

Biokorózia historickej architektúry ako dôležitý faktor jej chátrania

A. Šimonovičová, E. Franková, M. Gódyová: Biocorrosion of Historical Architecture as an Important Factor of its Treating. Život. Prostr., Vol. 34, No. 6, 317–321, 2000.

Ageing and degradation of natural and synthetic materials is a nature and irreversible process in which significantly participate societies of bacteria and micromycetes. From the viewpoint of biodeterioration of building and decorative materials, mainly the micromycetes are important and interesting. On architectural sights micromycetes are undesirable not only from the aesthetic point of view but also mainly for their degradation activity which accelerates gradual destruction of the building materials.

The destructive activities of micromycetes were confirmed in the research of the late Gothic wall paintings in the chapels Stephaneum and Konvikt (18th century) in Trnava, of the tombstones places in the crypt of rabbi Sofer (17th century) in Bratislava and the interior walls of the monastery church in Okoličné (15th century).

Starnutie a degradácia prírodných i syntetických materiálov je prirodzený a nezvratný proces v kolobehu prvkov v prírode, ktorý môže urýchľovať alebo spomaľovať viacero činiteľov. Okrem fyzikálno-chemických faktorov, ktoré sú závislé od klimatických, geografických a topografických podmienok, sa v praxi často zabúda na ďalší, veľmi významný faktor – biologický. Mikrobiálne spoločenstvá chemoheterotrofných baktérií a mikromycét, žijúce v zložitých ekologických vzťahoch, spôsobujú v prírodných podmienkach biokoróziu stavebných a dekoratívnych kameňov (Wasserbauer, 1998). Ako biodeterioranty a deštruenty stavebných materiálov sú zaujímavé a dôležité najmä mikromycéty. Tieto prevažne pôdne mikroorganizmy sú vďaka svojej schopnosti adaptovať sa na nepriaznivé fyziologické podmienky schopné prežívať a rásť aj na extrémnych substrátoch, akými sú pre ne stavebné materiály. Preto sú na architektonických pamiatkach nežiaduce nielen z estetického hľadiska, ale najmä pre ich degradačnú aktivitu – biokoróziu, ktorá vedie k postupnému rozkladu a trvalým zmenám na materiáloch, či už ide o kameň, drevo, papier, farbivá a pod. (Šimonovičová, Franková, 1998; Franková a kol., 1999).

V urbanizovanom prostredí sa čierne povlaky na povrchu kamenných substrátov tradične pokladali za dôsledok spaľovania fosílnych palív. Nedávno sa objavila hypotéza o biogénom pôvode týchto povlakov. Čierne

škvrnny pozorovali na mramore v Aténach, Postupime, St. Peterburgu, Ríme, Viedni a zistilo sa, že pigmentáciu kameňov spôsobujú najmä metabolity mikromycét, a to melaníny, melanoidy, ako aj vnútrobunkové polymerizačné produkty. Melaníny sú sekundárne metabolity mnohých mikroskopických húb, aktinomycét i niektorých baktérií. Môžu reagovať s aminokyselinami alebo bielkovinami za vzniku melanoproteínov, ktoré sú štruktúrou podobné humínovým kyselinám a lignínu (Saiz-Jimenez, 1995; Saiz-Jimenez a kol., 1995; Wasserbauer, 1998).

Aby sa zabránilo rýchlemu starnutiu až celkovej deštrukcii spôsobenej biodeterioráciou, treba zosúladiť architektonické a technologické prvky každej stavby s prostredím, v ktorom je objekt situovaný. Habitat stavby nie je teda len estetickou požiadavkou, ale aj dôležitou logickou podmienkou. Dôsledkom nedostatočného rešpektovania týchto predpokladov sú napríklad predčasne opotrebované a devastované panelové obytné domy, postavené u nás v druhej polovici tohto storočia. Hoci v súčasnosti je hromadná výstavba bytov utlmená, realizujú sa však iné projekty, napríklad cestné ťahy pre nákladnú dopravu cez mestské pamiatkové zóny, ktoré nerešpektujú požiadavky a pravidlá environmentálnej logiky.

Výskumom a identifikáciou mikromycét produkujúcich čierne pigmenty na pieskovcových, vápencových



1. a 2. Neskorobarokové nástenné maľby z konca 18. storočia s výjavmi Apokalypsy od V. Mussingera v kaplnke Arcibiskupského úradu v Trnave – Konvikte



a kremenných kameňoch, ktoré pochádzali z rôznych pamiatok v Európe a Afrike, sa zaoberal Diakumaku a kol. (1995). Z ich výskumov vyplýva, že príčinou čiernych a hnedých povlakov na mramore alebo vápenci je prítomnosť a aktivita mikromycét rodov *Phoma* sp. a *Alternaria* sp. V závislosti od druhu mikromycét a vplyvov prostredia (živín, vlhkosti, žiarenia) sa tvoria buď vnútrobunkové melaníny, alebo melaníny vylučované do prostredia. Tie sú schopné mimoriadne poškodzovať mramor, vápenec a iné kamenné materiály. Najväčšie poškodenie nastáva vtedy, keď svoj vývoj neobmedzujú len na pukliny, ale vďaka priaznivým podmienkam na rast sa rozširujú po celom povrchu pamiatky.

Farebné zmeny kamenných materiálov súvisiacich s prítomnosťou a aktivitou mikromycét boli pozorované aj na aragonite Zbrašovských jaskýň (Marvanová a kol., 1992). Zo vzoriek aragonitu boli izolované väčšinou xerotolerantné druhy, boli však identifikované aj druhy známe z vápenatých pôd., napr. *Botrytis cinera*, *Penicillium aurantiogriseum* a druhy *Alternaria alternata*, *Aspergillus versicolor*, *Cladosporium* sp., *Penicillium chrysogenum* a ďalšie, ktoré sa našli nielen v jaskyniach, ale aj v uránových baniach. Aj pôvod červených a hnedých pigmentov na aragonite pripisujú autori aktivite mikromycét, keďže medzi izolátmi sa vyskytovali aj producenti ružových a červených pigmentov (*Aspergillus versicolor*, *Penicillium purpurogenum*). O negatívnom vplyve mikromycét na minerálne substráty informovali aj vedci zo Španielska (de la Torre a kol., 1990). Snímky z rastrovacieho mikroskopu dokázali povlaky a koróziu minerálnych častí stien historických budov hýfami druhu *Penicillium glabrum*.

Z hľadiska biokorózie historickej architektúry sme sledovali výskyt mikromycét na dvoch historických budovách v Trnave. Skúmanými objektmi boli neskorobarokové nástenné maľby z konca 18. storočia v kaplnke Arcibiskupského úradu (Konvikte – obr. 1, 2) a v kaplnke Seminára Sv. Štefana (Stephaneum – obr. 3 a 4), ktorý bol postavený r. 1724. Neskôr sa využíval ako internát a v súčasnosti je v značne devastovanom stave, hoci bol vyhlásený za národnú kultúrnu pamiatku. Z neskorobarokových nástenných maľieb sme vyizolovali nasledujúce mikromycéty: *Alternaria* sp., *A. tenuis*, *Aspergillus niger*, *A. versicolor*, *Cladosporium cladosporioides*, *Fusarium* sp., *Gliocladium* sp., *Phialophora bubaki*, *Penicillium* sp., *P. expansum*, *Stemphylium* sp., *Trichoderma viride* a *T. koningi*. Spoločným kontaminantom boli *Aspergillus niger* a *Cladosporium cladosporioides*. Zaujímavý bol výskyt druhu *Phialophora bubaki*, ktorá sa vyskytovala len na nástenných maľbách v trnavských kaplnkách. Tento druh je známy skôr výskytom na hnijúcom dreve, kde spôsobuje modré sfarbenie.

Výskyt mikromycét sme sledovali aj v krypte Chata Sófera (obr. 5, 6), ktorý pôsobil v Bratislave v období

1806–1839 ako hlavný rabín a predstavený ješivy (židovskej školy), ktorá tu fungovala od 14. storočia až do r. 1939. Kamenná tumba so Sóferovými telesnými ostatkami tvarovo pripomína antický sarkofág. Nachádza sa v betónovej hrobke pod portálom tunela pri Dunaji pod úrovňou frekventovanej mestskej komunikácie, spolu s ďalšími 23 zachovanými hrobmi a 41 náhrobnými kameňmi starého židovského cintorína, ktorý bol založený r. 1670 (Stern, 1998). Priestory betónovej krypty sú tmavé, chladné a permanentne vlhké od presakujúcej vody. Zväčša pieskovcové náhrobné kamene sa v tomto prostredí drobia a rozpadávajú. V interiéri krypty sú veľmi vhodné fyziologické a ekologické podmienky (vlhkosť, tma a nízke teploty) na rast a rozmnožovanie mikromycét. Z tohto prostredia sme izolovali 40 rodov a druhov mikromycét (tab. 1). Najbohatšie mycetické oživenie sme našli na náhrobných kameňoch. Najviac boli zastúpené druhy rodu *Aspergillus* (*A. candidus*, *A. flavus*, *A. nidulans*, *A. ochraceus*, *A. oryzae*, *A. ustus*, *A. versicolor*, *A. wentii*) a *Penicillium* (*P. arenicola*, *P. brevicompactum*, *P. chrysogenum*, *P. griseofulvum*, *P. janthinellum*, *P. olsoni*). Z prasklín, resp. otvorov v poškodených náhrobných kameňoch boli izolované *Aspergillus* sp., *A. wentii*, *Penicillium* sp. a *P. chrysogenum*. Na strope (z heraklitu) a na stenách sa vyskytovali nasledujúce mikromycéty: *Acremonium* sp., *Aspergillus* sp., *A. flavus*, *A. nidulans*, *A. ustus*, *A. versicolor*, *A. wentii*, *Botrytis cinerea*, *Cladosporium* sp., *Doratomyces* sp., *Fusarium* sp., *Gliocladium* sp., *Mortierella* sp., *Paecilomyces* sp., *Penicillium* sp., *Rhizopus* sp., *R. stolonifer*, *Trichoderma* sp. a *Verticillium* sp.

Ďalším skúmaným objektom bol neskorogotický kostol s kláštorom v Okoličnom, ktorý tvorí uzavretý komplex z 15. storočia. Kontaminácia vnútorných stien tohto objektu bola špecifická niektorými druhmi mikromycét. Rody *Ulocladium* sp., *Absidia* sp., a druhy *Alternaria alternata*, *Cladosporium herbarum*, *Paecilomyces farinosus*, *Penicillium aurantiogriseum*, *P. citrinum*, *P. decumbens*, *P. fellutanum*, *P. restrictum*, *P. rugulosum*, *Stachybotrys chartarum*, *Trichothecium roseum*, *Verticillium tenerum* a *Merimbla ingelheimense* sme izolovali len z priestorov tohto kostola.

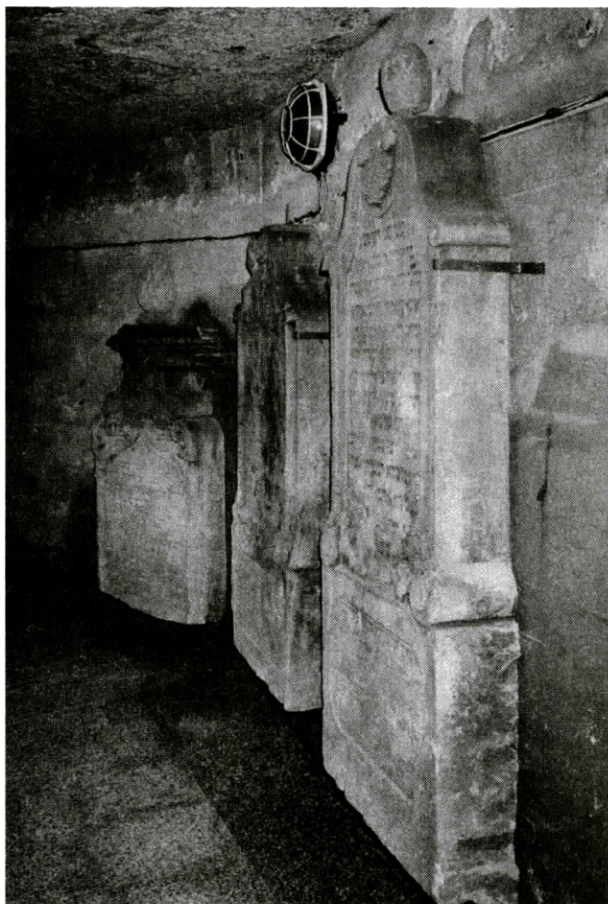
Prevažná väčšina izolovaných mikromycét má veľmi široké teplotné rozhranie rastu, napr. *Aureobasidium pululans* (2–35 °C), *Mucor* sp. (5–35 °C), *Penicillium chrysogenum* (5–37 °C), *Rhizopus stolonifer* (10–33 °C), *Stachybotrys* sp. (2–40 °C), *Trichoderma* sp. (6–32 °C). Minimálna teplota pre druh *Botrytis cinerea* je 2 °C. Typickým predstaviteľom psychrofilnej mykoflóry sú druhy rodu *Cladosporium* sp., ktoré sú schopné rásť do teploty -6 °C (Gravesen a kol., 1994).

Kým v exteriérových podmienkach sa na biodeteriorizácii najrozmanitejších materiálov podieľajú okrem mikromycét aj riasy, sinice a baktérie, v interiéroch jednoznačne prevládajú mycetické deštruktívne činitele



3. a 4. Kaplnka Seminára sv. Štefana v Trnave – Stephaneum, postavená r. 1724. Národná kultúrna pamiatka.





5. Krypta Chatama Sófera v Bratislave. Pieskovcové náhrobné kamene umiestnené po obvode krypty.

6. Betónová ohrada s hrobmi významných židovských predstaviteľov, okolo upravená zemina



(Franková a kol., 1999). Sú nielen univerzálnymi deštruktivami organickej hmoty, ale na rozdiel od organotrofných baktérií, ktoré kontaminujú a poškodzujú materiály len na povrchu, sú schopné prenikáť do hĺbky a naraz rozkladať celý objem napadnutého materiálu. V uzavretých priestoroch k problému s biodeterioráciou okrem toho pristupujú aj zhoršené zdravotné a hygienické podmienky pre zamestnancov.

Minimálny záujem spoločnosti alebo často len bezmocnosť ľudí pri presadzovaní optimálnych ekologických riešení v architektúre vedie k zbytočným, ale nenahraditeľným škodám, najmä na kultúrnom dedičstve.

Obnova historických stavebných objektov býva okrem toho často náročnejšia ako nová výstavba, pretože okrem bežných technologických nárokov musí spĺňať aj ďalšie kritériá. Je to predovšetkým zachovanie a zhodnotenie pamiatkovo-historických hodnôt objektu. Realizácia rekonštrukcie je veľmi dôležitou etapou v procese renovácie, pretože v konečnom dôsledku rozhoduje o výslednej kvalite. Jej priebeh by mal byť úzko koordinovaný so všetkými aktérmi stavebného procesu, t. j. projektantmi, ale aj pamiatkarmi, vrátane chemikov, mikrobiológov a ďalších špecialistov. Historické objekty často skrývajú rôzne prekvapenia, ktoré neodhalil ani pamiatkový prieskum (napr. nečakané objavy umeleckých prvkov objektu, archeologické nálezy, skryté konštrukcie, ktoré nezodpovedajú súčasným bezpečnostným normám alebo menej kvalitné stavebné materiály použité na výstavbu objektu. Potenciálnym zdrojom rôznych porúch pri obnovách bývajú najmä rozhrania dobových prestavieb a prístavieb historických stavieb, pri ktorých sa použili rôznorodé stavebné materiály (Makyš, 2000).

Všetky tieto materiály podliehajú biokorózii, ktorá sa vzhľadom na časový faktor i ďalšie vplyvy na každom druhu minerálu prejaví iným spôsobom a stupňom narušenia. Problém ochrany a obnovy historických a umeleckých objektov vyústili začiatkom tohto storočia do spolupráce viacerých odborných profesií – umelcov – reštaurátorov – prírodovedcov a s novými poznatkami sa neustále viac rozširuje o ďalšie profesie. Identifikácia mikroorganizmov spôsobujúcich biokoróziu materiálov a poznanie ich biodeterioračného účinku je nevyhnutnou podmienkou na riešenie ich účinnej likvidácie, ale aj prevencie. Ďalším dôvodom medziodborovej spolupráce je uplatňovanie produktov chemického priemyslu v stavebníctve a reštaurátorskej praxi. Zdá sa, že pomocou syntetických polymérov možno riešiť aj mnohé reštaurátorské problémy úspešnejšie, ako pri použití prírodných látok. Má to však svoje úskalnia, a práve tu sa ponúka možnosť uplatnenia a širokej spolupráce prírodovedcov, technikov, umelcov a reštaurátorov (Zelinger a kol., 1982).

Tab. 1. Diverzita mikromycét v krypte Chatama Sófera a v kostole v Okoličnom

Mikromycéty	Krypta Chatama Sófera			Okoličné
	kameň	stena	strop	stena
<i>Absidia</i> sp.	+	+	+	+
<i>Acremonium</i> sp.	+			
<i>A. murorum</i>	+			
<i>Alternaria</i> sp.	+	+	+	+
<i>Aspergillus</i> sp.	+			
<i>A. candidus</i>	+			+
<i>A. flavus</i>	+		+	+
<i>A. nidulans</i>		+	+	
<i>A. niveus</i>				+
<i>A. ochraceus</i>	+			
<i>A. oryzae</i>	+			
<i>A. restrictus</i>	+			
<i>A. ustus</i>	+	+	+	+
<i>A. versicolor</i>	+			+
<i>A. wentii</i>	+	+	+	
<i>Aureobasidium pullulans</i>	+			+
<i>Botrytis cinerea</i>			+	+
<i>Cladosporium</i> sp.	+		+	+
<i>C. cladosporioides</i>	+			
<i>Doratomyces</i> sp.	+	+		
<i>Fusarium</i> sp.	+		+	
<i>Gliocladium</i> sp.	+		+	
<i>G. roseum</i>	+			
<i>Mortierella</i> sp.	+	+		+
<i>Mucor</i> sp.	+			+
<i>Paecilomyces</i> sp.	+	+	+	+
<i>P. farinosus</i>				+
<i>P. lilacinus</i>	+			
<i>Penicillium</i> sp.	+	+	+	+
<i>P. arenicola</i>	+			
<i>P. aurantiogriseum</i>				+
<i>P. brevicompactum</i>	+			+
<i>P. chrysogenum</i>	+			+
<i>P. commune</i>				+
<i>P. decumbens</i>				+
<i>P. expansum</i>				+
<i>P. griseofulvum</i>	+			
<i>P. janthinellum</i>	+			+
<i>P. olsoni</i>	+			
<i>P. viridicatum</i>				+
<i>Rhizopus</i> sp.		+		
<i>R. stolonifer</i>		+	+	
<i>Scopulariopsis</i> sp.	+			
<i>Stachybotrys</i> sp.	+			
<i>Trichoderma</i> sp.	+		+	+
<i>T. viride</i>				
<i>Ulocladium</i> sp.				+
<i>Verticillium</i> sp.	+		+	+
<i>V. tenerum</i>				+

Literatúra

- Diakumaku, E., Gorbushina, A. A., Krunbein, W. E., Panina, L., Soukharjevski, S., 1995: Black Fungi in Marble and Limestone – an Aesthetical, Chemical and Physical Problem for the Conservation of Monuments. *The Science of the Total Environment*, 167, p. 295–304.
- Franková, E., Šimonovičová, A., Bacigálová, K., 1999: Mikroskopické huby izolované z depozitov Slovenského národného múzea v Martine. *Bull. Slov. Bot. Spol.*, Bratislava, 21, p. 39–42.
- Gravesen, S., Frisvad, J. C., Samson, R. A., 1994: *Microfungi*. High-Tech. PrePress. Als, Copenhagen, 168 pp.
- Makýš, O., 2000: Zásady obnovy historických stavebných objektov. Zborník IV. medzinárod. konfer. Technológia v stavebníctve, Stará Lesná, p. 169–172.
- Marvanová, L., Kalousková, V., Hanuláková, D., Scháněl, L., 1992: Microscopic Fungi in Zbrašov Aragonit Caves. *Česká Mykologie*, 46, 3–4, p. 243–250.
- Saiz-Jimenez, C., 1995: Microbial Melanins in Stone Monuments. *The Science of the Total Environment*, 167, p. 273–286.
- Saiz-Jimenez, C., Ortega-Calvo, J. J., Leeuw, J. W., 1995: The Chemical Structure of Fungal Melanins and Their Possible Contribution to Blanch Strains in Stone Monuments. *The Science of the Total Environment*, 167, p. 305–314.
- Stern, T., 1998: Beth Olam – Dom večnosti. Židovské cintoríny na Slovensku. *Pamiatky a múzeá*, 1, p. 33–38.
- Šimonovičová, A., Franková, E., 1998: Biodeterioration of Wall-Paintings by Microscopic Fungi. 21th Congress of the Czechoslovak Society for Microbiology With the International Participation. Hradec Králové, Abstract book, p. 385.
- Torre de la, M. A., Lorenzo, J., Gómez-Alarcón, F., 1990: Effects of Growth on Spanish Historic Buildings. IV. Inter. Mycol. Congress, Abstract, p. 259.
- Wasserbauer, R., 1998: Odběr a zpracování vzorku zdiva pro mikrobiologické analýzy. In: Šimek, M., Šantrůčková, H., Křišťufek, V. (eds). Odběr a zpracování půdních vzorků pro biologické a chemické analýzy. ÚPB AV ČR České Budějovice, p. 87–90.
- Zelinger, J., Šimunková, A., Kotlík, P., 1982: *Chemie v práci konzervátora a restaurátora*. Academia Praha, 213 pp.

RNDr. Alexandra Šimonovičová, CSc. (1954), samostatná vedecká pracovníčka, Katedra pedológie PRIF UK, Mlynská dolina B-2, 842 15 Bratislava. E-mail: asimonovicova@fns.uniba.sk

Ing. Eleonóra Franková (1944), vedecká pracovníčka, Katedra zdravotného inžinierstva Stavebnej fakulty STU, Radlinského 11, 813 68 Bratislava

Mgr. Miroslava Gódyová (1976), doktorandka na Katedre pedológie PRIF UK, Mlynská dolina B-2, 842 15 Bratislava