

Biokorózia stavebných materiálov

Alena Luptáková¹

The biocorrosion of building materials

The aim of this work was a study concrete biocorrosion by iron and sulphur-oxidising bacteria and sulphate-reducing bacteria. Tests were conducted on the ground of two different approaches. In the first approach was studied the individual influence of bacterial cultures. In the second approach was studied the simultaneous influence of the bacterial cultures. We observed a weight loss and the calcium release when samples of concrete were exposed to the bacterial cultures. Our study suggests that the biocorrosion under the influence of the reciprocal action of bacterial cultures is more rapid than under the influence of individual bacterial cultures.

Key words: biocorrosion, *Thiobacillus ferrooxidans*, *Thiobacillus thiooxidans*, *Desulfovibrio*

Úvod

Otázky korózie stavebných materiálov a spôsoby ich ochrany sú neustále aktuálne. Z pohľadu potreby zaistenia požadovanej životnosti stavieb je nevyhnutné zaoberať sa štúdiom pôsobenia prostredia na stavebný materiál už vo fáze projektovania a rozhodovania o účele, ktorému bude stavebná konštrukcia slúžiť.

Súčasný prístup k riešeniu otázok vplyvu agresívneho prostredia na betónové konštrukcie, musí vychádzať zo základného predpokladu, že u nových zamýšľaných stavieb by sme mali byť schopní predpokladať formy budúceho agresívneho pôsobenia. U objektov, ktoré boli postavené v minulosti je potrebné zistiť, akým vplyvom boli tieto konštrukcie v priebehu prevádzky vystavené, a na základe poznania vlastností už čiastočne exploatovaného konštrukčného materiálu, hľadať ekonomicky únosné spôsoby sanácie alebo navrhovať vhodné opatrenia, ktoré umožnia exploataciu týchto konštrukcií i naďalej.

Betónová konštrukcia je sústava vytvorená z jedného alebo niekoľkých betónových prvkov (častí). Betónové konštrukcie majú využitie v pozemných stavbách, v priemyselných inžinierskych stavbách, energetických, vodohospodárskych a dopravných stavbách. Výstavba betónových konštrukcií sa vo väčšom meradle rozšírila až v 20. storočí. Dodnes zachované zvyšky betónových stavieb (cesty, akvadukty) pochádzajúce z 1. storočia nášho letopočtu svedčia o tom, že prostý betón poznali už Peržania, Kartáginci a najmä starí Rímanovia. Betónové konštrukcie môžu byť navrhnuté z prostého betónu, železobetónu, predpätého betónu a iných špeciálnych betónov.

Betón je najviac používaným nekovovým stavebným materiálom súčasného stavebníctva a možno predpokladať, že ním ostane aj v nasledujúcom období. Toto postavenie získal vďaka celému radu lepších vlastností pri porovnávaní s inými klasickými stavebnými materiálmi, a taktiež možnostiam výroby na mieste použitia. Betón má relatívne vysoké pevnosti, dobrú trvanlivosť, možno ho ľubovoľne tvarovať a univerzálne použiť na všetky typy stavieb. Je energeticky menej náročný ako ostatné stavebné materiály, čo je jedným z rozhodujúcich faktorov pri ekonomickom zhodnocovaní stavieb. Betón sa skladá zo spojiva, plniva, vody (niekedy aj bez nej), vzduchu a prípadne prísad. Spojivom býva vhodná maltovina (cement, vápno, sadra, atď.), plast, asfalt, decht a podobne. Plnivom bývajú prevažne anorganické materiály prírodného alebo umelého pôvodu (kamenivo do betónu) alebo plnivá organického pôvodu, napr. drevené piliny, hobliny, atď. Premiešaním uvedených zložiek vzniká betónová zmes. Jej uložením do formy a zhutnením sa získava čerstvý betón. Po jeho zatvrdnutí sa mení na zatvrdnutý betón.

Korózia je vo všeobecnosti považovaná za samovoľne prebiehajúci proces znehodnocovania materiálov pôsobením okolitého prostredia. Samovoľný priebeh korózneho procesu je spôsobený tým, že korózne sústavy smerujú do pravdepodobnejšieho neusporiadanejšieho stavu s menšou voľnou entalpiou. Táto samovoľnosť korózných reakcií vedie k predstave, že korózia je neovládateľný prírodný jav. Avšak korózia môže samovoľne prebiehať len vtedy, ak energia pôvodných zložiek korózneho systému je väčšia ako energia korózných produktov. Korózia je proces, ktorý vedie k degradácii primárnych užitočných vlastností materiálov, pevnostných a plastických vlastností, lomových charakteristík, zhoršenie prestupu tepla, zhoršenie estetických vlastností. Nakoniec môže dôjsť k úplnej strate funkcie súčasti konštrukcií.

Pod koróziou betónu rozumieme nevratné poškodenie postupujúce od povrchu staviva, ku ktorému dochádza pri jeho reakcii so zložkami okolitého prostredia. Proces korózie betónu treba chápať ako funkciu závislú od mnohých vplyvov, ktoré je možné rozdeliť na fyzikálne, chemické a biologické.

¹ Ing. Alena Luptáková, PhD., Ústav geotechniky SAV, 043 53 Košice
(Recenzovaná a revidovaná verzia dodaná 13. 12. 2006)

Biologické vplyvy predstavujú vplyv vegetácie a mikroorganizmov (MO). Ak dochádza k nežiaducim zmenám vlastností betónovej konštrukcie vplyvom ich pôsobenia, ide o biokoróziu resp. o biodegradáciu betónových konštrukcií. Organizmy spôsobujúce tieto zmeny sú tzv. biodeteriogeny (Rehm and Reed, 1981).

Biokorózia betónu spôsobená MO je chápaná ako dôsledok aktivít MO v biofilme na povrchu betónu. Prejavuje sa zmenou vzhľadu betónovej konštrukcie, čo neraz vedie až k jej vážnym poruchám. Biofilm tvoria spoločenstvá rôznych druhov baktérií a niektorých vyšších organizmov, tvoriacich tenké povlaky na povrchu betónu. MO využívajú k uchytaniu na povrch betónu polysacharidy, ktoré slúžia aj k stavbe bunkových tiel, reprodukcií a tvorbe mimobunkových polymérov. Výskyt, rast a rozmnožovanie mikroorganizmov podmieňujú najmä vhodná teplota a vlhkosť. Dôležitými činiteľmi sú však aj pH prostredia, žiarenie, prítomnosť kyslíka, živiny a pod. Prítomnosť plesní na povrchu betónu spôsobuje hlavne optické a estetické závady. K rozrušovaniu konštrukcií ich účinkom dochádza len vo výnimočných prípadoch. Nebezpečenstvo napadnutia betónu plesňami vzrastá pri použití organických prísad (kazeín, metylcelulóza atď.) alebo prímiesí (piliny, pazderie, atď.). Vodné riasy rastú na konštrukciách, ktoré sú dlhodobo pod vodou. Betón môže rozrušovať mechanicky alebo chemicky – tvorbou organických kyselín, ktoré rozrušujú cementový tmel.

Biokoróziu betónových konštrukcií spôsobujú najmä baktérie rodov *Acidithiobacillus*, *Leptospirillum*, ktoré oxidujú sírne zlúčeniny a síran-redukujúce baktérie rodov *Desulfovibrio*, *Desulfotomaculum* a pod., ktoré redukujú sírany pri vzniku sulfánu. Uvedené baktérie sú súčasťou biologického kolobehu síry a jej zlúčenín v biosfére (Rehm a Reed, 1981), kde sa zúčastňujú disimilácie časti, ktorej bakteriálne spoločenstvo sa nazýva sulfuretum (Odom a Rivers Singleton, 1993). Činnosť sulfureta je podstatou mnohých procesov v prírode a má svoje uplatnenie aj v priemysle (Luptáková a kol., 2002). Jedným z jeho negatívnych vplyvov je aj biokorózia betónových konštrukcií, napr. betónových kanalizačných rúr, podzemných chodieb, banských šacht a štôlní, betónových nádrží (bazénov) a pod.

Podstatou experimentálnej časti tejto práce bolo sledovanie biokorózie vzoriek betónu, prebiehajúcej pod vplyvom pôsobenia síru a železo oxidujúcich baktérií rodu *Acidithiobacillus* a síran-redukujúcich baktérií rodu *Desulfovibrio*.

Materiál a metódy

Materiál:

Vzorky betónu - skúšobné vzorky betónu vo forme valcov s výškou cca 20 mm a priemerom cca 25 mm, boli vyhotovené z betónovej kocky o rozmeroch 150x150x150 mm, najskôr pomocou vŕtacieho zariadenia STAM s jadrovým vŕtákom. Takto vyvŕtané betónové valce, boli následne narezané kotúčovou pilou na menšie vzorky, ktoré boli ešte pred vlastným použitím v experimente obrusované a leštené (len horné podstavy valcov), čím bol dosiahnutý vhodný tvar vzoriek betónu, pre ich umiestnenie do sklenených baniek a reaktora.

Baktérie - v práci boli použité železo a síru oxidujúce baktérie *Acidithiobacillus ferrooxidans* (A.f.), vyizolované z kyslej banskej vody, vytekajúcej z ložiska Smolník (stará banská záťaž po ťažbe sulfidických rúr). Pre prípravu aktívnej kultúry baktérií A.f. bola použitá selektívna živná pôda 9K (Karavajko a kol., 1988). Pre samotné experimenty sledovania biokorózie t.j. pre kultiváciu baktérií A.f. v prítomnosti vzorky betónu, bola následne použitá iba časť A zo selektívnej živnej pôdy 9K, a to z dôvodov vyzrážania sa železa vo forme hydroxidov a tým vytvárania hrdzavočervených povlakov na povrchu betónu;

síru oxidujúce baktérie *Acidithiobacillus thiooxidans* (A.t.), vyizolované z kyslej banskej vody, vytekajúcej z ložiska Smolník. Pre prípravu aktívnej bakteriálnej kultúry A.t. ako aj pre jej kultiváciu za prítomnosti vzoriek betónu, bola použitá selektívna živná pôda podľa Waksmana a Joffeho (Karavajko a kol., 1988);

síran-redukujúce baktérie *Desulfovibrio* sp., vyizolované metódou podľa J.Postgate (Postgate, 1984) za použitia selektívneho živného média DSM-63 Postgate's C médium, zo vzorky minerálnej pitnej vody (prameň Gajdovka - lokalita Košice - sever).

Metódy:

Biokorózia vzoriek betónu - podstatou experimentov sledovania biokorózie vzoriek betónu, prebiehajúcej vplyvom pôsobenia síru a železo oxidujúcich baktérií rodu *Acidithiobacillus* a síran-redukujúcich baktérií rodu *Desulfovibrio*, bola v podstate kultivácia uvedených baktérií, s použitím vybraných selektívnych živných pôd a vhodných optimálnych rastových podmienok v prítomnosti vzoriek betónu. Celkovo bolo sledovaných 8 betónových vzoriek. Ich označenie vzhľadom na aplikované bakteriálne kultúry a na spôsob realizácie experimentu je uvedené v Tab. 1, z ktorej vyplýva, že v experimentoch bol sledovaný:

- vplyv jednotlivých bakteriálnych kultúr (vzorky 1 – 3);
- simultánny vplyv dvoch bakteriálnych kultúr (vzorky R – RK).

Tab. 1. Označenie vzoriek betónu.

Tab. 1. Indication of concrete samples.

Označenie vzorky	Aplikované baktérie	
1	<i>Acidithiobacillus ferrooxidans</i>	jedna bakteriálna kultúra
1K	abiotická kontrola k vzorke 1	bez bakteriálnej kultúry
2	<i>Acidithiobacillus thiooxidans</i>	jedna bakteriálna kultúra
2K	abiotická kontrola k vzorke 2	bez bakteriálnej kultúry
3	<i>Desulfovibrio sp.</i>	jedna bakteriálna kultúra
3K	abiotická kontrola k vzorke 3	bez bakteriálnej kultúry
R	<i>Desulfovibrio sp.</i> a <i>Acidithiobacillus thiooxidans</i>	simultánny vplyv dvoch bakteriálnych kultúr
RK	abiotická kontrola k vzorke RK	bez bakteriálnej kultúr

Biokorózia betónu aplikáciou jednotlivých bakteriálnych kultúr - experimenty prebiehali staticky, pri teplote 30 °C, v sklenených nádobách s objemom 500 ml, ktoré obsahovali vzorku betónu, 200 ml destilovanej vody, 70 ml selektívnej živnej pôdy vhodnej pre rast vybranej bakteriálnej kultúry a 30 ml aktívnych baktérií. Pre rast baktérií *Acidithiobacillus ferrooxidans* bola použitá selektívna živná pôda 9 KA s hodnotou pH 1,85; pre rast baktérií *Acidithiobacillus thiooxidans* bola použitá selektívna živná pôda pripravená podľa Waksmana a Joffeho s hodnotou pH 2,5 a pre rast síran – redukujúcich baktérií bola použitá selektívna živná pôda DSM – 63 s hodnotou pH 7,5. Výmena kvapalnej fázy nasledovala periodicky každých 14 dní.

Biokorózia betónu vplyvom simultánneho pôsobenia baktérií *Acidithiobacillus thiooxidans* a *Desulfovibrio sp.* - experimenty boli uskutočnené v hermeticky uzatvorených sklenených nádobách o objeme 500 ml, v stacionárnych a diskontinuálnych podmienkach v anaeróbnom prostredí, pri teplote 30 °C, s použitím kvapalnej selektívnej živnej pôdy DSM – 63, inokulovanej baktériami *Desulfovibrio sp.*, s hodnotou pH 7,5. Na povrch betónovej vzorky boli v 7 dňových intervaloch inokulované baktérie *Acidithiobacillus thiooxidans*. Výmena živnej pôdy pre rast SRB bola realizovaná periodicky každých 14 dní.

Po uplynutí 80 dní boli betónové vzorky odobraté a vysušené a následne hodnotené na základe zmeny hmotnosti, vizuálnej kontroly a chemickej analýzy. Abiotické experimenty boli realizované pri rovnakých podmienkach aké sú uvedené vyššie, ale bez prítomnosti baktérií.

Výsledky a diskusia

Podľa Sand a kol. (1994), dôležitú úlohu pri biokorózii betónu zohrávajú biogénne vyprodukované kyseliny, ktoré spôsobujú uvoľňovanie Ca, nachádzajúceho sa v betónovom matrixe, čím postupne dochádza k narušeniu štruktúry betónu. Z tohto dôvodu bola v priebehu experimentov pri jednotlivých vzorkách sledovaná koncentrácia Ca v kvapalnej fáze, teda vo výluhu (Tab. 2.).

Tab. 2. Zmeny koncentrácie Ca v kvapalnej fáze.

Tab. 2. Changes of Ca concentration in the liquid phase.

Vzorka	Aplikované baktérie	Koncentrácia Ca vo výluhu [mg/l]	
		Začiatok	Koniec
1	<i>Acidithiobacillus ferrooxidans</i>	1.50	274.4
1K	abiotická kontrola k vzorke 1	1.68	395.5
2	<i>Acidithiobacillus thiooxidans</i>	14.40	98.0
2K	abiotická kontrola k vzorke 2	14.89	22.8
3	<i>Desulfovibrio sp.</i>	8.47	119.8
3K	abiotická kontrola k vzorke 3	8.23	35.7

Výsledky uvedené v Tab. 2 poukazujú na to, že baktérie *Acidithiobacillus thiooxidans* a *Desulfovibrio sp.* spôsobili vylúhovanie Ca z betónovej vzorky do roztoku. Dokazuje to zvýšená koncentrácia Ca vo výluhu v porovnaní s príslušnými abiotickými kontrolami 2K a 3K. Hoci v prípade aplikácie baktérií *Acidithiobacillus ferrooxidans* (vzorka 1) dochádzalo k najväčšiemu uvoľňovaniu Ca zo vzorky betónu, v porovnaní s baktériami *Acidithiobacillus thiooxidans* alebo *Desulfovibrio sp.* (vzorky 2 a 3), nie je možné však jednoznačne povedať, že sa jednalo len o účinok baktérií *Acidithiobacillus ferrooxidans*. Vyplýva to z porovnania množstva uvoľneného Ca pod pôsobením baktérií *Acidithiobacillus ferrooxidans* (vzorka 1) a príslušnej abiotickej kontroly (vzorka 1K), je vidieť, že pravdepodobne už samotná živná pôda 9KA mala korozívne účinky na vzorku betónu, a spôsobovala väčšie uvoľňovanie Ca do roztoku. Je tu teda možné hovoriť skôr o chemickej korózii ako o biologickej korózii. Zmeny hmotnosti vzoriek betónu pred a po aplikácii bakteriálnych kultúr sú zaznamenané v Tab. 3.

Tab. 3. Hmotnosti betónových vzoriek pred experimentom a po experimente.
Tab. 3. Weight of the concrete samples before and after the experiment..

Vzorka	Aplikované baktérie	Hmotnosť betónovej vzorky [g]		
		Začiatok	Koniec	Úbytok hmotnosti
1	<i>Acidithiobacillus ferrooxidans</i>	28,5863 g	28,0540 g	0,5323 g
1K	abiotická kontrola k vzorke 1	29,1624 g	27,9617 g	1,2007 g
2	<i>Acidithiobacillus thiooxidans</i>	30,5238 g	30,3906 g	0,1332 g
2K	abiotická kontrola k vzorke 2	23,3875 g	23,3310 g	0,0565 g
3	<i>Desulfovibrio sp.</i>	26,5238 g	25,4499 g	1,0739 g
3K	abiotická kontrola k vzorke 3	25,3722 g	24,8899 g	0,4823 g
R	<i>Desulfovibrio sp.</i> , <i>Acidithiobacillus thiooxidans</i>	26,7422 g	25,3230 g	1,4192 g
RK	abiotická kontrola k vzorke RK	9,6434 g	9,4814 g	0,1620 g

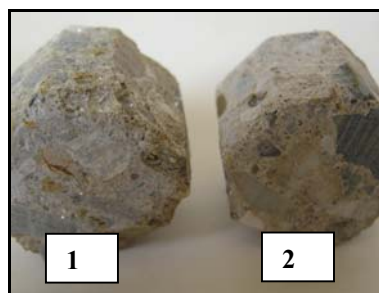
Na základe uvedených zmien hmotnosti jednotlivých vzoriek betónu je možné konštatovať, že úbytok hmotnosti je vyšší pri betónových vzorkách, ktoré boli vystavené účinkom pôsobenia baktérií. Výnimkou je vzorka betónu 1, na ktorú pôsobili baktérie *Acidithiobacillus ferrooxidans*, pri ktorej je úbytok hmotnosti nižší ako pri jej kontrolnej vzorke 1K. Túto skutočnosť je možné vysvetliť napr. nehomogénnosťou betónu (Fig. 1) ako aj tým, že už samotná živná pôda pôsobila na vzorku betónu korozívne. Úbytok hmotnosti vzoriek betónu, na ktoré pôsobili baktérie *Acidithiobacillus thiooxidans* alebo baktérie *Desulfovibrio sp.* je skoro dvojnásobný, v porovnaní s úbytkom hmotnosti kontrolných vzoriek. Najväčší úbytok hmotnosti bol však zaznamenaný v prípade simultánneho pôsobenia baktérií *Acidithiobacillus thiooxidans* a baktérií *Desulfovibrio sp.*, teda za podmienok simulácie sulfureta.

Nasledujúce obrázky 1 - 4, zobrazujú vizuálne zmeny jednotlivých vzoriek betónu v priebehu sledovania ich biokorózie, prebiehajúcej pod vplyvom pôsobenia síru a železo oxidujúcich baktérií rodu *Thiobacillus* a síran-redukujúcich baktérií rodu *Desulfovibrio sp.*



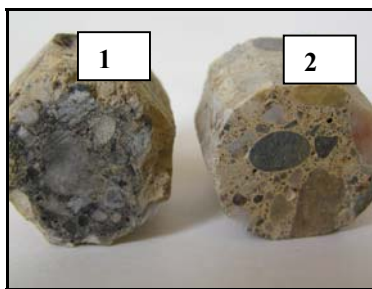
Obr. 1. Biokorózia vzoriek betónu vplyvom baktérií *Acidithiobacillus ferrooxidans*
1 - *Acidithiobacillus ferrooxidans*
2 – abiotická kontrola

Fig.1. Biocorrosion of concrete samples under the influence of *Acidithiobacillus ferrooxidans*.
1 - *Acidithiobacillus ferrooxidans*
2 – abiotic control



Obr. 2. Biokorózia vzoriek betónu vplyvom baktérií *Acidithiobacillus thiooxidans*
1 - *Acidithiobacillus thiooxidans*
2 – abiotická kontrola

Fig. 2. Biocorrosion of concrete samples under the influence of *Acidithiobacillus thiooxidans*.
1 - *Acidithiobacillus thiooxidans*
2 – abiotic control



Obr. 3. Biokorózia vzoriek betónu vplyvom baktérii *Desulfovibrio sp.*

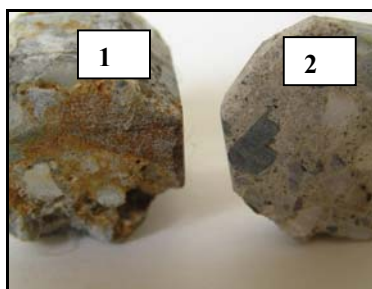
1 - *Desulfovibrio sp.*

2 – abiotická kontrola

Fig. 3. Biocorrosion of concrete samples under the influence of *Desulfovibrio sp.*

1 - *Desulfovibrio sp.*

2 – abiotic control



Obr. 4. Biokorózia vzoriek betónu vplyvom baktérii *Acidithiobacillus thiooxidans* a *Desulfovibrio sp.*

1 - *Acidithiobacillus thiooxidans* a *Desulfovibrio sp.*

2 – abiotická kontrola

Figure 4. Biocorrosion of concrete samples under the simultaneous influence of *Acidithiobacillus thiooxidans* and *Desulfovibrio sp.*

1 - *Acidithiobacillus thiooxidans* and *Desulfovibrio sp.*

2 – abiotic control

Na Obr. 1 vidieť, že vzorky betónu boli za prítomnosti baktérii *Acidithiobacillus ferrooxidans*, v prípade použitia kompletnej živnej pôdy 9K, pokrývané hrdzavočervenými precipitátmi, pravdepodobne hydroxidmi železa. Z tohto dôvodu druhá a potom aj ďalšie výmeny kvapalnej fázy boli realizovaná len pri použití časti A živnej pôdy 9K. Hydroxidy železa tak v priebehu prvých 14 dní pokryli prakticky celý povrch betónu, čo mohlo zapríčiniť nedostupnosť povrchu vzorky pre baktérie. Táto skutočnosť môže aj čiastočne vysvetliť malý rozdiel vo vylúhovaní Ca vplyvom baktérii *Acidithiobacillus ferrooxidans* a príslušnej abiotickej kontroly.

Obr. 2 dokumentuje vznik bielych kryštálov na povrchu vzorky betónu, na ktorú pôsobili baktérie *Acidithiobacillus thiooxidans*. Pravdepodobne ide o kryštály síranu vápenatého.

Obr. 3 zobrazuje vizuálne zmeny vzoriek betónu, na ktoré pôsobili baktérie *Desulfovibrio sp.*, vidieť čierne precipitáty. Ide o sulfidy železa, ktoré sú prirodzeným prejavom rastu uvedených baktérií. Železo je tu prítomné prostredníctvom použitej živnej pôdy DSM-63.

Obr. 4 dokumentuje simultánne pôsobenie baktérii *Acidithiobacillus thiooxidans* a *Desulfovibrio sp.* Tieto podmienky mali za úlohu simulovať reálne podmienky biokorózie vplyvom sulfureta. Baktérie *Desulfovibrio sp.* na základe svojej metabolickej činnosti v spodnej časti reaktora produkovali H_2S . Ten difundoval k vzorke betónu, inokulovanej baktériami *Acidithiobacillus thiooxidans*, ktoré prítomný H_2S oxidovali pri vzniku H_2SO_4 ktorá následne korodovala betón. Betónová vzorka tak bola narušovaná samotnými baktériami *Acidithiobacillus thiooxidans* a aj vytvorenou H_2SO_4 . Ide tu o kombináciu biologickej a chemickej korózie. Z obrázkov vyplýva, že táto simulácia fungovania sulfureta, spôsobila najväčšie porušenie povrchu betónu, v porovnaní s aplikáciou jednotlivých bakteriálnych kultúr samostatne.

Záver

Prezentované výsledky potvrdzujú, že:

- baktérie *Acidithiobacillus thiooxidans* a *Desulfovibrio sp.* spôsobili vylúhovanie Ca z betónovej vzorky do roztoku. Dokazuje to zvýšená koncentrácia Ca vo výluhu v porovnaní s príslušnými abiotickými kontrolami;
- úbytok hmotnosti je vyšší pri betónových vzorkách, ktoré boli vystavené účinkom pôsobenia baktérii;
- simultánne pôsobenie baktérii *Acidithiobacillus thiooxidans* a baktérii *Desulfovibrio sp.*, tj. simulácia fungovania sulfureta má za následok najväčšie porušenie povrchu betónu, v porovnaní s aplikáciou jednotlivých bakteriálnych kultúr samostatne.

PodĎakovanie: Práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe Zmluvy č. APVV-51-02770, ako aj v rámci riešenia grantovej úlohy č. 2 5148 26 grantovej agentúry VEGA.

Literatúra - Refereces

- Karavajko, G. I., Rossi, G., Agate, A. D., Groudev, S. N., Avakyan, Z. A.: Biogeotechnology of metals. *Centre of projects GKNT, Moscow, 1988.*
- Luptáková, A., Kušnierová, M., Fečko, P.: Minerálne biotechnológie II., sulfuretum v prírode a v priemysle. *ES VŠB – Technická univerzita Ostrava, ISBN 80-248-0114-0.*
- Odom, J. M., Rivers Singleton, J.r.: The Sulphate-reducing bacteria: Contemporary Perspectives, *New York, Springer-Verlag, 1993.*
- Postgate, J. R.: The Sulphate Reducing Bacteria 2nd, *Cambridge University Press, New York, 1984.*
- Rehm, H. J., Reed, G.: Biotechnology, Vol. 8, *Verlag Chemie GmbH, Weuheim, pp. 617-622, 1981.*
- Sand, w., Dumas, T., Marcdargent, S.: Accelerated biogenic sulfuric-acid corrosion test for evaluating the performance of calcium-aluminate based concrete in sewage applications. *In: Kearns J.R. and Little B.J. (eds.) Microbiologically Influences Corrosion Testing, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pennsylvania, USA, 1994, pp. 234-249, 1994.*