

## Záverečná karta projektu

Názov projektu Evidenčné číslo projektu **APVV-17-0183****Využitie elektrochemicky pripraveného zeleného oxidovadla železanu pre dočisťovanie odpadových vôd**Zodpovedný riešiteľ **prof. Ing. Ján Híveš, PhD.**Príjemca **Slovenská technická univerzita v Bratislave - Fakulta chemickej a potravinárskej technológie**

### Názov pracoviska, na ktorom bol projekt riešený

Slovenská technická univerzita v Bratislave  
Fakulta chemickej a potravinárskej technológie  
Ústav anorganickej chémie, technológie a materiálov

### Názov a štát zahraničného pracoviska, ktoré spolupracovalo pri riešení

1. Juhočeská Univerzita v Českých Budějoviciach, Fakulta rybárstva a ochrany vôd (doc. Mgr. Roman Grabic, PhD.) (detekcia a monitoring mikropolutantov)
2. Univerzita Palackého v Olomouci, Regionálne centrum pokročilých technológií a materiálov (Mgr. Ján Filip, PhD.) (vývoj nových typov senzorov na detekciu mikropolutantov a technológií schopných dezinfikovať odpadové vody – najmä oxidačné postupy)
3. Plasma Nanotechnologies and Bioapplications – Faculty of Science – Masaryk University (Doc. Tomáš Homola, PhD) (vývoj nových technológií schopných odstraňovať mikropolutanty a dezinfikovať kontaminované vody)

### Udelené patenty/podané patentové prihlášky, vynálezy alebo úžitkové vzory, ktoré sú výsledkami projektu

ÚV 8419

Inkapsulácia železanov určených na odstraňovanie mikropolutantov z odpadových vôd

Podané: 21.12.2017; Zápis: 26.02.2019

Majiteľ: STU Bratislava

Pôvodca: Híveš, Kerekeš, Mackuľak, Czolderová, Behúl, Vojs

ÚV 8530

Elektrolyzér na elektrochemickú prípravu železanov a spôsob prípravy železanov

Podané: 13.09.2018; Zápis: 10.07.2019

Majiteľ: STU Bratislava

Pôvodca: Híveš, Kerekeš

### Najvýznamnejšie publikácie (knihy, články, prednášky, správy a pod.) zhrňujúce výsledky projektu – uveďte aj publikácie prijaté do tlače

Vedecké monografie:

1. GRENČÍKOVÁ, Anna - ŠKULCOVÁ, Andrea - BONDAREV, Dmitrij - RYBA, Jozef - MACKUĽAK, Tomáš. Mikroplasty. 1. vyd. Bratislava, Spektrum STU, 2020. 214 s. ISBN 978-80-227-4974-9.
2. MACKUĽAK, Tomáš - BODÍK, Igor - BÍROŠOVÁ, Lucia. Drogy a liečivá okolo nás. 1.

vyd. Bratislava, Spektrum STU, 2020. ISBN 978-80-227-5010-3.

Karrentové zahraničné časopisy:

1. MACKULÁK, Tomáš - BRANDEBUROVÁ, Paula - GRENČÍKOVÁ, Anna - BODÍK, Igor - VOJS STAŇOVÁ, Andrea - GOLOVKO, Oksana - KOBÁ, Olga - MACKULÁKOVÁ, Markéta - ŠPALKOVÁ, Viera - GÁL, Miroslav - GRABIC, Roman. Music festivals and drugs: Wastewater analysis. In *Science of the Total Environment*. Vol. 659, (2019), s. 326-334.
2. MACKULÁK, Tomáš - GRABIC, Roman - ŠPALKOVÁ, Viera - BELIŠOVÁ, Noemi - ŠKULCOVÁ, Andrea - SLAVÍK, Ondřej - HORKÝ, Pavel - GÁL, Miroslav - FILIP, Jan - HÍVEŠ, Ján - VOJS, Marian - VOJS STAŇOVÁ, Andrea - MEDVEĐOVÁ, Alžbeta - MARTON, Marián - BIROŠOVÁ, Lucia. Hospital wastewaters treatment: Fenton reaction vs. BDDE vs. ferrate(VI). In *Environmental science and pollution research*. Vol. 26, iss. 31 (2019), s. 31812-31821.
3. MACKULÁK, Tomáš - MEDVECKÁ, Erika - VOJS STAŇOVÁ, Andrea - BRANDEBUROVÁ, Paula - GRABIC, Roman - GOLOVKO, Oksana - MARTON, Marián - BODÍK, Igor - MEDVEĐOVÁ, Alžbeta - GÁL, Miroslav - PLANÝ, Matej - KROMKA, Alexander - ŠPALKOVÁ, Viera - ŠKULCOVÁ, Andrea - HORÁKOVÁ, Ivana - VOJS, Marian. Boron doped diamond electrode - The elimination of psychoactive drugs and resistant bacteria from wastewater. In *Vacuum*. Vol. 171, (2020), s. [1-6], Art. No. 108957.
4. BRANDEBUROVÁ, Paula - BODÍK, Igor - HORÁKOVÁ, Ivana - ŽABKA, Dušan - CASTIGLIONI, Sara - SALGUEIRO-GONZALEZ, Noelia - ZUCCATO, Ettore - ŠPALKOVÁ, Viera - MACKULÁK, Tomáš. Wastewater-based epidemiology to assess the occurrence of new psychoactive substances and alcohol consumption in Slovakia. In *Ecotoxicology and Environmental Safety*. Vol. 200, (2020), s. 1-8, art. no. 110762.
5. BIMOVÁ, Paula - ROUPCOVÁ, Petra - KLOUDA, Karel - MATĚJOVÁ, Lenka - VOJS STAŇOVÁ, Andrea - GRABICOVÁ, Kateřina - GRABIC, Roman - MAJOVÁ, Veronika - HÍVEŠ, Ján - ŠPALKOVÁ, Viera - GEMEINER, Pavol - CELEC, Peter - KONEČNÁ, Barbora - BÍROŠOVÁ, Lucia - KRAHULCOVÁ, Monika - MACKULÁK, Tomáš. Biochar - An efficient sorption material for the removal of pharmaceutically active compounds, DNA and RNA fragments from wastewater. In *Journal of Environmental Chemical Engineering*. Vol. 9, iss. 4 (2021), s. 1-9.
6. BUTOR ŠKULCOVÁ, Andrea - TAMÁŠOVÁ, Katarína - VOJS STAŇOVÁ, Andrea - BÍROŠOVÁ, Lucia - KRAHULCOVÁ, Monika - GÁL, Miroslav - KONEČNÁ, Barbora - JANÍKOVÁ, Monika - CELEC, Peter - GRABICOVÁ, Kateřina - GRABIC, Roman - FILIP, Ján - BELIŠOVÁ, Noemi - RYBA, Jozef - KEREKEŠ, Kamil - ŠPALKOVÁ, Viera - HÍVEŠ, Ján - MACKULÁK, Tomáš. Effervescent ferrate(VI)-based tablets as an effective means for removal SARS-CoV-2 RNA, pharmaceuticals and resistant bacteria from wastewater. In *Journal of Water Process Engineering*. Vol. 43, (2021), s. 1-5, art. no. 102223.
7. KRIVOŇÁKOVÁ, Naďa - ŠOLTÝSOVÁ, Andrea - TAMÁŠ, Michal - TAKÁČ, Zdenko - KRAHULEC, Ján - FICEK, Andrej - GÁL, Miroslav - GALL, Marián - FEHÉR, Miroslav - KRIVJANSKÁ, Anna - HORÁKOVÁ, Ivana - BELIŠOVÁ, Noemi - BIMOVÁ, Paula - BUTOR ŠKULCOVÁ, Andrea - MACKULÁK, Tomáš. Mathematical modeling based on RT-qPCR analysis of SARS-CoV-2 in wastewater as a tool for epidemiology. In *Scientific Reports*. Vol. 11, Iss. 1 (2021), s. 1-10, art. no. 19456.
8. MACKULÁK, Tomáš - GÁL, Miroslav - ŠPALKOVÁ, Viera - FEHÉR, Miroslav - BRIESTENSKÁ, Katarína - MIKUŠOVÁ, Miriam - TOMČÍKOVÁ, Karolína - TAMÁŠ, Michal - BUTOR ŠKULCOVÁ, Andrea. Wastewater-Based Epidemiology as an Early Warning System for the Spreading of SARS-CoV-2 and Its Mutations in the Population. In *International Journal of Environmental Research and Public Health*. Vol. 18, iss. 11 (2021), s. 1-21, art. no. 5629.
9. MALIŠOVÁ, Emília - FAŠKOVÁ, Lucia - PAVÚKOVÁ, Daniela - HÍVEŠ, Ján - BENKÖOVÁ, Michaela. Removal of cyanobacteria and cyanotoxins by ferrate from polluted lake water. In *Environmental science and pollution research*. Vol. 28, iss. 21 (2021), s. 27084-27094.
10. MACKULÁK, Tomáš - CVERENKÁROVÁ, Klára - VOJS STAŇOVÁ, Andrea - FEHÉR, Miroslav - TAMÁŠ, Michal - BUTOR ŠKULCOVÁ, Andrea - GÁL, Miroslav - NAUMOWICZ, Monika - ŠPALKOVÁ, Viera - BÍROŠOVÁ, Lucia. Hospital Wastewater-Source of Specific Micropollutants, Antibiotic-Resistant Microorganisms, Viruses, and Their Elimination. In *Antibiotics*. Vol. 10, iss. 9 (2021), s. 1-14, art. no. 1070.

## **Uplatnenie výsledkov projektu**

Spolupráca a reálne nasadenie na

Bodových zdrojoch znečistenia odpadových vôd:

nemocnica Petržalka, nemocnica Ružinov, nemocnica Kramáre, liečebňa Oščadnica

Čistiareň odpadových vôd Petržalka, ČOV Vrakuňa

priemyselné vody VULM Modra

## **Súhrn výsledkov riešenia projektu a naplnenia cieľov projektu v slovenskom jazyku (max. 20 riadkov)**

Na záver by sme radi skonštatovali, že sa nám podarilo naplniť ciele projektu aj napriek nepriaznivej epidemiologickej situácii v našej krajine, ktorá nás izolovala v domácnostiach a neumožnila sa nám plne venovať experimentom v rozsahu ako sme chceli. Preto sa bude aj v roku 2022 pokračovať v spolupráci s ČOV nemocnica Kramáre na testovaní našej technológie s cieľom postupne nahradiť doteraz používané chlórové prípravky.

Preto si dovoľujeme sumarizovať:

- dokázali sme optimalizovať elektrochemickú prípravu železanu v laboratórnom merítku a realizovať scale-up technológie do prevádzky schopnej produkcie v kilogramových množstvách vysokočistého železanu (70 %, komerčne dostupný produkt zriedka presahuje 20 %)
- otestovali sme možnosti dlhodobého skladovania tuhého produktu v rôznych prostrediach s využitím vodorozpustných polymérov v kapsuliach pripravených 3D tlačou, alebo zmesných tabliet so zeolitmi
- otestovali sme degradačnú silu čistého železanu pre široké spektrum znečisťujúcich látok, anorganických (amoniak, fosfor), organických (drogy, antibiotiká, psychofarmaká, hormóny), biologických (baktérie, kvasinky) vrátane fragmentov RNA / DNA vírusov typu SARS-CoV-2
- otestovali sme degradačnú schopnosť železanu kombinovaného so slovenskými zeolitmi
- otestovali sme degradačnú schopnosť železanu vo forme šumivých tabliet
- otestovali sme kombinované techniky degradácie polutantov v odpadových vodách metódou adsorpcie na aktívnom uhlí / Biochar-e, metódou UV žiarenia aj s kombináciou so železanmi
- výskum sa realizovali na reálnych odpadových vodách z ČOV (komunálne, nemocničné, liečebné, výrobo-prevádzkové)

Za jeden z najväčších prínosov tiež považujeme spoluprácu mladých ľudí – našich študentov - bakalárov, inžinierov, doktorandov na zmysluplnom projekte s praktickým výstupom pre našu krajinu.

## **Súhrn výsledkov riešenia projektu a naplnenia cieľov projektu v anglickom jazyku (max. 20 riadkov)**

Let us summarize the results of the project:

- Lab scale optimization of ferrate(VI) electrochemical preparation is finished. Scale-up of production technology was made up to production of high purity Ferrates(VI) (purity about 70 %, commercially available products reach max. 20 % purity)
- We tested the possibilities of long-term storage of solid product in various environments using water-soluble polymers in the form of capsules prepared by 3D printing, or mixed tablets with zeolites
- We tested the degradation efficiency of pure ferrate(VI) for a wide range of pollutants, inorganic (ammonia, phosphorus), organic (drugs, antibiotics, psychopharmaceuticals, hormones), biological (bacteria, yeast, including RNA / DNA fragments of SARS-CoV-2 viruses)
- We tested the degradation power of ferrate(VI) combined with Slovak zeolites
- We tested the degradation power of ferrate(VI) in the form of effervescent tablets
- We tested combined techniques of degradation of pollutants in wastewater by the adsorption on active carbon/biochar, UV irradiation in combination with ferrate(VI)
- Research was carried out using real wastewater from various types of WWTPs (municipal, hospital, production and operational)

We also consider the cooperation of young people, our bachelor, engineer, and PhD students on a meaningful project with practical outcomes for our country to be one of the biggest benefits.