

# KONZERVOVANIE GEOLOGICKÝCH VZORIEK V ZBIERKACH MÚZEÍ – ČASŤ 1. SPRÁVNE PODMIENKY USKLADNENIA.

Bronislava Lalinská-Voleková, Katarína Schwarzkopfová

**Abstract:** *Preservation of geological collections in museum deposits – part 1. Correct storage conditions.*

The objects primarily found in geological collections may be organized into three broad categories: fossils, minerals and rocks. All of these geological materials can vary widely in their composition and structure and can be subject to many different types of deterioration depending on their chemistry, state of preservation and the environmental conditions they are subjected to. The preservation of geological collections is not necessarily as straight forward as it may appear at first. Fossils, rocks and minerals may be destroyed completely if stored in incorrect conditions. Correct packaging, storage and display conditions which protect specimens from chemical, and physical damage is the most effective way to minimize risks to collections and ensure their survival. It may be argued that if it is necessary to keep minerals in the dark it will be impossible to have a public museum. It must be remembered, however, that a museum of mineralogy is not primarily a place for display but a laboratory and store-house where investigations go on and material is preserved for future research.

**Key words:** *rocks, minerals, preservation, storage conditions*

## Úvod

Rozmanitosť minerálov má dôležitú úlohu pre trvalo udržateľný rozvoj biosféry, ktorá je podkladom pre existenciu rôznych foriem živých látok. Minerály, horniny stáli v základoch modernej technologickej civilizácie. Zachovanie prirodzenej rozmanitosti minerálov je rovnako významné ako zachovanie biologickej diverzity, keďže na rozdiel od živej hmoty sa nerasty nemôžu reprodukovať, deštrukcia minerálu je nevratným procesom. Z tohto hľadiska je úloha múzeí nesmierne dôležitá, pretože zachovávajú vzorky neživej prírody pre vedecké i estetické potreby budúcich ľudských generácií.

Geologické zbierky sú nenahraditeľnou súčasťou nášho vedeckého a kultúrneho dedičstva. Predstavujú históriu rastlinného a živočíšneho sveta vo forme skamenelín, planétu Zem ako horniny a minerály, širokú škálu fyzikálnych materiálov a chemikálií a históriu vedy prostredníctvom zbierok ako subjektov a ich pridružených archívov.

## Ochrana geologických vzoriek

Múzeum by malo mať vypracovanú preventívnu stratégiu konzervovania, ktorá zabezpečuje správne spracovanie a uloženie vzoriek, pričom uskladnenie jednotlivých vzoriek si vyžaduje špecifické podmienky.

ICON (The Institute of Conservation) je organizácia, ktorá v súčasnosti združuje vyše 3000 subjektov, ktoré majú na starosti konzervovanie a uchovávanie kultúrneho dedič-

stva rôznych krajín. Na svojej stránke publikujú stručné príručky pre správne uchovávanie rôznych typov zbierkových predmetov. Pre geologické vzorky je to príručka: „Care and Conservation of geological specimens“ ([https://icon.org.uk/system/files/documents/care\\_and\\_conservation\\_of\\_geological\\_specimens](https://icon.org.uk/system/files/documents/care_and_conservation_of_geological_specimens)).

### Relatívna vlhkosť

Mnohé geologické vzorky sú citlivé na výkyv v hodnote relatívnej vlhkosti. Optimálnou hodnotou relatívnej vlhkosti pre väčšinu geologických materiálov je  $50 \pm 5 \%$ .

Napríklad, tmavo modré kryštály síranu medi strácajú vodu a rozpadnú sa na svetlomodrý prášok pri relatívnej vlhkosti pod 35 % (Care and Conservation of geological specimens). Naopak niektoré ílovité bridlice môžu vyschnúť a stať sa krehkými pri nízkej relatívnej vlhkosti (Nara et al. 2012; Hudson 2014). Prítomnosť pyritu v bridlici môže proces výrazne skomplikovať, nakoľko pri relatívnej vlhkosti pod 30 % môže prísť ku zmršťovaniu a následne ku praskaniu, naopak pri vysokej relatívnej vlhkosti dochádza ku intenzívnejšej oxidácii pyritu.

### *Degradácia sulfidov*

Problém s rýchlejšou kinetikou oxidácie môžeme sledovať pri zvýšenej relatívnej vlhkosti i u iných sulfidov (hlavne u markazitu, pyrhotínu, chalkopyritu, arzenopyritu, löllingitu, skutteruditu, nikelskutteruditu a gersdorffitu). Dochádza tak lokálne ku vzniku slabých kyselín, ktoré ďalej deštruuujú deponovanú vzorku (Steger a Desjardins 1978; Steger 1982; Borek 1993; Jerz a Rimstidt 2004; Murphy a Strongin 2009; Chandra a Gerson 2010; Sun et al. 2015). Okrem relatívnej vlhkosti patria medzi dôležité vonkajšie riadiace faktory degradácie sulfidov: prítomnosť kyslíka, teplota, hodnota pH a činnosť baktérií. K určujúcim vnútorným faktorom patria: veľkosť povrchu a jeho topografia, vnútorná štruktúra a homogenita predmetu, chemické zloženie (odchýlky od stechiometrie, substitúcia, prítomnosť stopových prvkov), prítomnosť ďalších minerálov vo vzorke a stupeň degradácie (Sklenář et al. 2015).

V prípade sulfidických vzoriek je dôležitý nielen odber v teréne, ale aj prvotná starostlivosť, aby nedošlo k naštartovaniu procesu degradácie (pre iniciáciu tohto procesu je určujúcim faktorom obsah kyslíka a jeho voľných radikálov, zatiaľ čo relatívna vlhkosť je v počiatočnej fáze nepodstatná) (Novák a Kotlík 2014). Suché vzorky stačí uchovať pri stabilnej izbovej teplote, nízkej relatívnej vlhkosti 30 – 40 % a podľa možnosti v prostredí bez prítomnosti kyslíka. V prípade vlhkých a mokrých vzoriek je jednou z možností prechodnej stabilizácie rýchle zmrazenie. Vysušenie mokrých alebo vlhkých exemplárov je dôležitým momentom, pretože práve v tejto fáze dochádza k iniciácii degradačných procesov. Dehydratácia vákuovou sublimáciou ľadu – lyofilizácia bola navrhnutá ako jeden z nových postupov pri vysušovaní vzoriek. Medzi ďalšie možnosti riešenia danej problematiky patrí: dehydratácia etanolom a dehydratácia sublimáciou ľadu za atmosférického tlaku (Sklenář et al. 2015). Pre zamedzenie alebo spomalenie rozkladu pyritu v zbierkach možno aplikovať rôzne inhibítory, ako napr.: dietyléntriámín (DETA) alebo trietyléntetraamín (TETA) v kombinácii s 8-hydroxychinolínom (8HCH) a dietyléntriámín (DETA) alebo trietyléntetraamín (TETA) v kombinácii s 2-merkaptobenzotiazolom (MBT). V prípade zasiahnutia vzorky degradáciou sa používajú rôzne sanačné techniky, ako napr.: metódy využívajúce amoniak (expozícia parám amoniaku uvoľneným z vodného roztoku  $\text{NH}_3$  s prídavkom polyetylén glykolom 400 – pôvodne Wallerova metóda, amoniak uvoľňovaný pri rozklade uhlíčitánu alebo hydrogénuhlíčitánu amónneho, oštiepenie suchým plynným amoniakom) alebo odstraňovanie produktov rozpadu pomocou činidla etanolamín tio-

glykolát (ETG). V minulosti boli pri preventívnej konzervácii vzoriek používané taktiež živice a polyméry (Sklenář et al. 2015).

Hodnote relatívnej vlhkosti je potrebné sa venovať v klimatizovaných priestoroch, kde dochádza k jej zníženiu. Obzvlášť citlivé sú minerály s obsahom vody v štruktúre. Príkladom toho je minerál melanterit, hydratovaný síran železnatý, ktorý sa bežne tvorí ako fáza po ťažbe v starých uhoľných a rudných baniach v dôsledku oxidácie pyritu. Pri relatívnej vlhkosti nižšej ako 58 % pri izbovej teplote melanterit zvetrá, pričom sa zmení zo zelených kryštálov na biely prášok. Je pravdepodobnejšie, že tento minerál prežije vo vlhkom, studenom suteréne, kde sú podmienky podobné bani, v ktorej sa zberajú, a nie v suchom, klimatizovanom sklade (Baur 1964; Peterson 2003, 2006).

### Teplota

Samotná teplota zvyčajne nespôsobuje poškodenie vzoriek, ale môže urýchliť rýchlosť rôznych procesov (napr. oxidáciu sulfidov) a ovplyvniť relatívnu vlhkosť. Zvýšením teploty o 10 °C sa oxidácia pri konštantnej relatívnej vlhkosti zrýchluje približne dvojnásobne (Smith a Shumate 1970).

Neexistujú žiadne ideálne úrovne teploty a relatívnej vlhkosti vhodné pre všetky geologické materiály, ale bežne prijímané parametre sú  $20 \pm 2$  °C (<https://depositsmag.com/2016/05/24/preserving-geological-museum-collections/>). Podľa „Care and Conversation of geological specimens“ teplotné hladiny by mali byť čo najstabilnejšie, najlepšie pri konštantných 16 °C až 18 °C, ale určite medzi 10 °C a 22 °C.

Pozor treba dávať i na veľmi nízke teploty, ktoré môžu spôsobiť tepelný šok, geologická vzorka sa stane krehkou a môže prasknúť alebo rozdrviť sa. Nesprávne teploty môžu tiež viesť k zmenám v kryštalickej štruktúre minerálov (<https://www.amnh.org/our-research/natural-science-collections-conservation/general-conservation/health-safety/geological-collections>).

### Svetelné žiarenie

Vo všeobecnosti má ultrafialové žiarenie dostatočnú energiu na to, aby spôsobilo chemické zmeny v citlivom materiáli, čo je možné pozorovať ako blednutie, zmenu farieb a zhoršenie kvality niektorých minerálov. Výrazne citlivou je napr. skupina sulfidov arzénu (vrátane realgáru, ktorý nereverzibilne reaguje so svetlom a vytvára práškový oranžový produkt pararealgár) (Douglass a Shing 1992; Flora 2015; Keune et al. 2015; Pratesi a Zoppi 2015). K nerastom, ktoré sú citlivé na poškodenie svetlom patrí taktiež purpurový ametyst (Dedushenko et al. 2004; Hatipoğlu et al. 2011; Nunes et al. 2013) a zelené fluority (Morse 1906; Allen 1950; Sidike et al. 2003), ktorých intenzita sfarbenia v silnom svetle slabne. Minerály citlivé na svetlo by sa mali skladovať vo svetlo-odolných nádobách.

### *Poškodenie svetlom*

Lahké poškodenie, ktoré je kumulatívne a nezvratné, je funkciou intenzity svetla (v luxoch alebo stopkách) a časov expozície. Svetlá, ktoré sú nastavené na nízkych úrovniach 24 hodín denne, spôsobia rovnaké poškodenie ako vyššie úrovne svetla počas kratšieho časového obdobia. V prípade minerálov veľmi citlivých na svetlo („the most susceptible minerals“) je odporúčaná intenzita osvetlenia 50 luxov, pri mineráloch menej citlivých môžeme zvážiť intenzitu osvetlenia na základe charakteru pripravovanej výstavy.

Po absorpcii spôsobuje infračervené žiarenie (IR) zvýšenie teploty. IR svetlo je tiež nad detekciou ľudského oka. Účinky tepla na zbierky sú podrobnejšie pokryté v časti o teplotách, ale je dôležité uviesť si, že svetelné žiarenie pôsobí ako katalyzátor pri oxidácii materiálov – najmä organických artefaktov (<https://www.amnh.org/our-research/natural-science-collections-conservation/general-conservation/health-safety/geological-collections>).

Walther (1922 in Parsons 1926) upozorňoval na zmenu rumelky, chrysoprasu a zeleného fluoritu v dôsledku vystavenia svetlu. Pozoruhodný príklad zmeny farby vystavením svetlu poskytuje hackmanit z Dungannonu (Ontario) a ďalších miest, ktorý sa farbí do biela už od desiatich do dvadsiatich sekúnd pri vystavení priamemu slnečnému žiareniu (Walker a Parsons 1925).

Ďalším príkladom úplného bielenia je topáz z pohoria Thomas (Utah), ktorý zvyčajne tvorí bezfarebné priehľadné kryštály. Kryštály, ktoré boli chránené pred svetlom, sú rôznych odtieňov bordovej (Parsons 1926). Tyuyamunit sa na priamom slnečnom svetle mení z citrónovožltej na špinavú zelenožltú v priebehu niekoľkých minút, pričom zmena sa dá zvrátiť držaním materiálu v tme, alebo ošetrovaním roztokmi zriedených kyselín prípadne peroxidu sodného (Murata et al. 1951).

### Soli

Soli často kryštalizujú na povrchu budov, horninových štruktúr a pamiatok. Ak dôjde ku kryštalizácii pod povrchom (subflorescencia) môže následne dochádzať ku mechanickej deštrukcii materiálu. V depozitároch môže byť kryštalizácia podporená vplyvom vysokej relatívnej vlhkosti (Rodriguez-Navarro a Doehne 1999; Lubelli a van Hees 2007; Lubelli a Rooij 2009; Lubelli et al. 2010; Shahidzadeh a Desarnaud 2012; Desarnaud et al. 2013; Desarnaud et al. 2016).

### Nebezpečné a toxické vzorky

Zbierky minerálov môžu obsahovať nebezpečné a toxické vzorky. V mnohých prípadoch nemusia byť na vzorke identifikované. Po identifikácii je potrebné pridať príslušné štítky do škatúl, zásuviek a skriň.

Bežné sulfidické minerály zahŕňajú napr. chalkopyrit ( $\text{CuFeS}_2$ ), galenit ( $\text{PbS}$ ) a pyrit ( $\text{FeS}_2$ ). Za určitých podmienok prostredia môžu tieto minerály reagovať s vodnou parou a vytvárať plyny alebo výpary. Pyrit ( $\text{FeS}_2$ ) v prostredí s vysokou vlhkosťou (viac ako 60 %) môže uvoľniť oxid siričitý ( $\text{SO}_2$ ), ktorý môže ďalej reagovať s vodou za vzniku kyseliny sírovej.

Síra bude v prostredí s vysokou vlhkosťou produkovať malé množstvá plynného sírovodíka ( $\text{H}_2\text{S}$ ).  $\text{H}_2\text{S}$  je bezfarebný transparentný plyn, ktorý je jedovatý a dráždivý s charakteristickým zápachom pokazených vajíčok v nízkych koncentráciách, ktorý však nie je detekovateľný pri vysokých koncentráciách. Znižuje kapacitu prenosu kyslíka v krvi, čím stlačí nervový systém. V tele sa rýchlo oxiduje na sulfáty, preto obvyčajne nedochádza k žiadnym trvalým následkom. Výnimkou je len prípad akútnej expozície, pri ktorej sa predlžuje deprivácia kyslíka v nervovom systéme. Neexistuje žiadny dôkaz o tom, že opakovaná expozícia sulfánu by mala za následok akumuláciu alebo systémovú otravu. Môžu sa vyskytnúť účinky ako podráždenie očí, podráždenie dýchacieho traktu, pomalá frekvencia pulzu, únava, poruchy trávenia a studené potenie, ale tieto príznaky zmiznú v relatívne krátkom čase po odstránení z dosahu expozície (Ruth 1986; Budavari et al. 1989; Glass 1990; Shusterman 1992; WHO 2003; ATSDR 2006; Weil et al. 200; Simonton a Spears 2007).

Ortuť môže mať toxické účinky na nervový, tráviaci, imunitný systém a na pľúca, obličky, pokožku a oči. Ortuť je považovaná organizáciou WHO za jednu z desiatich najnepriaznivejších chemikálií alebo skupín chemikálií, ktoré sú hlavným záujmom verejného zdravia. Ortuťová para sa ľahko uvoľňuje z minerálu cinabarit (sulfid ortuťnatý, HgS). Minerál môže obsahovať i elementárnu (kvapalnú) ortuť, načo treba brať ohľad pri manipulácii so vzorkami. Telesná teplota je často dostatočná na odparovanie ortuti z horniny a tento plyn sa môže absorbovať cez kožu. Účinky na zdravie spôsobené krátkodobou expozíciou vysokými úrovňami výparov ortuti sú: kašeľ, boľavé hrdlo, dýchavičnosť, bolesť v hrudi, nevoľnosť, zvracanie, hnačka, zvýšenie tlaku krvi alebo srdcovej frekvencie, kovová chuť v ústach, podráždenie očí, bolesť hlavy, problémy s videním. Účinky na zdravie spôsobené dlhodobou expozíciou ortuťovými výparmi: úzkosť, nadmerná plachosť, anorexia, problémy so spánkom, strata chuti do jedla, podráždenosť, únava, zabúdanie, zmeny videnia a sluchu (Magos a Clarkson 2006; Klassen 2008; Rothwell a Boyd 2008; Bernhoft 2011; Syversen a Kaur 2012; USEPA 2016).

Fyzický rozpad niektorých minerálov môže uvoľňovať častice malých rozmerov, ktoré sa ľahko dostanú do dýchacej sústavy. Príkladom sú minerály zo skupiny azbestu. Pri manipulácii s týmito vzorkami (najmä ak sú rezané) je dôležité používať kvalitný respirátor.

Chryzotilový azbest je vláknitá odroda minerálneho serpentínu a je dôležitým ekonomickým typom azbestu. Medzi ďalšie azbestové minerály patrí krokydolit, riebekit, amozit, antofylit, tremolit a aktinolit. Azbestové vlákna nemajú detekovateľný zápach alebo chuť. Sú to všetky tuhé látky, ktoré sa nepohybujú cez pôdu a sú nerozpustné vo vode. Farba závisí od typu a chemického zloženia. Vo všeobecnosti, azbestové minerály, ktoré obsahujú železo, vykazujú zelenú farbu, ktorej intenzita sa mení v závislosti od množstva prítomného železa. Chryzotil a tremolit, ktoré v čistej forme neobsahujú železo sú zväčša biele. Spolu s aktinolitom a antofylitom sú zaradené do skupiny ako „biely azbest“ a klasifikované ako UN2590 (podľa systému chemického ID číslovania OSN). Amozit a krokydolit sú klasifikované ako UN2212 a považujú sa za mimoriadne nebezpečné. Chryzotil je pružnejší a bol považovaný za menej nebezpečný ako amozit alebo krokydolit. Antofylit, aktinolit a tremolit sú v skupine „menšieho zla“ s chryzotilom. Všetky tri z týchto amfibolov majú v prírode tiež ne-azbestové formy, ktoré nie sú škodlivé (Virta 2002; Skinner 2003; Sporn 2011).

Laboratórne experimenty identifikovali tri hlavné ochorenia vyplývajúce z expozície jedného alebo viacerých azbestových minerálov (Doll 1955; Jones et al. 1996; Hodgson a Darnton 2000; Weiss 2000; Heintz et al. 2010). Sú to:

- Rakovina pľúc, ktorá zahŕňa rakovinu priedušnice, priedušiek a pľúc.
- Mezotelióm, rakovina pleurálnej a peritoneálnej membrány, ktorá vedie k pľúcny a brušným dutinám.
- „azbestóza“, difúzna intersticiálna fibróza pľúcneho tkaniva, ktorá často vzniká po dlhej expozícii, čo môže viesť k ťažkej strate funkcie pľúc a v konečnom dôsledku k zlyhaniu dýchania.

Ak zberka obsahuje azbestové minerály, môžu sa sekundárne skladovať v zapečatenom vrecku, aby sa zabránilo inhalácii. Vzorka by mala byť jasne označená.

Niektoré minerály v zbierkach môžu obsahovať potenciálne toxické prvky. Najbežnejšie sú hliník, antimón, arzén, berýlium, bizmut, bróm, kadmium, olovo, ortuť, selén, tálium a urán (Sax 1979; Blount 1993; Puffer 1980; Waller et al. 2000; Howie 2014, CCI 1/7, CCI 1/7).

Toxické kovy, ktoré vstupujú do tela sú perzistentné a kumulatívne vo svojom účinku, často nahrádzajú živné minerály na miestach viazania enzýmov. So vzorkami treba zaobchádzať starostlivo a používať ochranné prostriedky.

## Záver

Z uvedeného vyplýva, že niektoré minerály pre svoju stabilitu potrebujú tmu, niektoré špecifickú vlhkosť vzduchu, väčšina by nemala byť skladovaná v miestnosti s výrazným výkyvom teploty. Je možné argumentovať, že ak treba uchovávať minerály v tme, nie je možné, aby existovali verejné múzeá. V tomto bode si však treba uvedomiť, že mineralogické múzeá tu nie sú len na prezentovanie vzoriek verejnosti, ale najmä majú byť vedeckým laboratóriom a úschovňou vzoriek pre budúce generácie. Ak materiál nemôže byť vystavený bez hrozby poškodenia, je povinnosťou kurátora vzorku sprístupniť k nahliadnutiu len za podmienok, ktoré neohrozia jeho stabilitu.

Ak vieme pri akých podmienkach jednotlivé minerály vznikajú a tieto podmienky napodobníme, môžeme si byť istí, že vo väčšine prípadov nedôjde ku ich degradácii.

## Zoznam literatúry

- ALLEN, R.D., 1950: Variations in chemical and physical properties of fluorite. 336 pp., (Doctoral thesis submitted to the Department of Mineralogy, Harvard University, Cambridge, Massachusetts, May, 1950. Contribution from the Department of Mineralogy and Petrography, Harvard University.
- ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry), 2006: Toxicological Profile for Hydrogen Sulfide. U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Atlanta, GA. Online. Available: <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp114-p.pdf>. October 2017.
- BAUR, W.H., 1964: On the crystal chemistry of salt hydrates. III. The determination of the crystal structure of  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  (melanterite). *Acta Cryst.*, 17: 1167 – 1174.
- BERNHOF, R. A., 2011: Mercury toxicity and treatment: a review of the literature. *J. Environ. Public Health*, 10 pp.
- BLOUNT, A.M., 1993: The nature of the alterations which form pyrite and marcasite during collection storage. *Collection Forum*, 9(1): 1 – 16.
- BOREK, S.L., 1993: Effect of Humidity on Pyrite Oxidation. In: Environmental Geochemistry of Sulfide Oxidation, American Chemical Society, ISBN13: 9780841227729, p. 31 – 44.
- BUDAVARI, S., O'NEIL, M.J., SMITH, A., HECKELMAN, P.E., eds., 1989: Hydrogen sulfide. p. 761 in *The Merck Index: An Encyclopedia of Chemicals, Drugs, and Biologicals*, 11th Ed. Rahway, NJ: Merck.
- CCI 1/7 Mercury in Museum Collections – Canadian Conservation Institute, p. 4.
- CCI 1/8 Lead in Museum Collections and Heritage Buildings – Canadian Conservation Institute, p. 6.
- DEDUSHENKO, S.K., MAKHINA, I.B., MAR'IN, A.A., MUKHANOV, V.A., PERFILIEV, Y.D., 2004: What Oxidation State of Iron Determines the Amethyst Colour? *Hyperfine Interactions*, 156/157: 417 – 422.
- DESARNAUD, J., BERTRAND, F., SHAHIDZADEH-BONN, N., 2013: Impact of the Kinetics of Salt Crystallization on Stone Damage During Rewetting/Drying and Humidity Cycling. *J. Appl. Mech.*, 80(2): 7 pp.
- DESARNAUD, J., BONN, D., SHAHIDZADEH, N., 2016: The Pressure induced by salt crystallization in confinement. *Scientific reports*, 6: 30856.
- DOLL, R., 1955: Mortality from lung cancer in asbestos workers. *British Journal of Industrial Medicine*, 12(2): 81 – 86.

- DOUGLASS, D.L., SHING, Ch., 1992: The light-induced alteration of realgar to pararealgar. *Am. Min.*, 77: 1266 – 1274.
- FLORA, S.J.S., 2015: Arsenic: Chemistry, Occurrence, and Exposure. In: Handbook of Arsenic Toxicology. ISBN: 978-0-12-418688-0.
- GLASS, D.C., 1990: A review of the health effects of hydrogen sulphide exposure. *Annals of Occupational Hygiene*, 34(3): 323 – 327.
- HATİPOĞLU, M., KIBAR, R., ÇETİN, A., CAN, H., DERİM, H., 2011: Spectral, electron microscopic and chemical investigations of gamma-induced purple color zonings in amethyst crystals from the Dursunbey-Balikesir region of Turkey. *Radiation Effects and Defects in Solids. Incorporating Plasma Science and Plasma Technology*, 166(7): 537 – 548.
- HEINTZ, N.H., JANSSEN-HEININGER, Y.M.W., MOSSMAN, B.T., 2010: Asbestos, Lung Cancers and Mesotheliomas. *Am. J. Respir. Cell. Mol. Biol.*, 42(2): 133 – 139.
- HODGSON, J.T., DARNTON, A., 2000: The quantitative risks of mesothelioma and lung cancer in relation to asbestos exposure. *The Annals of Occupational Hygiene*, 44(8): 565 – 601.
- HOWIE, F., 2014: Safety in Museums and Galleries. Butterworth-Heinemann, 196 pp.
- HUDSON, J.A., 2014: Rock Testing and Site Characterization: Comprehensive Rock Engineering: Principles, Practice and Projects. Pergamon Press, Elsevier, 1001 pp.
- CHANDRA, A.P., GERSON, A.R., 2010: The mechanisms of pyrite oxidation and leaching: A fundamental perspective. *Surf. Sci. Rep.*, 65(9): 293 – 315.
- JERZ, J.K., RIMSTIDT, J.D., 2004: Pyrite oxidation in moist air. *Geochim. et Cosmochim. Acta*, 68(4): 701 – 714.
- JONES, R.N., HUGHES, J.M., WEILL, H., 1996: Asbestos exposure, asbestosis, and asbestos-attributable lung cancer. *Thorax*, 51: S9 – S15.
- KEUNE, K., MASS, J., MEIRER, F., POTTASCH, C., VAN LOON, A., HULL, A., CHURCH, J., POUYET, E., COTTE, M., MEHTA, A., 2015: Tracking the transformation and transport of arsenic sulfide pigments in paints: synchrotron-based X-ray micro-analyses. *J. Anal. At. Spectrom.*, 30: 813 – 827.
- KLASSEN, C.D, editor., 2008: Casarett & Doull's Toxicology (7th Edition). New York: McGraw-Hill Medical, 949 pp.
- LUBELLI, B., DE ROOIJ, M.R., 2009: NaCl crystallization in restoration plasters. *Constr. Build. Mater.*, 23, 5: 1736 – 1742.
- LUBELLI, B., NIJLAND, T.G., VAN HEES, R.P.J., HACQUEBORD, A., 2010: Effect of mixed in crystallization inhibitor on resistance of lime-cement mortar against NaCl crystallization. *Constr. Build. Mater.*, 24, 12: 2466 – 2472.
- LUBELLI, B., VAN HEES, R.P.J., 2007: Effectiveness of crystallization inhibitors in preventing salt damage in building materials. *J. of Cult. Her.*, 8, 3: 223 – 234.
- MAGOS, L., CLARKSON, T. W., 2006: Overview of the clinical toxicity of mercury. *Annals of Clinical Biochemistry*, 43, 4: 257 – 268.
- MORSE, H.W., 1906: Studies on Fluorite. *Proceedings of the American Academy of Arts and Sciences*, 41, 27: 587 – 614.
- MURATA, K.J., CISNEY, E.A., STIEFF, L.R., ZWORYKIN, E.V., 1951: Hydration and base exchange properties of carnotite, tyuyamunite, and related compounds (abs). *GSA Bulletin*, 61: 1489.
- MURPHY, R., STRONGIN, D.R., 2009: Surface reactivity of pyrite and related sulfides. *Surf. Sci. Rep.*, 64, 1: 1 – 45.
- NARA, Y., MORIMOTO, K., HIROYOSHI, N., YONEDA, T., KANEKO, K., BENSON, P.M., 2012: Influence of relative humidity on fracture toughness of rock: Implications

- for subcritical crack growth. *International Journal of Solids and Structures*, 49, 18: 2471 – 2481.
- NOVÁK, M., KOTLÍK, P., 2014: Vliv obsahu kyslíku a relativní vlhkosti na rozklad pyritu a markazitu. *Fórum pro konzervátory – restaurátory*, 25 – 27.
- NUNES, E.H.M., LAMEIRAS, F.S., HOUMARD, M., VASCONCELOS, W.L., 2013: Spectroscopic study of natural quartz samples. *Radiation Physics and Chemistry*, 90: 79 – 86.
- PARSONS, A.L., 1926: Additional data concerning the preservation of minerals. *Am. Min.*, 11, 79 – 82.
- PETERSON, R.C., 2003: Dehydration of mine waste. The relationship among melanterite  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , siderotile  $\text{FeSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  and rozenite  $\text{FeSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ . *Geological Association of Canada-Mineralogical Association of Canada-Society of Economic Geologists*, 28: 134 – 135.
- PETERSON, R.C., HAMMARSTROM, J.M., Seal, R.R., 2006: Alpersite ( $\text{Mg, Cu}$ )  $\text{SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , a new mineral of the melanterite group, and cuprian pentahydrate: Their occurrence within mine waste. *American Mineralogist*, 91: 261 – 269.
- PRATESI, G., ZOPPI, M., 2015: An insight into the inverse transformation of realgar altered by light. *American Mineralogist*, 100, 5 – 6: 1222 – 1229.
- PUFFER, J.H., 1980: Toxic minerals. *The Mineralogical Record*, January-February, 5 – 11.
- RODRIGUEZ-NAVARRO, C., DOEHNE, E., 1999: Salt weathering: influence of evaporation rate, supersaturation and crystallization pattern. *Earth Surface Processes and Landforms*, 24: 191 – 209.
- ROTHWELL, J. A., BOYD, P. J., 2008: Amalgam dental fillings and hearing loss. *International Journal of Audiology*, 47, 12: 770 – 776.
- RUTH, J.H., 1986: Odor thresholds and irritation levels of several chemical substances: A review. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 47, 3: A142-A151.
- SAX, N.I., 1979: Dangerous properties of industrial minerals. 5th Edition. Van Nostrand, Reinhold, Toronto, 1118 pp.
- SHAHIDZADEH, N., DESARNAUD, J., 2012: Damage in porous media: role of the kinetics of salt (re)crystallization. *The European Physical Journal Applied Physics*, 60: 24205.
- SHUSTERMAN, D., 1992: Community health and odor pollution regulation. *American Journal of Public Health*, 82, 11: 1566 – 1567.
- SIDIKE, A., KUSACHI, I., YAMASHITA, N., 2003: Natural fluorite emitting yellow fluorescence under UV light. *Physics and Chemistry of Minerals*, 30: 478 – 485.
- SIMONTON, S., SPEARS, M., 2007: Human Health Effects from Exposure to Low-Level Concentrations of Hydrogen Sulfide. *Occupational Health & Safety*, 5 pp.
- SKINNER, H.C.W., 2003: Mineralogy of Asbestos Minerals. Review. *Indoor and Built Environment*, 0: 1 – 5.
- SLENÁŘ, J., EKRT, B., SEJKORA, J., KOLESAR, P., GAZDOVÁ, Z., MALÍKOVÁ, R., NOHEJLOVÁ, M., KOTLÍK, P., NOVÁK, M., ĐUROVIČ, M., ŘÍHOVÁ AMBROŽOVÁ, J., 2015: Metodika preventivní i sanační konzervace sbírkových předmětů z oblasti paleontologie a mineralogie ohrožených produkty degradace sulfidů. Praha, 109 pp.
- SMITH, E. E., SHUMATE, K. S., 1970: The sulphate to sulphide reaction mechanism. Water Pollution Control, Research Series, Ohio State University Research Foundation, Columbus, Ohio, 129 pp.
- SPORN, T.A., 2011: Mineralogy of asbestos. *Recent Results in Cancer Research*, 189: 1 – 11.



- STEGER, H.F., 1982: Oxidation of sulfide minerals: VII. Effect of temperature and relative humidity on the oxidation of pyrrhotite. *Chemical Geology*, 35, 3 – 4: 281 – 295.
- STEGER, H.F., DESJARDINS, L.E., 1978: Oxidation of sulfide minerals, 4. Pyrite, chalcopyrite and pyrrhotite. *Chemical Geology*, 23, 1 – 4: 225 – 237.
- SUN, H., CHEN, M., ZOU, L., SHU, R., RUAN, R., 2015: Study of the kinetics of pyrite oxidation under controlled redox potential. *Hydrometallurgy*, 155: 13 – 19.
- SYVERSEN, T., KAUR, P., 2012: The toxicology of mercury and its compounds. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 26, 4: 215 – 226.
- United States Environmental Protection Agency (USEPA). (Last updated January 15, 2016). Health effects of exposure to mercury: elemental (metallic) mercury effects. Retrieved from <https://www.epa.gov/mercury/health-effects-exposures-mercury#metallic>
- VIRTA, R.L., 2002: Asbestos: Geology, Mineralogy, Mining and Uses. U.S. Geological Survey, 28 pp.
- WALKER, T.L., PARSONS, A.L., 1925: Evanescent pink sodalite and associated minerals from Dungannon Township, Ontario: Toronto, *Univ., Studies, Geol. Ser.*, 20: 5 – 13.
- WALLER, R., ANDREW, K., TÉTREAULT, J., 2000: Survey of gaseous pollutant concentration distributions in mineral collections. *Collection Forum*, 14, 1 – 2: 1 – 32.
- WEIL, E.D., SANDLER, S.R., GERON, M., 2006: Sulfur compounds. In: J.I. Kroschwitz, A. Seidel, (eds.): *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*, Hoboken, NJ: Wiley-Interscience, 23: 621 – 701.
- WEISS, W., 2000: Asbestosis and lobar site of lung cancer. *Occupational and Environmental Medicine*, 57: 358 – 360.
- WHO (World Health Organization), 2003: Hydrogen sulfide: Human health aspects. *Concise International Chemical Assessment Document*, 53, 41 pp.
- <https://depositsmag.com/2016/05/24/preserving-geological-museum-collections/> (1. 11. 2017)
- <https://www.amnh.org/our-research/natural-science-collections-conservation/general-conservation/health-safety/geological-collections> (1. 11. 2017)
- [https://icon.org.uk/system/files/documents/care\\_and\\_conservation\\_of\\_geological\\_specimens.pdf](https://icon.org.uk/system/files/documents/care_and_conservation_of_geological_specimens.pdf) (1. 11. 2017)

**Adresy autorov:**

Mgr. Bronislava Voleková, PhD., Slovenské národné múzeum–Prírodovedné múzeum,  
Vajanského nábrežie 2, P.O.BOX 13, 810 06 Bratislava  
E-mail: [bronislava.volekova@snm.sk](mailto:bronislava.volekova@snm.sk)

Mgr. Katarína Schwarzkopfová, PhD., Univerzita Komenského v Bratislave,  
Prírodovedecká fakulta, Katedra geochémie, Ilkovičova 6, Mlynská dolina 842 15,  
Bratislava  
E -mail: [k.schwarzkopfova@fns.uniba.sk](mailto:k.schwarzkopfova@fns.uniba.sk)