

Kameň a živá príroda

Kameň je najstaršou prírodninou na našej planéte. Vek našej planéty je okolo 4,5 až 5,0 miliárd rokov. Život a samotný zemský povrch bol stanovený pred približne 3,8 miliardami rokov. Hoci kameň je neživá prírodnina, „rodí sa“ – vzniká a „starne“ – zvetráva.

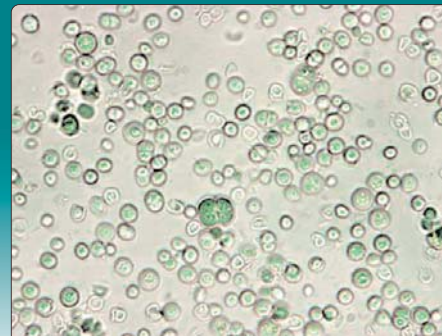
Procesy vzniku a zvetrávania, aj keď môžu existovať bez života na Zemi, sú kontrolované na povrchu a pod povrchom Zeme biologickými procesmi. Tieto obsahujú priame (mechanické a chemické) a nepriame vplyvy metabolických produktov organizmov. Tvorba a prestavba materiálu na povrchu Zeme je podriadená pravidlám kinetiky biologickej zložky prírody. Patrí do nej množstvo deštruovaných druhov minerálov a následne novovytvorených. Život sa môže vlastne považovať za chemický proces a takmer žiaden chemický proces na Zemi nemá svoje miesto bez čiastočnej účasti života. Organizmy katalyzujú rýchlosť fyzikálno-chemických procesov a v niektorých prípadoch spúšťajú chemické reakcie, ktoré sú termodynamicky nepravdepodobné.

Život a chémia sú prepojené navzájom, čím sa podieľajú na geologickej histórii Zeme už najmenej 3,5 miliárd rokov. Hovorí sa o takzvanej bio-geo-chemickej rovnováhe Zeme, o ktorej už písal samotný „otec“ veddy Albertus Magnus v roku 1250, voľný preklad znie nasledovne: *Vytvorenie jedného prírodného objektu v tom istom čase predstavuje zánik druhého objektu a späťne zánik druhého predstavuje vznik prvého, proces vzniku sa mení a nikdy sa nezastaví.* Podobne, ale už konkrétnejšie sa o tomto procese vyjadril v roku 1535 Theophilus Bombastus von Hohenheim (Paracelsus), ktorý napísal: *Videl som okruhlíaky v rieke a boli pokryté slizom. A ten sliz sa premiestnil dovnútra kameňa, stmellil okruhlíaky do tvrdej skaly. A keď som premiestnil materiál do môjho laboratória, pozoroval som ten istý sliz rásť a produkovať kameň.* Zaujímavá a jednoducho dokázaný proces rovnováhy, vzniku a zániku hneď v jednom čase a na jednom mieste.

O aké mikroorganizmy vlastne ide? Nazývajú sa súborne litobionty, odvodené od slov *lithos* = skala, *bios* = život. Patria medzi ne najmä cyanobaktérie (sinice), nitrifikačné, železité a kalcitické baktérie, ktoré

jednak kameň vytvárajú (biolitogenéza) a aj rozkladajú (biodeteriorácia). Povlaky mikrobov zapríčiňujú okom viditeľnú farebnú zmenu na povrchu kameňa, ale hlavne zmeny chemického a minerálneho zloženia pôvodného kameňa tým, že menia jeho stabilitu, permeabilitu, hustotu... Schopnosť zúčaštniť sa tvorby a rozkladu kameňa umožňuje spomínaným mikróbom práve fotosyntéza a iné fyziologické procesy na povrchu a vo vnútri bunky.

Avšak pre človeka je z praktického hľadiska dôležitejší proces starnutia kameňa spôsobeného mikroorganizmami, označovaný ako biodeteriorácia, práve kvôli zachovaniu historického dedičstva. Prečo sa práve rozklad, starnutie, stali prvoradými v biogeochemickom výskume? V historických centrách našich miest je to závažný problém. Pamiatky zhotovené z blokov kameňa a dekoratívneho kameňa sú vystavené rovnakým vplyvom ako prírodný kameň. Na rozrušovanie sa podieľa viacero činiteľov. V mestách sa tento jav urýchlil nástup intenzívnej industrializácie v rokoch 1870 – 1880 a od roku 1950 sa tieto procesy nedajú zastaviť. Poškodenie kameňov historických budov v mestských aglomeráciách prekročilo mieru únosnosti. Príčin je veľa, mnohé z nich sa zhodujú s činiteľmi zvetrávania, niektoré sú špecifické. Rozhodujúcu úlohu pri zvetrávaní má kvalita ovzdušia. Nebezpečné sú hlavne oxidy dusí-



Kokálna cyanobaktéria rodu *Chroococcidiopsis*, ktorá aktívne narúša kameň a patrí k významným litobiontom rastúcim niekoľko centimetrov pod povrchom kameňa, zväčšenie 16×100

ka, uhlíka, síry a chloridy. Najvýraznejšie vplyvajú oxidy síry a to v zimných mesiacoch, keď je ich v ovzduší najviac a po oxidácii sa vracajú späť na zem v podobe kyslých zrážok a atakujú horniny. Ohrozujú najmä karbonátové horniny, na ktorých sa po reakcii s kyselinou sírovou vytvárajú povlaky sadrovca. Dôležitú úlohu popri environmentálnych faktoroch zohráva tiež mineralógia a štruktúra kameňa, kde je pórovitý materiál vhodným substrátom na kolonizáciu mikroorganizmov, čo urýchljuje starnutie kameňa. S pórovitosťou súvisí aj kapilárne vzlihanie pôdnej vlhkosti a ukladanie solí v póroch hornín. Ide o pomalé, ale kumulatívne procesy. Synergické pôsobenie účinkov vody, solí, exhalátov zo vzduchu a mikroorganizmov predstavuje veľké nebezpečenstvo pre múry mnohých historicky významných stavieb. Rozvoj mikrobov na kameni a z neho vyplývajúca biodeteriorácia je výlučne spojená s environmentálnymi podmienkami.

Analýza vzájomných vzťahov medzi kameňom (monumentom), abiotickou a biotickou



Vláknitá cyanobaktéria rodu *Leptolyngbya*, ktorá vytvára tmavozelené povlaky na kameni, zväčšenie 16×100

zložkou si vyžaduje mnohorozmerný pohľad viacerých vedných disciplín. Environmentálne faktory spolupôsobia s biologickou zložkou, pričom výsledkom je buď pozitívne alebo negatívne pôsobenie, čo podmieňujú limitujúce faktory životného prostredia pre jednotlivé mikróby. Jednoducho povedané, organizmy, ktoré majú široké rozpätie tolerance sú najfrekvencovanejšie a naopak, organizmy s úzkym rozpätím sú menej frekvencované a tie môžu slúžiť ako vhodné bioindikátory prostredia. Keďže ich prítomnosť je prísne ohraničená podmienkami prostredia, možno vysvetľovať hodnoty environmentálnych parametrov na základe senzitívnych druhov organizmov na ten ktorý jav (kyslosť, zásaditosť, vlhkosť, zasolenie, obsah nitrátov atď.) Ich neprítomnosť potom významne potvrdzuje určitú zmenu prostredia. Spolupôsobenie environmentálnych faktorov môže mať synergický efekt, ako je napríklad pôsobenie vody a teploty v hornine, ktoré zvyšujú pravdepodobnosť kolonizácie a rastu mikroorganizmov, čím sa zvyšuje efekt biodeteriorácie. V inom prípade môže dôjsť k antagonistickejmu pôsobeniu,



Heterocytová cyanobaktéria rodu *Nostoc* tvoriaca kolónie bohaté na sliz na povrchu a v puklinách kameňa, zväčšenie 16×100

napríklad zvyšovanie teploty a izolačné vplyvy znižujú relatívnu vlhkosť a v konečnom dôsledku absolútnu vlhkosť. V priemyselných oblastiach okrem významných faktorov ako sú primárny energetický vstup (svetlo), sekundárny energetický vstup (živiny) a klíma treba zahrnúť aj environmentálne znečistenie, medzi ktoré nesporne patria: priame – antropogénne (vandalizmus, vojna, nevhodný stavebný materiál) a nepriame – antropické (prach, sadze, výfukové plyny).

Minimálny záujem spoločnosti alebo často bezmocnosť ľudí pri presadzovaní optimálnych environmentálnych riešení v architektúre vedie k nenahraditeľným škodám, najmä na kultúrnom dedičstve. Obnova historických objektov býva často náročnejšia ako výstavba nanovo. Realizácia je veľmi dôležitou etapou v procese obnovy, lebo v konečnom dôsledku rozhoduje o výslednej kvalite. Priebeh rekonštrukcie by mal byť úzko koordinovaný so všetkými aktérmi stavebného procesu, vrátane rôznych špecialistov.

Všetky materiály podliehajú starnutiu a degradácii, ktorá sa prejaví na každom druhu



Heterocytová cyanobaktéria *Petalonema alatum*, ktorá sa podieľa na tvorbe uhličitanových minerálov tak, že ich vylučuje na povrchu vlastného slizového obalu, zväčšenie 16×100

minerálu iným spôsobom vzhľadom na časový faktor a ďalšie environmentálne vplyvy. Ide o prirodzený a nezvratný proces v kolobehu prvkov v prírode, ktorý môže urýchľovať alebo spomaľovať viacero činiteľov. Problém ochrany a obnovy historického a umeleckého kameňa vyústil v súčasnosti do spolupráce viacerých profesií (reštaurátori, stavební inžinieri, umelci, prírodovedci) a s novými poznatkami sa neustále prehľbuje.

Určenie mikroorganizmov spôsobujúcich biodeterioráciu kameňa a poznanie ich účinku je nevyhnutnou podmienkou na úspešné riešenie a najmä prevenciu. Jedným z zaujímavých mikróbov osidlujúcich kameň sú cyanobaktérie alebo sinice, ktoré vďaka svojej schopnosti adaptovať sa na nepriaznivé ekologické podmienky (v mnohých prípadoch extrémne), sú schopné rásť, prežívať a rozvíjať sa na stavebnom a umeleckom kameni. Využívajú ho pritom nielen ako existenčný priestor, ale aj ako zdroj minerálnej výživy, čo vedie k trvalým a z pohľadu človeka neželaným zmenám materiálu. Na území Bratislavy sa robil výskum týchto mikróbov rastúcich aj na Dóme sv. Martina alebo v podzemnom Mauzóleu Chatama Sófera ešte pred jeho rekonštrukciou. Preto môžeme konštatovať, že i v našich zemepisných šírkach majú mikróby významný podiel na deštrukcii kameňa, sú

teda neoddeliteľnou súčasťou fenoménu – biodeteriorácie, ktorá je aktuálnym problémom modernej činnosti. Pochopenie mechanizmov a environmentálnych súvislostí tohto fenoménu umožní tieto procesy na základe zistených znakov úplne odstrániť či aspoň spomaľiť.

■ **BOHUSLAV UHER, PhD.**
Laboratórium experimentálnej fykologie
Katedra botaniky, Prírodovedecká fakulta UK
■ Snímky: B. UHER (1, 4, 6, 7),
M. JANČUŠOVÁ (2)

Vyšlo s podporou Environmentálneho fondu
Ministerstva životného prostredia SR

Slovník:

- **Antagonistický** – protikladný, protichodný
- **Biodeteriorácia** – biologické zvetrávanie, degradačné procesy za účasti organizmov
- **Biogeochemia** – interdisciplinárny odbor, ktorý spája poznatky biológie, geológie a chémie dovedna a snaží sa objasniť prírodné zákonitosti komplexne
- **Cyanobaktérie (sinice)** – najstaršie prokaryotické autofototrofné organizmy na Zemi
- **Heterocyt** – špecializovaná bunka cyanobaktérií prispôbená na fixovanie vzdušného dusíka a jeho premenu na organickú látku
- **Synergický** – spolupôsobiaci, súčinný, posilňujúci

**Pohľad pod
skenovým
elektrónovým
mikroskopom
na povrch
mramoru, ktorý
je pokrytý mikro-
organizmami**

