

Matematické modelování šíření lokální koroze u vstřebatelných implantátů

Ing. Karel Tesař, Ph.D., katedra materiálů FJFI ČVUT v Praze

Ing. Pavel Strachota, Ph.D., katedra matematiky FJFI ČVUT v Praze

Hlavní příčinou rychlé ztráty mechanických vlastností vstřebatelných zdravotnických prostředků na bázi kovů je koroze, která se objevuje lokálně a následně se šíří. Při statických in vitro testech je pozorována tzv. redepozice korozních produktů, kdy korozní produkty uvolněné z povrchu do okolního média dosedají na nezkorodovaný povrch v okolí, kde vytváří nové galvanické články. V rámci in vitro testování jsou tyto mechanismy poměrně dobře zdokumentovány. Je ovšem otázkou, do jaké míry fungují v živém tělním prostředí (in vivo). Volnému dosedání korozních produktů brání jak dynamické podmínky živého těla a pohyby okolní tkáně, tak přítomnost buněk, vytvářejících mechanickou bariéru a „porézní“ prostředí.

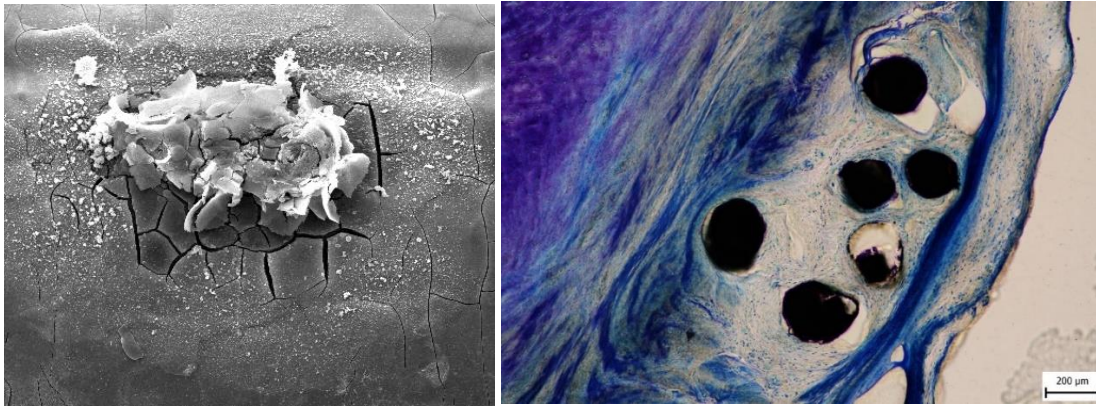
Mechanismy koroze v tělním prostředí je možné zkoumat pomocí matematického modelování, které využívá parciálních diferenciálních rovnic k popisu difuzních a transportních procesů v heterogenním prostředí. V pozdějších fázích vývoje modelu bude třeba implementovat i změny pH a koncentrací iontů v okolí korodujícího hořčíkového implantátu v závislosti na přítomnosti buněčné hmoty. Výsledkem bude úloha, jejíž řešení je nutné hledat numericky pomocí vhodných metod (metoda konečných diferencí, prvků, nebo objemů). K tomuto účelu je možné využít a modifikovat existující softwarové balíky i vývoj vlastního výpočetního kódu. K ověření správnosti výsledků numerických simulací je možno využít výsledků studií prováděných in vitro (ve zkumavce) a in vivo (v živém).

Téma je vhodné pro studenty všech stupňů studia. Student se seznámí s medicínským pozadím problému a s technikami matematického modelování a počítačových simulací. Po zvládnutí elementárního popisu difuze a transportu a jednoduchých numerických metod se bude model postupně rozšiřovat, aby se přiblížil realitě.

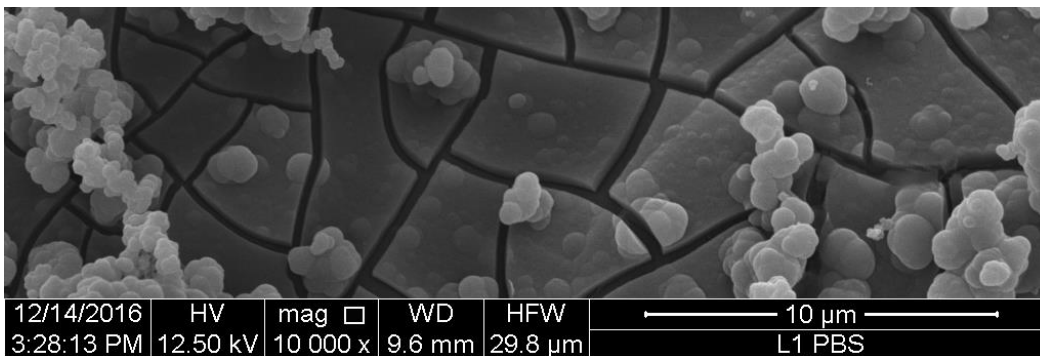
Bakalářská/Diplomová/Disertační práce

Literatura:

- [1] D. Höche, C. Blawert, S. V. Lamaka, N. Scharnagl, C. Mendis, M. L. Zheludkevich: The effect of iron re-deposition on the corrosion of impurity-containing magnesium. *Phys. Chem. Chem. Phys.* 18, 2016, pp. 1279-1291. <https://doi.org/10.1039/C5CP05577F>
- [2] J. Witten, K. Ribbeck: The particle in the spider's web: transport through biological hydrogels. *Nanoscale* 9, 2017, pp. 8080-8095. <https://doi.org/10.1039/C6NR09736G>
- [3] S. Ma, B. Zhou, B. Markert: Numerical simulation of the tissue differentiation and corrosion process of biodegradable magnesium implants during bone fracture healing. *ZAMM* 98 (12), 2018, pp. 2223-2238. <https://doi.org/10.1002/zamm.201700314>
- [4] F. Arends, R. Baumgärtel, O. Lieleg: Ion-Specific Effects Modulate the Diffusive Mobility of Colloids in an Extracellular Matrix Gel. *Langmuir* 29 (51), 2013, pp. 15965–15973. <https://doi.org/10.1021/la404016y>



Obr. 1: Vlevo: Lokalizovaná koroze a dosedání korozních produktů v okolí in vitro. Vpravo: Histologický řez hrudní kostí miniprasete svázané vstřebatelnými Mg-0.4Zn lanky po 1 měsíci, v okolí drátů (černé) patrné vazivo a prázdná místa způsobená generací vodíku. Vlevo přechod do chrupavky.



Obr. 2: Detail nově utvářených korozních produktů.