národní
úložiště
šedé
literatury

Metodika preventivní i sanační konzervace sbírkových předmětů z oblasti paleontologie a mineralogie ohrožených produkty degradace sulfidů

Sklenář, Jan; Ekrt, Boris; Sejkora, Jiří; Kolesar, Peter; Gazdová, Zuzana; Malíková, Radana; Nohejlová, Martina; Kotlík, Petr; Novák, Michal; Ďurovič, Michal; Říhová Ambrožová, Jana
2015

Dostupný z http://www.nusl.cz/ntk/nusl-203643

Dílo je chráněno podle autorského zákona č. 121/2000 Sb.

Tento dokument byl stažen z Národního úložiště šedé literatury (NUŠL).

Datum stažení: 25.04.2024

Další dokumenty můžete najít prostřednictvím vyhledávacího rozhraní nusl.cz .

Metodika preventivní i sanační konzervace sbírkových předmětů z oblasti paleontologie a mineralogie ohrožených produkty degradace sulfidů

průvodní zpráva

autoři:

Mgr. Jan Sklenář, Ph.D., RNDr. Boris Ekrt; Mgr. Jiří Sejkora, Ph.D.; RNDr. Peter Kolesar; Ing. Zuzana Gazdová; Mgr. Radana Malíková; Mgr. Martina Nohejlová

Národní muzeum (Přírodovědecké muzeum)
Přírodovědecké muzeum, Cirkusová 1740, 193 00 Praha 9

doc. Ing. Petr Kotlík, CSc.; Ing. Michal Novák Ph.D.; doc. Dr. Ing. Michal Ďurovič; doc. RNDr. Jana Říhová Ambrožová, Ph.D.

Vysoká škola chemicko-technologická v Praze
Technická 5, 166 28 Praha 6

Metodika vznikla jako výstup programu aplikovaného výzkumu a vývoje národní a kulturní identity (NAKI), v rámci projektu „Metodika preventivní i akutní konzervace sbírkových předmětů z oblasti paleontologie a mineralogie ohrožených produkty degradace sulfidů“ (NAKI DF12P01OVV031, roky 2012–2015), financovaného prostřednictvím Ministerstva kultury ČR

1) Cíl metodiky

Cílem metodiky je vytvořit podmínky pro systematickou záchranu sbírkových předmětů z oblasti geovědních oborů ohrožených důsledky degradace sulfidů kovů. Rozklad sulfidů obsažených ve sbírkových předmětech (zejména z oblasti paleontologie a mineralogie) dlouhodobě představuje vážný problém. Sulfidy železa, jsou vysoce metastabilní a jejich rozklad vytváří produkty, jež nepříznivě působí na stav sbírkových předmětů. Bez konzervačního zásahu končí postupná degradace téměř vždy úplným znehodnocením předmětu. Produkty rozkladu navíc postihují i další sbírkový materiál deponovaný ve stejném úložišti. Nenahraditelné ztráty působí tato destrukce u taxonomických typů a originálů k vědeckým pracím obecně, u unikátních vzorků pocházejících z dnes už nepřístupných lokalit a u sbírkových kusů s významnou historickou a dokladovou hodnotou obecně. Kromě toho zásadně ovlivňuje vypovídací hodnotu nových sběrů: předměty obsahující degradabilní sulfidy kovů, a zvláště pak předměty se známkami degradace, nejsou zařazovány do sbírek buď vůbec, nebo z nich jsou následně pro nezadržitelnou degradaci vyřazovány. To má podstatný vliv na vypovídací hodnotu sbírek jako celku. Charakter degradace závisí mj. na vlastnostech, jež jsou specifické pro jednotlivé lokality, respektive horninová prostředí, ze kterých pochází materiál ve sbírkách řady muzeí a dalších institucí ČR. Tento soubor dostatečně reprezentativně pokrývá různé mineralogické, litologické i genetické případy a metodika je tak aplikovatelná na jakýkoli materiál z jiných částí světa. Cílem projektu je tedy vytvoření metodiky zahrnující specifické postupy preventivní a akutní ochrany sbírkových předmětů včetně záchrany vypovídací hodnoty těch, jejichž ztráta je již nevyhnutelná. Výsledná metodika obsahuje nejen nejmodernější profesionální standardní řešení, ale, tam kde je to možné, i alternativy s lepší finanční a technickou dostupností. Výsledná šíře postupů slouží k eliminaci ztrát v oblasti kulturního dědictví i vědeckých informací na všech stupních péče o sbírky z oblasti geologických věd.

2) Vlastní popis metodiky

Metodika představuje provázaný komplex postupů zahrnující experimentálně ověřené a uzpůsobené známé metody, zcela nové konzervační postupy a jejich kombinace. Představuje širokou aplikaci nových technologií a materiálů. Výsledkem modifikací známých postupů je zvýšení účinnosti a snížení invazivity. Tato metodika jako vůbec první pokrývá všechny základní formy nakládání s materiálem od akvizice až po finální uložení. Zahrnuje jak metody preventivní, tak sanační konzervace. Metodika je členěna tak, aby její struktura sledovala logickou návaznost prací. Tvoří ji teoretický oddíl shrnující problematiku, objekty a produkty degradace. Tento oddíl zahrnuje rovněž mapy lokalit ČR významných z hlediska problematiky. Následují vlastní metodické oddíly věnované postupům sběru a rané péče, vhodného uložení sbírkových předmětů (tedy oddíly věnované preventivní konzervaci), metodám sanační konzervace a metodám ošetření degradací zasažené dokumentace k sbírkovým předmětům. Další část je věnována analytickým prostředkům využitelným k zjištění degradačních produktů a dopadu na stav předmětu, na ni navazuje oddíl věnovaný možným prostředkům a postupům dokumentace. Poslední oddíl je věnovaný zásadám bezpečnosti práce. Na konci metodiky je zařazen seznam citovaných literárních zdrojů. Za účelem lepší orientace je k metodice připojeno algoritmické schéma umožňující rychlou orientaci v metodách.

Během přípravy metodiky bylo navrženo a testováno množství postupů a materiálů, které v ní nakonec z různých důvodů nenalezly uplatnění. Jednalo se především o často náročné testování inovativních postupů, jako jsou možnosti využití semipermeabilních fólií pro kontrolované vysoušení velkých objektů s omezeným přístupem kyslíku, široká škála látek s předpokládanými inhibičními účinky, některé aplikace uchovávání předmětů v ochranné atmosféře CO_2 či uchovávání ve

velkoobjemových úložištích s kontrolovaným prostředím. Některé standardně používané metodiky byly během testů vyhodnoceny jako nevhodné. Je na místě zde uvést zvláště postupy, jež mají za úkol zamezit vlivu klíčových faktorů degradace uzavřením předmětu pomocí napuštění či uzavření povrchu polymery, vosky či parafiny. Žádný z testovaných postupů tohoto typu v klimatických zkouškách neobstál a výsledky byly natolik neuspokojivé, že žádná z těchto metod nemohla být zařazena ani z důvodu snadné dostupnosti.

3) Novost postupů

Vypracování metodiky předcházela několikaletá experimentální práce a důkladná rešerše pramenů. Byly prováděny testy metod využívaných v jiných odvětvích, metod v současnosti či dříve ve světě užívaných i postupů zcela nových.

Zcela nové jsou metody sběru a rané péče o materiál zařazovaný do sbírek. Jsou to metody, jejichž cílem je zabránění iniciaci degradačních pochodů či jejich maximální potlačení hned v počáteční fázi. Tyto metody mají zásadní význam jak pro zachování výpovědní hodnoty sbírkových předmětů, tak pro minimalizaci nutnosti dalších, často časově i finančně značně náročných opatření. Zvláštní kapitolu v této oblasti představují postupy sloužící k vysoušení předmětů, jejichž hlavním cílem je minimalizovat současné působení kyslíku a vody (jmenovitě přechodná stabilizace mražením, vysoušení pomocí mrazové sublimace za atmosférického i sníženého tlaku, vysoušení polárním rozpouštědlem – ethanolem). Nové jsou rovněž postupy vymývání degradačních produktů z hmoty exemplářů pomocí odkysličené vody. V oblasti preventivní konzervace je inovativní metodika využívající ochranné atmosféry, především atmosféry N_2. Velmi slibné a v oblasti sbírkové konzervace principiálně inovativní je nasazení chemických inhibitorů. V oblasti sanačních konzervátorských zásahů jsou zcela nové efektivní způsoby aplikace plynného čpavku z uhličitanu amonného a čpavku z tlakové lahve ve vysokotlaké variantě.

Inovace nespočívá jen v prosté novosti jednotlivých dílčích metod, ale neméně i v jejich zařazení do metodického komplexu, který ve své ucelenosti nemá obdoby.

4) Určení metodiky

Metodika představuje komplexní metodický aparát pro práci se sbírkovým materiálem obsahujícím sulfidy kovů, především silně degradabilní disulfidy železa. Nabízí široké spektrum metod, z nichž mnohé jsou využitelné i pro řešení problémů sbírkové péče v oblasti geovědních disciplín (paleontologie a mineralogie), které zasahují nad rámec vytyčeného cíle. Metodika zahrnuje postupy využitelné jak pro práci s materiálem již ve sbírce zařazeným, tak správné postupy pro získávání nového sbírkového materiálu na lokalitě a jejich následné zpracování. Vzhledem ke své ucelenosti představuje hlavní a vyčerpávající zdroj informací o problematice, který nemá obdobu nejen v ČR, ale ani ve světě.

Z výše uvedeného vyplývá poměrně široká využitelnost metodiky jak pro orgány státní správy v rámci rezortu kultury (příspěvkové organizace – muzea), tak i mimo něj: muzea s jinými zřizovateli, sbírky vysokých škol a dalších institucí vytvářejících či spravujících sbírky geovědního charakteru. Cílovým uživatelem metodiky je správce sbírky (kurátor), konzervátor, preparátor, dokumentátor, odborný geolog, paleontolog či mineralog. Mezi cílové uživatele rovněž řadíme soukromé zájemce o přírodní vědy – sběratele fosilií a minerálů, mají-li hlubší zájem o možnosti ochrany svých sbírek.

Vzhledem k hlavním cílovým uživatelům předkládané komplexní metodiky předpokládáme uzavření smlouvy o využití metodiky s jejím zadavatelem a poskytovatelem grantové podpory, Ministerstvem kultury ČR. Metodika předkládaná tímto k certifikaci bude publikována formou odborné knihy.

5) Seznam použité související literatury

Ve vlastní metodice jsou zahrnuty pouze citované literární zdroje, které mohou pro jejího uživatele mít podstatný význam. Níže uvedený seznam představuje souhrn literárních zdrojů použitých pro přípravu metodiky včetně experimentů, jejichž výsledky byly negativní a vedly k rozhodnutí o nezařazení postupu.

Abraitis, P. K., Pattrick, R. A. D., Vaughan, D. J. 2004. Variations in the compositional, textural and electrical properties of natural pyrite: a review. *International Journal of Mineral Processing* 74, 41–59.

Andrew, K.J. 1999. Conservation of the Whitby Saurians – Large Scale, on Site Geological Conservation in North Yorkshire, United Kingdom. *Journal of the Canadian Association for Conservation* 24.

Araújo, L. P. S., Santos, D. M. F., Sequeira, C. A. C. 2008. SRET Visualisation of Pyrite Corrosion and its Inhibition in Aerated Solution. Materials Science Forum Vol. 587–588, 1008–1013.

Bacelar-Nicolau, P., Johnson, D. B. 1999. Leaching of pyrite by acidophilic heterotrophic iron–oxidizing bacterie in pure and mixed cultures. *Applied and Environmental Microbiology* 65, 585–590.

Bandy, M. C. 1938. Mineralogy of three deposits of northern Chile. American Mineralogist 23, 669–760.

Bang, B. S. 1994. Framboidal pyrite and associated organic matrices, a risky composite for preservation of fossils. *In* Kejser, U. B. (ed.), *Surface treatment: Cleaning, Stabilization and Coatings Pre–print, Copenhagen September 1994 IIC Nordic Group, Danish Section, XIII Congress*, Copenhagen, 7–11.

Balci, N., Shanks, W. C., Mayer, B., Mandernack, K. W. 2007. Oxygen and sulphur isotope systematics of sulphate produced by bacterial and abiotic oxidation of pyrite. Geochim. Cosmochim. Acta, 71, 3796–811.

Bannister, F.A. 1933. The preservation of pyrites and marcasite. *Museums Journal* 33, 72–75.

Bannister, F.A., Sweet, J.M. 1943. The decomposition of pyrite. *Museums Journal* 43, 8.

Basolo, F., Pearson, R. G. 1967. Mechanisms of Inorganic Reactions: a Study of Meta Complexes in Solution. John Wiley & Sons, New York.

Belzile, N., Maki, S., Chen, Y., Goldsack, D. 1997. Inhibition of pyrite oxidation by surface treatment. The Science of the Total Environment 196, 177–186.

Berube, M. A., Locat, J., Chagnon, J. Y. 1985. Heaving of black shales in Quebec. Program with Abstracts. – Geological association of Canada, 10:A4.

Bhatti, T.M., Bigham, J. M., Carlson, L., Tuovinen, O. H. 1993: Mineral products of pyrrhotite oxidation by *Thiobacillus ferrooxidans*. *Applied and Environmental Microbiology* 59(6), 984–1990.

Bicchieri, M., Pepa, S. 1996. The degradation of cellulose with ferric and cupric ions in a low-acid medium. Restaurator 17.

Bierens de Haan, S. 1991. A review of the rate of pyrite oxidation in aqueous systems at low temperature. *Earth Sci. Rev.* 31, 1–10.

Blanchard, M., Alfredsson, M., Brodholt, J., Wright, K., Catlow, C. R. 2007. Arsenic incorporation into FeS_2 pyrite and its influence on dissolution: a DFT study. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 71, 624–30.

Blount, A. M. 1993. Nature of the alterations which form on pyrite and marcasite during collection storage. *Collection Forum* 9 (1), 1–16.

Blum, S.D., Maisey, J. G., Rutzky, I. S. 1989. A Method for Chemical Reduction and Removal of Ferric Iron Applied to Vertebrate Fossils. *Journal of Vertebrate Paleontology* 9 (1), 119–121.

Bonnissel, G., P., Alnot, M., Ehrhardt, J. J., Behra, P. 1998. Surface oxidation of pyrite as a function of pH. Env. Sci. Technol. 32, 2839–2845.

Borda, M. J., Strongin, D. R., Schoonen, M. A. 2003. A vibrational spectroscopic study of the oxidation of pyrite by ferric ion. Am. Min. 88, 1318–23.

Booth, G. H. et Sefton, G. W. 1970. Vapour phase inhibition of thiobacilli and ferrobacilli: a potential preservative for pyritic museum specimens. – *Nature* 226, 185–186.

Borda, M. J., Strongin, D. R., Schoonen, M. A. 2004. A vibrational spectroscopic study of the oxidation of pyrite by molecular oxygen. Geochim. Cosmochim. Acta 68, 1807–13.

Brunton, C. H. C., Besterman, T. P., Cooper, J. A. (ed.) 1985. Guidelines for the Curation of Geological Materials. *Geological Society Miscellaneous paper No. 17.*

Burke, J. 1996. *Anoxic microenvironments: a simple guide.* S.P.N.H.C. Leaflet 1 (1), 1–4.

Burt, R. A., Caruccio, F. T. 1986. The effect of limestone treatments on the rate of acid generation from pyritic mine gangue. *Environmental Geochemistry and Health*, 8 (3), 71–78.

Buttler, C. J. 1994. Environmental effects on geological material: pyrite decay. *In* Child, R.E. (ed.), *Conservation of Geological Collections*. Archetype Publications, London 4–8.

Caldeira, C. L., Ciminelli, V. S. T., Osseo-Asare, K. 2010. The role of carbonate ions in pyrite oxidation in aqueous systems. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 74 (6), 1777–1789.

Calvini, P., Gorassini, A. 2002. The degradating action of iron and copper on paper. A FTIR-Deconvolution anylysis. Restaurator 23.

Carrió, V., Stevenson, S. 2002. Assessment of materials used for anoxic microenvironments *In* Townsend, J et al. (ed.), *Conservation Science: Papers from the Conference held in Edinburgh*, 32–38.

Caruccio, F. T. 1972. Trace element distribution in reactive and inert pyrite. – *Proceedings of the 4th symposium in coal mine drainage*, Pittsburgh, 48–54.

Collins, C. 1999. Barrier films (for anoxic enclosures): a review' in *NOOx, NMW Publications.*

Collinson, M.E. Pyrite conservation. From Fossil Plants of the London Clay. www.sheppeyfossils.com/pages/pdf/pyrite conservation.pdf

Cornish, L., Doyle, A. M. 1983. Ethanolamine Thioglycollate as a chemical agent for the neutralization and removal of oxidised pyrite. *Geol. Curator.* 3(8), 512–513.

Cornish, L., Doyle, A. 1984. Use of Ethanolamine Thioglycollate in the conservation of pyritized fossils. *Palaeontology* 27, 421–424.

Costagliola, P., Cipriani, C., Manganelli del Fá, C. 1997. Pyrite oxidation: protection using synthetic resins. *Eur. J. Mineral. 9*, 167–174.

Czerewko, M. A., Cripps, J. C., Reid, J. M., Duffell, C. G. 2003. The effects of storage conditions on the sulphur speciation in geological material. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology* 36, 331–342.

Daniels, V. 2000. The chemistry of Iron Gall ink. The Postprints of the Iron Gall Ink Meeting, Newcastle upon Tyne, University of Northumbria, 31-36.

Day, J. 2005. Practical application of the Revolutionary Preservation (RP) System® for marcasite. *ICOM Committee for Conservation* 1, 435–442.

De Haan, B. 1991. A review of the rate of pyrite oxidation in aqueous systems at low temperature. *Earth Sci. Rev*. 31, 1–10.

De Leeuw, N. H., Parker, S. C., Sithole, H. M., Ngoepe, P. E. 2000. Modeling the surface structure and reactivity of pyrite: introducing a potential model for FeS_2. J. Phys. Chem., B104, 7969–76.

Descostes, M., Beaucaire, C., Mercier, F., Savoye, S., Sow, J., Zuddas, P. 2002. Effect of carbonate ions on pyrite (FeS_2) dissolution. *Bulletin de la Société Géologique de France* 173(3), 265–270.

Descostes, M., Vitorge, P., Beaucaire, C. 2004. Pyrite dissolution in acidic media. Geochimica et Cosmochimica Acta 68(22), 4559–4569.

Dobson, M., Baker-Austin, C., Koppineedi, P. R., Bond, P. L. 2003: Growth in sulfidic mineral anvironments: metal resistance mechanisms in acidophilic micro–organisms. *Microbiology* 149, 1959–1970.

Doyle, F. M., Mirza, A. H. 1996. Electrochemical oxidation of pyrite samples with known composition and electrical properties. Elektrochem. Proc. 96, 203–14.

Doyle, A.M. 2003. A large scale “microclimate” enclosure for pyritic specimens. *The Geological Curator* 7 (9), 329–336.

Druschel, G., Borda, M. 2006. Comment on ‘‘Pyrite dissolution in acidic media’’ by M. Descostes, P. Vitorge, and C. Beaucaire. Geochimica et Cosmochimica Acta 70, 5246–5250

Ducháček, V. 2006. Polymery – výroba, vlastnosti, zpracování, použití, Vydavatelství VŠCHT Praha

Ďurovič, M. et al. 2002. Restaurování a konzervování archiválií a knih. Paseka.

Edwards, K.J., Bond, P. L., Banfield, J. F. 2000. Characteristics of attachment and growth of *Thiobacillus caldus* on sulfide minerals: a chemotactic response to sulfur minerals? *Environmental Microbiology* 2(3), 324–332.

Eggleston, C. M., Ehrhardt, J. J., Stumm, W. 1996. Surface structural controls on pyrite oxidation kinetics: an XPS–UPS, STM and modeling study. Am. Min. 81, 1036–56.

Ehlers, E. G., Stiles, D. V. 1965. Melanterite–rozenite equiilibrium. American Mineralogist 50, 1457–1461.

Ellmer, K., Hopfner, C. 1997. On the stoichiometry of the semiconductor pyrite FeS_2. Phil. Mag. A, 75, 1129–51.

Elsetinow, A. R., Schoonen, M. A., Strongin, D. R. 2001. Aqueous geochemical and surface science investigation of the effect of phosphate on pyrite oxidation. *Environmental Science and Technology* 35(11), 2252–2257.

England, K. E. R., Charnock, J. R., Pattrick, R. A. D., Vaughan, D. J. 1999. Surface oxidation studies of chalcopyrite and pyrite by glancing–angle X–ray absorption spectroscopy (REFLEXAFS). *Min. Mag*. 63, 559–66.

Evangelou, V.P.B., Seta, A.K., Holt A. 1998. Potential role of bicarbonate during pyrite oxidation. *Environ. Sci. Technol.* 32, 2084–2091.

Gehrke, T., Telegdi, J., Thierry, D., Sand, W. 1998. Importance of extracellular polymeric substances from *Thiobacillus ferrooxidans* for leaching. *Applied and Environmental Microbiology* 64(7), 2743–2747.

Gordon, S.G. 1947. Preservation of specimens of marcasite and pyrite. *American Mineralogist* 32, 589.

Guevremont, J. M., Elsetinow, A. R., Strongin, D. R., Bebie, J., Schoonen, M. A. A. 1998. Structure sensitivity of pyrite oxidation: Comparison of the (100) plane and (111) planes. Am. Mineral. 83, 1353–1356.

Hao J. et al. 2006. The effect of adsorbed lipid on pyrite oxidation under biotic conditions. Geochemical Transactions, 7:8 [on–line: http://www.geochemicaltransactions.com/content/7/I/8]

Holmes, P. R., Crundwell, F. K. 2000. The kinetics of the oxidation of pyrite by ferric ions and dissolved oxygen: An electrochemical study. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 64 (2), 263–274.

Howie, F. 1978. Storage Environment and the Conservation of Geological Material. *The Conservator* 2 (1).

Howie, F. M. P. 1979a. Physical conservation of fossils in existing collections. *Newsl.geol. Curators Grp,* 2(5), 269–280.

Howie, F. M. P. 1979b. Museum climatology and the conservation of palaeontological material. *In* Bassett, M. G. (Ed.), Curation of palaeontological collections. *Special Papers in Palaeontology* 22, 103–125.

Howie, F. M. P. 1984a. *The conservation and storage of geological materials.*. In Thompson (Ed.) *Manual of curatorship. A. guide to museum practice.* Museums Association / Buttenvorth & Co., Sevenoaks 308–322.

Howie, F. M. P. 1984b. *Materials used for conserving fossil specimens since* 1930: *a review,* 10th Int. Congress of the Int. Inst. for Conservation, Paris.

Howie, F. M. P. 1992. Pyrite and marcasite. *In* Howie, F. M. P. (ed.), *The care and conservation of geological material, minerals, rocks, meteorites and lunar finds*. Butterworth–Heinemam, Oxford, 70–84.

Hung, A., Muscat, J., Yarovsky, I., Russo, S. P. 2002a. Density functional theory studies of pyrite FeS_2 (100) and (110) surfaces. Surf. Sci. 513, 511–24.

Hung, A., Muscat, J., Yarovsky, I., Russo, S. P. 2002b. Density functional theory studies of pyrite FeS_2 (111) and (210) surfaces. Surf. Sci. 520, 111–9.

Chaturvedi, S., Katz, R., Guevremont, J., Schoonen, M. A. A., Strongin, D. R. 1996. XPS and LEED study of a single–crystal surface of pyrite. *American Mineralogist* 81, 261–4.

Chen, Y., Belzile, N., Goldsack, D. E. 1999. Passivation of Pyrite Oxidation by Organic Compounds. Mining and the environment II Conference, 1063–1072

Chernyshova, I. V. 2004. Pyrite oxidation mechanism in aqueous solutions: An in situ FTIR study. Russ J Appl Electrochem 40, 69−77.

Irving, J. 2001. Ammonia. A practical guide to the treatment and storage of minerals. *Natural Science Conservation Group Newsletter* 17, 18–32.

Jerz, J., Rimstidt, J. D. 2004. Pyrite oxidation in moist air. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 68, 701–714.

Josef, J. 2010. *Úvod do preventivní konzervace*. In: kolektiv autorů. *Úvod do muzejní praxe*, 161–244. Asociace muzejí a galerií České republiky. Praha.

Kamei, G., Ohmoto, H. 2000. The kinetics of reactions between pyrite and O_2–bearing water revealed from in situ monitoring of DO, Eh and pH in a closed system. *Geochim. Cosmochim. Acta* 64, 2585–601.

Karasev, A. P., Krasnikov, V. I., Pantaev, V. D., Seifullin, R. S., Sychugov, V. S., Favorov, V. A. 1972. Nekotorye elektrofizicheskie svoistva pirita vostochnogo Zabaikalia. Akad. Nauk SSSR Geol. Geofiz. 5, 64–71.

Kargbo, D. & Chatterjee, S. 2005. Stability of Silicate Coatings on Pyrite Surfaces in a Low pH Environment. J. Environ. Eng. 131(9), 1340–1349.

Kelsall, G. H., Yin, Q., Vaughan, D. J., England, K. E. R., Brandon, N. P. 1999. Electrochemical oxidation of pyrite (FeS_2) in aqueous electrolytes. J. Electroanal. Chem. 471, 116–25.

Kendelewicz, T., Doyle, C. S., Bostick, B. C., Brown, G. E. 2004. Initial oxidation of fractured surfaces of FeS_2 (100) by molecular oxygen, water vapor, and air. Surf. Sci. 558, 80–8.

Khawaja, I. U. 1975. Pyrite in the Springfield coal member (V), Petersburgh Formation, Sullivan County, Spec. Rep. - Indiana, Geol. Surv. 9, 1–19.

Kolar, J. 1997. Mechanism of autooxidative degradation of cellulose. Restaurator 18.

Kolesar, P. 1998. Rozklad pyritu a markasitu ve sbírkách a možnosti konzervace. *Bulletin mineralogicko–petrologického oddělení* 6, 307–310.

Lalvani, S.B. et Shami, M. 1987. Passivation of pyrite oxidation with metal cations. *Journal of materials science* 22, 3503–3507.

Lan, Y., Huang, X., Deng, B. 2002. Suppression of Pyrite Oxidation by Iron 8–Hydroxyquinoline. Archives of Environmental Contamination and Toxicology 43, 168–174.

Larkin, N.R. 2011. Pyrite Decay: cause and effect, prevention and cure. *NatSCA News 21*, 35–43.

Lehner, S., Savage, K., Ciobanu, M., Cliffel, D. E. 2007. The effect of As, Co and Ni impurities on pyrite oxidation kinetics: an electrochemical study of synthetic pyrite. Geochim. Cosmochim. Acta 71, 2491–509.

Lin, H. K., Say, W. C. 1999. Study of pyrite oxidation by cyclic voltammetric, impedance spectroscopic and potential step techniques. Journal of Applied Electrochemistry 29, 987−994.

Liu, R., Wolfe, A. L., Dzombak, D. A., Horwitz, C. P., Stewart, B. W. 2008a. Electrochemical study of hydrothermal and sedimentary pyrite dissolution. Applied Geochemistry 23, 2724−2734.

Liu, R., Wolfe, A. L., Dzombak, A., Horwitz, C. P., Stewart, B. W. 2008b. Comparison of dissolution under oxic acid drainage conditions for eight sedimentary and hydrothermal pyrite samples. *Environmental Geology* 56(1), 171−182.

Liu, R., Wolfe, A. L., Dzombak, A., Horwitz, C. P., Stewart, B. W. 2009. Controlled electrochemical dissolution of hydrothermal and sedimentary pyrite. Applied Geochemistry 24, 836−842.

Liu, Y., Dang, Z., Wu, PX., Lu, J., Shu, X., Zheng, L. 2011. Influence of ferric iron on the electrochemical behavior of pyrite. Ionics, 17(2), 169–176.

Liu, Y., Dang, Z., Xu, Y., Xu, T. 2013. Pyrite Passivation by Triethylenetetramine: An Electrochemical Study. Journal of Analytical Methods in Chemistry.

Lojewska, J., Miskowiec, P., Lojewski, T., Proniewicz, L. M. 2005. Cellulose oxidative and hydrolytic degradation: In situ FTIR approach. Polymer Degradation and Stability 88 (3), 512−520.

Lowson, R. T. 1982. Aqueous oxidation of pyrite by molecular oxygen. – *Chemical Reviews* 82 (5), 461–497.

Margutti, S. 2001. Conio G., Calvini P., Pedemonte E.: Hydrolytic and oxidative degradation of paper. Restaurator 22.

Merwin, H. E., Posnjak, E. 1937. Sulfate incrustations in Copper Queen Mine, Bisbee, Aritona. *American Mineralogist* 22, 567–571.

Montero A. et Diéguez C. 1997. Colecciones geológicas. Problemas de humedad relativa y temperatura. *Boletín de la ANABAD* 47 (2), 157–166.

Morth, A. H., Smith, E. E. 1966. Kinetics of the sulphide to sulphate reaction. *American Chemical Society, Division of Fuel Chemistry*, Pre–prints 10 (1), 83–92.

Mustin, C., Berthelin, J., Marion, P., De Donato, P. 1992. Corrosion and electrochemical oxidation of a pyrite by *Thiobacillus ferrooxidans*. *Applied and Environmental Microbiology* 58(4), 1175–1182.

Neevel, J. G. 1995. Phytate: a potential conservation agent for the treatment of ink corrosion caused by irongall inks. Restuarator 16.

Neevel, J. G. 2000. (Im)possibilities of the phytate treatment. The Postprints of the Iron Gall Ink Meeting, Newcastle upon Tyne, University of Northumbria, 125–134.

Newman, A. 1998. Pyrite oxidation and museum collections: A review of theory and conservation treatments. *The Geological Curator* 6 (10), 363–371.

Nordstrom, D. K. 1982. Aqueous pyrite oxidation and the consequent formation of secondary iron minerals. *In* Kittrick, J. A., Fanning, D. S. and Hossner, L. R. (eds), Acid sulfate weathering. *Soil Science Society of America, Special Publication* 10, 37–56.

Novák, M., Kotlík, P. 2014. Vliv obsahu kyslíku a relativní vlhkosti na rozklad pyritu a markazitu. *Fórum pro konzervátory – restaurátory*, 25–27.

Nowak, P., Socha, R. P., Cieslik, T. 2012. Influence of adsorption on the charge transfer reactions at the pyrite surface. Preliminary Study. Physicochem. Probl. Miner. Process. 48(1), 19–28

Olson G.J. 1999: Rate of pyrite bioleaching by Thiobacillus ferrooxidans: Results of an Interlaboratory Comparison. *Applied and Environmental Microbiology* 57(3), 642–644.

Palache, C., Berman, H., Frondel, C. 1951. The system of mineralogy Vol II. Sulfates, Phosphates, Arsenates, Tungstates, Molybdates, etc. John Wiley and sons, New York, 1124 pp.

Paulusová, H., 2005. Železogalové inkousty a koroze. In Sborník referátů z XII. Semináře restaurátorů a historiků v Praze 2003. Národní archiv.

Peterson, R. C., Valyashko, E., Wang, R. 2009. The atomic structure of $(H_3O)Fe^{3+}(SO_4)_2$ and rhomboclase, $(H_5O_2)Fe^{3+}(SO_4)_2 \bullet 2H_2O$. *The Canadian Mineralogist* 47, 625–634.

Philpott, M. R., Goliney, I. Y., Lin, T. T. 2004. Molecular dynamics simulation of water in contact with an iron pyrite FeS_2 surface. J. Chem. Phys. 120, 1943–50.

Pridmore, D. F., Shuey, R. T. 1976. The electrical resistivity of galena, pyrite and chalcopyrite. *American Mineralogy* 61, 248–59.

Pugh, C. E., Hossner, L. R., Dixon, J. B. 1984. Oxidation rate of iron sulphides as affected by surface area, morphology, oxygen concentration, and autotrophic bacteria. *Soil Science* 137 (5), 309–314.

Rimstidt, J. D., Vaughan, D. 2003. Pyrite oxidation: A state–of–the–art assessment of the reaction mechanism. Geochimica et Cosmochimica Acta 67(5), 873–880.

Rixon, A. E. 1976. *Fossil animal remains: their preparation and conservation.* Athlone Press, London, 304pp.

Rosso, K. M., Becker, U., Hochella, M. F. Jr. 1999. The interaction of pyrite (100) surfaces with O_2 and H_2O: Fundamental oxidation mechanisms. Am. Mineral. 84, 1549–1561.

Rosso, K. M., Vaughan, D. J. 2006. Sulfide mineral surfaces. In: Vaughan, D. J. (ed.) Sulfide Mineralogy and Geochemistry. Reviews in Mineralogy and Geochemistry. Geochemical Society and Mineralogical Society of America 61, 505–56.

Sand, W., Rohde, K., Sobotke, B., Zenneck, C. 1992.Evaluation of *Leptospirillum ferrooxidans* for leachning. A*pplied and Environmental Microbiology* 58(1),85–92.

Sejkora, J., Sklenář, J., Ekrt, B., Macek, I. 2014. Recentní vznik rozenitu na fosilní uhelné hmotě z lokality Pecínov u Nového Strašecí (Česká republika). *Bulletin mineralogicko–petrologického oddělení Národního muzea (Praha) 22(2)*, 356–362.

Shippers, A., Jozsa, P., Sand, W. 1996.Sulfur chemistry in bacterial leaching of pyrite. *Applied and Environmental Microbiology* 62(9), 3424–3431.

Shuey, R. T. 1975. Semiconducting Ore Minerals. Elsevier.

Schaufuss, A. G., Nesbitt, H. W., Kartio, I., Laajalehto, K., Bancroft, G. M., Szargan, R. 1998a. Incipient oxidation of fractured pyrite surfaces in air. J. Elec. Spec. Related Phenom. 96, 69–82.

Schaufuss, A. G., Nesbitt, H. W., Kartio, I., Laajalehto, K., Bancroft, G. M., Szargan, R. 1998b. Reactivity of surface chemical states on fractured pyrite. Surf. Sci. 411, 321–328.

Schieck, R., Hartmann, A., Fiechter, S., Konenkamp, R., Wetzel, H. 1990. Electrical properties of natural and synthetic pyrite (FeS_2) crystals. J. Mater. Res. 5, 1567–72.

Schoonen, M., Elsetinow, A., Borda, M., Strongin, D. 2000. Effect of temperature and illumination on pyrite oxidation between pH 2 and 6. Geochemical Transactions 1, 23

Silverman M.P. 1967. Mechanism of bacterial pyrite oxidation. *Journal of Bacteriology* 94(4), 1046–1051.

Smith, E. E., Shumate, K. S. 1970. The sulphate to sulphide reaction mechanism. – *Water Pollution Control, Research Series, Ohio State University Research Fovndation,* Columbus, Ohio, 129 pp.

Steger, H.F., Desjardins, L.E. 1978. Oxidation of sulfide minerals, 4. Pyrite, chalcopyrite and pyrrhotite. *Chemical Geology* 23, 225–237.

Steger, H.F., Desjardins, L.E. 1980. Oxidation of sulfide minerals. V. Galena, sphalerite and chalcocite. *Canadian Mineralogist* 18, 365–372.

Stooshnov, A., Buttler, C.J. 2001. The treatment of specimen labels affected by pyrite decay. *The Geological Curator* 7 (5), 175–180.

Sugio, T., Uemura, S., Makino, I., Iwahori, K., Tano, T., Blake, R. C. 1994. Sensitivity of Iron–oxidizing bacteria, *Thiobacillus ferrooxidans* and *Leptospirillum ferrooxidans*, to bisulfite ion. *Applied and Environmental Microbiology* 60 (2), 722–725.

Šarič, R., Budil, P. 2010. *Metodika preparace minerálů a fosílií za použití „Airabrasive unit"*. Česká geologická služba. Praha. [dostupná v PDF volně na: http://www.geology.cz/extranet/sluzby/sbirky/preparace/metodika.pdf]

Tacker, C. R. 2008. Reaction of pyrite and clays: experiments in AMD and „pyrite disease". *Geological Society of America Abstracts with Programs* 40 (4), p. 24.

Taylor, B. E., Wheeler, M. C., Nordstrom, D. K. 1984. Stable isotope geochemistry of acid mine drainage: Experimental oxidation of pyrite. *Geochim. Cosmochim. Acta* 48, 2669–2678.

Todd, E. C., Sherman, D. M., Purton, J. A. 2003. Surface oxidation of pyrite under ambient atmospheric and aqueous (pH 2 to 10) conditions: Electronic structure and mineralogy from X–ray absorption spectroscopy. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 67 (5), 881–893

Tuovinen, O.H., Bhatti, T. M., Bigham, J. M., Hallberg, K. B., Garcia Jr., O., Lindström, E. B. 1994. Mineral products of pyrrhotite oxidation by *Thiobacillus ferrooxidans*. *Applied and Environmental Microbiology* 60 (9), 3268–3274.

Uhlig, I., Szargan, R., Nesbitt, H. W., Laajalehto, K. 2001. Surface states and reactivity of pyrite and marcasite. Appl. Surf. Sci. 179, 2234–30.

Usher, C. R., Cleveland, C. A. Jr., Strongin, D. R., Schoonen, M. A. 2004. Origin of oxygen in sulfate during pyrite oxidation with water and dissolved oxygen: an in situ horizontal attenuated total reflectance infrared spectroscopy study. Environ. Sci. Technol. 38, 5602–6.

Vasil'yeva, E. G., Gorbatov, G. A., Kruglova, V. G., Shcherbak, O. V. 1990. The electrode potential of pyrite. Geochemistry International 27, 32– 45.

Waller, R. 1987. An experimental ammonia gas treatment method for oxidised pyritic mineralspecimens. *Triennial Report, ICOM Committee for Conservation*, 623–630.

Watzlaf, G.R., Hammack, R.W. 1989. The effect of oxygen, iron–oxidizing bacteria, and leaching frequency on pyrite oxidation. http://wvmdtaskforce.com/proceedings/89/89WAT/89WAT.HTM [on line 6.2.2012]

Weber, P. A., Stewartb, W. A., Skinnera, W. M., Weisenera, C. G., Thomasa, J. E., Smart, R. St. C. 2004. Geochemical effects of oxidation products and framboidal pyrite oxidation in acid mine drainage prediction techniques, *Applied Geochemistr* 19*,* 1953–1974*.*

Willeke, G., Blenk, O., Kloc, C., Bucher, E. 1992. Preparation and electrical transport properties of pyrite (FeS_2) crystals. J. Alloys Comp. 178, 181–91.

Wilkin, R. T., Barnes, H. L. 1997. Formation processes of framboidal pyrite. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 61(2), 323–339.

Williamson, M. A., Rimstidt J. D. 1994. The kinetics and electrochemical rate–determining step of aqueous pyrite oxidation. Geochim. Cosmochim. Acta 58, 5443–5454.

Wilson R. E., Fuwa T. 1921. Humidity Equilibria of Various Common Substances. – *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* 13, 326.

Zhang, X., Borda, M. J., Schoonen, M. A. A., Strongin, D. R. 2003. Pyrite oxidation inhibition by a cross–linked lipid coating. Geochem. Trans. 4(2), 8–11

Zhang, X., Kendall, T. A., Hao, J., Strongin, D. R., Schoonen, M. A. A., Martin S. T. 2006. Physical structures of lipid layers on pyrite. Environmental Science and Technology 40(5),1511–5.

Internetové zdroje:

[1] Centrifuged Latex of 60% of Dry Rubber Content (CENEX). Indian natural rubber. http://www.indiannaturalrubber.com/latex.aspx (citováno 10.května 2013).

[2] Shinya, A. et Bergwall, L. 2007. Pyrite Oxidation: Rewiew and Prevention Practices. *Poster – 2007 Society of Vertebrate Paleontology annual meeting.* Web site. vertpaleo.org/PDFS/0c/0cf8d5c7–d1a1–4a0a–96b2–a28658f9b4cf.pdf (citováno 10.května 2013)

[3] Clouter, F. The trouble wih Pyrite. *Sheppey fossils*. Web site. http://www.sheppeyfossils.com/pages/pdf/the trouble with pyrite2.pdf (citováno 11. dubna 2013).

6) Seznam publikací, které metodice předcházely

Ekrt, B., Sklenář, J., Gazdová, Z., Nohejlová, M. (2015): System of preventative conservation of fossils containing Fe-disulphides (pyrite, markasite); Systém preventivní konzervace fosílií obsahujících Fe-sulfidy (pyrit, markazit), pp. 30–31. In: Bubík, M., Ciurej, A., Kaminski, M.A. (Eds.): 16th Czech-Slovak-Polish Palaeontological Conference – 10th Polish Micropalaeontological Workshop; Abstracts Book and Excursion Guide, Olomouc. Grzybowski Foundation Special Publication, 21, 98+xx pp.

Ekrt, B., Novák, M., Sklenář, J., Gazdová, Z. (v tisku): Nové přístupy při ošetření geologických vzorků postižených degradací Fe disulfidů (pyrit a markazit). – *Muzeum: Muzejní a vlastivědná práce*.

Frank, J., Sklenář, J., Ekrt, B. 2014. Late Cretaceous nautilid juveniles of Cymatoceras reussi and Eutrephoceras aff. sublaevigatum - scarce fossils under risk of pyrite degradation. *Acta Musaei Nationalis Pragae, series B - Historia Naturalis, 70(3-4)*:143–152.

Kotlík, P. 2015. Možnosti konzervace a preventivní ochrany sbírkových předmětů obsahující pyrity. *Chemické listy* 109, 247–253.

Novák, M., Kotlík, P. 2014. Vliv obsahu kyslíku a relativní vlhkosti na rozklad pyritu a markazitu. *Fórum pro konzervátory – restaurátory* 2014, 25–27.

Ondrčková, S., Říhová Ambrožová, J., Urbanová, A. 2014. *Problematika mikrobiální koroze archeologických materiálů a možnosti jejího studia*. Konference Vodárenská biologie 2014, Praha 5. – 6. 2. 2014, sborník str. 218–220, ISBN 978-80-86832-78-4

Sejkora, J., Sklenář, J., Ekrt, B., Macek, I. 2014. Recentní vznik rozenitu na fosilní uhelné hmotě z lokality Pecínov u Nového Strašecí (Česká republika). *Bulletin mineralogicko-petrologického oddělení Národního muzea (Praha) 22(2)*, 356–362.

Sejkora, J., Špalek, J., Macek, I., Malíková, R. 2014. Fibroferrit z historické lokality Valachov (Skřivaň) u Rakovníka (Česká republika). *Bulletin mineralogicko-petrologického oddělení Národního muzea (Praha) 22(2)*, 371–375.

Další výstupy z originální práce:

Gazdová, Z., 2014: *Vlastnosti ochranných filmů pro pyritické artefakty*. MS, diplomová práce, VŠCHT, Praha.