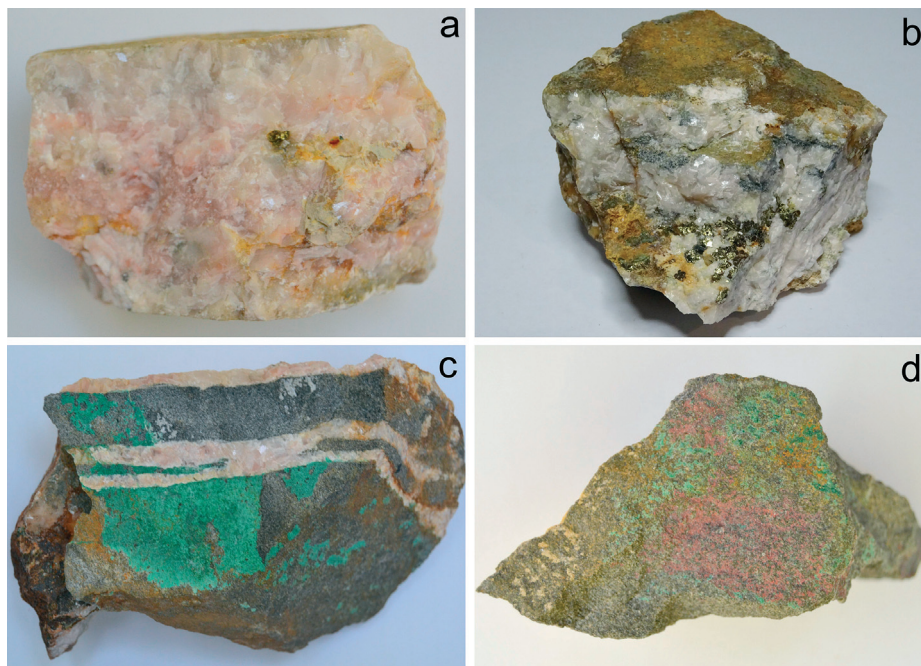
Fig. 1. Position of the thickest chalcopyrite-bearing vein in southern wall of the quarry. a) The view on Culmian sediments cut by a hydrothermal vein (arrows) in the neighbourhood of a magmatic dyke (ID). The maximum thickness of magmatic dyke is 120 cm. b) A detailed view on lower part of the same ca. 10 cm thick ore vein.



Obr. 2. Vztah prostorové orientace studovaných hydrotermálních žil s chalkopyritem (póly), žíly magmatické horniny a vrstevnatosti hostitelských kulmských sedimentů (oblouky). Zobrazeno v rovnoploché projekci na spodní polokouli.

Fig. 2. The relationship of spatial orientation of the studied chalcopyrite-bearing hydrothermal veins (poles), a magmatic dyke and stratification of host Culmian sediments (great circles). Projected in equal area projection on lower hemisphere.

tované pouze chalkopyritem, zpravidla tvoří drobné izolované vtoušeniny milimetrové velikosti v růžovém karbonátu, ojediněle i lité silně protažené čočky o mocnosti do 1 cm. Podrobnějším mineralogickým studiem byl v rámci primární mineralizace potvrzen vedle kalcitu a chalkopyritu také výskyt křemene, pyritu, dolomitu a xenotimu-(Y). Supergenní fáze jsou zastoupeny *limonitem*, malachitem, azuritem, bornitem, pestrou suitou Cu-sulfidů, mědi a kupritem.



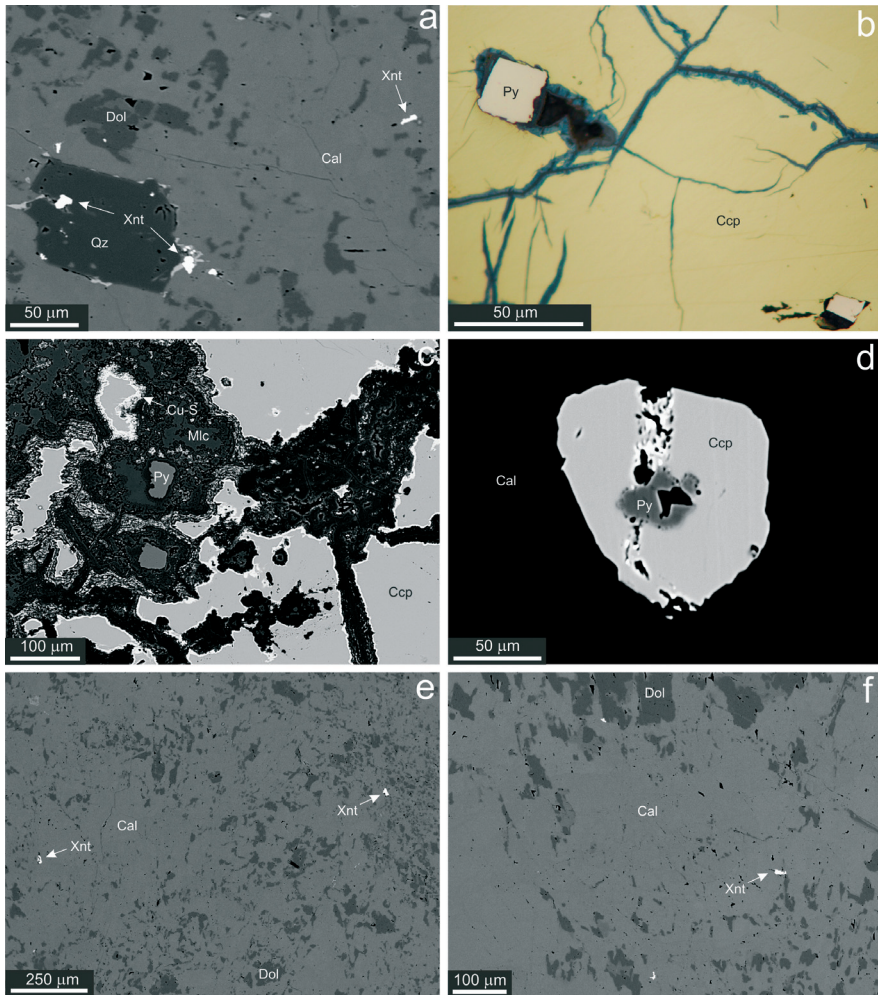
Obr. 3. Makroskopický vzhled typických vzorků Cu-mineralizace z Podhůry. a) Narůžovělá až bílá karbonátová žilovina s vtoušeným chalkopyritem, šířka vzorku 8 cm. b) Karbonátová žila s chalkopyritovým zrudněním a úlomky okolní droby (šedé), šířka vzorku 8 cm. c) Povlaky malachitu na puklině droby s karbonátovými žilkami, šířka vzorku 11 cm. d) Povlaky kupritu a malachitu na puklině droby, šířka vzorku 7 cm.

Fig. 3. Macroscopic appearance of typical samples of Cu-mineralization from Podhůra. a) Pink to white carbonate vein with disseminated chalcopyrite, sample width 8 cm. b) Carbonate vein with chalcopyrite mineralization and fragments of host greywacke (grey), sample width 8 cm. c) Coatings of malachite on a fracture of greywacke with carbonate veinlets, sample width 11 cm. d) Coatings of cuprite and malachite on a fracture of greywacke, sample width 7 cm.

### Primární minerály

**Křemen** je vedlejší až akcesorickou složkou žiloviny v některých, zejména mocnějších žilách, zatímco v tenkých žilkách může i zcela chybět. Vytváří izolované krystaly a zrna o velikosti do 0,1 mm vtoušené v karbonátové žilovině (obr. 4a).

**Pyrit** je akcesorickou rudní složkou studovaných vzorků. Vytváří mikroskopické (velikost do 80  $\mu\text{m}$ ) automorfně až hypautomorfně omezené izolované krystaly, téměř vždy zcela uzavírané v chalkopyritu (obr. 4b–d). Většinou je postižen přeměnou v *limonit*, přičemž původní sulfid bývá někdy zachován v drobných reliktech (obr. 4c). V BSE obraze je neznámý. Chemické složení pyritu (tab. 1) je ve všech naměřených bodových analýzách charakterizováno zvýšenými obsahy Cu (až 0,009 až 0,033 *apfu*; báze přepočtu 3 *apfu*), stopami Pb (0,001 *apfu*) a u cca poloviny analýz i Co (0,001 *apfu*). Pouze jediný ze zastížených krystalů pyritu (obr. 4d) vykázal ve svém jádře zvýšené obsahy Ni (0,014–0,079 *apfu*).



Obr. 4. Asociace a vývin primárních minerálů studované Cu-mineralizace. a) Kalcitová (Cal) žilovina s hojnými inkluzemi nepravidelně zonálního dolomitu (Dol), inkluzemi xenotimu-(Y) (Xnt) a krystalem křemene (Qz), obraz BSE. b) Chalkopyrit (Ccp) s vrostlicemi pyritu (Py). Modrošedé žilky - Cu-S fáze. Nábrus, odražené světlo. c) Chalkopyrit (Ccp) s inkluzemi pyritu (Py), částečně zatlačované supergenními produkty (Mlc - malachit, Cu-S - Cu sulfidy), BSE obraz. d) Niklem bohatý pyrit (Py), obrůstáný chalkopyritem (Ccp) s Cu-S fází (bílá), BSE obraz. e, f) Kalcit (Cal) s hojnými inkluzemi zonálního dolomitu (Dol) a ojedinělými inkluzemi xenotimu-(Y) (Xnt), obrazy BSE.

Fig. 4. Assemblage and development of minerals of the studied Cu-mineralization. a) Calcite (Cal) vein with frequent inclusions of irregularly zoned dolomite (Dol), small inclusions of xenotime-(Y) (Xnt) and a quartz crystal (Qz), BSE image. b) Chalcopyrite (Ccp) with inclusions of pyrite (Py). Blue-grey veinlets - Cu-S phases. Polished section, reflected light. c) Chalcopyrite (Ccp) with inclusions of pyrite (Py), partly replaced by supergene products (Mlc - malachite, Cu-S - Cu sulfides), BSE image. d) The Ni-rich pyrite (Py), enclosed in chalcopyrite (Ccp) with Cu-S phases (white), BSE image. e, f) Calcite (Cal) with abundant inclusions of zoned dolomite (two hues of darker grey; Dol) and scarce inclusions of xenotime-(Y) (Xnt), BSE images.

Tabulka 1. Příklady chemického složení pyritu (Py) a chalkopyritu (Ccp) ze studované Cu mineralizace z lomu Podhůra. Obsahy v hm. %, hodnoty *apfu* jsou vypočítány na bázi 3 (pyrit), respektive 4 (chalkopyrit) atomů na vzorcovou jednotku. n.a. – neanalyzováno, b.d. – pod mezí stanovitelnosti.

Table 1. Examples of chemical composition of pyrite (Py) and chalcopyrite (Ccp) from the studied Cu mineralization from the quarry Podhůra. Contents in wt. %, *apfu* values are based on 3 (pyrite) or 4 (chalcopyrite) atoms per formula unit. n.a. – not analysed, b.d. – below detection limit.

An. č.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Minerál	Py	Py	Py	Py	Py	Py	Py	Py	Ccp	Ccp	Ccp	Ccp	Ccp	Ccp
Fe	45,80	45,32	45,60	46,53	43,05	42,22	43,61	45,62	29,87	29,59	29,95	29,92	29,93	29,65
Co	0,04	0,03	0,03	0,05	0,03	0,05	0,04	b.d.	b.d.	0,03	b.d.	0,03	b.d.	n.a.
Ni	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	3,58	3,85	2,27	0,68	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
Cu	1,16	1,72	1,31	0,74	0,50	0,87	0,63	0,60	35,03	35,11	35,05	35,38	35,09	34,74
Ag	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0,07
Pb	0,18	0,18	0,17	0,13	0,09	0,19	0,15	0,15	b.d.	0,12	0,11	0,09	0,10	b.d.
S	53,65	52,81	52,92	53,44	53,28	52,90	52,52	52,92	34,79	34,88	34,72	35,26	34,88	34,66
Celkem	100,82	100,06	100,02	100,89	100,53	100,08	99,22	99,97	99,69	99,73	99,83	100,68	100,00	99,12
Fe	0,979	0,979	0,984	0,995	0,924	0,912	0,949	0,984	0,985	0,976	0,988	0,977	0,985	0,983
Co	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	b.d.	b.d.	0,001	b.d.	0,001	b.d.	n.a.
Ni	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0,073	0,079	0,047	0,014	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
Cu	0,022	0,033	0,025	0,014	0,009	0,017	0,012	0,011	1,016	1,018	1,016	1,015	1,015	1,013
Ag	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0,001
Pb	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	b.d.	0,001	0,001	0,001	0,001	b.d.
Catsum	1,003	1,013	1,011	1,010	1,008	1,010	1,010	1,011	2,001	1,996	2,005	1,994	2,001	1,997
S	1,997	1,987	1,989	1,990	1,992	1,990	1,990	1,989	1,999	2,004	1,995	2,006	1,999	2,003

**Chalkopyrit** je nejhojněji zastoupeným rudním minerálem (obr. 3a, b). Vytváří obvykle drobné vtroušeniny v karbonátu o velikosti zlomku mm až několika mm, které jsou od okrajů více nebo méně zatlačovány supergenními produkty (hlavně malachitem či *limonitem*; obr. 4b, c). Méně často chalkopyrit tvoří masivní dlouze protážené „lité“ agregáty, orientované paralelně s páskováním žilné výplně. Chalkopyrit obřstá a uzavírá izolované krystaly pyritu (obr. 4b–d). V odraženém světle chalkopyrit nevykazuje optickou anizotropii a v obraze BSE je homogenní. WDS analýzy ukázaly velmi jednoduché složení (tab. 1), vedle Cu, Fe a S byly zaznamenány ve většině analýz velmi malé obsahy Pb (0,001 *apfu*; báze přepočtu 4 *apfu*) a zcela ojediněle i Co či Ag (do 0,001 *apfu*).

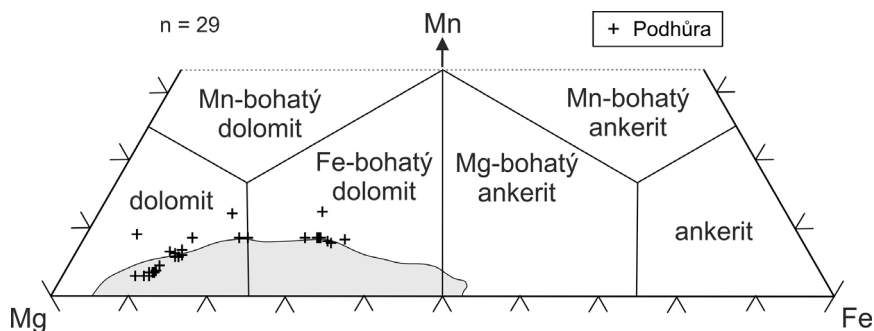
**Kalcit** představuje hlavní složku karbonátové výplně žily. Makroskopicky vytváří hrubě až středně zrnité agregáty bílé až růžové barvy s velikostí jednotlivých zrn mezi 2 mm a 1 cm. Slabě navětralé partie jsou zbarveny okrově, pokročilé zvětrání pak vede k prakticky úplnému vyloučení karbonátu a jeho částečnému nahrazení práškovitým limonitem. V mikroměřítku kalcit obsahuje homogenně rozptýlené inkluze dolomitu (obr. 4a, e, f), přičemž není zcela jasné, zda jde o kalcitem původně zatlačený agregát dolomitu nebo o produkt současné krystalizace obou karbonátů. V BSE obraze je kalcit nezonální a homogenní. Orientační WDS analýzy kalcitu (tab. 2) ukázaly slabě zvýšené obsahy rodochrozitové, méně pak sideritové komponenty ( $\text{Cal}_{96,5-98,6}\text{Rdc}_{1,0-2,6}\text{Sid}_{0,3-0,9}$ ). Uhlík je v několika měřených bodech slabě zastupován P (do 0,002 *apfu*).

**Dolomit** je podřadnou složkou primární karbonátové mineralizace. Vytváří xenomorfně omezené inkluze o velikosti do 0,15 mm, jež jsou vcelku homogenně rozptýlené v hostitelském kalcitu (obr. 4a, e, f). V BSE obraze jsou některé inkluze nepravidelně „skvrnitě“ zonální (obr. 4a, f). WDS analýzy (tab. 2) ukázaly v zásadě stechiometrické složení (0,96–1,04 *apfu* Ca). Ve starší klasifikaci TRDLÍČKY a HOFFMANA (1975) padají průmětné body analýz zejména do pole dolomitu, méně i Fe-bohatého dolomitu (obr. 5). Variace ve složení jsou způsobeny zejména proměnlivými obsahy dolomitové a ankeritové složky, zatímco podíl složky kutnohoritové je rozkolísaný méně ( $\text{Dol}_{58-88}\text{Ank}_{6-33}\text{Ktn}_{3-12}$ ).

Tabulka 2. Příklady chemického složení kalcitu (Cal) a dolomitu (Dol) ze studované Cu-mineralizace z lomu Podhůra. Obsahy v hm. %, hodnoty *apfu* jsou vypočítány na bázi 1 (kalcit), respektive 2 (dolomit) kationtů kovů na vzorcovou jednotku, obsahy koncových členů jsou v mol. %. b.d. - pod mezi stanovitelnosti.

Table 2. Examples of chemical composition of calcite (Cal) and dolomite (Dol) from the studied Cu-mineralization from the quarry Podhůra. Contents in wt. %, *apfu* values are based on 1 (calcite) or 2 (dolomite) cations of metals per formula unit, contents of endmembers are in mol. %. b.d. - below detection limit.

An. č.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Minerál	Cal	Cal	Cal	Cal	Dol	Dol	Dol	Dol	Dol	Dol	Dol	Dol	Dol	Dol
SO <sub>3</sub>	0,12	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0,05	b.d.	b.d.	0,07
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	b.d.	0,15	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
MgO	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	17,81	17,71	17,01	17,79	10,78	11,57	11,63	18,83	15,08	11,36
CaO	54,22	55,10	54,39	54,01	28,45	28,82	29,06	28,63	28,18	27,97	28,10	28,93	28,09	27,37
MnO	0,67	0,72	1,18	1,82	0,99	2,18	2,36	2,60	2,70	2,79	2,85	3,57	4,50	4,15
FeO	0,21	0,27	0,18	0,68	3,40	5,26	4,43	5,29	10,97	10,13	10,07	2,55	6,47	9,68
Celkem	55,22	56,24	55,75	56,51	50,65	53,97	52,86	54,31	52,63	52,46	52,70	53,88	54,14	52,63
S <sup>6+</sup>	0,002	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0,001	b.d.	b.d.	0,002
P <sup>5+</sup>	b.d.	0,002	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
Mg <sup>2+</sup>	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0,875	0,831	0,815	0,831	0,557	0,594	0,595	0,874	0,727	0,585
Ca <sup>2+</sup>	0,987	0,986	0,981	0,965	1,004	0,972	1,001	0,961	1,046	1,033	1,033	0,965	0,974	1,014
Mn <sup>2+</sup>	0,010	0,010	0,017	0,026	0,028	0,058	0,064	0,069	0,079	0,081	0,083	0,094	0,123	0,121
Fe <sup>2+</sup>	0,003	0,004	0,003	0,009	0,094	0,138	0,119	0,139	0,318	0,292	0,289	0,066	0,175	0,280
Mag(Dol)	0,0	0,0	0,0	0,0	87,8	80,9	81,6	80,0	58,4	61,4	61,5	84,5	70,9	59,3
Rdc(Ktn)	1,0	1,0	1,7	2,6	2,8	5,7	6,4	6,6	8,3	8,4	8,6	9,1	12,0	12,3
Sid(Ank)	0,3	0,4	0,3	0,9	9,4	13,5	11,9	13,3	33,3	30,2	29,9	6,4	17,1	28,4
Cal	98,7	98,6	98,1	96,5										



Obr. 5. Chemické složení karbonátů dolomitové skupiny (at. %) v klasifikačním diagramu TRDLÍČKY a HOFFMANA (1975). Srovnávací data pro ostatní žilné polymetalické mineralizace kulu Nizkého Jeseníku (šedé pole) byla převzata ze ZIMÁKA *et al.* (2002), KUČERY (2009) a KOTLÁNOVÉ (2015).

Fig. 5. Projection of the chemical composition of carbonates of the dolomite group to the classification scheme by TRDLÍČKA and HOFFMAN (1975). The comparative data for other vein polymetallic mineralizations of the Nizký Jeseník Culm (grey field) were taken from ZIMÁK *et al.* (2002), KUČERA (2009) and KOTLÁNOVÁ (2015).

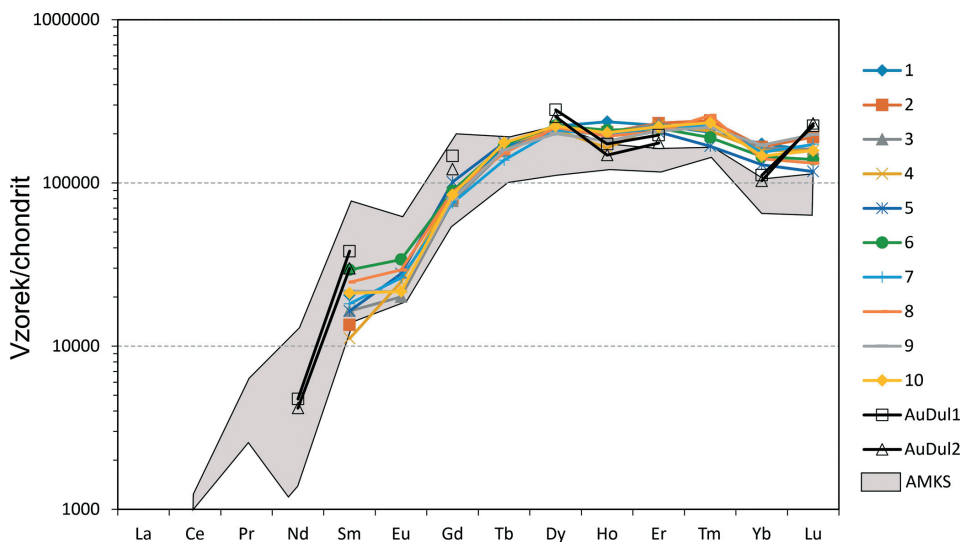


**Xenotim-(Y)** je akcesorickou komponentou karbonátové žiloviny s obsahem chalkopyritu. Vytváří izolovaná mikroskopická xenomorfně omezená zrna o velikosti do 8  $\mu\text{m}$ . Minerál byl zastížen jen v jednom nábrusu, ale v řadě individuích (obr. 4a, e, f). Zonalita není v obraze BSE patrná a značnou homogenitu chemismu lze konstatovat i při porovnání WDS analýz (tab. 3) pořízených z různých zrn lokalizovaných v odlišných částech nábrusu. Analytické sumy blízké 100 % a celková stechiometrie dobře odpovídají xenotimu. Fosfor je v části analýz nepatrně zastupován S (max. 0,002 *apfu*; báze přepočtu 4 atomy kyslíku na vzorcovou jednotku) a/nebo Si (do 0,017 *apfu*). Yttrium je významně substituováno REE (0,18–0,20 *apfu*), méně pak i Ca (0,009–0,033 *apfu*) či ojediněle Fe (do 0,006 *apfu*). Chondritem normalizované křivky REE xenotimu-(Y) vykazují obvyklé obohacení středně těžkými a těžkými REE (obr. 6) a vcelku stálou mírně negativní Eu anomálii ( $\text{Eu}/\text{Eu}^* = <0,45\text{--}0,79$ ) a také slabou negativní Yb anomálii ( $\text{Yb}/\text{Yb}^* = 0,76\text{--}0,97$ ). Chondritem normalizovaný poměr Gd/Yb má hodnoty mezi 0,47 a 0,78 (tab. 3).

Tabulka 3. Chemické složení xenotimu-(Y) ze studované Cu-mineralizace z lomu Podhůra. Obsahy v hm. %, hodnoty *apfu* jsou vypočítány na bázi 4 atomů kyslíku na vzorcovou jednotku. b.d. – pod mezí stanovitelnosti.

Table 3. Chemical composition of xenotime-(Y) from the studied Cu-mineralization from the quarry Podhůra. Contents in wt. %, *apfu* values are based on 4 atoms of oxygen per formula unit. b.d. – below detection limit.

An. č.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SO <sub>3</sub>	0,05	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0,06	0,10	0,05	0,06	b.d.
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	35,58	35,94	35,50	35,18	35,86	35,91	35,84	35,11	34,93	35,11
SiO <sub>2</sub>	b.d.	b.d.	b.d.	0,34	b.d.	b.d.	0,31	0,50	0,41	0,46
Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	44,50	45,53	45,22	44,98	44,96	44,85	45,16	45,13	45,23	45,32
Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,35	0,23	0,28	0,19	0,28	0,50	0,31	0,42	0,37	0,36
Eu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	b.d.	b.d.	0,13	0,16	0,18	0,22	0,17	0,19	0,14	0,14
Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,87	1,82	1,76	1,98	2,30	2,03	1,71	2,00	1,81	1,92
Tb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,68	0,65	0,65	0,72	0,73	0,71	0,57	0,63	0,66	0,73
Dy <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,21	5,97	6,23	5,89	6,16	6,27	5,86	6,10	5,59	6,21
Ho <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,52	1,31	1,29	1,05	1,29	1,35	1,26	1,24	1,16	1,30
Er <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,09	4,22	4,18	4,09	3,72	3,93	3,98	3,75	3,78	4,01
Tm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,56	0,66	0,57	0,57	0,46	0,52	0,62	0,71	0,60	0,64
Yb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,22	3,08	3,02	2,92	2,40	2,69	2,85	2,61	3,16	2,71
Lu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,43	0,52	0,44	0,43	0,32	0,38	0,47	0,36	0,54	0,43
CaO	0,78	0,26	0,29	0,60	0,76	0,69	0,96	0,98	0,82	0,82
FeO	0,08	b.d.	b.d.	b.d.	0,11	0,11	0,21	b.d.	b.d.	b.d.
Celkem	99,92	100,19	99,56	99,10	99,53	100,22	100,38	99,78	99,26	100,16
S <sup>6+</sup>	0,001	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0,001	0,002	0,001	0,001	b.d.
P <sup>5+</sup>	0,997	1,002	0,999	0,991	1,002	1,000	0,991	0,982	0,983	0,982
Si <sup>4+</sup>	b.d.	b.d.	b.d.	0,011	b.d.	b.d.	0,010	0,017	0,014	0,015
Subtot.	0,998	1,002	0,999	1,002	1,002	1,001	1,004	1,000	0,998	0,997
Y <sup>3+</sup>	0,784	0,798	0,800	0,796	0,789	0,785	0,785	0,793	0,800	0,797
Sm <sup>3+</sup>	0,004	0,003	0,003	0,002	0,003	0,006	0,003	0,005	0,004	0,004
Eu <sup>3+</sup>	b.d.	b.d.	0,001	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Gd <sup>3+</sup>	0,021	0,020	0,019	0,022	0,025	0,022	0,019	0,022	0,020	0,021
Tb <sup>3+</sup>	0,007	0,007	0,007	0,008	0,008	0,008	0,006	0,007	0,007	0,008
Dy <sup>3+</sup>	0,066	0,063	0,067	0,063	0,065	0,066	0,062	0,065	0,060	0,066
Ho <sup>3+</sup>	0,016	0,014	0,014	0,011	0,014	0,014	0,013	0,013	0,012	0,014
Er <sup>3+</sup>	0,043	0,044	0,044	0,043	0,039	0,041	0,041	0,039	0,039	0,042
Tm <sup>3+</sup>	0,006	0,007	0,006	0,006	0,005	0,005	0,006	0,007	0,006	0,007
Yb <sup>3+</sup>	0,032	0,031	0,031	0,030	0,024	0,027	0,028	0,026	0,032	0,027
Lu <sup>3+</sup>	0,004	0,005	0,004	0,004	0,003	0,004	0,005	0,004	0,005	0,004
Ca <sup>2+</sup>	0,027	0,009	0,010	0,021	0,027	0,024	0,033	0,034	0,029	0,029
Fe <sup>2+</sup>	0,002	b.d.	b.d.	b.d.	0,003	0,003	0,006	b.d.	b.d.	b.d.
Subtot.	1,012	1,000	1,006	1,008	1,007	1,007	1,009	1,017	1,017	1,019
REE	0,199	0,193	0,196	0,190	0,188	0,195	0,185	0,190	0,188	0,194
Gd/Yb	0,47	0,48	0,48	0,55	0,78	0,62	0,49	0,63	0,47	0,58
Eu/Eu*	<0,45	<0,56	0,56	0,79	0,68	0,66	0,71	0,63	0,52	0,51
Yb/Yb*	0,97	0,77	0,89	0,87	0,92	0,89	0,78	0,76	0,82	0,76



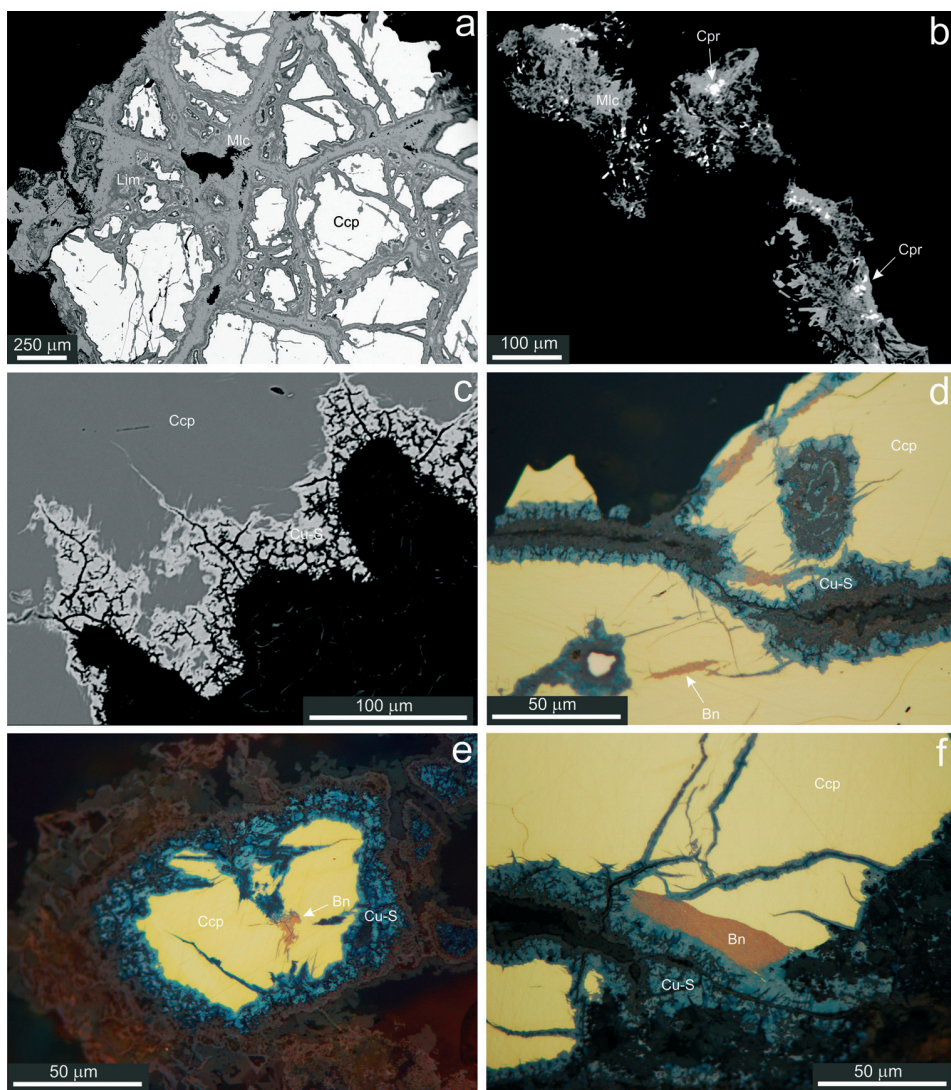
Obr. 6. Chondritem-normalizované distribuce REE xenotimu-(Y) ze studované hydrotermální mineralizace z lomu Podhůra (1-10; číslování analýz jako v tab. 3) a jejich porovnání s xenotimem-(Y) ze žilné Cu-mineralizace ve Zlatém dole u Hluboček (AuDul; DOLNÍČEK, 2010) a s autigením xenotimem-(Y) z matrice kulmských sedimentů (AXKS; ČOPIJKOVÁ a ŠKODA, 2012).

Fig. 6. Chondrite-normalized REE patterns of xenotime-(Y) from studied hydrothermal mineralization from the Podhůra quarry (1-10; numbering of analyses as in Table 3) and their comparison with xenotime-(Y) from vein Cu-mineralization at Zlatý důl near Hlubočky (AuDul; DOLNÍČEK, 2010) and authigenic xenotime-(Y) from matrix of Culmian sediments (AXKS; ČOPIJKOVÁ and ŠKODA, 2012).

## Sekundární minerály

**Limonit** je nejběžnější složkou supergenní minerální asociace. Zatlačuje jak primární karbonáty, tak sulfidy. Ve zcela zvětralých partiích žiloviny je obvykle makroskopicky žlutohnědý až hnědý, práškovitý. Mědi bohatý *limonit* - tzv. *stilpnosiderit* - běžně lemuje z vnější strany Cu-sulfidy kolem částečně zvětralých zrn chalkopyritu (obr. 7a) a vykazuje v obraze BSE často detailní chemickou zonalitu v důsledku variací v obsazích Cu, Fe, Al, Si (podle EDS spekter) a také vody. *Limonit* i *stilpnosiderit* běžně také doprovázejí malachit a azurit, vůči nimž jsou starší (obr. 4c). Chemicky nebyly tyto fáze blíže studovány.

**Malachit** je nejběžnější a vizuálně nejnapadnější minerální fází supergenně postižených partií žiloviny. V doprovodu limonitu vytváří hojně světle zelené povlaky jak na zvětralé žilovině (obr. 7a), tak v přiléhajících puklinách v okolní hornině (obr. 3c). Tyto povlaky malachitu jsou většinou málo soudržné, práškovité, s matným leskem. Část práškového malachitu v puklinách okolní horniny představuje pseudomorfozy a částečně i perimorfozy po práškovitém kupritu (obr. 7b). Ojedinele byly ve zvětralé žilovině s převahou *limonitu* a příměsí rozpadlé okolní horniny zaznamenány až několik mm velké agregáty tvořené hrubšími sytě zelenými a skelně lesklými jehlicemi malachitu o velikosti až kolem 2 mm. Zajímavé je chemické složení práškového malachitu z Podhůry (tab. 4). Část provedených WDS analýz vykazovala poměrně jednoduché složení, kdy vedle mědi prakticky nebyly zjištěny další příměsi. Větší část analýz však vykazuje zvýšené obsahy Mg (až 0,130 *apfu*; báze přepočtu 2 kationty kovů na vzorcovou jednotku) a Fe (až 0,044 *apfu*) při úplné absenci Al a/nebo Si jakožto indikátorů možného znečištění silikátovými fázemi z okolní horniny. Rozdíly v obsazích Mg a Fe jsou největší u různých vzorků. Zcela ojedinele byly v malachitu zaznamenány i nepatrné obsahy As (do 0,005 *apfu*).



Obr. 7. Minerální asociace a vývin supergenních a cementačních minerálů ze studované mineralizace z lomu Podhůra. a) Zatláčování chalkopyritu (Ccp) *limonitem* (Lim) a malachitem (Mlc) od okrajů a podél prasklin. BSE obraz. b) Relikty kupritu (Cpr) v malachitu (Mlc). BSE obraz. c) Trhliny „vysýchání“ v Cu-S fázích (Cu-S) zatláčujících chalkopyrit (Ccp). BSE obraz. d) Zatláčování chalkopyritu (Ccp) bornitem (Bn) a Cu-sulfidy (Cu-S) podél trhlin. Nábrus, odražené světlo. e) Zatláčování chalkopyritu (Ccp) bornitem (Bn) a Cu-sulfidy (Cu-S) od okrajů zrna. Nábrus, odražené světlo. f) Zatláčování chalkopyritu (Ccp) bornitem (Bn) a Cu-sulfidy (Cu-S). Bornit je žilkovitě pronikán Cu-sulfidy. Nábrus, odražené světlo.

Fig. 7. Mineral assemblage and development of supergene minerals from the studied mineralization from the quarry Podhůra. a) Replacement of chalcopyrite (Ccp) by *limonite* (Lim) and malachite (Mlc) from margins and along fractures. BSE image. b) Relicts of cuprite (Cpr) in malachite (Mlc). BSE image. c) “Desiccation” fissures in Cu-sulphides (Cu-S) replacing chalcopyrite (Ccp). BSE image. d) Replacement of chalcopyrite (Ccp) by bornite (Bn) and Cu-sulphides (Cu-S) along fractures. Polished section, reflected light. e) Replacement of chalcopyrite (Ccp) by bornite (Bn) and Cu-sulphides (Cu-S) from grain margin. Polished section, reflected light. f) Replacement of chalcopyrite (Ccp) by bornite (Bn) and Cu-sulphides (Cu-S). Bornite is cut by fine veinlets of Cu-sulphides. Polished section, reflected light.

Tabulka 4. Příklady chemického složení malachitu (Mlc) a azuritu (Az) ze studované Cu-mineralizace z lomu Podhůra. Obsahy v hm. %, hodnoty *apfu* jsou vypočítány na bázi 2 (malachit), respektive 3 (azurit) atomů kovů na vzorcovou jednotku. b.d. – pod mezi stanovitelnosti, obsahy CO<sub>2</sub> a H<sub>2</sub>O dopočteny ze stechiometrie.

Table 4. Examples of chemical composition of malachite (Mlc) and azurite (Az) from the studied Cu-mineralization from the quarry Podhůra. Contents in wt. %, *apfu* values are based on 2 (malachite) or 3 (azurite) atoms of metals per formula unit. b.d. – below detection limit, contents of CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>O are calculated from stoichiometry.

An. č.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Minerál	Mlc	Mlc	Mlc	Mlc	Mlc	Mlc	Mlc	Mlc	Mlc	Mlc	Mlc	Az	Az	Az
As <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0,20	b.d.	0,27	0,24	b.d.	b.d.	0,21
CO <sub>2</sub>	19,62	20,08	19,89	20,07	20,02	20,25	19,74	19,28	19,78	19,55	19,64	25,33	24,99	25,49
MgO	0,89	2,08	1,28	1,92	1,76	2,44	1,13	b.d.	0,10	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
FeO	0,59	1,44	0,59	0,58	0,94	1,04	0,47	0,11	0,09	0,14	0,14	0,09	b.d.	0,25
CuO	68,51	66,88	68,74	68,09	67,87	67,23	68,60	69,83	71,20	70,86	71,18	68,58	67,76	69,04
H <sub>2</sub> O	8,03	8,22	8,14	8,21	8,20	8,29	8,08	7,93	8,10	8,05	8,08	5,19	5,12	5,24
Celkem	97,64	98,70	98,64	98,87	98,79	99,25	98,02	97,35	99,27	98,87	99,28	99,19	97,87	100,23
As <sup>5+</sup>	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0,004	b.d.	0,005	0,005	b.d.	b.d.	0,006
C <sup>4+</sup>	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,996	1,000	0,995	0,995	2,000	2,000	1,994
Subtot.	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	2,000	2,000	2,000
Mg <sup>2+</sup>	0,050	0,113	0,070	0,104	0,096	0,132	0,063	b.d.	0,006	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
Fe <sup>2+</sup>	0,018	0,044	0,018	0,018	0,029	0,031	0,015	0,003	0,003	0,004	0,004	0,004	b.d.	0,012
Cu <sup>2+</sup>	1,932	1,843	1,912	1,878	1,875	1,837	1,923	1,997	1,992	1,996	1,996	2,996	3,000	2,988
Subtot.	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	3,000	3,000	3,000
H <sup>+</sup>	1,999	2,000	1,998	1,999	2,000	2,000	1,999	2,002	2,000	2,001	2,000	2,001	2,001	2,002

Tabulka 5. Příklady chemického složení Cu-S fázi (Dju - djurleit, Dg - digenit/roxbyit, Ani - anilit, Gee - geerit, Spi - spionkopit) ze studované Cu mineralizace z lomu Podhůra. Obsahy v hm. %, hodnoty *apfu* jsou vypočítány na uvedenou sumu *apfu*. b.d. – pod mezi stanovitelnosti.

Table 5. Examples of chemical composition of Cu-S phases (Dju - djurleite, Dg - digenite/roxbyite, Ani - anilite, Gee - geerite, Spi - spionkopite) from the studied Cu mineralization from the quarry Podhůra. Contents in wt. %, *apfu* values are based on given value of *apfu*. b.d. – below detection limit.

An. č.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Minerál	Dju	Dju	Dg	Dg	Dg	Dg/Ani	Ani	Ani	Ani	Ani/Gee	Gee	Gee	Gee	Spi
Fe	4,20	2,23	4,52	1,46	4,24	4,22	5,85	2,76	4,26	4,26	4,41	3,18	3,76	1,60
Cu	74,93	76,65	74,17	76,71	74,10	73,63	71,96	74,39	72,77	72,48	72,41	72,88	71,48	70,87
Ag	b.d.	b.d.	b.d.	0,07	b.d.	b.d.	b.d.	0,06	0,08	b.d.	0,06	0,10	0,07	0,09
In	0,04	b.d.	0,05	0,04	b.d.	b.d.	b.d.	0,05	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0,04	b.d.
Pb	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0,12	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0,09	b.d.
S	21,15	21,36	21,84	21,92	22,34	22,63	23,09	23,03	23,23	23,55	24,09	24,25	25,76	27,73
Celkem	100,32	100,24	100,58	100,21	100,68	100,60	100,90	100,29	100,33	100,29	100,96	100,41	101,20	100,29
Fe	1,846	0,981	0,587	0,191	0,548	0,428	0,589	0,280	0,431	0,508	0,521	0,377	0,438	0,955
Cu	28,950	29,646	8,468	8,812	8,420	6,568	6,364	6,640	6,471	7,599	7,518	7,603	7,322	37,183
Ag	b.d.	b.d.	b.d.	0,005	b.d.	b.d.	b.d.	0,003	0,004	b.d.	0,004	0,006	0,004	0,028
In	0,009	b.d.	0,003	0,003	b.d.	b.d.	b.d.	0,002	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0,002	b.d.
Pb	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0,003	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0,003	b.d.
Catsum	30,805	30,627	9,058	9,010	8,969	6,999	6,953	6,926	6,906	8,107	8,043	7,986	7,770	38,166
S	16,195	16,373	4,942	4,990	5,031	4,001	4,047	4,074	4,094	4,893	4,957	5,014	5,230	28,834
Me/S	1,90	1,87	1,83	1,81	1,78	1,75	1,72	1,70	1,69	1,66	1,62	1,59	1,49	1,32
Apfu	47	47	14	14	14	11	11	11	11	13	13	13	13	67

**Azurit** je naproti tomu jen ojediněle zjištěnou komponentou supergenní asociace. Vytváří objemově nepatrné světle modré práškové povlaky ve společnosti *limonitu* a malachitu ve zcela vzácných žilovině. Tři WDS analýzy (tab. 4) ukázaly jednoduché složení s nepatrně zvýšeným obsahem Fe (do 0,012 *apfu*) a v jedné analýze i As (0,006 *apfu*).

**Cu-sulfidy** jsou v malém množství běžně přítomny v lemech až 20  $\mu\text{m}$  silných, vyvinutých kolem navětralých zrn chalkopyritu (obr. 4c). Méně často pronikají po trhlinách a po štěpnosti i do hlubších partií zrn tohoto minerálu (obr. 4b). Vytvářejí xenomorfně omezená drobná zrna nebo větší „lité“ agregáty, ve druhém jmenovaném případě s nezfídka vyvinutými „synerzními“ trhlinami (obr. 7c). V odraženém světle mají modrošedou barvu a vykazují různě intenzivní projevy anizotropie jak s jedním nikolem (obr. 7d-f), tak při mírně rozkřížených nikolech. Výsledky provedených WDS analýz ( $n = 31$ ) vykazují poměrně široké variace ve složení (tab. 5). Vedle Cu a S vždy ukázaly i variabilní příměs Fe (0,55–5,85 hm. %), a v části analýz i Ag (do 0,22 hm. %) a méně často i Pb (do 0,12 hm. %) a In (max. 0,05 hm. %). Celý získaný analytický soubor vykázal značnou variabilitu atomových poměrů sumy kovů k síře ( $\text{Me/S} = 1,32$  až 1,90; tab. 5), což nasvědčuje přítomnosti několika fází: **djurleitu** ( $\text{Cu}_{31}\text{S}_{16}$ ;  $n = 3$ ), **digenitu/roxbyitu** ( $\text{Cu}_9\text{S}_5$ ;  $n = 5$ ), **anilitu** ( $\text{Cu}_7\text{S}_4$ ;  $n = 8$ ), **geeritu** ( $\text{Cu}_8\text{S}_5$ ;  $n = 5$ ) a **spionkopitu** ( $\text{Cu}_{38}\text{S}_{29}$ ;  $n = 1$ ). Menší část analýz dále padá na klasifikační rozhraní různých fází: na pomezí digenitu/roxbyitu a anilitu ( $n = 3$ ) a na pomezí anilitu a geeritu ( $n = 3$ ).

**Bornit** byl zaznamenán jen v nepatrném množství. Vytváří výplně drobných žilek v chalkopyritu (obr. 8a) nebo jednotlivá protažená plaménkovitá individua o délce až 100  $\mu\text{m}$  a šířce max. 20  $\mu\text{m}$ , zarůstající do okrajových částí zrn či agregátů chalkopyritu, jež jsou vždy v sousedství lemů tvořených Cu-S fázemi (obr. 7d-f). Jednotlivá individua bornitu někdy sledují štěpnost hostitelského chalkopyritu (obr. 8b). Vzácně bylo zjištěno i kulisovité uspořádání protažených zrn bornitu (obr. 8b). Ojediněle jsou reliktů bornitu zcela uzavírány v Cu-S fázích, které bornitem často i žilkovitě pronikají (obr. 7d-f). WDS analýzy (tab. 6) vykazovaly vedle hlavních složek (Cu, Fe, S) u většiny analýz i nepatrné příměsi Pb (do 0,005 *apfu*; báze přepočtu 10 atomů na vzorcovou jednotku) a u menší části analýz i malé příměsi In (max. 0,002 *apfu*) a zcela ojediněle i Ag (0,003 *apfu*).

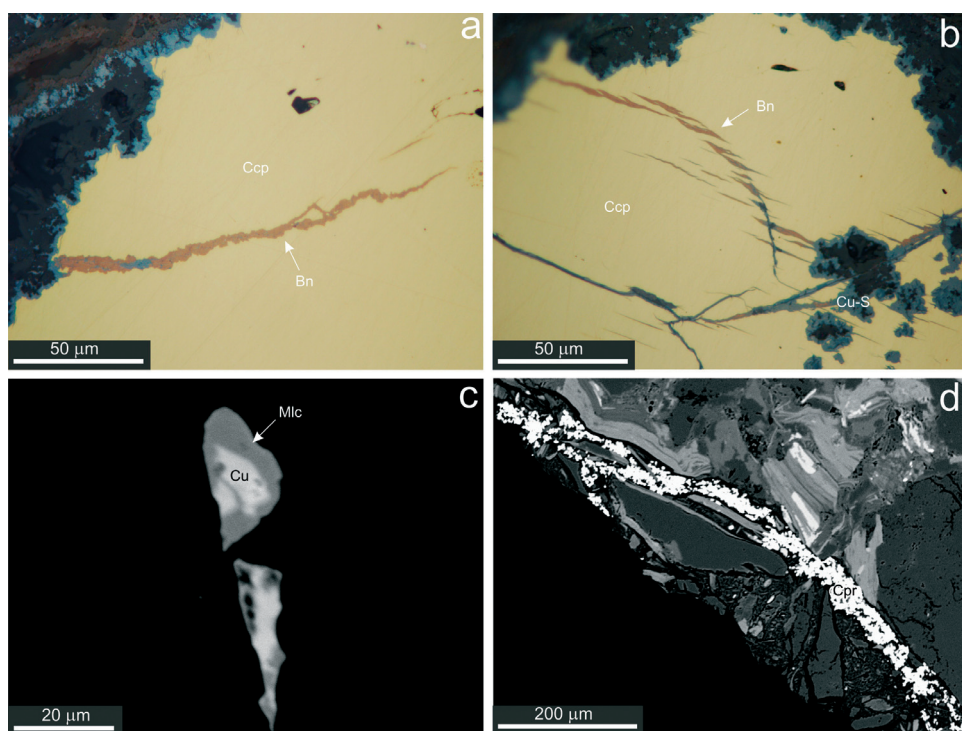
Tabulka 6. Příklady chemického složení bornitu (Bn) a mědi (Cu) ze studované Cu-mineralizace z lomu Podhůra. Obsahy v hm. %, hodnoty *apfu* jsou vypočítány na bázi 10 (bornit), respektive 1 (měď) atom(ů) na vzorcovou jednotku. n.a. - neanalyzováno, b.d. - pod mezí stanovitelnosti.

Table 6. Examples of chemical composition of bornite (Bn) and copper (Cu) from the studied Cu-mineralization from the quarry Podhůra. Contents in wt. %, *apfu* values are based on 10 (bornite) or 1 (copper) atom(s) per formula unit. n.a. - not analysed, b.d. - below detection limit.

An. č.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Minerál	Bn	Bn	Bn	Bn	Bn	Bn	Bn	Bn	Bn	Bn	Bn	Cu	Cu	Cu
Mn	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0,17	0,12	0,10
Fe	11,39	11,22	11,25	10,96	10,96	11,48	10,83	10,98	10,91	10,96	11,06	0,21	0,45	0,24
Cu	62,15	62,50	62,29	63,31	63,33	63,26	63,14	62,93	62,48	63,47	63,10	99,17	98,98	99,03
Ag	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0,06	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
In	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0,04	b.d.	n.a.	n.a.	0,05	n.a.	n.a.	n.a.
Pb	0,07	0,12	b.d.	0,18	0,13	0,10	0,21	0,14	b.d.	0,17	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
S	26,95	26,78	26,62	26,59	26,39	26,32	25,87	25,76	25,49	25,78	25,52	b.d.	b.d.	b.d.
Celkem	100,56	100,62	100,16	101,04	100,81	101,16	100,09	99,81	98,88	100,44	99,73	99,55	99,55	99,37
Mn	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0,002	0,001	0,001
Fe	1,008	0,994	1,001	0,970	0,973	1,016	0,972	0,987	0,990	0,981	0,996	0,002	0,005	0,003
Cu	4,835	4,868	4,872	4,926	4,942	4,922	4,979	4,974	4,982	4,993	4,996	0,996	0,993	0,996
Ag	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0,003	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
In	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0,002	b.d.	n.a.	n.a.	0,002	n.a.	n.a.	n.a.
Pb	0,002	0,003	b.d.	0,004	0,003	0,002	0,005	0,003	b.d.	0,004	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
Catsum	5,845	5,866	5,873	5,900	5,918	5,941	5,957	5,965	5,972	5,981	5,995	1,000	1,000	1,000
S	4,155	4,134	4,127	4,100	4,082	4,059	4,043	4,035	4,028	4,019	4,005	0,000	0,000	0,000

Bornit z Podhůry vykazuje oproti ideální stechiometrii větší nebo menší deficit kovů oproti síře (4,005–4,155 *apfu* S a 5,845–5,995 *apfu* kovů; poměr Me/S = 1,41–1,50). V 75 % analýz je přítom větší deficit Fe než Cu (hodnota rozdílu Fe-(Cu/5) nabývá negativních hodnot mezi -0,003 a -0,031), v 25 % analýz je naopak větší deficit Cu než Fe (hodnota rozdílu Fe-(Cu/5) nabývá kladných hodnot mezi 0,005 a 0,041).

**Měď** byla zaznamenána jen v jediném mikroskopickém drátku o délce kolem 30  $\mu\text{m}$  ve vzorku s částečně zvětralým chalkopyritem a malachitem. Drátek je již zčásti pseudomorfován malachitem (obr. 8c). Čtyři WDS analýzy mědi (tab. 6) ukázaly malé příměsi Fe (0,002–0,005 *apfu*; báze přepočtu 1 atom kovu na vzorcovou jednotku) a méně i Mn (0,001–0,002 *apfu*).



Obr. 8. Minerální asociace a vývin supergenních a cementačních minerálů ze studované mineralizace z lomu Podhůra. a) Monominerální žilka bornitu (Bn) v chalkopyritu (Ccp). Nábrus, odražené světlo. b) Kulísovité uspořádání penticovitých individuí bornitu (Bn) podél trhliny v chalkopyritu (Ccp) v asociaci s Cu-sulfidy (Cu-S). Nábrus, odražené světlo. c) Ryzí měď (Cu) zatlačovaná malachitem (Mlc). BSE obraz. d). Žilka práškovitého kupritu (Cpr) na puklině droby. BSE obraz.

Fig. 8. Mineral assemblage and development of supergene minerals from the studied mineralization from the quarry Podhůra. a) Monomineral veinlet of bornite (Bn) in chalcopyrite (Ccp). Polished section, reflected light. b) En-echelon arrangement of ribbon-like bornite (Bn) individuals along a fracture in chalcopyrite (Ccp) in assemblage with Cu-sulphides (Cu-S). Polished section, reflected light. c) Native copper (Cu) partly replaced by malachite (Mlc). BSE image. d) A veinlet of earthy cuprite (Cpr) in host greywacke. BSE image.

**Kuprit** je vzácnou komponentou supergenní asociace. Vytváří makroskopicky červenohnědé práškové povlaky na vlasových trhlinách okolní horniny (obr. 3d, 8d). Původně byl pravděpodobně v dané asociaci zastoupen ve větším množství, jak naznačují nábrusy z některých malachitových povlaků, jež se ukázaly být částečnými pseudomorfozami malachitu po kupritu, s dosud místy zachovalými reliktami kupritu v centru zrn (obr. 7b). V mikroměřítku je patrné, že žilky s kupritem obsahují i významný podíl minerálních fází z okolní horniny (křemen, slída, živce). Provedené WDS analýzy kupritu (tab. 7) ukázaly řadu příměsí vedle  $\text{Cu}_2\text{O}$  jakožto hlavní složky. Průběžnou příměsí je Fe s obsahy 0,002 až 0,009 *apfu* (báze přepočtu 2 atomy kovů na vzorcovou jednotku). Větší část analýz dále vykazovala zvýšené obsahy Si (až 0,016 *apfu*) a Al (do 0,011 *apfu*), u menší části analýz i Mg (až 0,007 *apfu*), S (do 0,005 *apfu*) a/nebo Ca (do 0,004 *apfu*).

Tabulka 7. Příklady chemického složení kupritu ze studované Cu-mineralizace z lomu Podhůra. Obsahy v hm. %, hodnoty *apfu* jsou vypočítány na bázi 2 atomů kovů na vzorcovou jednotku. b.d. – pod mezi stanovitelnosti.

Table 7. Examples of chemical composition of cuprite from the studied Cu-mineralization from the quarry Podhůra. Contents in wt. %, *apfu* values are based on 2 atoms of metals per formula unit. b.d. – below detection limit.

An. č.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
SO <sub>3</sub>	b.d.	0,19	0,20	0,30	0,05	0,05	b.d.	b.d.	0,25	b.d.	0,05	b.d.	b.d.	0,06
SiO <sub>2</sub>	0,28	0,29	0,44	0,25	0,27	0,13	0,37	0,60	b.d.	b.d.	0,31	0,51	0,71	0,32
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,07	b.d.	0,10	b.d.	0,19	0,38	0,26	0,07	b.d.	0,10	0,31	b.d.	0,10	0,20
MgO	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0,07	0,07	0,12	0,05	b.d.	b.d.	0,19	b.d.	b.d.	b.d.
CaO	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0,03	0,04	0,10	b.d.	b.d.	b.d.	0,16	0,03	0,03	0,03
FeO	0,08	0,12	0,23	0,15	0,18	0,28	0,25	0,24	0,15	0,21	0,43	0,12	0,20	0,27
Cu <sub>2</sub> O	99,05	100,28	99,86	99,84	98,98	99,84	96,91	99,07	100,50	98,11	98,85	100,15	99,44	98,36
Celkem	99,48	100,88	100,83	100,54	99,77	100,79	98,01	100,03	100,90	98,42	100,30	100,81	100,48	99,24
S <sup>6+</sup>	b.d.	0,003	0,004	0,005	0,001	0,001	b.d.	b.d.	0,004	b.d.	0,001	b.d.	b.d.	0,001
Si <sup>4+</sup>	0,007	0,007	0,010	0,006	0,006	0,003	0,009	0,014	b.d.	b.d.	0,007	0,012	0,017	0,008
Al <sup>3+</sup>	0,002	b.d.	0,003	b.d.	0,005	0,011	0,007	0,002	b.d.	0,003	0,009	b.d.	0,003	0,006
Mg <sup>2+</sup>	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0,002	0,002	0,004	0,002	b.d.	b.d.	0,007	b.d.	b.d.	b.d.
Ca <sup>2+</sup>	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0,001	0,001	0,003	b.d.	b.d.	b.d.	0,004	0,001	0,001	0,001
Fe <sup>2+</sup>	0,002	0,002	0,005	0,003	0,004	0,006	0,005	0,005	0,003	0,004	0,009	0,002	0,004	0,005
Cu <sup>+</sup>	1,996	1,998	1,993	1,997	1,988	1,980	1,980	1,991	1,997	1,993	1,972	1,997	1,992	1,988
Me sum	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000

## DISKUZE

Výskyt chalkopyritu a malachitu je z lomu Podhůra uváděn již KRUŤOU (1966). Výskyt ostatních Cu minerálů a také xenotimu-(Y), identifikované v rámci této studie, z této lokality v literatuře dosud uváděny nebyly.

Charakter zjištěné primární mineralizace je obdobný dalším výskytům Cu-mineralizace v širší oblasti kulmu Nížkého Jeseníku. Asociace chalkopyritu, pyritu, křemene, kalcitu a karbonátu dolomitové skupiny je pro danou oblast charakteristická pro povariské posttektonické hydrotermální žily, vzniklé z vysokosalinních Ca-Na-Cl bohatých vodných roztoků o teplotě cca 80–150 °C (např. SLOBODNÍK a DOLNÍČEK 2001; KUČERA 2009; KUČERA *et al.* 2009; KOTLÁNOVÁ 2015). Mineralogicky a texturně nejpodobnější a regionálně nejbližší mineralizace s vtroušeninami chalkopyritu v karbonátových žilách jsou známy např. z lokalit Hrabůvka, Nejdek či Uhřínovský potok na jižním okraji Nížkého Jeseníku (KOPEČNÝ 1955; LOSERT 1962; SLOBODNÍK a DOLNÍČEK 2001; KUČERA 2009; KOTLÁNOVÁ a DOLNÍČEK 2014b; KOTLÁNOVÁ 2015). Tomuto typu budou patrně odpovídat i drobné výskytů chalkopyritového zrudnění (a z něho druhotně vzniklého malachitu, azuritu a výjimečně i Cu-sulfidů a kupritu) v devonských až spodnokarbonských vápencích kry Maleniku, známé např.

z lomů Černotín a Skalka u Hranic, či ze Zbrašovských aragonitových jeskyní (DVOŘÁK 1955; KRUŽA 1966; PAULIŠ 1993; GADAS a HRAZDIL 2000; GERŠL *et al.* 2013). Bohatší minerální paragenézi (se sulfidy Pb a Zn, případně s větším zastoupením křemene), avšak podobným vývojem, pokud jde o vlastní Cu-mineralizaci, se také vyznačuje Cu-bohaté zrudnění z poněkud vzdálenějších lokalit Zlatý důl u Hluboček (ZIMÁK a VEČEŘA 1991) a Hrubá Voda u Olomouce (HLOBILOVÁ 1957; ZIMÁK 1997; DOLNÍČEK *et al.* 2003).

Pokud jde o supergenní/cementační minerální asociaci, z většiny z výše zmiňovaných lokalit primární Cu-mineralizace je znám i malachit a ojedinelé i azurit. Výskyty dalších minerálních fází jsou však v oblasti nízkojesenického kulmu jen ojedinelé nebo dosud vůbec nezaznamenané. Bornit byl dosud v kulmské oblasti popsán pouze z Uhřínovského potoka u Hrabůvky (KOTLÁNOVÁ a DOLNÍČEK 2014b) a ze Zlatého dolu (KOTLÁNOVÁ a DOLNÍČEK 2014a). Měď je známa jen z lokality Zlatý důl u Hluboček (KOTLÁNOVÁ *et al.* 2014), zatímco v případě kupritu je pak lokalita Podhůra jeho první doloženou lokalitou v kulmské oblasti. Z hlediska pestrosti nerostné asociace je tedy supergenní/cementační paragenéze Cu minerálů z lokality Podhůra nepochybně jednou z mineralogicky nejpestřejších v rámci celého moravskoslezského kulmu.

Pestrost minerální asociace na lokalitě rozšířily také sekundární (cementační) sulfidy Cu. Přestože nebyla provedena rentgen-difrakční identifikace, WDS analýza poměrně spolehlivě potvrdila přítomnost djurleitu, digenitu/roxbyitu, anilitu, geeritu a spionkopitu na základě stechiometrie. Tyto minerály jsou popisovány jako více či méně běžné produkty přeměn primárních Cu-sulfidů na ložiscích různé geneze. V oblasti moravskoslezského kulmu jsou z některých lokalit uváděny opticky identifikované supergenní covelliny či chalkozíny (např. LOSERT 1962; KRUŽA 1966; ZIMÁK a VEČEŘA 1991; SEJKORA *et al.* 2005; ZIMÁK *et al.* 2005; DOLNÍČEK *et al.* 2013; KOTLÁNOVÁ 2013), ale podle našich znalostí dosud většinou nebyly tyto fáze nějak přesněji laboratorně identifikovány. Výjimkou jsou publikovaná chemická data k covellínu z lokality Řepová u Mohelnice (DOLNÍČEK *et al.* 2013). Z nedalekého vápencového lomu u Černotína u Hranic popisuje PAULIŠ (1993) rentgenograficky určený chalkozin a djurleit.

Pozoruhodné je v kontextu dosud publikovaných dat také zjištění přítomnosti xenotimu-(Y) v Cu-mineralizaci z Podhůry. Xenotim je na hydrotermálních žilách v oblasti moravskoslezského kulmu obecně raritním minerálem. Dosud byl nalezen pouze na jediné lokalitě, jíž je Zlatý důl u Hluboček (DOLNÍČEK 2010). Vyskytl se zde rovněž v asociaci s povariským žilným chalkopyritovým zrudněním, ale v parageneticky poněkud jiné pozici. Zatímco na Podhůře vytváří jednotlivá zrna vtroušená v karbonátové výplni, ve Zlatém dole tvořil výplň tenké žilky v křemenu, jehož vznik předcházela krystalizací karbonátu z dolomitové skupiny s chalkopyritovým zrudněním (DOLNÍČEK 2010). V chemismu xenotimu-(Y) z obou zmiňovaných lokalit lze vysledovat určité shody i rozdílnosti. Shodným znakem je míra substituce Y prvky vzácných zemin, charakter distribuce těchto REE (pokud to umožňují posoudit neúplné analýzy ze Zlatého dolu, v nichž nebyly měřeny obsahy Eu, Tb a Tm; obr. 6), a přítomnost malých obsahů S a Si. Naproti tomu rozdíl je v obsazích U, Th, Al a F, jež byly naměřeny v xenotimu ze Zlatého dolu, ale na Podhůře jsou pod mezí stanovitelnosti elektronové mikrosondy. Zajímavé je i porovnání s chemismem autigenních xenotimů, přítomných v matici kulmských sedimentů a vzniklých v průběhu diagenéze těchto hornin (ČOPIJKOVÁ a ŠKODA 2012). Obsahy U, Th, Al a F se autigenní xenotimy blíží spíše analýzám ze Zlatého dolu než Podhůře. Naopak stupněm frakcionace REE se průměr autigenních xenotimů ( $Gd/Yb_{CN} = 1,4$ ) odlišuje od xenotimů hydrotermálních žil z obou lokalit ( $Gd/Yb_{CN} = 0,47-1,31$ ; obr. 6). Mírou substituce REE a dokonce i velikostí Eu anomálie jsou si však autigenní xenotimy a žilné xenotimy z Podhůry velmi podobné. Obsahy U, Th, F a dalších prvků mohou na různých lokalitách souviset s jejich různou lokální dostupností a také míra frakcionace REE může odrážet rovněž lokálně proměnlivý obsah REE-komplexujících ligandů v matečných roztocích. Můžeme tedy konstatovat, že rozdíly v chemismu autigenních a žilných xenotimů nejsou až tak velké. Nelze vyloučit, že



by podobné rysy v chemismu mohly indikovat jejich shodný původ v jedné a téže (povariské!) fázi hydrotermální aktivity. Budoucí výzkumy v dané oblasti, doufejme spojené s dalšími nálezy xenotimu ve vhodných paragenezích, snad umožní další posun při interpretacích geneze této zajímavé minerální fáze. Stálá negativní Eu anomálie xenotimu-(Y) z lokality Podhůra vzhledem k nízkoteplotnímu charakteru doprovodné primární mineralizace velmi pravděpodobně odráží stabilní nízké Eh matečných fluid (např. BAU a MÖLLER 1992; LEE *et al.* 2003; KUČERA *et al.* 2009). Tento předpoklad je zcela v souladu se zvýšenými obsahy  $\text{Fe}^{2+}$  a  $\text{Mn}^{2+}$  v hostitelských karbonátech (tab. 2), absencí minerálů obsahujících tyto prvky v oxidované podobě (např. hematit, goethit, Mn-oxidy) a také i téměř úplnou absencí prvků ve vysokých valenčních stavech ( $\text{S}^{6+}$ ,  $\text{As}^{5+}$ ,  $\text{V}^{5+}$ ) ve vlastním xenotimu. Absence pozitivní Yb anomálie je dokladem nízkoteplotního charakteru studovaného xenotimu (BAU a MÖLLER 1992; BARKER *et al.* 2006).

Přebytek Cu a S oproti železu, zjištěný ve většině analýz bornitu z Podhůry, by mohl nasvědčovat kontaminaci těchto analýz Cu-S minerálem s nižším poměrem Me/S než má ideální bornit (1,50). S takovou interpretací by byla v souladu i těsná asociace bornitu s Cu-sulfidy, které navíc často tvoří četné jemné vlasové žilečky v bornitu (obr. 7f). Stanovené chemické složení Cu-S fázi však toto vysvětlení nepodporuje, neboť jejich poměry Me/S se – s výjimkou jediné analýzy spionkopitu (Me/S = 1,32) a jedné analýzy geeritu (Me/S = 1,49) – pohybují ve výrazně vyšších hodnotách (Me/S = 1,54–1,90). Z uvedeného je tedy zřejmé, že zjištěný posun v chemismu bornitu má příčinu jinde. Jak z experimentálních syntéz, tak z přírodních výskytů jsou známy sírou bohaté tzv. anomální bornity (např. YUND a KULLERUD 1966; DOLNÍČEK a ULMANOVÁ 2018), jež by měly být podle experimentů stabilní za teplot nad cca 400 °C (YUND a KULLERUD, 1966). Vzhledem k texturně jasně patrné supergenní/cementační genezi tohoto minerálu na lokalitě Podhůra (srov. DURAZZO a TAYLOR 1982; AMCOFF 1988) je zřejmé, že sírou bohaté bornity mohou v přírodních systémech vznikat i za velmi nízkých teplot.

## ZÁVĚR

Nově zjištěná měděná mineralizace je v lomu Podhůra vázána na strmé hydrotermální žíly směru SZ-JV, protínající zvrásněné souvrství drob a břidlic hradecko-kyjovického souvrství. Žilovina je tvořena zejména bílým až růžovým kalcitem s četnými inkluzemi dolomitu až Fe-bohatého dolomitu a křemene. Ojedinele byly v karbonátech zaznamenány i drobné inkluze xenotimu-(Y). Chalkopyritové zrudnění (s mikroskopickým pyritem) má povahu drobných vtoušenin či dlouze protažených čoček v karbonátové žilovině. V přípo- vrchových partiích žil byla zjištěna i mineralogicky velmi bohatá asociace supergenních minerálů (celkem 11 druhů) s hojným *limonitem* a malachitem. Méně zastoupenými supergenními/cementačními fázemi jsou dále azurit, kuprit, měď, bornit a Cu-sulfidy (djurleit, digenit/roxbyit, anilit, geerit a spionkopit). Primární zrudnění je texturně a mineralogicky podobné analogickým výskytům Cu mineralizace povariských žil v širší oblasti; vymyká se výskytem xenotimu-(Y), jenž je obecně na hydrotermálních žilách raritním minerálem. Z pohledu pestrosti supergenní/cementační minerální asociace patří lokalita Podhůra k nejbohatším lokalitám moravskoslezského kulmu.

## PODĚKOVÁNÍ

Výzkum byl realizován za finanční podpory Ministerstva kultury ČR v rámci institucionálního financování dlouhodobého koncepčního rozvoje výzkumné organizace Národní muzeum (DKRVO 2024-2028/1.II.a, 00023272). Recenzentům K. Kropáčovi (UP Olomouc a D. Ozdínovi (KU Bratislava) děkujeme za připomínky, které pomohly vylepšit původní verzi rukopisu.

## LITERATURA

- AMCOFF, Ö., 1988: Experimental replacement of chalcopyrite by bornite: textural and chemical changes during a solid-state process. – *Mineralium Deposita*, 23, 286–292.
- ANDERS, E., GREVESSE, N., 1989: Abundances of the elements: Meteoritic and solar. – *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 53, 197–214.
- BARKER, S. L. L., COX, S. F., EGGINS, S. M., GAGAN, M. K., 2006: Microchemical evidence for episodic growth of antitaxial veins during fracture-controll fluid flow. – *Earth and Planetary Science Letters*, 250, 331–344.
- BAU, M., MÖLLER, P., 1992: Rare earth element fractionation in metamorphogenic hydrothermal calcite, magnesite and siderite. – *Mineralogy and Petrology*, 45, 231–246.
- ČOPIAKOVÁ, R., ŠKODA, R., 2012: Vznik autigenního xenotimu-(Y) v podmínkách velmi slabé metamorfózy drob a břidlic moravsko-slezského kulmu. – *Acta Musei Moraviae, Scientia geologicae*, 97, 1, 55–69.
- DOLNÍČEK, Z., 2010: Xenotim-(Y) z rudní žíly na lokalitě Zlatý důl u Hluboček (kulm Nizkého Jeseníku). – *Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku v roce 2009*, 17, 133–135.
- DOLNÍČEK, Z., ULMANOVÁ, J., 2018: Texturně neobvyklá Cu sulfidická mineralizace a doprovodné minerály z alpské žíly od Markovic u Čáslavi. – *Bulletin Mineralogie Petrologie*, 26, 1, 78–89.
- DOLNÍČEK, Z., KROPÁČ, K., LEHOTSKÝ, T., ŠKODA, R., JAČKOVÁ, I., 2008: Nové petrografické, mineralogické a paleontologické výzkumy v lomu Podhůra (kra Maleniku, moravskoslezský kulm). – *Acta Musei Moraviae, Scientia geologicae*, 93, 91–112.
- DOLNÍČEK, Z., ZIMÁK, J., SLOBODNÍK, M., MALÝ, K., 2003: Mineralogy and formation conditions of the four types of hydrothermal mineralization from the quarry in Hrubá Voda (Moravo-Silesian Culm). – *Acta Universitatis Palackianae Olomucensis, Facultas Rerum Naturalium, Geologica*, 38, 7–22.
- DOLNÍČEK, Z., NEPEJCHAL, M., ULMANOVÁ, J., 2019: Řepová u Mohelnice – mineralogicky nejpestřejší žilný rudní výskyt v moravskoslezském kulmu. – *Bulletin Mineralogie Petrologie*, 27, 1, 109–135.
- DURAZZO, A., TAYLOR, L. A., 1982: Experimental exsolution textures in the system bornite-chalcopyrite: genetic implications concerning natural ores. – *Mineralium Deposita*, 17, 79–97.
- DVOŘÁK, J., 1955: Zpráva o nálezu hydrotermálních žil v oblasti hranického devonu. – *Přírodovědný sborník Ostravského kraje*, 16, 148–150.
- GADAS, P., HRAZDIL, V., 2000: Mineralogické nálezy u okolí Hranic na Moravě. – *Minerál*, 8, 5, 374–378.
- GERŠL, M., MATÝSEK, D., GERŠLOVÁ, E., 2013: Malachitové speleotémy ve Zbrašovských aragonitových jeskyních, Hranický kras. – *Acta Musei Moraviae, Scientia geologicae*, 98, 1, 59–64.
- HAVÍŘ, J., 2016: Variský vrásový systém odkrytý v lomu Podhůra (sv. okraj Českého masivu, kra Maleniku). – *Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku*, 23, 1–2, 66–70.
- HLOBILOVÁ, J., 1957: Chalkopyrit a malachit z Hrubé Vody u Olomouce. – *Časopis pro mineralogii a geologii*, 2, 449.
- KOPEČNÝ, K., 1955: Zrudnění kulmu v Hrabůvce u Hranic. – *Přírodovědný sborník Ostravského kraje*, 16, 82–88.
- KOTLÁNOVÁ, M., 2013: Mineralogická charakteristika polymetalického zrudnění z lokality Zlatý důl u Hluboček. – MS, bakalářská práce, Univerzita Palackého v Olomouci, 77 p.
- KOTLÁNOVÁ, M., 2015: Mineralogie a podmínky vzniku rudních žil z vybraných lokalit jihozápadní části nízko-jesenického kulmu. – MS, diplomová práce, PřF UP Olomouc, 117 p.
- KOTLÁNOVÁ, M., DOLNÍČEK, Z., 2014a: Bornit z hydrotermální mineralizace historického ložiska Zlatý důl u Hluboček (kulm Nizkého Jeseníku). – *Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku*, 21, 54–56.
- KOTLÁNOVÁ, M., DOLNÍČEK, Z., 2014b: Nález bornitu na hydrotermální žíle z údolí Uhřínovského potoka (kulm Nizkého Jeseníku). – *Minerál*, 22, 6, 513–515.
- KOTLÁNOVÁ, M., DOLNÍČEK, Z., KAPUSTA, J., 2014: Rzyi měď z historického ložiska Zlatý důl u Hluboček (kulm Nizkého Jeseníku). – *Minerál*, 22, 4, 324–326.
- KRMÍČEK, L., 2011: Předmezozoické žilné lamprofyry východní části Českého masivu. – MS, disertační práce, Masarykova univerzita Brno, 160 p.
- KRUŤA, T., 1966: Moravské nerosty a jejich literatura. – *Moravské museum, Brno*, 380 p.
- KUČERA, J., 2009: Povariské paleofluidní systémy v karbonských sedimentech Moravsko-slezského paleozoika. – MS, disertační práce, PřF MU Brno, 90 p.
- KUČERA, J., CEMPIREK, J., DOLNÍČEK, Z., MUCHEZ, P., PROCHASKA, W., 2009: Rare earth elements and yttrium geochemistry of dolomite from post-Variscan vein-type mineralization of the Nizký Jeseník and Upper Silesian Basins, Czech Republic. – *Journal of Geochemical Exploration*, 103, 69–79.
- LEE, S. G., LEE, D. H., KIM, Y., CHAE, B. G., KIM, W. Y., WOO, N. CH., 2003: Rare earth elements as indicators of groundwater environment changes in a fractured rock system: evidence from fracture-filling calcite. – *Applied Geochemistry*, 18, 135–143.
- LOSERT, J., 1962: Olověno-zinková ložiska a výskyt v Oderských vrších. – *Komunikáty Slezského ústavu ČSAV*, 20, 1–50.

- McLENNAN, S. M., 1989: Rare earth elements in sedimentary rocks: influence of provenance and sedimentary processes. - *Reviews in Mineralogy*, 21, 169-200.
- NEŠVARA, J., 1981: IG posudek na sesuv v kamenolomu Podhůra II. - MS, Geotest Ostrava.
- PAULÍŠ, P., 1993: Několik nových mineralogických nálezů na území České republiky. - *Minerál*, 1, 4, 25-26.
- POUCHOU, J. L., PICHOR, F., 1985: "PAP" ( $\phi\rho Z$ ) procedure for improved quantitative microanalysis. - In: ARMSTRONG, J. T. (ed.): *Microbeam Analysis*, 104-106. San Francisco Press, San Francisco.
- PŘÍCHYSTAL, A., 1986: Výskyty žil magmatických hornin v kulmských sedimentech v okolí Moravské brány. - *Zprávy o geologických výzkumech v roce 1985*, 164-165.
- SEJKORA, J., NOVOTNÝ, P., NOVÁK, M., ŠREIN, V., BERLEPSCH, P., 2005: Calciopetersite from Domašov nad Bystřicí, northern Moravia, Czech Republic, a new mineral species of the mixite group. - *Canadian Mineralogist*, 43, 4, 1393-1400.
- SLOBODNÍK, M., DOLNÍČEK, Z., 2001: Základní charakteristika fluid z hydrotermální mineralizace u Hrabůvky, Nížký Jeseník. - *Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku v roce 2000*, 52-54.
- TRDLÍČKA, Z., HOFFMAN, V., 1975: Untersuchungen der chemischen Zusammensetzung der Gangkarbonate von Kutná Hora (ČSSR). - *Freiberger Forschungshefte*, 6, 29-81.
- YUND, R. A., KULLERUD, G., 1966: Thermal stability of assemblages in the Cu-Fe-S system. - *Journal of Petrology*, 7, 454-548.
- ZIMÁK, J., 1997: Hydrotermální zrudnění v lomu u Hrubé Vody (kulm Nížkého Jeseníku). - *Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku v roce 1996*, 4, 92-93.
- ZIMÁK, J., 1999: Hydrotermální mineralizace v lomu „Podhůra“ u Lipníka nad Bečvou. - *Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku v roce 1998*, 6, 99-100.
- ZIMÁK, J., NOVOTNÝ, P., 2002: Minerály vzácných zemin na hydrotermálních žilách v kulmu Nížkého Jeseníku a Oderských vrchů. - *Časopis Slezského muzea Opava (A)*, 51, 179-182.
- ZIMÁK, J., VEČERA, J., 1991: Mineralogická charakteristika Cu-Pb zrudnění na lokalitě „Zlatý důl“ u Hluboček-Mariánského Údolí u Olomouce. - *Acta Universitatis Palackiana Olomucensis, Facultas rerum naturalium, Geographica-Geologica*, 30, 63-74.
- ZIMÁK, J., LOSOS, Z., NOVOTNÝ, P., DOBEŠ, P., HLADÍKOVÁ, J., 2002: Study of vein carbonates and notes to the genesis of the hydrothermal mineralization in the Moravo-Silesian Culm. - *Journal of the Czech Geological Society*, 47, 3-4, 111-122.
- ZIMÁK, J., NOVOTNÝ, P., DOBEŠ, P., 2005: Hydrothermal mineralization at Domašov nad Bystřicí in the Nížký Jeseník Uplands. - *Bulletin of Geosciences*, 80, 3, 213-221.