ISSN 1211-8796

Acta Mus. Moraviae, Sci. geol.
LXXXXII (2007): 75–91, 2007

MINERÁLY SKUPINY JAROSITU ZE SULFIDICKÝCH PARAGENEZÍ VÝCHODNÍ ČÁSTI ČESKÉHO MASIVU

MINERALS OF THE JAROSITE GROUP FROM SULPHIDE-BEARING ASSEMBLAGES ON THE EASTERN MARGIN OF THE BOHEMIAN MASSIF

PAVLA DOKOUPILOVÁ & PETR SULOVSKÝ

Abstract

Dokoupilová, P., Sulovský, P. 2007: Minerály skupiny jarositu ze sulfidických paragenezí východní části Českého masivu. Acta. Mus. Moraviae, Sci. geol., 92, 75–91.

Minerals of the jarosite group from sulphide-bearing assemblages on the eastern margin of the Bohemian Massif

The article is devoted to the study of the jarosite group minerals from supergene zone of various sulphide-bearing assemblages (polymetalic Pb–Zn ores, pyrite-graphite rocks), emerging in connection with mining activities at the eastern margin of the Bohemian Massif. The most common species on the studied localities were jarosite (K = 0,50–0,88 apfu, Fe^{3+} = 2,63–3,00 apfu), whereas hydroniumjarosite (H_3O = 0,55–0,76 apfu, Fe^{3+} = 2,82–3,00) and plumbojarosite (Pb^{2+} = 0,35–0,48 apfu, Fe^{3+} = 2,64–2,92 apfu) are a less extended. Both Al- and P-bearing jarosites occur in locality Utín near Havlíčkův Brod. The proportions of individual end-members of the jarosite family varies in dependence on the temperature, pH, buffering capacity of the country rocks, and on availability of jarosite-forming elements (K^+, Na^+, Pb^{2+}, Fe^{3+}, SO_4^{2-}).

Keywords: jarosite, hydroniumjarosite, plumbojarosite, chemical composition, supergene zone, environment, Bohemian Massif

Pavla Dokoupilová, Institute of Geological Sciences, Masaryk University, Kotlářská 2, 611 37 Brno, e-mail: PavlaDokoupil@seznam.cz

Petr Sulovský, Department of Geology, Palacký University, tř. Svobody 26, 771 46 Olomouc, e-mail: sulovsky@sci.muni.cz

Úvod

Minerály skupiny jarositu se nejčastěji vyskytují jako sekundární minerály v kyselých, sulfidy bohatých prostředích. Jsou dobrými indikátory silně kyselých prostředí (na rozdíl od goethitu – α-FeOOH a schwertmannitu – $Fe_8O_8(OH)_6SO_4$, které jsou konečné produkty zvětrávání pyritu v slabě kyselých nebo neutrálních prostředích) (Sasaki a Konno 2000). Jarosity jsou také využívány jako indikátory paleoklimatických podmínek (Drouet a Navrotsky 2003).

V současnosti jsou minerály jarositové skupiny předmětem zejména environmentálních studií. Uvolňování síranů v kyselých prostředích AMD (acid mine drainage) za přístupu kyslíku a vody, ale i uvolňování ostatních nebezpečných prvků do půd a vod se dá eliminovat vytvořením nepropustných bariér, jejichž součástí, za dostatku SO_4, Fe a alkálií mohou být i jarosity. Principem imobilizace je zabudování volných alkálií a toxických prv-

ků do nerozpustných sekundárních fází jako je jarosit, schwertmannit a goethit, které jsou schopny zachytit SO_4 a toxické částice Pb, Cr, As. Vytvoření těchto minerálů může ovlivnit mobilitu polutantů a řídit jejich koncentraci v povrchových vodách (GASHAROVA 2002). Od 80. let 20. století se využívá tvorba minerálů skupiny jarositu jako samotěsnící izolace a fixace, srážením nerozpustných minerálů na geochemických rozhraních. Technicky se využívá i možnost srážení jarositů jako metody úpravy kyselých odpadních systémů, odstranění průmyslových odpadů v hydrometalurgii a také pro skladování odpadního alkalického popílku z elektráren (DUTRIZAC a JAMBOR 2000, SONDI *et al.* 2001, DING *et al.* 2002).

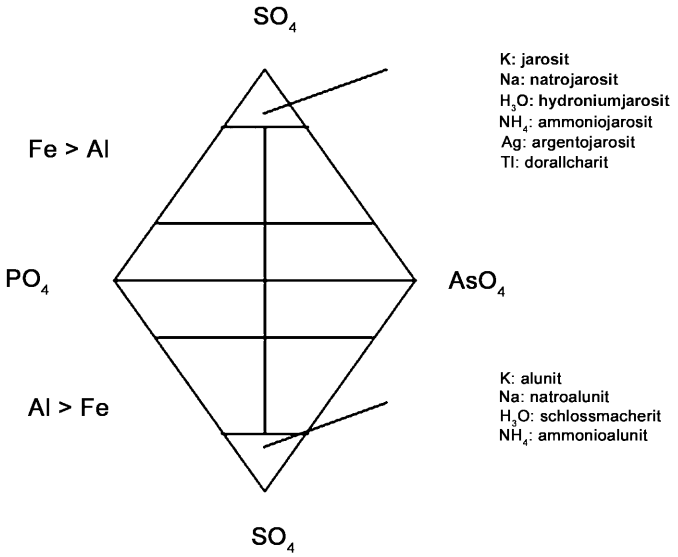
Alunito-jarositová skupina

Jarosity jsou členy skupiny izostrukturních minerálů alunito-jarositové skupiny. Obecný vzorec minerálů této skupiny je $AB_3(XO_4)_2(OH)_6$, kde do pozice A vstupuje velký ion (převážně jednomocný nebo dvojmocný) K^+, Na^+, Ca^{2+}, Pb^{2+}, NH_{4+}, Ag^+, H_3O^+, Ba^{2+}, Tl^+ (I), Sr^{2+}, Bi^{3+}, REE^{3+}, Th^{4+}, U^{4+} (SCOTT 1987, 2000, JANSA *et al.* 1994, DROUET a NAVROTSKY 2003). U některých minerálů se vyskytuje v A-pozici vakance (např. u plumbojarositu), pokud je pozice obsazována dvojmocným kationem, jako Ca^{2+}, Ba^{2+}, Pb^{2+} (JANSA *et al.* 1994, SCOTT 2000). V B-pozici je trojmocný Fe^{3+} (u jarositů) nebo Al^{3+} (u alunitů) ion, ale mohou zde vstupovat také dvojmocné Cu^{2+}, Zn^{2+}. Anionová část vzorce XO_4 zahrnuje $(SO_4)^{2-}$, $(PO_4)^{3-}$, $(AsO_4)^{3-}$, ale také $(CO_3)^{2-}$, $(SbO_4)^{3-}$, $(CrO_4)^{2-}$, $(SiO_4)^{2-}$ (SCOTT 1987, 2000, JANSA *et al.* 1994).

Základní klasifikace této skupiny je založena na návrhu SCOTTA (1987), pro klasifikaci systému alunito-jarositových minerálů, který byl přijat Komisí pro nové minerály a jména minerálů (CNMMN) Mezinárodní mineralogické asociace .

Klasifikace je založena na:

1) dominanci Fe^{3+} nebo Al^{3+} na B pozici
2) dominantním kationu na A pozici
3) poměru $(SO_4)^{2-}$, $(AsO_4)^{3-}$ a (PO_4) 3- v pozici XO_4 s hranicemi 0,5 a 1,5 vzorcové jednotky $(SO_4)^{2-}$



Obr. 1. Klasifikace alunito-jarositové skupiny podle DUTRIZACA a JAMBORA (2000) vycházející z klasifikace SCOTTA (1987).
Fig. 1. DUTRIZAC and JAMBOR (2000) classification of the alunite-jarosite group results from SCOTT (1987) classification.

4) použití přídavných modifikujících slov k označení významného množství dalších iontů na A a B pozicích (SCOTT 1987, 2000).

Klasifikace slouží k základnímu rozdělení mezi Fe^{3+} a Al^{3+} bohatými skupinami (obr. 1) (SCOTT 2000).

Podrobné studie této skupiny prokázaly nedostatek (vakance) v „alkalickém" obsazení A-pozice a v obsazení Fe-pozice (B-pozice). Vakance v A-pozici jsou pravděpodobně kompenzovány hydroniovými ionty. Nábojový deficit v B-pozici je kompenzován přeměnou některých SO_4^{2-} na HSO_4^- (DUTRIZAC 2003), nebo je vyrovnáván přítomností H_2O molekul na místě OH- skupin (BARON a PALMER 1996, DROUET a NAVROTSKY 2003).

V jarositech je ion A-pozice ve 12-ti četné koordinaci mezi 6 kyslíky a 6 $(OH)^-$ skupinami. Fe^{3+} je v 6-ti četné koordinaci mezi 4 (OH)- skupinami a 2 kyslíky. A-pozice je velice tolerantní k ionové velikosti (BROPHY *et al.* 1962, SCOTT 1987). Minerály jarositové skupiny jsou charakteristické trigonální symetrií, s některými výjimkami, prostorová grupa $R^{\bar{}}$3m nebo R3m (BROPHY *et al.* 1962, ALPERS *et al.* 2000). Mřížkové parametry se mění v závislosti na složení jarositů, pohybují se okolo hodnot a = ~7,3 Å, c = ~17 Å, u plumbojarositu je mřížkový parametr c dvojnásobný c = ~33–34 Å (ALPERS *et al.* 2000).

Minerály skupiny alunitu a jarositu vznikají v různých geologických podmínkách – hydrotermálních, metamorfních, supergenních, autigenních aj. (JANSA *et al.* 1994).

Jarosity jsou nejčastěji hlinitého nebo zemitého vzhledu, tvoří však i drobně krystalické povlaky (KRUŤA 1966, BERNARD a ROST *et al.* 1992). Jarosity jsou žluté až hnědé, jsou tedy velmi podobné barvou limonitu, který doprovází na mnoha ložiscích. Rozeznávání mezi nimi může být náročné (DUTRIZAC a JAMBOR 2000).

Přehled výzkumu minerálů jarositové skupiny

Minerály skupiny jarositu jsou v současnosti na území Moravy pokládány za relativně hojné (dosud je odtud znám jarosit, plumbojarosit a hydroniumjarosit), avšak až na výjimky nebyly jejich nálezy dosud přesněji určeny exaktními metodami a publikovány.

Poprvé byl jarosit v zájmové oblasti popsán a analyzován Kovářem (in BURKART 1953) v r. 1903 na grafitovém ložisku v Sychotíně (u Kunštátu). Dalším známým výskytem bylo tehdy také nedaleké grafitové ložisko Velké Tresné. Na základě optického a krystalografického výzkumu popsal SEKANINA (1934) jarosit v grafitické hornině z opuštěných dolů na pyrit v Petrově u Kunštátu. Z Popic u Jihlavy určil a analyzoval PELÍŠEK (1944), plumbojarosit, pocházející z pokusného kutání na Pb–Zn rudy. Později byl plumbojarosit identifikován i z dalších lokalit na Jihlavsku (Jihlava, Kosov, Rančířov, Jezdovice) J. Miškovským, avšak k publikaci nedošlo a výsledky analýz se nezachovaly. Řadu lokalit jarositu, ovšem bez jakýchkoliv chemických nebo rentgenometrických dat, uvádí zejména topografická mineralogie KRUTI (1966). Vedle již dříve známých výskytů v grafitických horninách s pyritem a některých rudních ložisek z ní vyplývá hojná přítomnost jarositu v některých kvarcitech na západní Moravě. Jarosit určený rentgenometricky uvádějí z grafitových ložisek Bobrovník (keprnická klenba) a Velké Vrbno-Konstantin (velkovrbenská jednotka) ZIMÁK a GÁBA (1990). Hydroniumjarosit uvádí jako produkt kyzového zvětrávání ze Sahrovy štoly u Čížova (u Znojma) CÍLEK (1998), analýzu hydroniumjarositu ze Zlatých Hor ve Slezsku zveřejnili FOJT *et al.* (2001). V nedávné době se minerály skupiny jarositu v této oblasti zabývala DOKOUPILOVÁ (2005).

Metodika

Minerály jarositové skupiny byly sbírány v terénu (haldy, oxidační části rudních žil), částečně pocházejí ze sběrů prof. B. Fojta (MU Brno) a Dr. K. Malého (Muzeum Vysoči-

ny, Jihlava) a ze sbírky mineralogicko-petrografického odd. Moravského zemského muzea, v Brně (MZM). Při jejich studiu bylo využito několik metod.

Difrakční záznamy byly načteny přístrojem STOE Stadi P v transmisním módu za použití záření CoKl (1,788965×10^{-10} m), monochromatizované primárním monochromátorem Ge (111), parametry generátoru 40kV, 25 mA, detekce pozičně citlivým lineárním detektorem plněným směsí Ar-metan (P10). Práškové difrakční analýzy (dále RTG analýzy) provedl V.Vávra na ústavu geologie PřF MU Brno. Infračervené absorpční analýzy (dále IR analýzy) byly provedeny metodou KBr tablet.

Mikrosondové analýzy leštěných výbrusů z hornin a nábrusů z úlomků a volných zrn provedl RNDr. Petr Sulovský, Ph.D. na elektronové mikrosondě CAMECA SX 100 na pracovišti elektronové mikroskopie a mikroanalýzy ÚGV PřF MU za těchto podmínek: urychlovací napětí 15 kV, proud svazku 10nA, průměr svazku podle velikosti jarositových individuí 1–3 μm. Byly použity následující analytické čáry a minerální či syntetické standardy: Fe Kα – andradit, Cu Lα – chalkopyrit, Pb Mα – vanadinit, S Kα, Ba Lα – baryt, Na Kα, Al Kα – albit, Si Kα – olivín, Zn Kα – sfalerit, Ag Lα – kovové Ag, P Kα – apatit, As Lα – InAs, K Kα – sanidin, Cs Kα – pollucit. Získaná data byla korigována na absorpci, fluorescenci a atomové číslo programem PAP.

Chemické analýzy (uvedená analýza č. 37) provedl P. Kadlec a I. Zavadilová na ústavu geologických věd PřF MU Brno.

K přepočtu analýz na vzorce minerálů byl použit program Mincalc 99. Vzorce jsou počítány na $S^{6+} + As^{5+} + P^{5+} = 2$, součet alkálií + hydroniové skupiny = 1. Takto vypočtené vzorce zohledňují parciální substituce na pozici A a vakance na B pozici. Vyvážený vzorec pro jarosit pak je $A_{1-x-y}M_y(H_3O)_xFe_zAl_w(SO_4)_2(OH)_{6-3(3-z-w)}(H_2O)_{(3-(3-z-w)}$. Tento postup je zveřejněn v práci Drouta *et al.* (2004). Ternární diagramy byly vytvořeny v programu Triplot. Pro zařazení minerálů jarositové skupiny byla použita klasifikace Scotta (1987).

Přehled studovaných lokalit

Čížov u Znojma – Kozí stěny

Kozí stěny leží ve střední části NP Podyjí poblíž Klaperova potoka nad mohutným meandrem Dyje asi 1,5 km jižně od obce Čížov. Přibližně v horních dvou třetinách svahu Kozích stěn, pod vyhlídkovou cestou, leží dvě ručně sekané štoly. Delší z nich se nazývá Sahrova štola. Představuje ukloněné, 16 m dlouhé důlní dílo o šířce až 4 m. Výchoz samotný je tvořen horninami lukovské jednotky, poloha se sekundárními minerály je v sousedství poloh kvarcitů, biotitických svorů, amfibolitů a erlanů, štola sleduje rozhraní biotitického svoru a mramoru. Na kontaktu obou hornin vystupuje limonitizovaná poloha se sekrečními křemeny. Zrudnění sleduje plochu foliace. Zprávu z mineralogického výzkumu uveřejnil Cílek (1993). Popisuje zde epsomit, pickeringit a sírany s obsahem Mg–Al a K–Fe–Mg. Ze štoly byl popsán také hydroniumjarosit a pro zmíněnou paragenezi netypický sepiolit (Cílek 1993, 1998). Studované žluté povlaky byly odebrány ze stěn štoly (obr. 2).

Jezdovice u Třeště

Studované vzorky pocházejí z rozsáhlých odvalů po dolování v 18. století (prostor Staré šachty na jezdovické hlavní žíle směru SV-JZ , též Prachovna), ležících asi 1 km Z od Jezdovic. Křemenná žílovina, lokálně obsahující i Ca–Fe–Mg karbonáty, je relativně bohatá pyritem, černým Fe-sfaleritem, lokálně i galenitem a vzácněji arzenopyritem, chalkopyritem a tetraedritem. Žluté sekundární minerály tvoří výplně dutin po rozvětralém galenitu i povlaky na křemeni.

Obr. 2. Sahrova štola, pohled na polohu se sekundárními minerály, vlevo Mgr. Šmerda (foto: P. Dokoupilová).
Fig. 2. The Sahrova gallery, on the left is Mgr. Šmerda, The perspective on the place with the secondary mineralization.

Rančířov u Jihlavy

Rozsáhlé dobývky na pásmu Rančířovských šachet leží asi 1 km S od Rančířova, vlevo od silnice do Jihlavy v prostoru rudních žil tzv. Rančířovské zátočiny. Zrudnění tvořené zejména sfaleritem a galenitem je vázáno na křemenné až křemen-barytové žíly směru S-J a vtroušeniny v grafitem obohacených silně tektonicky deformovaných rulách. Studované vzorky z MZM – představovaly křemennou žílovinu s galenitem a žlutými práškovitými povlaky sekundárních minerálů, pocházejí z hald dolu u zaniklé myslivny (prostor Kunstšachty, vyzmáhané v 18. století).

Dlouhá Ves u Havlíčkova Brodu

Vysokoteplotní rudní žíly u Dlouhé Vsi patří do havlíčkobrodského rudního obvodu s Pb–Zn–Ag ložisky. Zrudnění je typické zvýšeným obsahem Cu při celkově nízkém obsahu Pb. Minerální asociace je reprezentována pyritem, arzenopyritem, pyrhotinem, chalkopyritem, valleriitem, sfaleritem, galenitem, dyskrasitem, kassiteritem, ryzím bismutem, bismutinem a molybdenitem. Nejvýznamnější je tmavý sfalerit, méně je zastoupen chalkopyrit, pyrit a galenit. Hojným sekundárním minerálem v žilovině je sekundární limonit, vzácně se vyskytuje malachit, v cementační zóně chalkozin, covellin a bornit (Hak a Kühn 1962, Hak a Novák 1973). Vzorky byly odebrány z hald, nacházejících se asi 1,5 km V od obce z hloubky cca 20 cm. Makroskopicky jde o biotitické pararuly s povlaky žlutého práškovitého minerálu.

Stříbrné Hory u Přibyslavi - Pekelská štola

Pekelská štola (Hollen Stollen – ležící 1 km SSV od Stříbrných Hor nad pravým břehem Borovského potoka) štola pochází ze středověku a byla několikrát vyzmáhána, naposledy za II. světové války a po ní. Její stěny jsou na mnoha místech povlečeny žlutými a hnědými povlaky sekundárních minerálů, mezi nimiž je relativně hojný jarosit (obr. 7). Žluté práškové vzorky k analýze byly odebrány u ústí šachty, kterou byla štola zastižena v 50. letech. Dnes jsou přístupné pouze poměrně zachovalé a rozsáhlé haldy. Z rudních minerálů tam byl makroskopicky potvrzen pyrit, sfalerit, galenit, pyrhotin, arzenopyrit, ze sekundárních minerálů je hojný jarosit – ústní sdělení Dr. Malého.

Utín – kamenolom

V částečně zatopeném lomu založeném v migmatitizovaných pararulách, 300 m jjv. od Štukhejlského mlýna, vystupují na několika místech polymetalické křemenné žíly s pyritem, černým sfaleritem, pyrhotinem a relativně vzácným galenitem. V okolí žil jsou hojné projevy alterace, mj. pyritizace (DOBEŠ a MALÝ 2001). Vzorky pocházejí ze žíly (mocnost cca 20 cm, šířka alterace do 1,5 m) v nejvýchodnější části lomu, nad bývalou drtičkou. Galenit byl v této části žíly zjištěn pouze jako mikroskopický (ústní sdělení Dr. Malého 2005).

Horní Město u Rýmařova

Výskyty sulfidů barevných kovů v širším okolí Horního Města jsou vázány na horniny spilito-keratofyrové formace a v nich pak výlučně na jejich kyselé členy. Hlavním rudním minerálem zrudnění je pyrit, dále pak sfalerit a galenit. Arzenopyrit a chalkopyrit tvoří na této lokalitě vedlejší sulfidické minerály, ostatní rudní složky – tetraedrit, proustit, pyrargyrit, ryzí stříbro, molybdenit, pyrhotin, rutil, ilmenit, leukoxen, magnetit, hematit, je možno přiřadit k akcesorickým komponentám. Nejrozšířenějším hlušinovým minerálem je křemen a karbonáty (kalcit), dále živce slídy, baryt a sporadicky fluorit (FOJT 1966, FOJT *et al.* 1993). Vzorky byly odebrány z odvalu v roce 2002 uzavřené Nové jámy.

Velké Vrbno – ložisko Konstantin

Těžené ložisko grafitu v mramorech, otevřené povrchovým lomem, leží asi 500 m Z od malé osady Velké Vrbno (obec Staré Město), a jej lze rozdělit na dvě části – severní a jižní. V obou částech je silná poruchová zóna směru SSV-JJZ s variabilními úklony k západu. Tato tektonická linie je vyplněna grafitem se značným obsahem popelovin a hlinitých příměsí. Tektonika probíhá mezi nadložní slojí „Zpátečka“ a podložní „Platejs“. Sloj „Platejs“ je představována masivní grafitickou pyritizovanou břidlicí, místy značně tektonicky postiženou (ŠMŮLA 1987). Studované vzorky byly odebrány ze starší haldičky.

Vernířovice-Zadní Hutisko

Jednou z nejvýznamnějších oblastí těžby magnetitových rud v okolí Vernířovic je jihozápadní svah Zadního Hutiska (kóta 1209 m, dříve označovaná jako „Hintere Hüttellehne“, na novějších mapách někdy jen jako „Hutisko“, případně jako „Homole“). Ložiskový pruh se od vrcholové části zadního Hutiska táhne zjz. směrem ke Švagrovu (FOJT 2000, FOJT a ZIMÁK 2002). Z haldového materiálu a dosud přístupných dobývek v prostoru ložiska Zadní Hutisko je zřejmé, že zde těžené železné rudy jsou typickým reprezentantem páskovaných křemen-magnetitových rud v desenských rulách (FOJT a ZIMÁK 2002). V dosud přístupné štole jsou FOJTEM (2000) popisovány „načechrané“ stropy s odlupujícími se bloky biotitové ruly, je zde odkryt profil magnetit – křemennou páskovanou rudninou v nadloží s polohou pyritu. Na ní jsou popisovány žluté práškové povlaky a shluky jarositu. Tyto povlaky zmiňují i FOJT a ZIMÁK (2002).

Vernířovice-Kyzový důl

Rudní výskyt s historickým názvem „Kiessgrund“ (Kiesskessel aj.) se nachází cca 500 m jižně od Františkovy Myslivny ve velmi prudkém svahu nad údolím levostranného přítoku Merty. Jde o lokalitu, která patří mezi předdevonské „páskované křemeno-magnetitové“ rudy tvořící významný statigrafický horizont v desenských rulách. Důležitost této lokality podtrhuje skutečnost, že se zde vyskytují i polohy pyritu. Páskované magnetit-křemenné stratiformní polohy, mocné až 1,8 m, jsou součástí bitotických, částečně chloritizovaných desenských rul. Zrudněné partie obsahují místy kalcitové čočky s vtroušeným magnetitem a pyritem. V přímém nadloží tohoto typu zrudnění je poloha hustě nahloučeného pyritu v amfibol-chloritické břidlici s kalcitem mocnosti 0,15 až 0,6 m. (FOJT a ZIMÁK 1994).

Vzorky jsou představovány povlaky žlutého práškového minerálu na rule, byly odebrány přímo z výchozu zrudněných rul.

Zlaté Hory-západ

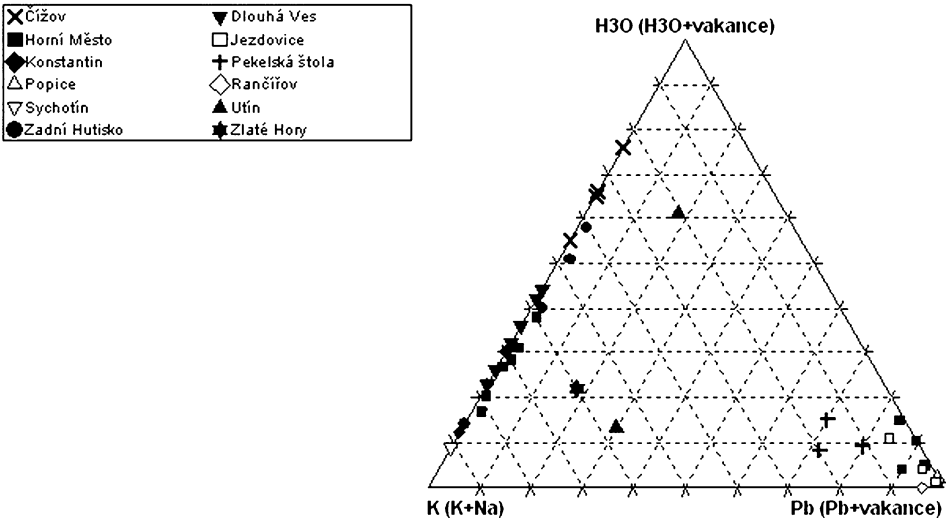
Rudní mineralizace ve zlatohorském rudním revíru je tvořena v převážné většině nekontrastními tělesy sulfidických rud s výraznou převahou pyritu, kde užitkové minerály (chalkopyrit, sfalerit, galenit a zlato) tvoří jen doprovodnou složku sulfidické mineralizace. Vyskytuje se tu několik samostatných paragenezí primárních i sekundárních minerálů (FOJT *et al.* 2001). Na celém území Zlatých Hor se rozlišují různé typy zvětrávání a tvorba sekundárních minerálů, rozdílnost je dána horninovým prostředím, minerálním složením rudnin a sezónními vlivy. Ze sekundárních minerálů je rozšířený limonit (směs oxyhydroxidů železa). Dále je přítomen schwertmannit, ferrihydrit, goethit, lepidokrokit a hydroniumjarosit. V oblasti Zlaté Hory-západ, odkud byl vzorek odebrán, omezuje pH prosakujících supergenních vodních fluid množství minerálních druhů jen na oxyhydroxidy železa (FOJT *et al.* 2001). Vzorky byly odebrány z tzv. velké pyritové dobývky.

Charakteristika složení studovaných minerálů

Z minerálů jarositové skupiny byly na Moravě a ve Slezsku dosud identifikovány pouze ***jarosit, hydroniumjarosit a plumbojarosit*** (KOVÁŘ in BURKART 1953), SEKANINA (1934), PELÍŠEK (1944), CÍLEK (1993). Nejhojnějším ze všech analyzovaných vzorků je jarosit (obr. 3). To je pravděpodobně důsledkem toho, že je jedním z nejstabilnějších členů jarositové skupiny.

Jarosit

Jako *jarosit* byly určeny vzorky z lokalit Dlouhá Ves, Horní Město u Rýmařova, Velké Vrbno-Konstantin, Vernířovice-Zadní Hutisko, Kyzový důl a Zlaté Hory. Chemické složení jarositů kolísá, obsahy K se v jarositech pohybují od 0,50 do 0,88 apfu, zbylé místo obsazují H_3O iony a vakance. Do všech jarositů vstupuje malé množství Na ≤0,08 apfu (tab. 3, obr. 3). Obsahy SO_4 jsou stálé 1,92–2,00 apfu, na některých lokalitách je SO_4 v malé míře



Obr. 3. Ternární diagram H_3O–K–Pb. Zobrazené body odrážejí složení analyzovaných jarositů. Jarosit ze Zlatých Hor neobsahuje Pb, ale jiné dvojmocné prvky – Ca a Mg.

Fig. 3. Ternary plot H_3O–K–Pb. The spots show the composition of the analyzed jarosites. The jarosite from the Zlaté Hory does not contain Pb but other bivalent elements – Ca and Mg.

Tabulka 1. RTG prášková difrakce plumbojarositu z Horního Města (vzorek z MZM Brno) ve srovnání s plumbojarositem z databáze JCPDS.

Table 1. X-ray powder diffraction pattern of the plumbojarosite from Horní Město (sample from MZM Brno), correlation with JCPDS database.

plumbojarosit pdf number 39-1353			plumbojarosit H. Město vzorek z MZM	
d (Å)	I_{rel} (%I)	hkl	d (Å)	I_{rel} (%I)
5,925	18	0 1 2	5,929	50
5,054	5	1 0 4	5,066	8
3,656	14	1 1 0	3,660	31
3,507	2	0 1 8	3,494	6
3,111	18	2 0 2	3,117	19
3,061	100	1 1 6	3,070	100
2,962	14	0 2 4	2,969	13
2,807	45	0 0 12	2,816	8
2,530	25	2 0 8	2,525	2
2,302	9	2 1 4	2,307	9
1,9750	30	3 0 6	1,9802	24
1,9494	7	2 1 10	1,9559	3
1,8272	30	2 2 0	1,8321	23
1,6969	10	1 2 14	1,7029	3
1,6660	14	1 1 18	1,6713	1
1,5567	16	1 3 10	1,5608	5
1,5316	25	2 2 12	1,5361	8
1,4870	40	2 0 20	1,4856	3
1,4004	10	3 0 18	1,4044	2

Tabulka 2. RTG prášková difrakce jarositu z Horního Města ve srovnání s jarositem z databáze JCPDS.

Table 2. X-ray powder diffraction pattern of the jarosite from Horní Město correlation with JCPDS database.

jarosit pdf-number 36-427			jarosit Horní město	
d (Å)	I_{rel} (%)	hkl	d (Å)	I_{rel} (%)
5,930	20	1 0 1	5,931	14
5,080	60	1 2 0	5,092	51
3,660	18	1 1 0	3,655	14
3,116	70	0 2 1	3,114	44
3,075	100	1 1 3	3,082	77
2,971	6	2 0 2	2,972	3
1,9810	25	3 0 3	1,9820	20
1,8309	25	2 2 0	1,8293	17

(≤0,05 apfu) substituováno PO_4 (tab. 3, obr. 5). Iony AsO_4 do struktury analyzovaných jarositů prakticky nevstupují (do 0,01 apfu). Počet železitých ionů na vzorcovou jednotku se pohybuje 2,63–3, obsah Al je ≤0,3 apfu. Obsah železa vyšší než 3 apfu v některých analýzách je způsobem příměsí oxyhydroxidů Fe v jarositových agregátech (tab. 3, obr. 4).

I když okolní horniny na lokalitě **Dlouhá Ves** nabízí poměrně pestrou paletu prvků pro substituci, nacházejí se zde jarosity jednoduchého složení (viz obr. 3, tab. 3). Obsahy K se pohybují od 0,50 do 0,73 apfu. Do SO_4 pozice vstupuje do 0,02 apfu PO_4 a 0,01 AsO_4. Jarosity z lokality **Horní Město u Rýmařova** obsahují od 0,58 do 0,75 apfu K. Jsou velice podobného složení, do struktury těchto jarositů vstupuje kromě malého množství Na (≤0,06 apfu) také Ba (0,01 apfu) (tab. 3.). Z lokality byl určen i plumbojarosit. Jarosity z ložiska **Velké Vrbno-Konstantin** mají rovněž jednotné a jednoduché složení. Obsah K na alkalické pozici v analyzovaných vzorcích se pohybuje v rozmezí cca 0,70–0,88 apfu (viz tab. 3). Množství ostatních prvků je téměř zanedbatelné, za zmínku snad stojí pouze malý obsah P (tab. 3, obr. 5), který je uvolňován při rozkladu apatitu. Z analýz vyplynulo, že se na lokalitě **Vernířovice-Zadní Hutisko** spolu vyskytují jarosit i hydroniumjarosit. Množství draslíku v jarositu se pohybuje od 0,58 do 0,84 apfu (tab. 3, obr. 3). Kromě K vstupuje do pozice i Na 0,02 apfu a Ba 0,01 apfu (tab. 3). Jedná se relativně o nejčistější jarosity. Obsahy Al jsou zanedbatelné (0,01 apfu). Do SO_4 pozice nevstupují žádné jiné iony (tab. 3, obr. 5). Vznik a složení jarositu lokalitě **Vernířovice-Kyzový důl** je shodné s lokalitou Zadní Hutisko. Bohužel se v tomto případě nejednalo o čistý jarosit, ale o směs jarositu s jiným oxyhydroxidem Fe, proto nejsou analýzy uvedeny v tabulce. Na lokalitě **Zlaté Hory-západ** se v analyzovaných vzorcích objevilo vedle K (≤0,6) apfu v pozici A, také určité množství Mg^{2+} (0,05 apfu) a Ca^{2+}(0,04 apfu) (tab. 3, obr. 3).

Hydroniumjarosit

Hydroniumjarosit není tak vzácný, jak se dříve předpokládalo. Ze studovaných minerálů skupiny jarositu mu nejvíce odpovídá vzorek z lokality Čížov-Kozí stěny. Dále se nachází na lokalitě Vernířovic-Zadní Hutisko. Obsah hydroniové skupiny kolísá od 0,51 do

Tabulka 3. Přepočtené analýzy z mikrosondy na vzorce jarositu. Počítáno na $S^{6+} + As^{5+} + P^{5+} = 2$ a valenční vyrovnanost vzorce, obsah hydroniové skupiny dopočítán na $K^+ + Na^+ + (H_3O)^+ = 1$.

Table 3. Recount SEM analysis on the jarosite formula. Calculate for $S^{6+} + As^{5+} + P^{5+} = 2$ and valence equilibrium of the formula, content of the hydronium group calculate for $K^+ + Na^+ + (H_3O)^+ = 1$.

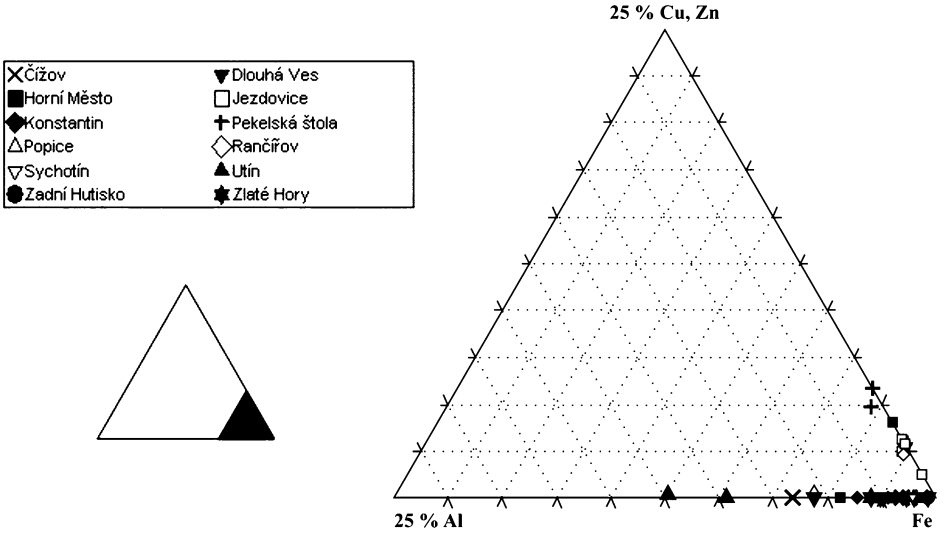
analýza č. 1	Čížov	$(H_3O, \square)_{0,76}K_{0,21}Na_{0,03}(Fe_{2,82}Al_{0,02})(SO_4)_2(OH)_{5,52}(H_2O)_{0,48}$
analýza č. 2	Čížov	$(H_3O, \square)_{0,66}K_{0,3}Na_{0,04}(Fe_{3,101}Al_{0,04})(SO_4)_2(OH)_6$
analýza č. 3	Čížov	$(H_3O, \square)_{0,65}K_{0,34}Na_{0,1}(Fe_{3,34}Al_{0,3})(SO_4)_2(OH)_6$
analýza č. 4	Čížov	$(H_3O, \square)_{0,63}K_{0,33}Na_{0,04}(Fe_{2,93}Al_{0,05})(SO_4)_2(OH)_{5,94}(H_2O)_{0,06}$
analýza č. 5	Čížov	$(H_3O, \square)_{0,55}K_{0,33}Na_{0,12}(Fe_{3,17}Al_{0,12})(SO_4)_2(OH)_6$
analýza č. 6	Pekel. št.	$Pb_{0,35}(\square)_{0,35}K_{0,13}(H_3O)_{0,15}Ag_{0,01}Na_{0,01}(Fe_{2,75}Zn_{0,09})((SO_4)_{1,95}(AsO_4)_{0,05})(OH)_{5,38}(H_2O)_{0,62}$
analýza č. 7	Pekel. št.	$Pb_{0,36}(\square)_{0,36}K_{0,17}(H_3O)_{0,08}Na_{0,03}(Fe_{2,92}Zn_{0,16}Cu_{0,02}Al_{0,02})((SO_4)_{1,97}(AsO_4)_{0,03})(OH)_6$
analýza č. 8	Pekel. št.	$Pb_{0,40}(\square)_{0,40}K_{0,09}(H_3O)_{0,09}Ag_{0,01}Na_{0,01}(Fe_{2,75}Zn_{0,1}Cu_{0,01})((SO_4)_{1,95}(AsO_4)_{0,05})(OH)_{5,39}(H_2O)_{0,61}$
analýza č. 9	Utín	$(H_3O, \square)_{0,61}K_{0,19}\ Pb_{0,09}(?)_{0,09}Na_{0,02}(Fe_{2,9}Al_{0,46})((SO_4)_{1,76}(PO_4)_{0,24})(OH)_6$
analýza č. 10	Utín	$K_{0,56}Pb_{0,15}(\square)_{0,15}(H_3O)_{0,13}Na_{0,01}(Fe_{2,21}Al_{0,54}Zn_{0,01})((SO_4)_{1,7}(PO_4)_{0,3})(OH)_{4,95}(H_2O)_{1,05}$
analýza č. 11	Dl. Ves	$K_{0,68}(H_3O, \square)_{0,26}Na_{0,06}(Fe_{3,19}Al_{0,09})(SO_4)_{1,97}(PO_4)_{0,02}(AsO_4)_{0,01}(OH)_6$
analýza č. 12	Dl. Ves	$K_{0,60}(H_3O, \square)_{0,36}Na_{0,04}(Fe_{2,85}Al_{0,03})(SO_4)_{1,99}(PO_4)_{0,01}(OH)_{5,62}(H_2O)_{0,38}$
analýza č. 13	Dl. Ves	$K_{0,73}(H_3O, \square)_{0,23}Na_{0,04}(Fe_{3,03}Al_{0,22})(SO_4)_{1,99}(PO_4)_{0,01}(OH)_6$
analýza č. 14	Dl. Ves	$K_{0,50}(H_3O, \square)_{0,44}Na_{0,06}(Fe_{2,89}Al_{0,02})(SO_4)_{1,99}(PO_4)_{0,01}(OH)_{5,74}(H_2O)_{0,26}$
analýza č. 15	Dl. Ves	$K_{0,60}(H_3O)_{0,32}Na_{0,08}(Fe_{3,04}Al_{0,08})(SO_4)_{1,99}(PO_4)_{0,01}(OH)_6$
analýza č. 16	Dl. Ves	$K_{0,51}(H_3O, \square)_{0,42}Na_{0,07}(Fe_{2,88}Al_{0,04})(SO_4)_{1,99}(PO_4)_{0,01}(OH)_{5,75}(H_2O)_{0,25}$
analýza č. 17	H. Město	$Pb_{0,47}(\square)_{0,47}(H_3O, \square)_{0,05}Na_{0,01}(Fe_{2,7}Cu_{0,08}Zn_{0,05})(SO_4)_2(OH)_{5,36}(H_2O)_{0,64}$
analýza č. 18	H. Město	$Pb_{0,44}(\square)_{0,44}(H_3O, \square)_{0,1}Ag_{0,01}Na_{0,01}(Fe_{2,7}Cu_{0,05}Zn_{0,04})(SO_4)_2(OH)_{5,28}(H_2O)_{0,72}$
analýza č. 19	H. Město	$Pb_{0,42}(\square)_{0,42}(H_3O, \square)_{0,15}Na_{0,01}(Fe_{2,83}Cu_{0,05}Zn_{0,04})(SO_4)_2(OH)_{5,67}(H_2O)_{0,33}$
analýza č. 20	H. Město	$Pb_{0,45}(\square)_{0,45}(H_3O, \square)_{0,04}Ag_{0,03}K_{0,03}(Fe_{2,88}Cu_{0,05}Zn_{0,05})(SO_4)_2(OH)_{5,84}(H_2O)_{0,16}$
analýza č. 21	H. Město	$K_{0,73}(H_3O, \square)_{0,2}Na_{0,05}Ba_{0,01}(Fe_{2,82}Al_{0,02})((SO_4)_{1,96}(PO_4)_{0,04})(OH)_{5,52}(H_2O)_{0,48}$
analýza č. 22	H. Město	$K_{0,67}(H_3O, \square)_{0,27}Na_{0,04}Ba_{0,01}(Fe_{2,64}Al_{0,06})((SO_4)_{1,96}(PO_4)_{0,04})(OH)_{5,11}(H_2O)_{0,89}$
analýza č. 23	H. Město	$K_{0,75}(H_3O, \square)_{0,17}Na_{0,06}Ba_{0,01}(Fe_{2,78}Al_{0,15})((SO_4)_{1,95}(PO_4)_{0,05})(OH)_{5,79}(H_2O)_{0,21}$
analýza č. 24	H. Město	$K_{0,58}(H_3O, \square)_{0,38}Na_{0,02}Ba_{0,01}(Fe_{2,96}Al_{0,09})((SO_4)_{1,97}(PO_4)_{0,02}(AsO_4)_{0,01})(OH)_6$
analýza č. 25	H. Město	$K_{0,64}(H_3O, \square)_{0,29}Na_{0,05}Ba_{0,01}(Fe_{3,41}Al_{0,08})((SO_4)_{1,95}(PO_4)_{0,04}(AsO_4)_{0,01})(OH)_6$
analýza č. 26	H. Město	$K_{0,62}(H_3O, \square)_{0,31}Na_{0,05}Ba_{0,01}(Fe_{3,27}Al_{0,07})((SO_4)_{1,95}(PO_4)_{0,04}(AsO_4)_{0,01})(OH)_6$
analýza č. 27	Konstan.	$K_{0,7}(H_3O, \square)_{0,3}\ (Fe_{2,59}Al_{0,11})((SO_4)_{1,92}(PO_4)_{0,08})(OH)_{5,02}(H_2O)_{0,98}$
analýza č. 28	Konstan.	$K_{0,88}(H_3O, \square)_{0,12}\ (Fe_{2,91}Al_{0,07})(SO_4)_2(OH)_{5,94}(H_2O)_{0,06}$
analýza č. 29	Konstan.	$K_{0,76}(H_3O, \square)_{0,23}Na_{0,01}(Fe_{2,77}Al_{0,01})((SO_4)_{1,98}(PO_4)_{0,02})(OH)_{5,32}(H_2O)_{0,68}$
analýza č. 30	Konstan.	$K_{0,76}(H_3O, \square)_{0,23}Na_{0,01}(Fe_{2,99}Al_{0,05})((SO_4)_{1,98}(PO_4)_{0,02})(OH)_6$
analýza č. 31	Konstan.	$K_{0,69}(H_3O, \square)_{0,31}\ (Fe_{3,07}Al_{0,01})(SO_4)_{1,98}(PO_4)_{0,02})(OH)_6$
analýza č. 32	Z. Hutisko	$(H_3O, \square)_{0,51}K_{0,47}Ba_{0,01}(Fe_{2,67}Al_{0,01})(SO_4)_2(OH)_{5,04}(H_2O)_{0,96}$
analýza č. 33	Z. Hutisko	$K_{0,84}(H_3O, \square)_{0,14}Na_{0,02}(Fe_{2,73}Al_{0,01})(SO_4)_2(OH)_{5,22}(H_2O)_{0,78}$
analýza č. 34	Z. Hutisko	$(H_3O, \square)_{0,58}K_{0,4}Ba_{0,01}(Fe_{2,81}Al_{0,01})(SO_4)_2(OH)_{5,46}(H_2O)_{0,54}$
analýza č. 35	Z. Hutisko	$K_{0,58}(H_3O, \square)_{0,4}Ba_{0,01}(Fe_{2,89}Al_{0,01})(SO_4)_2(OH)_{5,67}(H_2O)_{0,33}$
analýza č. 36	Zl. Hory	$K_{0,6}(H_3O, \square)_{0,22}\ (\square)_{0,09}Mg_{0,05}Ca_{0,04}(Fe_{2,63}Al_{0,09})(SO_4)_2(OH)_{5,16}(H_2O)_{0,84}$
analýza č. 37	Jezdovice	$Pb_{0,42}(\square)_{0,42}(H_3O, \square)_{0,1}Ag_{0,01}K_{0,03}Na_{0,02}(Fe_{2,91}Zn_{0,04})(SO_4)_2(OH)_{5,81}(H_2O)_{0,19}$
analýza č.38	Jezdovice	$Pb_{0,47}(\square)_{0,47}(H_3O, \square)_{0,04}K_{0,01}Na_{0,0}(Fe_{2,79}Zn_{0,08}Al_{0,01})(SO_4)_2(OH)_{5,56}(H_2O)_{0,44}$
analýza č. 39	Jezdovice	$Pb_{0,48}(\square)_{0,48}Na_{0,03}K_{0,01}(Fe_{2,77}Zn_{0,07}Cu_{0,03})(SO_4)_2(OH)_{5,51}(H_2O)_{0,49}$
analýza č. 40	Rančířov	$Pb_{0,48}(\square)_{0,48}K_{0,03}Na_{0,01}(Fe_{3,05}Zn_{0,0}Cu_{0,03})(SO_4)_2(OH)_6$
analýza č. 41	Sychotín	$K_{0,87}(H_3O, \square)_{0,08}Na_{0,05}(Fe_{3,48}Al_{0,04})(SO_4)_2(OH)_6$
analýza č. 42	Popice	$Pb_{0,49}(\square)_{0,49}\ K_{0,06}Na_{0,04}\ (Fe_{3,31}Al_{0,22})(SO_4)_2(OH)_6$

0,76 apfu. Do A-pozice analyzovaných hydroniumjarositů vstupuje K v množství 0,21–0,47 apfu, Na do 0,12 apfu a Ba do 0,01 apfu (tab. 3). Také všechny ostatní analyzované jarosity pravděpodobně obsahují hydroniovou skupinu.

Hydroniumjarosit z **Čížova** je relativně čistým členem bez významnějších substitucí, množství H_3O kolísá od 0,55 do 0,76 apfu, K se pohybuje mezi 0,21–0,34, Na je obsaženo v A-pozici do 0,12 apfu (tab. 3, obr. 3). Obsah Fe se pohybuje od 2,82 do 3,00 apfu

Tabulka 4. Chemické analýzy minerálů skupiny jarositu, dopočtená voda = OH^- + H_2O + H_3O^+.
Table 4. Chemical analysis of the jarosite group minerals, content of water calculate for = OH^- + H_2O + H_3O^+.

		hm %																
		K_2O	Na_2O	BaO	PbO	Ag_2O	Al_2O_3	Fe_2O_3	CuO	ZnO	SO_3	P_2O_5	As_2O_3	SiO_2	CaO	MgO	H_2O	suma
analýza č. 1	Čížov	2,056	0,210	0,077	0,000	0,000	0,250	46,604	0,137	0,071	33,014	0,000	0,000	0,646	0,000	0,000	12,591	95,656
analýza č. 2	Čížov	2,818	0,218	0,074	0,000	0,000	0,423	49,809	0,000	0,025	32,268	0,000	0,000	3,875	0,000	0,000	12,100	101,610
analýza č. 3	Čížov	2,978	0,600	0,078	0,000	0,029	2,828	49,825	0,004	0,049	29,920	0,000	0,000	7,753	0,000	0,000	11,033	105,097
analýza č. 4	Čížov	3,143	0,240	0,124	0,000	0,052	0,484	47,698	0,000	0,016	32,643	0,000	0,000	0,872	0,000	0,000	12,176	97,448
analýza č. 5	Čížov	3,063	0,734	0,035	0,000	0,001	1,227	49,989	0,001	0,037	31,651	0,000	0,000	2,158	0,000	0,000	11,663	100,559
analýza č. 6	Pekel.št.	1,056	0,066	0,000	13,791	0,132	0,068	38,544	0,000	1,213	27,375	0,059	0,795	1,195	0,000	0,000	9,712	94,006
analýza č.7	Pekel. št.	1,333	0,131	0,000	13,364	0,066	0,147	38,528	0,220	2,213	26,057	0,000	0,503	0,122	0,000	0,000	9,042	91,726
analýza č. 8	Pekel. št.	0,731	0,051	0,000	15,237	0,095	0,000	37,760	0,192	1,279	26,844	0,033	0,818	0,136	0,000	0,000	9,457	92,633
analýza č. 9	Utín	1,782	0,133	0,115	3,857	0,000	4,623	45,951	0,000	0,000	27,940	3,397	0,000	0,646	0,000	0,000	11,806	100,250
analýza č. 10	Utín	5,515	0,050	0,122	6,835	0,000	5,774	36,889	0,000	0,153	28,511	4,462	0,000	0,184	0,000	0,000	11,573	100,068
analýza č. 11	Dl. Ves	6,064	0,363	0,000	0,000	0,000	0,910	48,131	0,000	0,000	29,924	0,224	0,158	3,324	0,000	0,000	11,022	100,120
analýza č. 12	Dl. Ves	5,356	0,219	0,000	0,000	0,029	0,270	43,454	0,000	0,148	30,518	0,089	0,000	4,705	0,000	0,000	10,758	95,546
analýza č. 13	Dl. Ves	6,217	0,198	0,000	0,000	0,052	2,050	43,920	0,000	0,159	28,973	0,087	0,000	3,885	0,000	0,000	10,689	96,230
analýza č. 14	Dl. Ves	4,675	0,357	0,000	0,000	0,001	0,220	46,326	0,000	0,000	32,036	0,077	0,000	0,650	0,000	0,000	10,597	94,939
analýza č. 15	Dl. Ves	5,652	0,488	0,000	0,000	0,000	0,853	48,197	0,000	0,000	31,692	0,108	0,000	1,493	0,000	0,000	11,002	99,485
analýza č. 16	Dl. Ves	4,846	0,404	0,000	0,000	0,000	0,369	43,423	0,000	0,000	32,173	0,111	0,000	0,677	0,000	0,000	10,675	92,678
analýza č. 17	H. Město	0,027	0,043	0,000	17,983	0,115	0,006	37,146	1,034	0,719	27,559	0,000	0,000	0,083	0,000	0,000	9,375	94,090
analýza č. 18	H. Město	0,026	0,028	0,000	17,333	0,160	0,000	37,746	0,668	0,538	28,063	0,000	0,000	0,067	0,000	0,000	9,626	94,255
analýza č. 19	H. Město	0,000	0,063	0,000	16,450	0,059	0,000	39,412	0,405	0,630	27,979	0,000	0,000	0,139	0,000	0,000	9,665	94,802
analýza č. 20	H. Město	0,211	0,040	0,059	17,019	0,636	0,007	39,267	0,608	0,636	27,394	0,000	0,000	0,108	0,000	0,000	9,341	95,326
analýza č. 21	H. Město	6,741	0,320	0,182	0,000	0,000	0,205	44,099	0,000	0,000	30,655	0,623	0,000	1,119	0,000	0,000	10,944	94,888
analýza č. 22	H. Město	6,382	0,260	0,179	0,000	0,000	0,616	42,681	0,000	0,000	31,722	0,583	0,000	1,284	0,000	0,000	11,433	95,140
analýza č. 23	H. Město	6,453	0,318	0,191	0,000	0,000	1,383	40,260	0,000	0,000	28,372	0,643	0,000	4,099	0,000	0,000	10,110	91,829
analýza č. 24	H. Město	5,376	0,131	0,247	0,000	0,000	0,903	46,224	0,000	0,000	30,908	0,306	0,114	1,507	0,000	0,000	11,248	96,964
analýza č. 25	H. Město	5,432	0,181	0,207	0,000	0,000	0,720	49,393	0,000	0,180	28,308	0,496	0,227	1,673	0,000	0,000	10,323	97,140
analýza č. 26	H. Město	5,372	0,301	0,278	0,000	0,000	0,623	47,785	0,000	0,000	28,555	0,579	0,161	1,330	0,000	0,000	10,406	95,390
analýza č. 27	Konstan.	6,860	0,000	0,000	0,000	0,000	1,126	42,966	0,000	0,000	31,911	1,260	0,000	0,217	0,000	0,000	11,813	96,153
analýza č. 28	Konstan.	7,788	0,000	0,000	0,000	0,000	0,664	43,880	0,000	0,000	30,236	0,000	0,000	2,204	0,000	0,000	10,416	95,188
analýza č. 29	Konstan.	7,273	0,066	0,000	0,000	0,000	0,094	44,808	0,000	0,000	31,998	0,348	0,000	0,000	0,000	0,000	11,344	95,931
analýza č. 30	Konstan.	6,867	0,057	0,000	0,000	0,000	0,400	45,699	0,000	0,000	30,370	0,241	0,000	0,859	0,000	0,000	10,373	94,866
analýza č. 31	Konstan.	6,095	0,000	0,000	0,000	0,000	0,125	46,168	0,000	0,000	29,894	0,274	0,000	0,288	0,000	0,000	10,728	93,572
analýza č. 32	Z. Hutisko	4,678	0,015	0,317	0,000	0,012	0,065	44,788	0,000	0,000	33,620	0,000	0,000	0,100	0,000	0,000	12,301	95,896
analýza č. 33	Z. Hutisko	8,028	0,136	0,120	0,000	0,000	0,110	44,377	0,000	0,000	32,556	0,000	0,000	0,187	0,000	0,000	11,230	96,744
analýza č. 34	Z. Hutisko	3,838	0,000	0,330	0,000	0,000	0,121	45,763	0,046	0,000	32,703	0,000	0,000	0,169	0,000	0,000	12,105	95,075
analýza č. 35	Z. Hutisko	5,773	0,010	0,322	0,000	0,000	0,112	48,860	0,000	0,370	33,955	0,000	0,000	0,146	0,000	0,000	12,227	101,775
analýza č. 36	Zl. Hory	5,280	0,010	0,000	0,000	0,000	0,880	39,580	0,000	0,000	30,150	0,000	0,000	4,240	0,420	0,340	11,660	92,560
analýza č. 37	Jezdovice	0,318	0,093	0,000	16,577	0,171	0,039	41,293	0,000	0,612	28,415	0,000	0,000	0,112	0,000	0,000	12,472	100,102
analýza č.38	Jezdovice	0,099	0,053	0,000	18,549	0,006	0,077	39,167	0,000	1,183	28,132	0,000	0,000	0,111	0,000	0,000	12,761	100,138
analýza č. 39	Jezdovice	0,070	0,199	0,000	18,533	0,000	0,016	38,505	0,390	1,023	27,835	0,000	0,000	0,145	0,000	0,000	12,880	99,596
analýza č. 40	Rančířov	0,289	0,080	0,000	16,935	0,012	0,092	38,653	0,270	0,012	25,351	0,000	0,000	0,295	0,000	0,000	13,544	95,533
analýza č. 41	Sychotín	7,500	0,280	0,000	0,000	0,000	0,400	51,050	0,000	0,000	29,400	0,000	0,000	0,000	0,460	0,000	10,880	99,970
analýza č. 42	Popice	0,430	0,210	0,000	0,000	0,000	1,850	42,500	0,240	0,000	25,770	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	9,080	80,080



Obr. 4. Ternární diagram Cu^{2+}, Zn^{2+}-Fe^{3+}-Al^{3+}. Zobrazené body odrážejí složení analyzovaných jarositů. Hranice diagramu Al^{3+} - 25 %, Cu^{2+}, Zn^{2+} - 25%, Fe^{3+} 100% obsazení Fe-pozice.

Fig. 4. Ternary plot Cu^{2+}, Zn^{2+}-Fe^{3+}-Al^{3+}. The spots show the composition of the analyzed jarosites. The boundary of plot are Al^{3+} - 25 %, Cu^{2+}, Zn^{2+} - 25%, Fe^{3+} 100% occupancy of Fe-position.

a množství Al je ≤0,12 apfu. Zvýšený podíl Fe v některých vzorcích hydroniumjarositu (max. hodnota 3,34, např. analýza č. 3) souvisí s nestabilitou povrchu krystalů a přeměnou na stabilnější oxyhydroxidy. Hydroniumjarosit z **Horního Města u Rýmařova** se vyskytuje společně s jarositem. Samotný hydroniumjarosit je svým složením na hranici mezi jarositem a hydroniumjarositem, obsah hydroniové skupiny se pohybuje od 0,51 do 0,58 apfu, K v A-pozici od 0,4 do 0,47 apfu, v nepatrném množství se objevuje Ba ≤0,01 apfu (tab. 3, obr. 3). Hydroniumjarosity z této lokality se vyznačují nižšími obsahy Fe 2,67–2,81 apfu a minimálním obsahem Al ≤0,01 apfu (tab. 3, obr. 4).

Plumbojarosit

Druhým nejčastějším členem mezi studovanými minerály je *plumbojarosit*. Chemické složení plumbojarositů kolísá, Pb–Fe členy jsou však nejhojnější (obr. 3). Pb je dvojmocný kation vstupující do A-pozice, **čistý** plumbojarosit má proto vzorec $Pb_{0,5}Fe_3(SO_4)_2(OH)_6$ (v některé literatuře bývá používán i vzorec $PbFe_6(SO_4)_4(OH)_{12}$). Jako plumbojarosit byly určeny vzorky z lokalit Jezdovice, Rančířov, Horní Město u Rýmařova, Stříbrné Hory-Pekelská štola. Ke vzniku plumbojarositu je zapotřebí zejména vysoké aktivity olova a železa, při nízké aktivitě CO_2. Chemismus plumbojarositů se pohybuje 0,35–0,48 apfu obsahu Pb; K do 0,17, Na a Ag ≤0,03 apfu. B-pozice je obsazena od 2,64 do 2,92 apfu Fe, Cu a Zn ≤0,08 a Al ≤0,02 apfu.

Plumbojarosit z **Jezdovic** je relativně čistý člen bez významnějších substitucí. Obsah Pb se pohybuje od 0,42 do 0,48 apfu (tab. 3, obr. 3), podíl K, Na a Ag je ≤0,03 apfu. Plumbojarosit z **Rančířova** je z analyzovaných plumbojarositů nejčistější - obsah Pb odpovídá 0,48 apfu (tab. 3, obr. 3), K = 0,03 a Na = 0,01 apfu. Do pozice Fe v malé míře vstupuje Cu 0,03 apfu (tab. 3).U plumbojarositu z lokality **Horní Město u Rýmařova** obsah Pb v A-pozici kolísá od 0,42 do 0,47 apfu (tab. 3, obr. 3), dále do této pozice vstupuje H_3O v množství do 0,15 apfu (pozn. otevřenou otázkou zůstává možnost existence vakance v této pozici), K a Ag do 0,03 a Na do 0,01 apfu (tab. 3, obr. 3). Obsah Fe v plumbojarositech z Horního Města je mezi 2,7–2,8 apfu, Cu 0,05–0,08 a Zn 0,04–0,05 apfu (tab. 3,

obr. 4). Na lokalitě byla také zjištěna závislost srážení plumbojarositu na vzdálenosti od zdroje Pb (galenit). Zatímco minerály odebrané v těsné blízkosti galenitového zrudnění byly plumbojarosity (tab. 1, tab. 3), tak minerály mimo tuto asociaci, nasbírané na haldách, jsou jarosity (tab. 2, tab. 3). Chemismus plumbojarositu ze **Stříbrných Hor-Pekelské štoly** je oproti ostatním složitější. Obsah Pb se pohybuje v rozmezí 0,35–0,40 apfu. Do A-pozice navíc vstupuje K 0,90–0,17 apfu, hydroniová skupina (příp. vakance) 0,08–0,15 apfu (tab. 3, obr. 3). Do 0,03 apfu vstupuje Na a Ag do 0,01 apfu. Ve všech plumbojarositech z této lokality se objevuje 0,03–0,05 apfu AsO_4 (tab. 3, obr. 5).

Minerály skupiny jarositu z lokality Utín - kamenolom

Na lokalitě Utín - kamenolom se vyskytují jarosity, na rozdíl od výše uvedených lokalit, s komplikovanějším chemickým složením, které v diagramu leží svým chemickým složením mezi krajními členy jarositem, hydroniumjarositem a plumbojarositem (tab. 3, obr. 3). Rovněž zde do jarositů vstupuje ve větší míře Al (tab. 3, obr. 4) a P; obsah PO_4 je v rozmezí 0,24–0,30 (tab. 3, obr. 5). Obsah K se pohybuje od 0,19 do 0,56 apfu, H_3O 0,13–0,61 a Pb kolísá mezi 0,09–0,15 apfu (tab. 3, obr. 3). Zajímavý je i obsah Al 0,46–0,54 apfu (tab. 3, obr. 4).

Diskuse

Podmínky ovlivňující stabilitu jarositů (teplota, pH, substituce H_3O^+)

Je zřejmé, že minerály jarositové skupiny se mohou tvořit v různých geologických podmínkách. Podstatným požadavkem je přínos Fe^{3+}, kyselé prostředí (pH ~3) a rychlá krystalizace. Minerály skupiny jarositu se postupně přeměňují na goethit (Dutrizac a Jambor 2000).

Z hlediska **teploty** se každý minerál z jarositové skupiny chová odlišně. Natrojarosit, jarosit a ammoniumjarosit může vznikat při 25 °C (a méně), ale rychlost reakce je velmi pomalá. Srážení syntetických jarositů je urychleno přibližně při 80 °C a při 100 °C se jarosity vysrážejí během několika hodin. Rychlost rychle vzrůstá při 100°C, ale je zde teplotní limit pro stabilitu těchto minerálů. Tato teplotní hranice je opět hodně rozdílná pro různé koncové členy skupiny jarositu, a pohybuje se okolo 180–200 °C. Ve vodném prostředí jsou jarosit, argentojarosit, a Tl-jarosit stabilní i nad 200 °C, a naopak natrojarosit, ammoniumjarosit a plumbojarosit se rozkládají již v rozmezí 180–190 °C (Dutrizac a Jambor 2000).

Stabilita jarositu je obecně limitována poměrně úzkým rozmezím kyselosti prostředí. Jak **pH** vzrůstá, jarosit se mění na oxid-hydroxid železa (Göttlicher 2002). Z práce Barona a Palmera (1996) vyplývá, že jarosit může existovat do vyšších hodnot pH než se dříve předpokládalo. Jimi vypočtené hraniční hodnoty pH se pohybují okolo 5,9. Nejkyselejší podmínky, ve kterých se jarosit ještě normálně vyskytuje, mohou být dány začleňováním hydroniových ionů do A-pozice ve struktuře minerálů skupiny jarositu. Substituce hydronia v A (alkalické) pozici do struktury jarositu je indikátorem nízkých teplot a nízkých tlaků při tvorbě jarositu (Brophy a Sheridan 1965, Dutrizac a Jambor 2000). V hydratovaných oxidech přitahují Al^{3+} a Fe^{3+} téměř stejnou silou hydroxylové ionty. Fakt, že alunity (Al) dehydratují při vyšší teplotě než jarosity naznačuje, že Al- formy poutají hydroxyl silněji (Brophy *et al.* 1962, Drouet *et al.* 2004). V neutrálním pH se jarosit vyskytuje s goethitem (v gossanech), tato koexistence je vysvětlována degradací jarositu na schwertmannit a pak na goethit. Přeměna $KFe_3(SO_4)_2(OH)_6 + 3/2O_2 \rightarrow 3FeO(OH) + K^+ + 2SO_4 + 3H^+ + 3/2H_2O$ je ale v blízkosti neutrálního pH pomalá Welham *et al.* 2000). V German Lignit Districts byl jarosit identifikován v sedimentech kyselých těžebních jezer. Při nízkém pH (0,8–3) a vysokém Eh se chová jako dočasný zásobník pro sulfáty a ostatní anorganické polutanty v jeho struktuře.

Obsah **hydroniové skupiny H_3O** v A-pozici je běžný jak v přírodních, tak v synteticky připravených jarositech (BROPHY a SHERIDAN 1965, GASHAROVA 2002). V přírodních jarositech, díky toleranci v A-pozici, může tuto pozici obsazovat K, Na a H_3O. Vyšší obsah ionů H_3O v jarositech může vést k jejich rychlejšímu rozpouštění (BROPHY a SHERIDAN 1965, DUTRIZAC a JAMBOR 2000). Všechny současné práce se shodují, že v různých jarositech se hydroniová skupina vyskytuje v množství 15–20 mol%. Relativní pořadí vzrůstající hydroniové substituce v syntetických jarositech je Na > NH_4 > K (DUTRIZAC a JAMBOR 2000).

Vznik studovaných jarositů

Dominantní úlohu při vzniku minerálů skupiny jarositu na většině lokalit hrál pyrit. Nejenže je poskytovatelem síranových a železitých ionů, ale navíc při jeho oxidaci dochází k exotermní reakci a okyselení roztoků. V kyselých podmínkách se následně rozkládají další minerály (jako např. živce a slídy), které uvolňují alkálie a i jiné prvky vstupující do struktury jarositů. Zvýšená teplota může napomáhat rychlejší tvorbě těchto minerálů a díky ní se do struktury snadněji zabudovávají i prvky s větším iontovým poloměrem (např. Pb). Zvláštní postavení zaujímá lokalita Čížov, kde není úplně jasné, který ze sulfidů byl prekurzorem pro vznik jarositu. Chemismus všech analyzovaných jarositů je shrnut v tab. 3 a tab. 4.

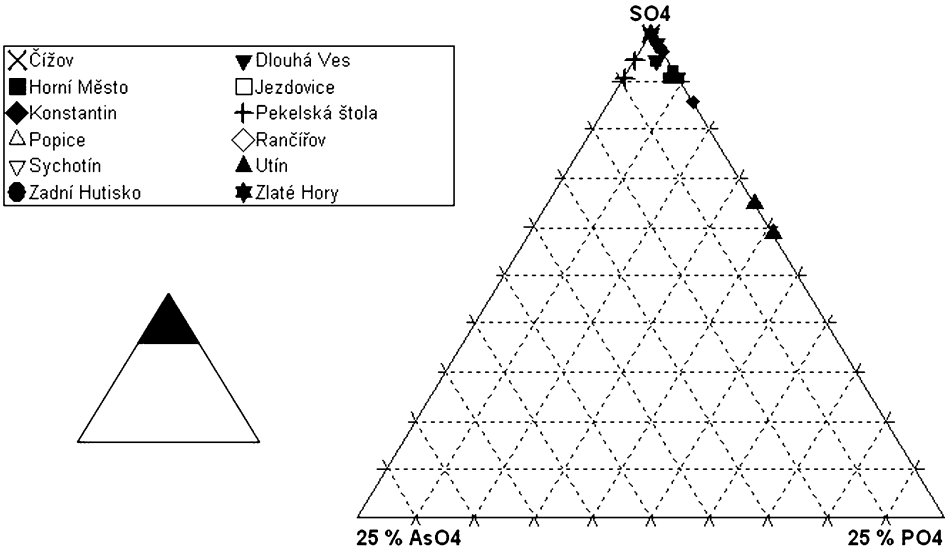
Alumosilikáty bývají zdrojem některých prvků (K, Na apod.), potřebných pro tvorbu jarositů, proto se často vyskytují ve vzorcích v těsné blízkosti. Na lokalitě Čížov je zdrojem malého množství K a možná i Fe rozkládající se biotit (obr. 6). Na některých lokalitách, kde do struktury jarositu vstupovalo i Ba (Horní Město, Zadní Hutisko, Kyzový důl), hrálo pravděpodobně svou roli i zvětrávání baryem obohacených živců (FOJT *et al.* 1997). Tyto prvky se mohou uvolňovat i z ostatních minerálů přítomných v okolní hornině, nebo mohou být transportovány hydrotermálními roztoky z větších vzdáleností. I když je Na poměrně běžným prvkem, do struktury analyzovaných jarositů se začleňuje v dosti malé míře. Je to zřejmě způsobeno tím, že natrojarosit je z termodynamického hlediska daleko méně stabilní než jeho draselný analog (DUTRIZAC a JAMBOR 2000). Aktivita tohoto prvku v roztocích nebyla tak vysoká, aby se tento sodný koncový člen mohl vytvořit. Nízké podíly alkálií na A-pozici a obsah hydroniové skupiny ve vzorci jarositů naznačují rychlou neutralizaci kyselých roztoků, nemohlo tedy dojít k dostatečnému „vyluhování“ alkálií z okolních hornin (BROPHY a SHERIDAN 1965).

Dominantní úlohu pro vznik plumbojarositu hraje rozklad galenitu. Z tohoto minerálu se kromě olova a síry uvolňuje i stříbro, které je v analyzovaných plumbojarositech stopově obsaženo (tab. 3, tab. 4). Aktivita Ag ale nebyla taková, aby vstupovalo do struktury jarositu ve větším množství a mohl vzniknout argentojarosit. Do všech analyzovaných plumbojarositů vstupuje také určité množství Cu^{2+} a Zn^{2+} (obr. 4). Na lokalitách, kde plumbojarosit vzniká, se vyskytují minerály pyrit, sfalerit, galenit, popř. chalkopyrit, arzenopyrit a další. Z těchto sulfidů se při oxidaci tyto prvky uvolňují a následně vážou do struktury jarositových minerálů.

Ve všech vzorcích se také vyskytuje v B-pozici menší množství Al. Až na lokalitu Utín-lom jsou obsahy tohoto prvku téměř v jarositu zanedbatelné (obr. 4). Do budoucna by bylo jistě zajímavé studovat odlišnost v chování jarositů s různým obsahem Al na daných lokalitách, vzhledem k větší stabilitě Al bohatších členů (BROPHY *et al.* 1962, DROUET *et al.* 2004). Hliník byl pravděpodobně uvolněn při rozkladu slíd a živců.

Ve všech analyzovaných vzorcích se projevil nábojový deficit Fe^{3+}, který je vyvažován částečnou substitucí H_2O za OH^-.

V XO_4 pozici analyzovaných jarositů se v menší míře objevily i aniony $(AsO_4)^{3-}$ a $(PO_4)^{3-}$ (obr. 5). Zdrojem arsenu jsou rozkládající se sulfidy (pyrit, arzenopyrit a další), fosfor je patrně uvolňován z rozkládajícího se apatitu. Obsahy těchto prvků jsou s výjim-



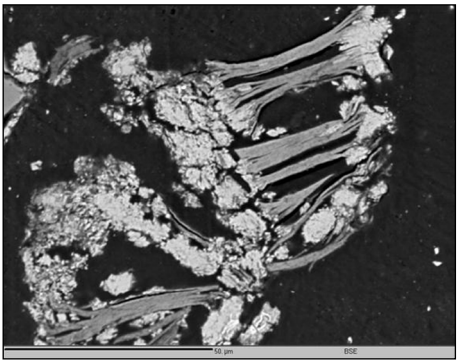
Obr. 5. Ternární diagram $(SO_4)^{2-}$–$(AsO_4)^{3-}$–$(PO_4)^{3-}$. Zobrazené body odrážejí složení analyzovaných jarositů. Hranice diagramu^{+} – $(AsO_4)^{3-}$ – 25 %, $(PO_4)^{3-+}$ – 25%, $(SO_4)^{2-}$ 100% obsazení XO_4 pozice.

Fig. 5. Ternary plot $(SO_4)^{2-}$–$(AsO_4)^{3-}$–$(PO_4)^{3-}$. The spots show the composition of the analyzed jarosites. The boundary of plot are $AsO_4)^{3-}$ – 25 %, $(PO_4)^{3-+}$ – 25%, $(SO_4)^{2-}$ 100% occupancy of XO_4 position.

kou lokality Utín - lom téměř zanedbatelné. Na této lokalitě vstoupilo do struktury jarositu větší množství $(PO_4)^{3-}$ (tab. 3, obr. 5).

Dosti častým jevem, společným skoro pro všechny lokality, je zvýšené množství Fe v analýzách, např. u jarositu z Kyzového dolu. Vysvětlení tohoto jevu je to, že se minerály skupiny jarositu vlivem změny podmínek na povrchu zrn přeměňují na Fe-oxidy a hydroxidy a v některých případech bylo vzhledem k malé velikosti velmi obtížné až nemožné je analyzovat čisté.

Důležitým faktorem pro tvorbu jednotlivých jarositových minerálů může být rovněž vzdálenost srážení od zdroje prvků. Zatímco vzorek z Horního Města, pocházející ze sbírek MZM je plumbojarositem, vzorky odebrané přímo na haldě jsou jarositem (tedy draselným členem) (tab. 1, 2, 3, 4).



Obr. 6. Relikty zvětralé slídy (biotitu) tvořené v současnosti pouze fází SiO_2, obklopené jemně zrnitým agregátem jarositu.

Fig. 6. The relicts of the weathered mica (biotite), presently formed by SiO_2 phase, surrounded by fine-grained aggregates of the jarosite.

Závěry

I přes rozlišné podmínky vzniku (geologická pozice, složení sulfidické mineralizace) má tvorba minerálů skupiny jarositu mnoho společných rysů. Na všech místech musely být splněny základní podmínky pro vznik těchto minerálů – příhodné podmínky (pH, Eh, příp. teplota) a dostatek potřebných prvků. Jaký člen jarositové skupi-

Obr. 7. Stříbrné Hory-Pekelská štola. Světlé povlaky jsou minerály skupiny jarositu (foto: S. Houzar).
Fig. 7. Stříbrné Hory-Pekelská štola. The tint incrustations are the jarosite group minerals (photo: S. Houzar).

ny se vytvoří záleží především na pH a na aktivitě jednotlivých prvků, které jsou na daném místě k dispozici.

Tvorba minerálů skupiny jarositu na zkoumaných lokalitách potvrdila, že tyto minerály vznikají na místech, kde dochází k oxidaci sulfidů, ze kterých se uvolňují síranové aniony. Potvrdila se i závislost tvorby jarositů v kyselých podmínkách. Jejich přítomnost v přírodě odpovídá i jejich stabilitě za relativně nízkých teplot. U plumbojarositu se projevila závislost srážení tohoto minerálu na vzdálenosti od zdroje Pb. Analýzy zkoumaných vzorků ukázaly i na pestrost prvků začleňovaných do struktury jarositů.

Protože člověk svojí činností neustále produkuje velké množství odpadních materiálů, často velmi nebezpečných, může být zkoumání tohoto minerálu přínosem při řešení různých environmentálních problémů v budoucnosti, ať už se budou týkat skladování a likvidace odpadů, zachycování nebezpečných prvků (i radioaktivních) nebo nežádoucích prvků v metalurgickém průmyslu.

Poděkování

Autoři děkují prof. RNDr. Fojtovi, CSc. a RNDr. Malému, Ph.D. (Muzeum Vysočiny) za poskytnuté vzorky a důležité informace a RNDr. Houzarovi, Ph.D. (Moravské zemské muzeum, Brno) za poskytnuté vzorky, potřebné informace a cenné rady.

LITERATURA

Alpers, C. N., Jambor, J. L., Roffregen, R. E., 2000: Alunite-jarosite crystallography, thermodynamics and geochronology. In: Alpers, C. N., Jambor, J. L., Nordstrom, D. K., (eds): Sulfate minerals – crystallography,

geochemistry and environmental significance. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 40: 453–479, Mineralogical Society of America, Washington.

BARON, D., PALMER, C. D., 1996: Solubility of jarosite at 4–35°C. – *Geochim. Cosmochim. Acta*, 60, 20, 185–195.

BERNARD, J. H., ROST, R., *et al*., 1992: Encyklopedický přehled minerálů. – Academia, Praha, 711 s.

BROPHY, G. P., SHERIDAN, M. F., 1965, Sulfate studies IV. The jarosite-natrojarosite-hydroniumjarosite solid solution series. – *Amer. Mineralogist*, 50, 1595–1607.

BROPHY, G. P., SCOTT, E. S., SNELLGROVE, R. A., 1962: Sulfate studies II. Solid solution between alunite and jarosite. – *Amer. Mineralogist*, 47, 112–126.

BURKART, E., 1953: Moravské nerosty a jejich literatura. Mährens Minerale und ihre Literatur. – Nakl. ČSAV Praha, 1004 s.

CÍLEK, V., 1993: Zpráva o výzkumu krystalických vápenců lukovské jednotky moravika v národním parku Podyjí. – *Speleo*, 13, 16–18. Praha.

CÍLEK, V., 1998: Pseudokrasové fosfát-alofanové speleotémy z ledových slují v NP Podyjí. – *Speleo*, 26, 20–26.

DING, M., SCHUILING, R. D., VAN DER SLOOT, H. A. 2002: Self-sealing isolation and immobilization: a geochemical approach to solve the environmental problem of waste acidic jarosite. – *Appl. Geochemistry*, 17, 93–103.

DOBEŠ, P., MALÝ, K., 2001: Mineralogie polymetalických rudních výskytů ve střední části havlíčkobrodského revíru. – *Vlastiv. Sbor. Vysočiny, odd.věd přírodních*, 15, 51–85.

DOKOUPILOVÁ, P. 2005: Minerály skupiny jarositu jako možné koncentrátory anorganických kontaminantů. – *MS*, Diplomová práce, Ústav geolog. věd, přírod. fakulta Masaryk.Univ., Brno.

DROUET, CH., NAVROTSKY, A., 2003: Synthesis, characterization, and thermochemistry of K-Na-H_3O jarosites. – *Geochim. Cosmochim. Acta*, 67, 11, 2063–2076.

DROUET, CH., PASS, K. L., BARON, D., DRAUCKER, S., NAVROTSKY, A., 2004: Thermochemistry of jarosite-alunite and natrojarosite-natroalunite solid solutions. – *Geochim. Cosmochim. Acta*, 68, 10, 2197–2205.

DUTRIZAC, J. E., JAMBOR, J. L., 2000: Jarosites and their application in hydrometallurgy – In: Alpers, C. N., Jambor J. L., Nordstrom D. K. (eds): Sulfate minerals – crystallography, geochemistry, and environmental significance. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 40, 405–444. Mineralogical Society of America, Washington.

DUTRIZAC, J. E. 2003: The behaviour of the rare earths during the precipitation of sodium, potassium and lead jarosites. – *Hydrometallurgy*, 73, 1–2, 11–30.

FOJT, B., 1966: Mineralogická charakteristika ložisek kyzů a rud barevných kovů v okolí Horního Města u Rýmařova (severní Morava). – *Folia přír. fak UJEP, geologie* 11, VII, 6, 1–61.

FOJT, B., 2000: Naleziště minerálů na severní Moravě a ve Slezsku opomíjená sběrateli (II) – Zadní Hutisko. – *Minerál*., 7, 5, 378–379.

FOJT, B., ZIMÁK, J., 1994: Parageneze železnorudného výskytu „Kiessgrund" u Vernířovic (Severní Morava) – *Geol. Výzk. Mor. Slez.v r. 1993*, 73–74.

FOJT, B., ZIMÁK, J., 2002: lokalita č. 16, Vernířovice – Zadní Hutisko, Železné rudy typu BIF v Jesenských rulách. – In: *Exkurzní průvodce po mineralogických lokalitách na Sobotínsku*, Přír. Univ. Palackého v Olomouci, 57–77.

FOJT, B., HLADÍKOVÁ, J., KALENDA, F., 2001: Zlaté Hory ve Slezsku – největší rudní revír v Jeseníkách. Část 2: C. Geologie D. Mineralogie E. Geochemie stabilních izotopů. – *Acta Mus. Moraviae, Sci. Geol.*, 86, 3–58.

FOJT, B., HLADÍKOVÁ, J., LOSOS, Z., ŠREIN, V. 1993: Paragenetická studie Ag-mineralizace ložiska Horní Město u Rýmařova. *Acta Mus. Moraviae,* 77, 73–74.

FOJT, B., HLADÍKOVÁ, J., KOPA, D., KRAUSOVÁ, D., SULOVSKÝ, P., VÁVRA, V., ZEMAN, J., ZIMÁK, J., 1997: Minerální a horninová asociace z lomu Zámčisko, Hrubý Jeseník. – *Čas. Slez. Muz., Vědy přír.*, 46, 235–264.

GASHAROVA, B., GÖTTLICHER, J., PENTINGHAUS, H., GLÄßER, W. 2002: Jarosites $AFe_3(SO_4)_2(OH)_6$: Crystallochemical characterization and aqueous reactions. – *Proceedings of GeoProc 2002*, 5–7.

GÖTTLICHER, J., POHLMANN, M., GASHAROVA, B. (2002): Acid mine drainage (AMD) in German Lignit Districts. – *Proceedings of GeoProc 2002*, 9–12.

HAK, J., KÜHN, P. 1962: Předběžná zpráva o geochemii india na ložisku Dlouhá Ves u Havlíčkova Brodu. – *Věst. Ústř. Úst. geol.*, 37, 289–290.

HAK, J., NOVÁK, F. 1973: Mineralogie a geochemie ložiska Dlouhá Ves u Havlíčkova Brodu. – *Sbor. Hornická Příbram ve vědě a technice,* G 17, 247–262. Příbram.

JANSA, J., NOVÁK, F., PRACHAŘ, I., 1994: Classification and nomenclature of alunite-jarosite and related mineral groups. – *Věst. Čes. geol. Úst.*, 69, 2, 51–56.

KRUŤA, T. (1966): Moravské nerosty a jejich literatura 1940–1965. – Moravské muzeum, Brno, 378 s.

PELÍŠEK, J., 1944: Plumbojarosit od Popic u Jihlavy, nový minerál moravský. – *Příroda* (Brno), 36, 7, 243–244.

SASAKI, K., KONNO, H. 2000: Morphology of jarosite-group compounds precipitated from biologically and chemically oxidized Fe ions. – *Canad. Mineralogist*, 38, 45–56.

SCOTT, K. M. 1987: Solid solution and classification of gossan- derived members of the alunite-jarosite family, northwest Queensland, Australia. – *Amer. Mineralogist*, 72, 178–187.

SCOTT, K. M. 2000: Nomenclature of the alunite supergroup: discussion. – *Canad. Mineralogist*, 38, 1295–1297.

SEKANINA, J., 1934: Jarosit z Petrova u Kunštátu. – *Příroda* (Brno), 27, 8, 238.

ŠMŮLA, R., 1987: Geology of the Konstantin graphite deposit in Velké Vrbno – In: *Metalliferous black shales – Excursion guide*, 32–35, Ústr. Úst. Geol. Praha , pobočka Jeseník.)

SONDI, I., SHI, S., MATIJEVIĆ, E., 2001: Precipitation of monodispersed basic iron(III) sulfate (sodium jarosite) particles. – *Colloid. Polym. Sci.*, 279, 161–165.

WELHAM, N. J., MALATT, K. A., VUKCEVIC, S., 2000: The stability of iron phases presently used for disposal from metallurgical systems-a review. – *Minerals Engineering*, 13, 8–9, 911–931.

ZIMÁK J., GÁBA, Z. 1990: Výskyty jarositu na grafitových ložiskách Bobrovník u Jeseníku a Konstantin u Velkého Vrbna. – *Čas. Mineral. geol.,* 35, 1, 106.