

PYROMORFIT Z JIHLAVSKÉHO RUDNÍHO REVÍRU

PYROMORPHITE FROM JIHLAVA ORE DISTRICT (CZECH REPUBLIC)

EVA KOCOURKOVÁ, STANISLAV HOUZAR & VLADIMÍR HRAZDIL

Abstract

Kocourková, E., Houzar, S., Hrazdil, V., 2010: Pyromorfit z jihlavského rudního revíru. - Acta Mus. Moraviae, Sci. geol., 1, 95, 105-120.

Pyromorphite from Jihlava ore district (Czech Republic)

The supergene mineral assemblage of the Jihlava district, where Pb-Zn-Ag ores were exploited in the medieval age, is characteristic by pyromorphite occurrences. Pyromorphite forms yellow-green to green hexagonal crystals up to 1 cm in size and sometimes also brown or white, needle-like aggregates overgrowing goethite in quartz or baryte gangue material. It commonly forms oscillatory zoned crystals, with strong variations in Ca content (0.01-0.95 apfu), which is low in brown (≤ 0.09 apfu) and high in white (≤ 0.83 apfu) varieties. Some zones already exhibit composition of phosphohedyphane. Major part of the data correspond to almost pure end member, with trace amounts of Al^{3+} (≤ 0.03), As^{5+} (≤ 0.05), Ba^{2+} (≤ 0.02), Fe^{3+} (≤ 0.04), Si^{4+} (≤ 0.03), S^{6+} (≤ 0.01), V^{5+} (≤ 0.02), Zn^{2+} (≤ 0.04) and $(\text{OH}^-) \leq 0.09$ (all in atom per formula unit). Besides pyromorphite and goethite, the supergene mineral assemblage also contains rare kintoreite, plumbogummite and acanthite. Kintoreite crystallised during dissolution-reprecipitation reactions of pyromorphite in conditions of high Fe activity, while plumbogummite is related to Al-rich solutions. Pyromorphite formed in deeper parts of the oxidation zone due to alteration of galena-bearing ore veins extremely poor in pyrite or pyrrhotite.

Key words: pyromorphite, chemical composition, supergene mineral, Jihlava

Eva Kocourková: Department of Mineralogy and Petrography, Moravian Museum, Zelný trh 6, 659 37 Brno, Czech Republic, retty@centrum.cz.

Stanislav Houzar: Department of Mineralogy and Petrography, Moravian Museum, Zelný trh 6, 659 37 Brno, Czech Republic, shouzar@mzm.cz.

Vladimir Hrazdil: Department of Mineralogy and Petrography, Moravian Museum, Zelný trh 6, 659 37 Brno, Czech Republic, vhradzil@mzm.cz.

Úvod

Jihlava u nás představuje, vedle Stříbra, Oloví a Příbrami, další klasickou lokalitu pyromorfitu. Jeho minerální asociaci ani chemickému složení tu však nebyla nikdy věnována pozornost a údaje v literatuře se omezují maximálně na jeho stručný popis.

Z jihlavského rudního revíru poprvé uvádí pyromorfit brněnský sběratel a jeden ze zakladatelů moravské mineralogie, hrnčířský mistr W. HRUSCHKA (1796-1875). V dnes již klasické zprávě (HRUSCHKA 1825) jej popisuje jako jednotlivé krystaly či drúzy různých odstínů zelené („zelenoba“) a hnědé („hnědoba“) barvy a často mechovitého až sametového vzhledu, narostlé na krystalovaném a „rozežraném“ křemeni a barytu. Uvádí též jeho ledvinité i hroznovité agregáty, černozeleň a černošedé bar-

vy, na lomu vláknité a mastně lesklé, narostlé na „molibdän“, tj. grafitickou horninu (BOHATÝ 1996).

Jihlavský rudní revír

Jihlavský rudní revír patří k nejstarším stříbronosným revírům na území České republiky s prokázanou těžbou stříbra po roce 1238 (např. JAROŠ 1995).

Z geologického hlediska se revír nachází na východním okraji moldanubické zóny a na jeho stavbě se podílejí jak metamorfované horniny, příslušné ke třem litologickým jednotkám (od podloží: monotónní jednotka, hosovský granulitový komplex, pestrá jednotka), tak také granity moldanubického plutonu variského stáří, na východě pak durbachity jihlavského masivu (VESELÝ 1963, VESELÁ 1967, 1976, DUDEK *et al.* 1986, VESELÁ *et al.* 1989, PLUSKAL a VOSÁHLO 1998). Z minerogenetického hlediska má na polymetalickou mineralizaci Jihlavska zásadní vliv tektonická stavba území. Z tohoto pohledu tu představuje dominantní strukturu pásmo disjunktivní tektoniky, mylonitů a tektonických brekcii několik set metrů až několik kilometrů široké, směru SSV-JJZ, označené KOUTKEM (1935) jako přibyslavská mylonitová zóna. Přimyká se k ní řada drobnějších zlomových struktur směru S-J až SSZ-JJV. Podél jižního okraje jihlavského masivu lze sledovat ve směru SZ-JV druhou významnou tektonickou strukturu, tzv. komárovickou tektonickou zónu. V tektonické stavbě rudního revíru se též uplatňují zlomy V-Z směru, ty však nejsou koncentrovány do výraznějších pásem.

Rudní mineralizace je poměrně jednoduchá, s dominujícím žlutohnědým, světle hnědým a červeným sfaleritem, galenitem a pyritem, se vzácnějším chalkopyritem a tetradritem, přičemž nositeli Ag byly vedle vzácného ryzího stříbra a akantitu pravděpodobně mikroskopické inkluze Ag-minerálů v galenitu. Jen menší část žil je charakteristická černým Fe-sfaleritem, s arzenopyritem, pyrhotinem, ojediněle i se staninem a kasiteritem (NĚMEC 1964). Rudní minerály jsou vázány hlavně na křemen a baryt, vzácnější jsou karbonáty (MALÝ 2009). Hlavními mineralizovanými strukturami v jihlavském rudním revíru jsou až několik km dlouhé dislokační zóny (např. starohorská zóna je dlouhá téměř 9 km) s komplikovaným hydrotermálně-tektonickým vývojem o směru převážně S-J, menší význam mají zručněné zlomy směru V-Z a SZ-JV, méně i SV-JZ a S-J (KOUTEK 1952, NĚMEC 1964, ZAJÍČEK 1982, 1983, MALÝ 1999, MALÝ a VÁVRA 1998 aj.). Teplota vzniku většiny Ag-Pb-Zn mineralizací se pohybuje v rozmezí 230–340 °C, vyšším teplotám odpovídají mineralizace s černým sfaleritem a pyrhotinem, např. jezdovická žíla ~ 370–410 °C (PLUSKAL a VOSÁHLO 1998). Vedle drobnějších prací problematiku revíru shrnují publikace KOUTKA (1952), NĚMCE (1964), ZAJÍČKA (1983), PLUSKALA a VOSÁHLA (1999), závažné poznatky obsahují také nepublikované práce (např. VESELÝ 1963, VOSÁHLO 1988).

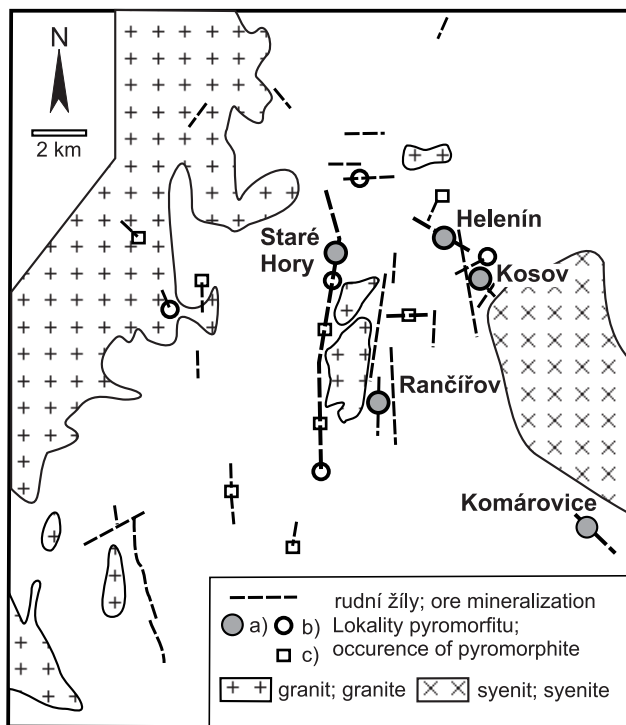
Minerály supergenních zón na Jihlavsku

Minerální asociace supergenních oxidických minerálů Pb, Zn a Cu je na Jihlavsku značně chudá jak mineralogicky, tak zejména co se týče objemu. Tvoří ji vedle převažujícího *cerusitu* a *anglesitu* (BURKART 1953), *pyromorfit* (HRUSCHKA 1825), *plumbojarosit* (PELÍŠEK 1944, DOKOUPILOVÁ a SULOVSKÝ 2007), *malachit* a *azurit*. K často uváděnému *wulfenitu* (BURKART 1953), *smithsonitu* a *hydrozinkitu* (např. MALÝ 1999) nebyla nikdy publikována identifikační data. Nově určeným minerálem je *skorodit* (KOCOURKOVÁ a HRAZDIL 2009) a podle elektronové mikroanalýzy se vyskytuje *plumbogummit*, *fosfohedyfán* a *kintoreit* (tato práce). Tyto minerály tvoří většinou jen drobné povlaky a relativně hojnější byly pouze na několika lokalitách, např. Jihlava (Horní Kosov) – Starohorský a Přá-fenhofský couk, Komárovice – Obora, Kosov – U perkhajzlu, Am Berggrub, Rančířov –

Couk rančířovských šachet, žila na z. okraji obce, a Helenín – Zlatá studánka. Geneticky k supergenním procesům náleží patrně sporadická *ryzí měď* (Jezdovice, KRUŽA 1966), *covelin* (Sasov, Helenín), vzácné *ryzí stříbro*, doložené však pouze několika vzorky ze Sasova, Starých Hor, Helenína a snad i z Rančířova a Jezdovic, *akantit* (jako argentit jej z Jihlavska určil např. J. MIŠKOVSKÝ in BURKART 1953, MALÝ a VÁVRA 1998, tato práce) a možná i *zlato* (Sasov, NĚMEC 1964, Rančířov?, Jezdovice?).

Problematika vzniku a zejména rozsahu supergenní mineralizace na rudních výskytech Jihlavska byla sice zmiňována některými autory převážně z ložiskového hlediska (vznik obohacených stříbrnosných zón), avšak podrobněji se otázkou zachování oxidačních a cementačních zón v této oblasti zabýval pouze HOLUB (2008). Došel k závěru, že geomorfologicky ani klimaticky zde nebyla situace posledních několik milionů let nijak příznivá ani vývoji, ani zachování mocnějších oxidačních (gossanů) a cementačních zón, nehledě na nevhodnou texturu rud (HOLUB 2008).

Pyromorfit se podle topografických mineralogií vyskytuje v jihlavském rudním revíru na několika lokalitách (obr. 1), avšak pro některé z nich chybějí v tomto směru spolehlivé doklady (uvedeny jsou kurzívou): *Čížov*, Helenín, Horní Kosov, *Hosov*, Hruškové Dvory, Jihlava, Komárovice, Kosov, *Loučky*, Malý Beranov, *Pístov*, *Popice*, Rančířov, Rantířov, Rounek, *Sasov*, *Vilanec* (BURKART 1953, KRUŽA 1966, ZAJÍČEK 1982, MALÝ 1999).



Obr. 1. Topografická a geologická situace výskytů pyromorfitu v jihlavském rudním revíru. a) lokality s častým pyromorfitem – studované; b) lokality s nehojným pyromorfitem; c) lokality uváděné pouze v literatuře.

Fig. 1. Topographical and geological situation of pyromorphite occurrences in Jihlava ore district; a) the locality studied – rich in pyromorphite; b) localities poor in pyromorphite; c) pyromorphite known only from literature.

Jihlava – Staré Hory (Starohorský couk)

Na tomto nejvýznamnějším rudním pásmu severojižního směru bylo ve středověku otevřeno mnoho důlních děl, zvláště v nejstarším období jihlavského dolování. Po těžbě zůstala ještě do poloviny minulého století zachována řada odvalů; dnes jsou zcela aplanovány a zastavěny. Rudní mineralizace tu není vázána na jednoduché křemenné žíly, ale spíše na mineralizované grafitizované a prokřemenělé dislokační zóny až několik desítek metrů mocné, vyvinuté v rulách, ale i mramorech (VESELÝ 1963). Je tvořena galenitem, dále žlutým, hnědým a červeným sfaleritem a lokálně i pyritem. Vzácnější je chalkopyrit, ojediněly tetradrit-freibergit, příp. ryzí stříbro a akantit. Méně jsou zastoupené zrudněné jednoduché barytové a ojediněle i karbonátové žíly. Sekundární minerály Pb, zvláště cerusit, ale i pyromorfit tu byly relativně běžné (KOUTEK 1952, VOSÁHLO 1996, PLUSKAL a VOSÁHLO 1998). Studovaný pyromorfit pochází z lokality „U Prachárny“, která se nacházela asi 200 m od VJV okraje Horního Kosova (dnes část Jihlavy).

Kosov – „U perkhajzlu“, „Am Berggrub“

Aplanované haldy, resp. z nich hojný rozvlečený materiál, se nacházejí na polích asi 1 km SZ od Kosova, v místech dříve zvaných „U perkhajzlu“ (Berghäusel). Na plošině nad beranovskou dědičnou štolou sv. Jiří (celková délka 1 024 m) bylo v blízkosti starších děl („auf den Weissen Hall“, cech Boží Vůle) otevřeno v 17.–18. století několik šachet, jako např. šachta sv. Prospera a Liščí šachta, sledujících křemenné žíly v biotitických rulách s mylonity (zčásti grafitizovanými) a amfibolity. Žíly jsou zrudněné galenitem, sfaleritem, pyritem a chalkopyritem, ze sekundárních minerálů se běžně vyskytuje „limonit“, cerusit, anglesit a zelený pyromorfit (KOUTEK 1952, VOSÁHLO 1996, HOLUB 2008).

Na dalším místě, na návrší poněkud blíže Kosova (dříve tzv. „Steinhübel“ nebo „Am Berggrub“), byla nalezena silně navětralá křemen-barytová žilovina s galenitem a sfaleritem, s relativně častým pyromorfitem (obr. 3). Všechny zbytky po dolování tam jsou však rovněž úplně aplanovány a ke studiu mohlo být použito pouze vzorků zelených, hnědých a bílých pyromorfitů ze sbírky MZM. V asociaci supergenních minerálů se na lokalitě vyskytoval vedle běžného „limonitu“ cerusit, anglesit, psilomelan, opál, malachit, wulfenit (BURKART 1953) a plumbojarosit (J. MIŠKOVSKÝ in DOKOUPILOVÁ a SULOVSKÝ 2007). Údajný „staffelit“ odpovídá na základě RTG určení mikrokrystalickému křemeni (opál ?) s podílem tridymitu (ústní sdělení J. SEJKORY, 2009).

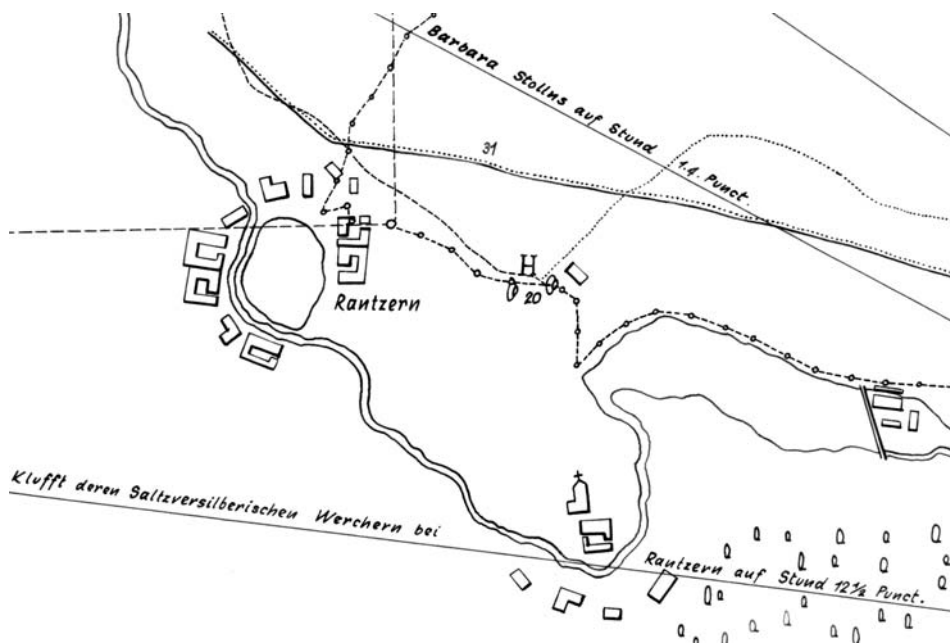
Helenín – couk Zlaté studánky (Goldbrünn)

Obvaly po historické těžbě se nacházejí asi 300 m na Z od bývalé továrny. Bližší údaje o těžbě nejsou známy, z 16. století je známa štola směřující k J pod pásmo obvalů, táhnoucí se v délce asi 400 m směru SZ-JV; voda z ní byla pokládána po r. 1566 za léčivou (VOHLÍDAL 1949). Práce tu byly naposledy obnoveny v letech 1769–1783. V lese se zachovalo 26 jam, nejhlubší má 8 m, na přilehlém poli byly aplanovány. Zrudněné křemenné žíly jsou tu uloženy v hydrotermálně alterované migmatitizované rule a sillimanit-biotitické pararule, lokálně grafitické. V materiálu odvalů se vedle rul vyskytují hojné granity, vzácnější jsou amfibolity a erlany. Typická je křemenná žilovina s podílem „chalcedonu“ a s téměř vylouženými sulfidy, nejmladší generace „stěbelnatého“ křemene je bez rudních minerálů. Z rudních minerálů je vzácný hnědý sfalerit, galenit, chalkopyrit a pyrit. Supergenního původu je chalkozín; v asociaci s nimi bylo zjištěno i ryzí Ag, tvořící drobné keříčkovité útvary, velikosti <1 mm na ploše téměř 1 cm² v rezavě zbarveném křemeni. Je bílé barvy, na navětralé ploše vzorku slabě nažloutlé (nepřeměněné ve „stříbrné černé“), chemicky čisté bez příměsi Au, Cu a Hg, patrně cementační

ho původu (MALÝ *et al.* v tisku). Ze sekundárních minerálů je vedle limonitu a zeleného pyromorfitu uváděn cerusit, malachit a azurit (KOUTEK 1952, ZAJÍČEK 1982, VOŠÁHLO 1996).

Rančířov - osamělý odval na z. okraji obce („Zeughaus“)

Odval šachty (?) asi 1 km z. od kostela, vpravo od silnice Znojmo–Jihlava, je v současnosti zcela aplanován a místo zastavěno (obr. 2). Jde o dílo neznámého jména, zobrazené např. na mapách J. CH. URBANA z r. 1772 a J. Ch. FISCHERA z r. 1782, související asi s prospekci rud na jižním pokračování couků „Rančířovských šachet“ v 16. století. Snad šlo o dílo „Na novém počátku“ zmiňované JAROŠEM (2001), ale možná vzniklo až později v 17.–18. století. Lokalita bývala sběrateli označována jako halda „u kravína“ či „u vepřína“, jako „Zeughaus“ nebo jako „odval Rančířovské štoly“ (ZAJÍČEK 1982). Podle materiálu odvalu byly těženy barytové a křemenné žíly s vtroušeným galenitem a sfaleritem, uložené v alterovaných biotitických rulách a migmatitech. Ze sekundárních minerálů byly vedle cerusitu na galenitu časté povlaky zeleného pyromorfitu s limonitem na barytové žilovině (podle sbírkových vzorků J. MIŠKOVSKÉHO).



Obr. 2. Pozice nepojmenovaného zaniklého dolu - lokality pyromorfitu (označen písmenem H) v Rančířově (mapa J. Ch. Urbana z r. 1772).

Fig. 2. Situation of unnamed destroyed mine (letter H) in Rančířov (J. Ch. Urban's map from year 1772), pyromorphite locality.

Komárovice - „Obora“

Pozůstatky po dolování se nacházejí asi 400 m JJV od obce Komárovice při exokontaktu jihlavského masivu na křížení brtnické tektonické zóny (S–J) s komárovickou mylonitovou zónou (SZ–JV). Zrudnělé žíly jsou uloženy v hydrotermálně alterované silimanitbiotitické migmatitizované pararule s mylonity (někdy obsahují grafit); typická je výrazná

„limonitizace“, objevuje se i psilomelan (PLUSKAL a VOSÁHLO 1998). Nejvýznamnější relikty po středověké těžbě jsou představované obvalovým tahem směru SZ–JV u cesty jižně od Komárovic k hájence, v lese Obora. D'ELVERT (1866) ji bez konkrétních důkazů řadí do předhusitské doby, podle ojedinělých nálezů keramiky se zde těžilo již ve 13. století. Výplň rudních žil tvoří převážně baryt a částečně křemen, jen vzácně obsahující vtoušená zrna galenitu a sfaleritu; uváděn je také pyrit, tetraedrit a pyrargyrit, poslední dva minerály by však bylo třeba přesně určit. V oxidační zóně vznikl vedle „limonitu“, cerusitu a anglesitu relativně hojný pyromorfít, ojedinělý je azurit (PELÍSEK 1951, NĚMEC 1964). Pyromorfít tvoří převážně povlaky složené z drobných jehličkovitých až soudečkovitých krystalů zelené a žlutozelené barvy (obr. 4) na limonitizované barytové žilovině, vzácněji je čirý, bílý nebo nahnědlý.



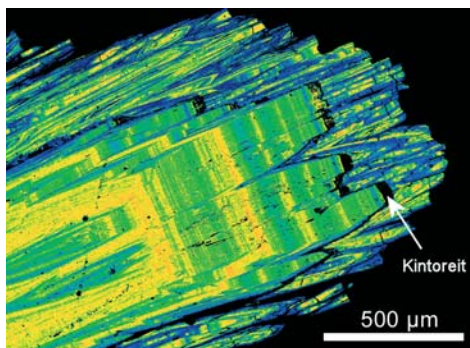
Obr. 3. Zelený pyromorfít na křemenu, Kosov (foto: M. Ivanov).

Fig. 3. Green pyromorphite on quartz, Kosov (photo: M. Ivanov).



Obr. 4. Zahrocené krystaly pyromorfítu z Komárovic (foto: M. Dosebaba).

Fig. 4. Arrowhead-like crystals of pyromorphite from Komárovice (photo: M. Dosebaba).



Obr. 5. Dvě generace růstu pyromorfítu – starší sloupečkovitý a mladší jehlicovitý (obraz BSE – falešné barvy), Kosov.

Fig. 5. Two generation of growth of pyromorphite – columnar older and needle-like younger, (BSE image – false colours), Kosov.



Obr. 6. Povlaky pyromorfítu na psilomelanu, Kosov (foto: V. Hrazdil).

Fig. 6. Pyromorphite overgrowth on psilomelane, Kosov (photo: V. Hrazdil).

Metodika práce

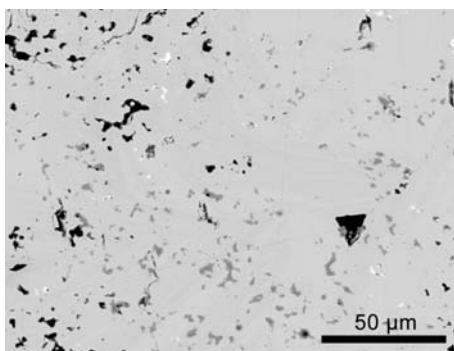
Vzorky pyromorfitu, pocházející z vlastních sběrů i ze sbírek mineralogicko-petrografického odd. MZM Brno, byly studovány pod binokulárním mikroskopem, zejména z hlediska minerálních asociací a morfologického vývoje agregátů. Chemismus jednotlivých variet pyromorfitu byl stanoven elektronovou mikrosondou Cameca SX 100 na Ústavu geologických věd PříF MU. Analýzy byly zhotoveny ve vlnově disperzním módu (WDX) za těchto podmínek: urychlovací napětí 15 kV, proud svazku 10 nA a 20 nA, průměr svazku 5 μm , jako standardy byly použity syntetické fáze a dobře definované minerály ($\text{FK}\alpha$ - fluorapatit, $\text{SiK}\alpha$ - sanidin, $\text{AsL}\alpha$ - InAs, $\text{PK}\alpha$ - fluorapatit, $\text{ClK}\alpha$ - vanadinit, $\text{SK}\alpha$ - baryt, $\text{CaK}\alpha$ - andradit, $\text{PbM}\alpha$ - PbSe, $\text{ZnK}\alpha$ - ZnO, $\text{FeK}\alpha$ - andradit, $\text{AlK}\alpha$ - berilit, $\text{BaL}\alpha$ - baryt, $\text{VK}\alpha$ - kovový V), změřená data byla upravena PAP korekcí podle POUCHOU a PICHOU (1985).

Popis a minerální asociace pyromorfitu v jihlavském rudním revíru

Pyromorfit vytváří převážně jemnozrnné povlaky až středně zrnité agregáty na žilovině a doprovodných horninách, přičemž u něho naprosto převládá trávově zelené zbarvení, někdy se zřetelně žlutým odstínem. Druhou formou výskytu jsou rozsahem nepatrné, drobně jehličkovité agregáty bezbarvého, bílého (místa s hnědofialovým odstínem) a hnědého pyromorfitu v dutinách silně zvětralých hornin a žilovin. Agregáty jsou někdy složeny s dokonalých hexagonálně omezených krystalů, většinou ukončených bází, výjimečně i pyramidou, velikostí většinou $\leq 3 \times 1$ mm. Častější jsou jehlicovité, individualizované i hypoparalelně srůstající krystaly do velikosti až 10×5 mm. Krystaly bývají někdy radiálně paprscitě uspořádané. Bylo pozorováno narůstání bílého a nahnědlého jehlicovitého pyromorfitu na větší zelené krystaly, vzácněji byly zaznamenány i případy opačné. Mikroskopicky a zejména v BSE obrazu je patrná výrazná oscilační zonálnost krystalů pyromorfitu (viz také níže subkapitola o chemickém složení), přičemž některé nejtmaší zóny nebo jejich relikty odpovídají svým složením fosfohedyfánu (Kosov, Komárovice), vzácněji jsou tvořené plumbo-gummitem (Helenín). Stejnou metodou byly zaznamenány i doklady rozpouštění jednotlivých zón a vznik pórovité mikrotextury krystalů (póry velikosti často jen $< 10 - 30 \mu\text{m}$), která byla popsána např. na pyromorfitu z Nové Vsi u Rýmařova (KOCOURKOVÁ *et al.* 2007); na Jihlavsku jde však o méně častý případ. V BSE jsou rovněž patrné doklady o rozpouštění a opětovný růst krystalů pyromorfitu ve směru osy Z, přičemž na lokalitě Kosov - Am Berggrub byly vzácně pozorovány dvě výrazné fáze růstu pyromorfitu, oddělené krystalizací minerálu blízkého kintoreitu (obr. 5), podobně i u Komárovice.

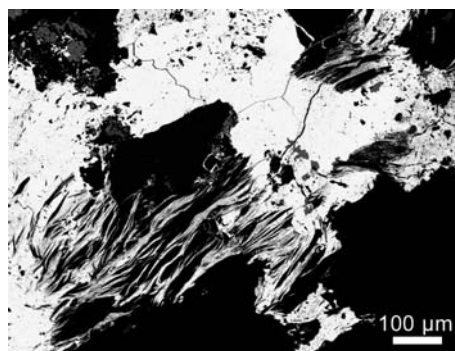
Minerální asociace pyromorfitu je relativně jednoduchá a podle mikroskopického pozorování jde většinou o nejmladší supergenní minerál jihlavského rudního revíru. Jediným mladším minerálem, tvořícím na něm jen lokálně (např. Komárovice) povlaky, jsou (sub)recentní oxihydroxidy.

Pyromorfit narůstá na trhliny alterovaných i relativně čerstvých hornin, hlavně však na rezavě zbarvený kavernózní i krystalovaný křemen (Helenín, Staré Hory, Komárovice) nebo na baryt, který je zčásti povlečený „limonitem“, méně i „psilomelanem“ (obr. 6). Typickým příkladem může být vzorek z Komárovice s následující sukcesí: (1) křemen; (2) limonitizovaný křemen; (3) tmavozelený pyromorfit; (4) bezbarvý pyromorfit; (5) žlutavý pyromorfit; (6) nahnědlý (limonitizovaný) jehlicovitý pyromorfit. Ojedinelé jsou případy, kdy jehlicovitý pyromorfit vykristalizoval do dutin, vzniklých pravděpodobně vyloučením galenitu (např. Komárovice, Kosov). Z kvantitativního hlediska se poněkud odlišují vzorky z Kosova a částečně z Rančířova a Starých Hor, kde je pyromorfit někdy sdružen s mocnějšími kůrami „limonitu“, resp. zcela limonitizovanými horninami obsahujícími tmavohnědé agregáty goethitu.



Obr. 7. Hojně drobné izometrické inkluze akantitu (šedý) v mírně pórovitém pyromorfitu (BSE obraz), Kosov.

Fig. 7. Anhedral inclusions of acanthite (grey) in slightly porous pyromorphite, BSE image, Kosov.



Obr. 8. Žilky pyromorfitu pronikající muskovitem v alterovaném granitu, Helenín (BSE obraz).

Fig. 8. Pyromorphite veinlets inside muscovite in altered granite, Helenín, BSE image.

Galenit v asociacích s pyromorfitem zcela chybí nebo se nachází pouze ve sporadických reliktech (v masivní barytové žilovině) přeměněných ve směs anglesitu a cerusitu; ani tam ale nebyl zjištěn v přímém kontaktu s pyromorfitem. Stejně je tomu v případech dalších sulfidů a produktů jejich přeměny, kdy vzácné jsou reliktů sfaleritu, chalkopyritu s covellinem, malachitem a azuritem. Za zmínku však stojí zjištění četných xenomorfních inkluzí Ag_2S (akantit?) velikosti ~ 2–10 μm v některých krystalech hnědého pyromorfitu z Kosova (obr. 7). Ze supergenních minerálů Pb s pyromorfitem přímo srůstají jen vzácné mikroskopické fáze: stejně starý je fosfohedyfán (resp. některé úzké zóny v oscilační zonálnosti pyromorfitu odpovídající mu složením) a mladší než nejstarší generace pyromorfitu je kintoreit, zatímco postavení plumbogummitu v sukcesi není jasné (tab. 1). Vztah k anglesitu, cerusitu a plumbojarositu není znám, protože spolu s pyromorfitem nebyly nalezeny. Z nerudních minerálů se v asociaci s pyromorfitem objevuje zejména grafit (Starohorský couk), muskovit (Helenín, obr. 8), vzácně opál a pravděpodobně také alofán (Kosov).

Chemické složení

Obecný vzorec pyromorfitu je $\text{A}_5(\text{XO}_4)_3\text{Z}$, v němž do pozice A vedle dominujícího Pb^{2+} může vstupovat také Ca^{2+} , Zn^{2+} , Ba^{2+} , Fe^{3+} a Al^{3+} , v pozici X se kromě převládajícího P^{5+} může podstatně uplatňovat As^{5+} a V^{5+} , příp. Si^{4+} a S^{6+} . Pozice Z je obsazena pouze Cl^- , OH^- a F^- se objevují jen výjimečně. Z uvedených substitucí vyplývají v supergenních zónách rudních mineralizací časté úzké paragenetické vztahy pyromorfitu k jeho dvěma As a V analogům, mimititu a vanadinitu, příp. také k hedyfánu a fosfohedyfánu, které obsahují navíc vápník (PAN a FLEET 2002).

Pyromorfity z popisovaných lokalit se až na výjimky blíží teoretickému složení $\text{Pb}_5(\text{PO}_4)_3\text{Cl}$. Jediné významnější substituce se uplatňují v pozici A, zatímco podíl As-, V-, Si- a S-složky v aniontové části vzorce je bezvýznamný a množství těchto elementů leží často na a pod hranici detekce (tab. 2, 3). Vypočtené obsahy OH, které vstupuje namísto Cl^- do pozice Z jsou jen nepatrné ($\leq 0,09$ pfu), obsahy F^- jsou pod mezí detekce. Nebyl zjištěn podstatný rozdíl mezi chemickým složením zelených, hnědých a bílých pyromorfitů. Reprezentativní analýzy jsou uvedeny v tab. 2 a 3.

Tabulka 1. Chemické složení minerálů zjištěných v asociacích s pyromorfitem.

Table 1. Chemical composition of minerals in pyromorphite-bearing assemblages.

	kintoreit				plumbogummit	
	Komárovice		Kosov		Helenín	
PbO	34,26	35,34	33,37	33,94	36,20	38,86
ZnO	0,05	0,16	0,26	0,08	0,77	0,22
CaO	0,00	0,00	0,00	0,05	0,17	0,05
BaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,13	0,08
Al ₂ O ₃	2,04	2,75	0,92	1,70	24,17	23,73
Fe ₂ O ₃	29,68	29,70	31,57	30,70	0,21	0,61
P ₂ O ₅	19,19	19,67	18,91	18,44	22,38	21,91
As ₂ O ₅	0,07	0,10	0,24	0,21	0,00	0,00
V ₂ O ₅	0,00	0,03	0,01	0,00	0,02	0,05
SO ₃	0,46	1,05	0,17	0,25	0,49	0,91
SiO ₂	0,11	0,13	0,29	0,30	3,46	1,04
Cl	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,04
F	0,00	0,00	0,00	0,00	0,82	0,63
H ₂ O	8,92	9,24	8,92	9,01	9,89	9,96
O=Cl	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,01
O=F	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,35	-0,27
Celkem	94,78	98,17	94,66	94,68	98,38	97,81
(Pb+Zn+Ca+Ba+Al+Fe)=4; OH ⁻ = (6-F-Cl); H ⁺ = 1						
Pb ²⁺	1,085	1,080	1,056	1,064	0,995	1,069
Zn ²⁺	0,004	0,013	0,023	0,007	0,058	0,017
Ca ²⁺	0,000	0,000	0,000	0,006	0,019	0,005
Ba ²⁺	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005	0,003
Σ A	1,089	1,094	1,079	1,077	1,076	1,094
Al ³⁺	0,283	0,368	0,128	0,233	2,907	2,859
Fe ³⁺	2,628	2,538	2,794	2,690	0,016	0,047
Σ B	2,911	2,906	2,921	2,923	2,924	2,906
H ⁺	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
P ⁵⁺	1,911	1,891	1,883	1,818	1,934	1,896
As ⁵⁺	0,004	0,006	0,015	0,013	0,000	0,000
V ⁵⁺	0,000	0,002	0,001	0,000	0,001	0,003
S ⁶⁺	0,041	0,089	0,015	0,022	0,038	0,070
Si ⁴⁺	0,013	0,015	0,034	0,035	0,353	0,106
Σ X	1,969	2,004	1,947	1,887	2,326	2,075
Cl ⁻	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,007
F ⁻	0,000	0,000	0,000	0,000	0,265	0,204
OH ⁻	6,000	6,000	6,000	6,000	5,732	5,789
Σ Z	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000

Tabulka 2. Reprezentativní chemické analýzy pyromorfitu (zelená varieta, 1–16) a fosfohedýranu (17–19) z jihlavského rudního revíru.
Table 2. Representative chemical analyses of pyromorphite (green variety, 1–16) and phosphohedryane (17–19) from Jihlava ore district.

Lokalita / Locality	Jihlava - Starotonský Couk		Kosov - Berggrupp				Kosov - „U Perkhajzu“ Helenin - couk „Zlaté studánky“							Rančítov					Komárovice			Kosov-Berggrupp	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	15	16	17	18	19					
PbO	82,39	82,68	77,66	76,12	82,11	82,22	75,34	81,11	80,00	80,55	74,71	83,07	80,02	82,27	82,31	74,71	71,21	74,11					
CaO	0,22	0,17	2,81	3,97	0,06	0,04	4,15	0,77	0,86	1,13	4,46	0,09	0,20	0,16	0,18	4,82	6,95	5,03					
BaO	0,04	0,04	0,00	0,08	0,00	0,00	0,03	0,01	0,02	0,01	0,05	0,05	0,00	0,03	0,05	0,06	0,00	0,02					
ZnO	0,00	0,05	0,12	0,01	0,07	0,03	0,04	0,02	0,06	0,07	0,12	0,12	0,04	0,00	0,00	0,01	0,25	0,11					
Al ₂ O ₃	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00					
Fe ₂ O ₃	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,02	0,00	0,01	0,00	0,01	0,02	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00					
P ₂ O ₅	15,55	15,61	17,23	17,65	15,52	15,31	17,71	16,33	15,93	16,31	17,79	15,35	15,28	15,45	15,61	18,40	18,84	18,17					
As ₂ O ₅	0,40	0,17	0,00	0,02	0,16	0,17	0,09	0,21	0,25	0,21	0,06	0,11	0,44	0,00	0,37	0,00	0,00	0,01					
V ₂ O ₅	0,06	0,02	0,02	0,12	0,00	0,00	0,01	0,01	0,04	0,00	0,02	0,03	0,01	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00					
SiO ₂	0,08	0,09	0,02	0,01	0,02	0,04	0,12	0,15	0,06	0,05	0,02	0,01	0,02	0,07	0,06	0,07	0,02	0,00					
SO ₃	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,03	0,00					
Cl	2,62	2,56	2,69	2,89	2,68	2,68	2,79	2,73	2,50	2,70	2,72	2,54	2,59	2,60	2,68	3,04	2,92	3,03					
H ₂ O	0,01	0,02	0,05	0,02	0,00	0,00	0,05	0,01	0,05	0,01	0,06	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,06	0,00					
Cl-O	-0,59	-0,58	-0,61	-0,65	-0,60	-0,60	-0,63	-0,62	-0,56	-0,61	-0,61	-0,57	-0,58	-0,59	-0,60	-0,69	-0,66	-0,68					
Čeikem	100,78	100,86	100,00	100,24	100,03	99,91	99,70	100,77	99,23	100,44	99,42	100,85	98,02	99,99	100,73	100,43	99,63	99,80					
	$\sum X = 3, OH = 1, Cl$																						
Pb ²⁺	4,931	4,977	4,290	4,087	5,005	5,072	4,012	4,644	4,710	4,657	3,989	5,127	4,942	5,053	4,917	3,856	3,596	3,889					
Ca ²⁺	0,052	0,041	0,618	0,848	0,015	0,010	0,880	0,175	0,202	0,260	0,948	0,022	0,049	0,039	0,043	0,990	1,397	1,051					
Ba ²⁺	0,003	0,004	0,000	0,006	0,000	0,000	0,002	0,001	0,002	0,001	0,004	0,004	0,000	0,003	0,004	0,005	0,000	0,002					
Zn ²⁺	0,000	0,008	0,018	0,001	0,012	0,005	0,006	0,003	0,010	0,011	0,018	0,020	0,007	0,000	0,000	0,001	0,035	0,016					
Al ³⁺	0,000	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000					
Fe ³⁺	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,003	0,000	0,002	0,000	0,002	0,003	0,007	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000					
Σ A	4,987	5,035	4,927	4,943	5,031	5,091	4,899	4,825	4,922	4,931	4,961	5,181	4,954	5,094	4,964	4,852	5,030	4,958					
P ⁵⁺	2,927	2,955	2,993	2,980	2,975	2,970	2,966	2,940	2,949	2,966	2,987	2,979	2,942	2,984	2,933	2,987	2,992	2,999					
As ⁵⁺	0,046	0,020	0,000	0,002	0,019	0,020	0,009	0,023	0,029	0,024	0,006	0,013	0,052	0,000	0,043	0,000	0,000	0,001					
V ⁵⁺	0,009	0,003	0,003	0,016	0,000	0,000	0,001	0,001	0,006	0,000	0,003	0,005	0,002	0,000	0,004	0,000	0,000	0,000					
Si ⁴⁺	0,018	0,020	0,004	0,002	0,005	0,009	0,024	0,032	0,013	0,011	0,004	0,003	0,005	0,016	0,013	0,013	0,004	0,000					
S ⁶⁺	0,000	0,002	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,003	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,007	0,000	0,004	0,000					
Σ X	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000					
Cl	0,987	0,970	0,935	0,977	1,028	1,041	0,935	0,984	0,927	0,983	0,914	0,987	0,998	1,005	1,008	0,988	0,928	1,001					
H ⁺	0,013	0,030	0,065	0,023	0,000	0,000	0,065	0,016	0,073	0,017	0,086	0,013	0,002	0,000	0,000	0,012	0,072	0,000					
O ²⁻	11,978	12,029	11,926	11,942	12,015	12,068	11,887	11,811	11,918	11,926	11,961	12,183	11,952	12,084	11,957	11,845	12,031	11,957					
Σ Z	12,978	13,029	12,926	12,942	13,044	13,108	12,887	12,811	12,918	12,926	12,961	13,183	12,952	13,089	12,965	12,845	13,031	12,958					

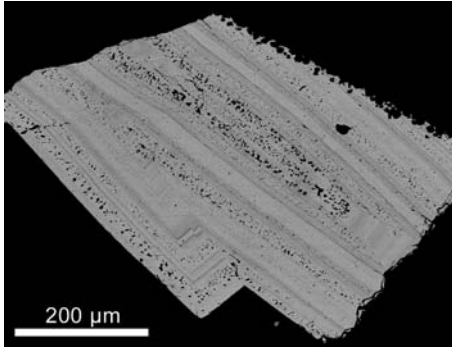
Tabulka 3. Reprezentativní chemické analýzy hnědého a bílého pyromorfitu z Kosova.

Table 3. Representative chemical analyses of brown and white pyromorphites from Kosov.

Lokalita / Locality : Kosov-Berggrub									
barva/color	bílá/white							hnědá/brown	
PbO	78,15	81,48	79,07	81,64	78,13	75,91	81,81	81,59	82,45
CaO	2,41	0,52	1,80	0,44	2,40	3,89	0,60	0,17	0,39
BaO	0,02	0,02	0,02	0,00	0,08	0,00	0,18	0,00	0,03
ZnO	0,00	0,00	0,07	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,02
Al ₂ O ₃	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,10	0,03
Fe ₂ O ₃	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,21
P ₂ O ₅	16,80	16,29	16,69	16,16	16,95	17,71	16,16	15,59	15,81
As ₂ O ₅	0,08	0,00	0,02	0,00	0,00	0,02	0,00	0,10	0,00
V ₂ O ₅	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00
SiO ₂	0,00	0,01	0,04	0,04	0,04	0,00	0,01	0,01	0,02
SO ₃	0,00	0,02	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00
Cl	2,81	2,67	2,80	2,63	2,91	3,02	2,63	2,74	2,65
H ₂ O	0,00	0,01	0,00	0,02	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00
Cl=O	-0,63	-0,60	-0,63	-0,59	-0,66	-0,68	-0,59	-0,62	-0,60
Celkem	99,66	100,49	99,88	100,40	99,85	99,89	100,84	99,74	101,01
Σ X = 3, OH = 1-Cl									
Pb ²⁺	4,424	4,758	4,503	4,790	4,385	4,082	4,826	4,963	4,967
Ca ²⁺	0,543	0,121	0,408	0,103	0,536	0,833	0,141	0,041	0,094
Ba ²⁺	0,002	0,002	0,002	0,000	0,007	0,000	0,015	0,000	0,003
Zn ²⁺	0,000	0,000	0,011	0,000	0,000	0,000	0,002	0,005	0,003
Al ³⁺	0,005	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,027	0,008
Fe ³⁺	0,000	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,002	0,035
Σ A	4,974	4,891	4,924	4,893	4,928	4,915	4,988	5,038	5,110
P ⁵⁺	2,991	2,992	2,989	2,982	2,992	2,995	2,998	2,983	2,996
As ⁵⁺	0,009	0,000	0,002	0,000	0,000	0,002	0,000	0,012	0,000
V ⁵⁺	0,000	0,003	0,000	0,003	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000
Si ⁴⁺	0,000	0,002	0,008	0,009	0,008	0,000	0,002	0,002	0,004
S ⁶⁺	0,000	0,003	0,000	0,007	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000
Σ X	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000
Cl	1,002	0,982	1,004	0,971	1,028	1,022	0,977	1,049	1,005
OH ⁻	0,000	0,018	0,000	0,029	0,000	0,000	0,023	0,000	0,000
O ²⁻	11,976	11,896	11,918	11,892	11,909	11,904	11,989	12,028	12,127
Σ Z	12,977	12,896	12,922	12,892	12,937	12,926	12,989	13,077	13,132

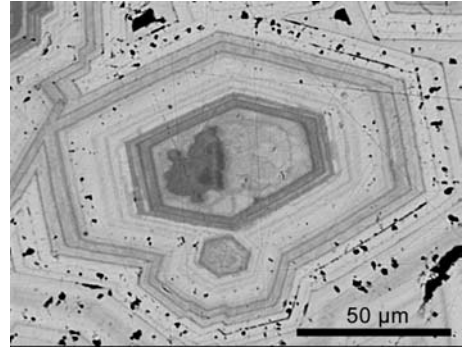
V pyromorfitu z **Jihlavy - Starých Hor** je patrné střídání porézniích a kompaktních zón a nevýrazná chemická oscilační zonálnost (obr. 9). Z chemických analýz vyplývá, že do pozice A vstupuje hlavně Pb²⁺ (4,93–4,98 apfu), velmi nízký je podíl Ca²⁺ (0,04–0,05 apfu) a Zn²⁺ (≤0,01 apfu). Dále se v kationtové části vzorce nepatrně uplatnil Al³⁺ (≤0,01 apfu) a Ba²⁺ (≤0,004 apfu), Fe³⁺ je pod mezi detekce. Pozice X je obsazena hlavně P⁵⁺ (≤2,96 apfu), obsahy As⁵⁺ (0,02–0,05 apfu), V⁵⁺ (≤0,01 apfu), Si⁴⁺ (≤0,02 apfu) a S⁶⁺ (≤0,002 apfu) jsou velmi nízké. Vzorky z **Helenína** naopak vykazují v obrazu BSE výraznou chemickou zonálnost sloupečkovitých krystalů a to jak v bazálním tak i podélném řezu. Centra krystalů jsou často automorfně omezená, okraje jsou oscilačně zonální a někdy porézni. Jako na jediné lokalitě jihlavského rudního revíru byla v některých centrech homogenních krystalů pyromorfitu identifikována samostatná Pb-Al fáze, tvořící nepravidel-

ná zrna ≤ 10 μm , chemickým složením odpovídající plumbogummitu (tab. 1). Pozice A v pyromorfitech z Helenína je obsazena převážně Pb^{2+} (3,99–4,71 apfu), výrazně vyšší než v předchozím případě je ale podíl Ca^{2+} (0,20–0,95 apfu). Je tomu tak hlavně v centrech některých krystalů, ale i v některých úzkých zónách na bazálních plochách při okraji (obr. 10). Do stejné pozice vstupuje ještě Zn^{2+} ($\leq 0,02$ apfu), zatímco podíl Fe^{3+} a Ba^{2+} je nepatrný (obvykle $< 0,01$ apfu). Dominujícím prvkem v pozici X je P^{5+} (2,94 do 2,99 apfu), málo je zastoupen As^{5+} ($\leq 0,03$ apfu), Si^{4+} ($\leq 0,03$ apfu), V^{5+} ($\leq 0,01$ apfu) a S^{6+} ($\sim 0,003$ apfu).



Obr. 9. Masivní a pórovité zóny v oscilačně zonálním pyromorfitu ze Starých Hor (BSE obraz).

Fig. 9. Massive and porous zones in oscillatory-zoned pyromorphite from Staré Hory (BSE image).



Obr. 10. Oscilačně zonální pyromorfít s Ca-bohatým (tmavým, zčásti reliktním) jádrem. Řez podél bazální plochy (BSE obraz), Helenín.

Fig. 10. Oscillatory zoned pyromorphite with Ca-rich dark core (partly relic) – cross section along base, BSE image, Helenín.

V případě lokality **Kosov** se v chemismu pyromorfitu projevují zřetelné rozdíly mezi lokalitami „Perkhajzl“ (pouze zelené pyromorfity) a „Am Berggrub“ (všechny barvy). Některé zóny (v BSE nejtmaší) mají poměr $[\text{Pb}/(\text{Ca}+\text{Pb}) > 0,3]$ vyšší než 1,00 a takové složení odpovídá již fosfohedyfanu $\text{Ca}_2\text{Pb}_3(\text{PO}_4)_3\text{Cl}$, (tab. 2) nedávno popsanému minerálu (KAMPF *et al.* 2006), od nás známého od Slivice u Příbrami (SEJKORA *et al.* 2008).

Chemické složení zelených pyromorfitů z lokality „Perkhajzl“ je následující: v pozici A je obsaženo téměř jen Pb^{2+} (5,01 do 5,07 apfu), obsahy Ca^{2+} ($\leq 0,02$ apfu), Zn^{2+} ($\leq 0,01$ apfu) a na hranici detekce je obsah Fe^{3+} ($\leq 0,003$ apfu). Pozice X je obsazena P^{5+} (2,97–2,98 apfu), minimálně jsou zastoupeny As^{5+} ($\leq 0,02$ apfu), Si^{4+} ($\leq 0,01$ apfu) a S^{6+} ($\leq 0,01$ apfu).

Na lokalitě „Am Berggrub“ se u **zelených** pyromorfitů v pozici A pohybuje obsah Pb^{2+} od 4,09 do 4,29 apfu. Relativně vysoké ale variabilní jsou obsahy Ca^{2+} (0,62–0,85 apfu), pouze ve stopovém množství se objevují i Ba^{2+} ($\leq 0,01$ apfu), Zn^{2+} ($\leq 0,02$ apfu) a Fe^{3+} ($\leq 0,002$ apfu). Pozice X je obsazena P^{5+} (2,98–2,99 apfu), minimální jsou obsahy V^{5+} ($\leq 0,02$ apfu), Si^{4+} ($\leq 0,004$ apfu) a As^{5+} ($\leq 0,002$ apfu). U **bílých** pyromorfitů se v pozici A objevují především Pb^{2+} (4,08–4,83 apfu) a Ca^{2+} (0,10–0,83 apfu), se stopovými obsahy Ba^{2+} ($\leq 0,02$ apfu), Zn^{2+} ($\leq 0,01$ apfu), Fe^{3+} a Al^{3+} ($\leq 0,01$ apfu). Pozice X je obsazena P^{5+} (2,98–3,00 apfu), minimálně jsou obsaženy S^{6+} , As^{5+} , Si^{4+} ($\leq 0,01$ apfu) a V^{5+} ($\leq 0,003$ apfu). Dominantním prvkem v pozici A u **hnědých** variet je Pb^{2+} (4,96–4,97 apfu), obsah Ca^{2+} se pohybuje od 0,04 do 0,09 apfu, v malém množství se objevují Ba^{2+} a Zn^{2+} ($\leq 0,01$ apfu), Fe^{3+} a Al^{3+} ($\leq 0,03$ apfu). V pozici X převládá P^{5+} v rozmezí od 2,98 do 3,00 apfu, v malém množství se objevuje As^{5+} a Si^{4+} ($\leq 0,01$ apfu), V^{5+} a S^{6+} ($\leq 0,003$ apfu). Reprezentativní analýzy hnědých a bílých pyromorfitů z lokality Kosov – „Am Berggrub“ je uvedena v tab. 3.

Podobné chemické složení mají i pyromorfity z **Rančířova**, Ca^{2+} (0,02–0,05 apfu) a nízkým obsahem Fe^{3+} ($\leq 0,01$ apfu), Zn^{2+} ($\leq 0,02$ apfu), Ba^{2+} ($\leq 0,004$ apfu) a Al^{3+} pod mezí detekce. Dominantním prvkem v pozici X je P^{5+} (2,94–2,98 apfu), v malém množství se objevují As^{5+} (0,01–0,05 apfu), Si^{4+} ($\leq 0,01$ apfu) a V^{5+} ($\leq 0,005$ apfu).

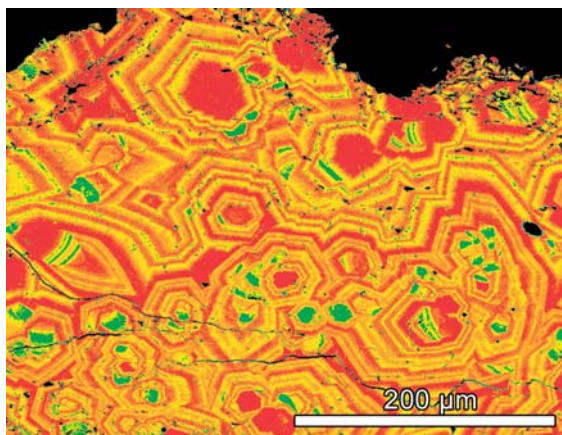
Pyromorfity z **Komárovic** jsou nejméně variabilní a jejich složení je blízké teoretickému koncovému členu. Vedle Pb^{2+} (4,92–5,05 apfu) mají v průměru relativně nízký obsah Ca^{2+} ($\leq 0,04$ apfu), přičemž další prvky jsou pod mezí detekce. V pozici X dominuje P^{5+} (2,93–2,98 apfu), minimálně je obsažen As^{5+} ($\leq 0,04$ apfu), Si^{4+} ($\leq 0,02$ apfu), S^{6+} ($\leq 0,01$ apfu) a V^{5+} ($\leq 0,004$ apfu). V BSE je patrná oscilační zonálnost (tmavé zóny mají vyšší Ca), kde zóny mají většinou ostré hranice, vzácněji se objevují pozvolné přechody. Ačkoliv je obsah Ca v průměru velmi nízký, některé izolované zóny v pyromorfitu mají poměr Ca/Pb odpovídající fosfohedyfánu (tab. 2).

Diskuse a závěry

Pyromorfít představuje v jihlavském rudním revíru typický minerál. Vyskytuje se jen v místech kde se zachovala hlubší část oxidační subzóny, pro niž je typickým minerálem. V těchto podmínkách je pyromorfít vedle plumbogummitu nejstabilnějším minerálem Pb (MANECKI 2007). Charakteristickým průvodcem pyromorfitu je pouze goethit („limonit“), který také bývá často nositelem adsorbovaného Pb^{2+} i PO_4^{3-} potřebných pro jeho vznik (MANECKI 2007). V blízkosti pyromorfitu se objevuje pouze cerusit (Starohorský couk, Helenín), který se rovněž stejně jako anglesit a plumbojarosit vyskytuje přímo na trhlinách galenitu nebo častěji v dutinách po něm. Jedinou lokalitou odkud je zmíněn vzácný pyromorfít povlákající galenit (tento údaj by však bylo nutno ověřit) je Jihlava-Pfaffenhofský couk, kde se celkově vyskytovalo relativně víc sekundárních produktů, hlavně cerusitu, malachitu a azuritu (ZAJÍČEK 1982). Variace v zastoupení pyromorfitu na různých žilách svědčí především o jeho vazbě na dílčí disjunktivní tektoniku ovlivňující zvětvávání ložiska do větších hloubek, tedy rozklad primárních fází a migraci Pb ve vodném prostředí. Z hlediska složení roztoků stojí za zmínku hlavně nepřítomnost minerálů jarositové skupiny, indikujících kyselé prostředí, v němž je pyromorfít nestabilní (NRIAGU 1974, 1984, MANECKI 2007). Z tohoto pohledu lze předpokládat, že to bylo pravděpodobně zvětvávání hojného pyritu, které negativně ovlivnilo genezi pyromorfitu na některých lokalitách (např. Jezdovice, Rančířov-couk Rančířovských šachet, Postříbřovací couk), kde pyromorfít zcela chybí. Vedle podstatného obsahu Pb, jehož výchozím zdrojem byl galenit nebo spíše starší sekundární fáze, Cl (zdroj ve fluidních inkluzích nebo primárních fázích) a P (pravděpodobně alterace živců a/nebo mikrokrystalický apatit) mohly roztoky také obsahovat zvýšený podíl Ag. Bylo by proto třeba posoudit, zda nález Ag_2S -inkluzí v pyromorfitu z lokality Kosov – „Am Berggrub“ (tato práce) je jen nahodilý nebo může být v některých případech pravidlem.

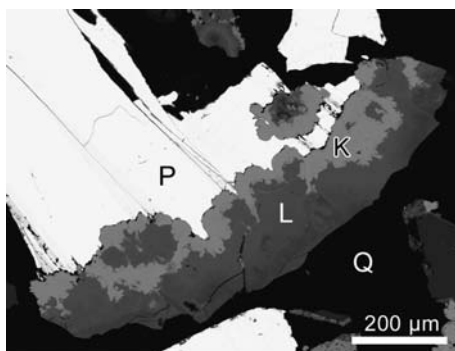
Chemické složení studovaného pyromorfitu je jednoduché. Roztoky v subzóně, v níž krystalizoval, obsahovaly vedle Pb a P jen významnější podíl Ca, příp. Fe, ostatní prvky, které mohly vstupovat do pyromorfitu (Ba, Zn, As, V) se uplatnily jen nepatrně. Platí to zejména o V, jehož zdrojem mohl být grafit, častý na Jihlavsku v asociaci s pyromorfitem na většině lokalit. Hlavní zonálnost v krystalech pyromorfitu je založena na kolísajícím podílu Ca, kdy v průběhu růstu krystalů vzácně vznikly i nepravidelné zóny odpovídající fosfohedyfánu (obr. 11). Mírně vyšší je obsah Ca v hnědě zbarvených a zejména bílých pyromorfitech, rozdílů proti zeleným varietám však nejsou nijak významné. Naopak Fe^{3+} ani Al^{3+} nevstupovaly ve větším množství do struktury pyromorfitu, ale tvořily samostatné mladší minerály kintoreit a plumbogummit (tab. 1), které narůstají na pyromorfít nebo jej zatlačují spolu s limonitem (obr. 12). Tam kde vznikly tyto samostatné fáze, má pyromor-

fit složení nejbližší teoretickému vzorci. Vznik pyromorfitu probíhal ve více fázích, spojených s rozpouštěním a opětovným pokračováním růstu, což vedlo ke vzniku oscilační zónalnosti. To je nejvíce patrné na bazální ploše krystalů (obr. 13), kde je rozpouštění nejrychlejší (srov. MANECKI 2007). Kintoreit $\text{PbFe}_3\text{H}(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_6$ byl původně popsán z oxidační zóny u Kintore v oblasti ložiska Broken Hill v Austrálii, vyskytuje se i na řadě dalších lokalit (PRING *et al.* 1995, GREY *et al.* 2009). Studovaný minerál má oproti koncovému členu zvýšený obsah Al^{3+} (tab. 1) a mírně nižší sumy oxidů, patrně díky nestabilitě minerálu pod elektronovým svazkem.



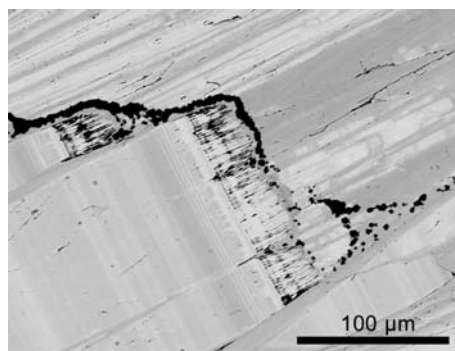
Obr. 11. Zonální pyromorfit s Ca-bohatými středy krystalů. Červené zóny složením odpovídají fosfohedyfanu (BSE obraz - falešné barvy), Kosov.

Fig. 11. Zoned pyromorphite with Ca-rich cores. The false colour red zones have composition of phosphohedyphane (BSE image), Kosov.



Obr. 12. Kintoreit (šedý) a „limonit“ (tmavošedý) ztláčují pyromorfit (BSE obraz), Kosov. P - pyromorfit; K - kintoreit; L - Fe-oxihydroxidy; Q - křemen.

Fig. 12. Kintoreite (grey) and ironhydroxide (dark grey) replaces pyromorphite, BSE image, Kosov. P - pyromorphite; K - kintoreite; L - Fe-oxihydroxides; Q - quartz.



Obr. 13. Pórovitý pyromorfit při ukončení zonálního sloupečkovitého krystalu - důsledek rozpouštění na bazální ploše. Patrná je samostatná zóna kintoreitu (černá) mezi starším a mladším pyromorfitem (BSE obraz), Kosov.

Fig. 13. Porous pyromorphite near termination of zoned columnar crystal owing to dissolution in basal surface. Individual zone of kintoreite (black) between older and younger pyromorphite is visible, BSE image, Kosov.

V jihlavském rudním revíru je pyromorfit rozšířený značně nepravidelně, často zcela chybí. Podobná situace je na dalších rudních žilách Ag-Pb-Zn na Českomoravské vrchovině, které se jihlavským podobají, zejména v případě pelhřimovského revíru. Tam se pyromorfit vyskytuje v asociaci s Fe-oxihydroxydy, např. v Dudině (s cerusitem), v Řeženčici-Hamru a Rohozné. Tamní pyromorfit má zvýšený podíl As, což může souviset s hojným arzenopyritem v rudě; znám je odtud i barium-farmakosiderit a akantit (LITOCHEB 1979). Vzácný je rovněž na polymetalických žilách na Dačicku (Radlice, Horní Radíkov), u Lažánek (Stříbrná zmla) a ve štěpánovském rudním revíru (HOUZAR a MALÝ 2002). Výskyt pyromorfitu souvisí nepochybně s nepřítomností vyššího obsahu pyritu v asociacích primárních rudních minerálů: např. zcela chybí na žilách s asociací černý Fe-sfalerit-galenit-pyrit, které jsou v charakteristickém vývoji známé od Jezdovic, z Havlíčkobrodsko a z kutnohorského stříbrnosného revíru a také se stupněm zachování spodní oxidačních subzón. Lokální zachování těchto částí na lokalitách na Českomoravské vrchovině dokládají vedle výskytů pyromorfitu také nálezy sekundární mineralizace As v Dlouhé Vsi u Havlíčkova Brodu, s farmakosideritem (FOJT 1960) a skoroditem, příp. kaňkitem (ŠPAČEK in HOLUB 2008, KOCOURKOVÁ *et al.* 2008), s baryum-farmakosideritem na Pelhřimovsku (LITOCHEB 1979) a skoroditem v Jezdovicích (KOCOURKOVÁ a HRAZDIL 2009).

Poděkování

Za zhotovení mikrofotografií děkujeme M. Dosbabovi a zejména dr. M. Ivanovovi (UGV MU Brno). Práce byla finančně podpořena výzkumným záměrem MK 00009486201 (S. H, V. H). Autoři děkují dr. K. Malému a dr. J. Sejkorovi za recenzní připomínky.

LITERATURA

- BURKART, E., 1953: Moravské nerosty a jejich literatura. – Mährens Minerale und ihre Literatur. – *Nakl. ČSAV*, 1 008 p, Praha.
- BOHATÝ, M., 1996: Jihlavské nerosty. Příspěvek k dějinám moravské mineralogie. – *Minerál*, 4, 5, 303–313.
- D'ELVERT, CH., 1866: Zur Geschichte des Bergbaues und Hüttenwesens in Mähren und Oest. Schlesien. – *Verlag. d. histor. stat. Sektion*, Brünn., 438 p.
- DOKOUPILOVÁ, P., SULOVSKÝ, P., 2007: Minerály skupiny jarositu ze sulfidických paragenezí východní části Českého masivu. – *Acta Mus. Morav., Sci. geol.*, 92, 75–91.
- DUDEK, A. *et al.* 1986: Geologicko-strukturální charakteristika moldanubika mezi třebečským masivem a centrálním masivem moldanubickým – podoblast jihlavsko-moravskobudějovická. – *MS, přírodověd. fak. UK Praha*, 77 p.
- FOJT, B., 1960: Farmakosiderit z Dlouhé Vsi u Havlíčkova Brodu. – *Čas. Mineral. geol.*, 5, 61.
- GREY, I. E., MUMME, W. G., MILLS, S. J., BIRCH, W. D., WILSON, N. C., 2009: The crystal chemical role of zinc in alunite-type minerals: structure refinements for pure and zincian kintoreite. – *Amer. Mineral.*, 94, 676–683.
- HOLUB, M. 2008: Poznámky k existenci větráním obohacených zón stříbrnosných rud v Brodském a Jihlavském rudním revíru. – *Stříbrná Jihlava 2007*, Studie k dějinám hornictví a důlních prací, Archeol. Výzk. na Vysocině, Supl. 1, 206–215.
- HOUZAR, S., MALÝ, K., 2002: Přehled mineralogie, ložiskových poměrů a historie štěpánovského rudního revíru na západní Moravě. – *Acta Mus. Morav., Sci. geol.*, 87, 5–59.
- HRUSCHKA, W., 1825: Bemerkungen über die bei Iglau in Mähren vorkommenden Mineralien. – *Mitt. der k. k. mähr.-schles. Gesell. zur Beförderung des Ackerbaues*, 8, 25, 199–200.
- JAROŠ, Z., 1995: Několik poznámek k počátkům dolování stříbra na Jihlavsku. – *Sbor. příspěvků ze semináře „Stříbrná Jihlava 1995“*, 45–48.
- JAROŠ, Z., 2001: O dolování stříbrných rud u Rančirova. – *Sbor. příspěvků ze semináře „Stříbrná Jihlava 2001“*, 30–33.
- KAMPF, A. R., STEELE, I. M., JENKINS, R. A., 2006: Phosphohedyphane, $\text{Ca}_2\text{Pb}_3(\text{PO}_4)_3\text{Cl}$, the phosphate analog of hedyphane: Description and crystal structure. – *Amer. Mineral.*, 91, 1909–1917.

- KOCOURKOVÁ, E., HRAZDIL, V., 2009: Skorodit $\text{FeAsO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ z Jezdovic u Třeště. – *Acta Mus. Morav., Sci. geol.*, 94, 1, 77–81.
- KOCOURKOVÁ, E., LOSOS, Z., VÁVRA, V., 2007: Pyromorfit z ložiska olověno-zinkových rud Nová Ves u Rýmařova. – *Acta Mus. Morav., Sci. geol.*, 92, 93–102.
- KOCOURKOVÁ, E., CEMPIŘEK, J., LOSOS, Z., 2008: Kaňkit z Dlouhé Vsi u Havlíčkova Brodu. – *Acta Rer. natur.*, 4, 7–12.
- KOUTEK, J., 1935: O tak zvaném drobovém horizontu přibyslavském v krystaliniku Českomoravské vysočiny. – *Čas. Nár. Muz., Odd. přírodověd.*, 109, 1–4. Praha.
- KOUTEK, J., 1952: O rudních žilách a starém dolování u Jihlavy. – *Sbor. Ústř. úst. Geol., geol.*, 19, 77–40.
- KRUŽA, T., 1966: Moravské nerosty a jejich literatura 1940–1965. – *Moravské muzeum*, Brno, 379 p.
- LITOCHEB, J., 1979: K mineralogii a ložiskovým poměrům pelhřimovského rudního revíru. – *Sbor. příspěvků ke geol. výzkumům. jz. části Českomoravské vrchoviny*, Jihočeské muzeum, přírodní vědy, 65–79.
- MALÝ, K., 1999: Jihlavský rudní revír – přehled geologie a mineralogie. – *Sbor. „Dolování stříbra a mincování v Jihlavě“*, 15–23.
- MALÝ, K., 2009: Chemismus karbonátů jihlavského rudního revíru. – *Acta Rer. natur.*, 7, 57–62
- MALÝ, K., VÁVRA, V., 1998: Ryzí stříbro z jihlavského rudního revíru. – *Acta Mus. Morav., Sci. geol.*, 83, 49–52.
- MALÝ, K., HOUZAR, S., ŠTELCL, J., v tisku: Ryzí stříbro z Helenína (jihlavský rudní revír). – *Acta Rer. natur.*
- MANECKI, M., 2007: Role i dynamika przemian piromorfitu $\text{Pb}_5(\text{PO}_4)_3\text{Cl}$ w środowisku. – *Rozprawy Monografie*, 176, Krakow, 91 p.
- NEMEC, D., 1964: Geologische und paragenetische Verhältnisse der Erzgänge des Jihlava – Jezdovice Reviers. – *Mineral. Petrogr. Mit.*, 9, 42–85.
- NRIAGU, J. O., 1974: Lead orthophosphates IV. Formation and stability in the environment. – *Geochim. Cosmochim. Acta*, 38, 887–898.
- NRIAGU, J. O., 1984: Formation and stability of base metal phosphates in soils and sediment. In: NRIAGU, J. O., MOORE, P. B. (eds): *Phosphate minerals*, Springer-Verlag Berlin, 318–329.
- PAN, Y., FLEET, M. E., 2002: Compositions of the apatite group minerals: substitution mechanisms and controlling factors. In: KOHN, M. J., RAKOVAN, J., HUGHES, J. M., (eds.): *Phosphates. – Reviews in Mineralogy*, 48, 13–49.
- PELÍŠEK, J., 1951: Nerosty bývalých dolů u Komárovic. – *Příroda*, 44, 11–12, 190.
- PLUSKAL, O., VOSÁHLO, J., 1998: Jihlavský rudní obvod. – *Vlastiv. sbor. Vysočiny*, odd. věd. přír., 13, 157–191.
- PRING, A., BIRCH, W. D., DAWE, J., TAYLOR, M., DELIENS, M., WALENTA, K., 1995: Kintoreite, $\text{PbFe}_3(\text{PO}_4)_2(\text{OH}, \text{H}_2\text{O})_6$, a new mineral of the jarosite-alunite family, and lusungite discredited. – *Mineral. Mag.*, 59, 143–148.
- POUCHOU, J. L., PICHOR, F., 1985: “PAP” ($\phi\rho Z$) procedure for improved quantitative microanalysis. – In: *Microbeam Analysis* (J. T. Armstrong, ed.). San Francisco Press, San Francisco, 104–106.
- SEJKORA, J., LITOCHEB, J., STRNAD, J., KUBICA, J., 2008: Supergenní mineralizace slivického pásma (žila Karel) jv. od Příbrami, Česká republika. – *Bull. mineral-petrolog. Odd. Nár. Muz.* (Praha), 16, 1, 1–10.
- VESELÁ, M., 1967: On the stratigraphical position of granulites in the Moldanubicum. – *Krystalinikum*, 5, 137–152.
- VESELÁ, M., 1976: Jihlavská brázda ve vývoji geologické stavby okolí Jihlavy. – *Sbor. geol. Věd. Geol.*, 28, 189–205. Praha.
- VESELÁ, M., HRÁDEK, M., CHROBOK, J., ŠALANSKÝ, K. 1989: Vysvětlivky k základní geologické mapě ČSSR 1:25 000, 23–234 Jihlava. – *Ústř. ústav geol.*, 68 p.
- VESELÝ, J., 1963: Závěrečná zpráva o vyhledávacím průzkumu ložisek barevných kovů na Jihlavsku. – *MS, Geofond*.
- VOHLÍDAL, A., 1949: O jihlavském hornictví. – *Musejní publikace*, Jihlava, sv. 1, 31 s.
- VOSÁHLO, J., 1988: Příspěvek k řešení strukturní pozice a minerogeneze hydrotermální polymetalické mineralizace na území rudních revírů Kamenná, Jihlava a Jezdovice. – *MS, Dipl. práce přírod. fak. KU*, Praha.
- VOSÁHLO, J., 1996: Staré jihlavské doly. – *Minerál*, 4, 5, 293–302.
- ZAJÍČEK, P., 1982: Jihlavský rudní revír a jeho mineralogie. – *Přednášky NM v Praze*, 4, 28 s.
- ZAJÍČEK, P., 1983: Ocenění zásob Ag v jihlavském rudním revíru. – *Čas. Mineral. geol.*, 28, 197–207.