



Synthesis :: Materials :: Corrosion :: Environment :: Energy

**YuCorr**

Analyse :: Discover :: Coat :: Green :: Protect :: Save :: Sustain

---

INTERNATIONAL CONFERENCE  
MEĐUNARODNA KONFERENCIJA

---

MEETING POINT OF THE SCIENCE AND PRACTICE IN THE FIELDS OF  
CORROSION, MATERIALS AND ENVIRONMENTAL PROTECTION

---

*STECIŠTE NAUKE I PRAKSE U OBLASTIMA KOROZIJE,  
ZAŠTITE MATERIJALA I ŽIVOTNE SREDINE*

---

# PROCEEDINGS

---

# *KNJIGA RADOVA*

Under the auspices of the  
MINISTRY OF EDUCATION, SCIENCE AND TECHNOLOGICAL  
DEVELOPMENT OF THE REPUBLIC OF SERBIA

*Pod pokroviteljstvom*  
**MINISTARSTVO PROSVETE, NAUKE I TEHNOLOŠKOG RAZVOJA**  
**REPUBLIKE SRBIJE**

May 16-19, 2022 :: Divčibare, Serbia

---

CIP - Каталогizacija u publikaciji  
Narodna biblioteka Srbije, Beograd

620.193/.197(082)(0.034.2)  
621.793/.795(082)(0.034.2)  
667.6(082)(0.034.2)  
502/504(082)(0.034.2)  
66.017/.018(082)(0.034.2)

INTERNATIONAL Conference YUCORR (23 ; 2022 ; Divčibare)

Meeting point of the science and practice in the fields of corrosion, materials and environmental protection [Elektronski izvor] : proceedings = Stečište nauke i prakse u oblastima korozije, zaštite materijala i životne sredine : knjiga radova / XXIII YuCorr International Conference = XXIII YuCorr [Jugoslovenska korozija] Međunarodna konferencija, May 16-19, 2022, Divčibare, Serbia = [organized by] Serbian Society of Corrosion and Materials Protection ... [et al.]; [organizatori Udruženje inženjera Srbije za koroziju i zaštitu materijala ... [et al.]; [editors, urednici Miroslav Pavlović, Marijana Pantović Pavlović, Miomir Pavlović]. - Beograd : Serbian Society of Corrosion and Materials Protection UISKOZAM : Udruženje inženjera Srbije za koroziju i zaštitu materijala UISKOZAM, 2022 (Beograd : Serbian Society of Corrosion and Materials Protection UISKOZAM : Udruženje inženjera Srbije za koroziju i zaštitu materijala UISKOZAM). - 1 elektronski optički disk (CD-ROM) ; 12 cm  
Sistemski zahtevi: Nisu navedeni. - Nasl. sa naslovne strane dokumenta. - Radovi na engl. i srp. jeziku. - Tiraž 200. - Bibliografija uz većinu radova. - Abstracts.

ISBN 978-86-82343-29-5

a) Премази, антикорозиони -- Зборници б) Превлаке, антикорозионе -- Зборници в)  
Антикорозиона заштита -- Зборници г) Животна средина -- Заштита -- Зборници д) Наука о  
материјалима -- Зборници  
COBISS.SR-ID 68624905

## **XXIII YUCORR – International Conference | Međunarodna konferencija**

### **PUBLISHED AND CD BURNED BY | IZDAVAČ I NAREZIVANJE CD**

SERBIAN SOCIETY OF CORROSION AND MATERIALS PROTECTION (UISKOZAM)

UDRUŽENJE INŽENJERA SRBIJE ZA KORZIJU I ZAŠTITU MATERIJALA (UISKOZAM),

Kneza Miloša 7a/II, 11000 Beograd, Srbija, tel/fax: +381 11 3230 028, [office@sitzam.org.rs](mailto:office@sitzam.org.rs); [www.sitzam.org.rs](http://www.sitzam.org.rs)

**FOR PUBLISHER | ZA IZDAVAČA** Prof. dr MIOMIR PAVLOVIĆ, predsednik UISKOZAM

**SCIENTIFIC COMMITTEE | NAUČNI ODBOR:** Prof. dr M. G. Pavlović, Serbia – President

Prof. dr Đ. Vaštag, Serbia; Dr M. M. Pavlović, Serbia; Prof. dr D. Vuksanović, Montenegro;  
Prof. dr D. Čamovska, North Macedonia; Prof. dr M. Antonijević, Serbia; Prof. dr S. Stopić, Germany;  
Prof. dr R. Zejnilović, Montenegro; Prof. dr L. Vrsalović, Croatia; Dr N. Nikolić, Serbia;  
Dr I. Krastev, Bulgaria; Prof. dr B. Grgur, Serbia; Prof. dr M. Gvozdrenović, Serbia;  
Prof. dr S. Hadži Jordanov, North Macedonia; Prof. dr R. Fuchs Godec, Slovenia;  
Prof. dr J. Stevanović, Serbia; Dr V. Panić, Serbia; Dr M. Mihailović, Serbia;  
Prof. dr V. Marić, Bosnia and Herzegovina; Prof. dr J. Jovičević, Serbia; Prof. dr D. Jevtić, Serbia;  
Dr F. Kokalj, Slovenia; Prof. dr M. Gligorić, Bosnia and Herzegovina; Prof. dr A. Kowal, Poland;  
Prof. dr M. Tomić, Bosnia and Herzegovina; Prof. Dr B. Arsenović, Bosnia and Herzegovina

**ORGANIZING COMMITTEE | ORGANIZACIONI ODBOR:** Dr Miroslav Pavlović – president

Dr Nebojša Nikolić – vice president; Dr Marija Mihailović – vice president

Prof. dr Miomir Pavlović; Dr Vladimir Panić; Jelena Slepčević, B.Sc.;  
Prof. dr Milica Gvozdrenović; Zagorka Bešić, B.Sc.; Gordana Miljević, B.Sc.;  
Miomirka Anđić, B.Sc.; Dr Marija Matić; Dr Marijana Pantović Pavlović; Dr Dragana Pavlović;  
Dr Sanja Stevanović; Lela Mladenović – secretary

**EDITORS | UREDNICI:** Dr Miroslav Pavlović, Dr Marijana Pantović Pavlović, Prof. dr Miomir Pavlović

**SCIENTIFIC AREA | OBLAST:** CORROSION AND MATERIALS PROTECTION | KORROZIJA I ZAŠTITA MATERIJALA

**PAGE LAYOUT | KOMPJUTERSKA OBRADA I SLOG:** Dr Marijana Pantović Pavlović

**CIRCULATION | TIRAŽ:** 200 copies | primeraka

**PUBLICATION YEAR | GODINA IZDANJA:** 2022

**ISBN 978-86-82343-29-5**



Ovaj PDF fajl sadrži elektronsku Knjigu radova prezentovanih u okviru Međunarodne konferencije **XXIII YuCorr**. U knjizi su **plavom bojom** obeleženi aktivni linkovi ka pojedinim njenim delovima, iz Sadržaja do naznačenih stranica.

This PDF file contains Proceedings presented on the **XXIII YuCorr** International Conference. It can be easily navigated through the book contents by a single click on the appropriate links in Contents (**showed in blue**).

**Autori snose punu odgovornost za sadržaj, originalnost, jezik i gramatičku korektnost sopstvenih radova.**

**Authors bear full responsibility for the content, originality, language and grammatical correctness of their own works.**

**XXIII YUCORR IS ORGANIZED BY  
*ORGANIZATORI XXIII YUCORR-a***



**SERBIAN SOCIETY OF CORROSION AND MATERIALS PROTECTION**

---

*Udruženje Inženjera Srbije za Koroziju i Zaštitu Materijala*



**INSTITUTE OF CHEMISTRY, TECHNOLOGY AND METALLURGY,  
UNIVERSITY OF BELGRADE**

---

*Institut za Hemiju, Tehnologiju i Metalurgiju,  
Univerzitet u Beogradu*



**UNION OF ENGINEERS AND TECHNICIANS OF SERBIA, BELGRADE**

---

*Savez Inženjera i Tehničara Srbije*



**ENGINEERING ACADEMY OF SERBIA**

---

*Inženjerska Akademija Srbije*

**XXIII YUCORR IS ORGANIZED UNDER THE AUSPICES OF THE  
MINISTRY OF EDUCATION, SCIENCE AND TECHNOLOGICAL  
DEVELOPMENT OF THE REPUBLIC OF SERBIA**



***XXIII YUCORR JE FINANSIJSKI POMOGLA  
MINISTARSTVO PROSVETE, NAUKE I TEHNOLOŠKOG RAZVOJA  
REPUBLIKE SRBIJE***

## **SPONSORS | SPONZORI**

**INTERNATIONAL SOCIETY OF ELECTROCHEMISTRY, Switzerland**

**SAVEZ INŽENJERA I TEHNIČARA SRBIJE, Beograd**

**INŽENJERSKA KOMORA SRBIJE, Beograd**

**HELIOS SRBIJA a.d., Gornji Milanovac**

**METAL CINKARA d.o.o., Inđija**

**SURTEC ČAČAK d.o.o., Čačak**

**ALFATERM d.o.o., Čačak**

**INSTITUT ZA PREVENTIVU d.o.o., Novi Sad**

**EKP ELKER a.d., Prijedor, Republika Srpska, B&H**

**EKO ZAŠTITA d.o.o., Bijeljina, Republika Srpska, B&H**

**IPIN d.o.o., Bijeljina Republika Srpska, B&H**

**HEMIPRODUKT d.o.o., Novi Sad**

**INSTITUT ZA OPŠTU I FIZIČKU HEMIJU, Beograd**

**SZR "GALVA", Kragujevac**

**NOVOHEM d.o.o., Šabac**

## Table of Contents

<b>PLENARY LECTURES</b>	<b>1</b>
Obtaining the new substance from waste blood biohazard for the treatment of anemia in piglets <i>Održivi razvoj u saniranju biohazarda na primeru otpadne klanične krvi</i> <b>Branko Bugarski<sup>1,*</sup>, Vesna Ilić<sup>2</sup>, Ivana Drvenica<sup>2</sup>, Stefan A. Bošković<sup>3</sup>, Radoslava Stojanović<sup>1</sup></b>	<b>2</b>
Immune System as a Target of Xenobiotics Toxicity <i>Imunski sistem kao meta toksičnog delovanja ksenobiotika</i> <b>Ivana Mirkov<sup>1,*</sup>, Aleksandra Popov Aleksandrov<sup>1</sup>, Dina Tucović<sup>1</sup>, Jelena Kulaš<sup>1</sup>, Dušanka Popović<sup>1</sup>, Anastasija Malešević<sup>1</sup>, Milena Kataranovski<sup>1</sup></b>	<b>7</b>
Probing and Modelling the Relaxation Processes in "filled" and "empty" Lead-Free Electroceramic Materials <b>Andrei Rotaru<sup>1-4*</sup>, Jason A. McNulty<sup>3</sup>, Michael A. Carpenter<sup>4</sup>, Finlay D. Morrison<sup>3</sup></b>	<b>14</b>
Consideration of Energy Flows in the Life Cycle of Energy Production from Biogas <i>Razmatranje energetske tokova u životnom ciklusu proizvodnje energije iz biogasa</i> <b>Slobodan Cvetković<sup>1*</sup>, Mina Popović<sup>1</sup>, Jovana Perendija<sup>1</sup></b>	<b>16</b>
CFD analysis of Renewable Solid Fuel Combustion <i>CFD analiza sagorevanja obnovljivih čvrstih goriva</i> <b>Filip Kokalj<sup>1,*</sup>, Niko Samec<sup>1</sup></b>	<b>25</b>
Traditional and new approaches in metal corrosion protection <i>Tradicionalni i novi pristupi u zaštiti metala od korozije</i> <b>Đeđi Vaštag</b>	<b>35</b>
<b>INVITED LECTURES</b>	<b>36</b>
Chemocompatibility of fluorapatite-based antibacterial nanophosphorus prepared by precipitation method for biomedical applications <i>Hemokompatibilnost antibakterijskih nanofosfora na bazi fluorapatita pripremljenog metodom precipitacije za biomedicinsku primenu</i> <b>Dusan Milojkovic<sup>1,*</sup>, Vaso Manojlovic<sup>2</sup>, Branislav Nastasijevic<sup>3</sup>, Miroslav Sokic<sup>1</sup></b>	<b>37</b>
Ecologically friendly corrosion inhibitor for low alloy steels and aluminium alloys <i>Ekološki prihvatljiv inhibitor korozije za nisko legirane čelike i aluminijumske legure</i> <b>Bojana Radojković<sup>1,*</sup>, Dunja Marunkić<sup>1</sup>, Jovanka Pejić<sup>1</sup>, Milena Milošević<sup>1</sup>, Bore Jegdić<sup>1</sup>, Aleksandar Marinković<sup>2</sup></b>	<b>43</b>
Extraction of novel exopolysaccharide as potential biosorbent for removal of Ni <sup>2+</sup> ions from contaminated water <b>Verica Ljubic<sup>1</sup>, Slobodan Cvetkovic<sup>1</sup>, Jovana Perendija<sup>1</sup>, Aleksandra Djukic-Vukovic<sup>2</sup>, and Mina Popovic<sup>1*</sup></b>	<b>52</b>
Tailoring of MgO/Mg(OH) <sub>2</sub> structures by molten salt electrolysis <i>Formiranje MgO/Mg(OH)<sub>2</sub> struktura elektrolizom iz rastopa</i> <b>Nataša M. Vukićević*</b>	<b>60</b>
Hardness and morphology analysis of electrolytically produced copper coatings <i>Analiza tvrdoće i morfologije elektrolitički dobijenih bakarnih prevlaka</i> <b>Ivana O. Mladenović<sup>1,*</sup>, Nebojša D. Nikolić<sup>1</sup></b>	<b>66</b>
Influence of internal corrosion of steel pipelines and replacement of old ones with new ones	

<i>Uticaj unutrašnje korozije čeličnih cevovoda i zamena starih sa novim</i> <b>Željko Krivačević, Dejan Grgić, Saša Stojanović, Aleksandar Pešić</b>	76
Synthesis of chromium-tin red glazes under oxidative conditions <i>Sinteza hrom-kalajnih crvenih glazura u oksidacionim uslovima</i> <b>Bojan Jokić<sup>1,*</sup>, Biljana Babić<sup>2</sup></b>	83
<b>ORAL PRESENTATIONS</b>	<b>36</b>
High-temperature resistance of SiC-HfC multilayered ceramics <i>Visokotemperaturna otpornost SiC-HfC višeslojevite keramike</i> <b>Branko Matović</b>	37
The effect ultrasound sonification on nitric acid leaching of pyrolyzed printed circuit board powder <i>Uticaj ultrazvuka na luženje spraćenih i pirolizovanih štampanih ploča azotnom kiselinom</i> <b>Gvozden Jovanović<sup>1,*</sup>, Mladen Bugarić<sup>1</sup>, Nela Petronijević<sup>1</sup>, Srećko Stopić<sup>2</sup>, Branislav Marković<sup>1</sup>, Srđan Stanković<sup>3</sup>, Bernd Friedrich<sup>2</sup>, Miroslav Sokić<sup>1</sup></b>	38
Electrical properties of electrochemically co-polymerized aniline and sulphanilic acid <i>Električna svojstva elektrohemijski kopolimerizovanog anilina i sulfanilne kiseline</i> <b>Nikola Novaković<sup>1</sup>, Miloš Petrović<sup>1</sup>, Branimir Jugović<sup>2</sup>, Branimir Grgur<sup>1</sup>, Milica Gvozdenović<sup>1,*</sup></b>	47
<b>POSTER PRESENTATIONS</b>	<b>36</b>
Novel Calcium Phosphate Coatings with Selenium on Titanium <b>Marijana R. Pantovic Pavlovic<sup>1,2,*</sup>, Nenad L. Ignjatovic<sup>3</sup>, Vladimir V. Panic<sup>1,2,4</sup>, Miroslav M. Pavlovic<sup>1,2</sup></b>	37
The optimization of hydrothermally obtained hydroxyapatite deposition process on titanium by novel <i>in-situ</i> process <b>Katarina Đ. Božić<sup>1,2,*</sup>, Miroslav M. Pavlović<sup>1,2</sup>, Stefan V. Panić<sup>1</sup>, Đorđe N. Veljović<sup>3</sup>, Marijana R. Pantović Pavlović<sup>1,2</sup></b>	38
Rare-earth / manganese oxide-based composites for oxygen reduction reaction <b>Stefan V. Panić<sup>1,*</sup>, Marijana R. Pantović Pavlović<sup>1,2</sup>, Katarina Đ. Božić<sup>1,2</sup>, Miroslava M. Varničić<sup>1</sup>, Maja R. Stevanović<sup>3</sup>, Vojin M. Tadić<sup>4</sup>, Miroslav M. Pavlović<sup>1,2</sup></b>	43
Green Corrosion Inhibitors with Cysteine and Cerium-Cysteine Complex on 7000 series Aluminum Alloy <i>Zeleni inhibitori korozije sa cisteinom i kompleksom cerijum-cisteina na 7000 seriji aluminijumske legure</i> <b>Jovanka Pejić<sup>1</sup>, Bojana Radojković<sup>*1</sup>, Anđela Simović<sup>2</sup>, Dunja Marunčić<sup>1</sup>, Bore Jegdić<sup>1</sup>, Miroslav Pavlović<sup>1,3</sup>, Jelena Bajat<sup>4</sup></b>	48
Investigation of the Influence of Mg Content on Corrosion Behavior of Al Alloys of Al-Mg System <i>Ispitivanje uticaja sadržaja Mg na koroziono ponašanje Al legura sistema Al-Mg</i> <b>Jelena Šćepanović<sup>*</sup>, Dragan Radonjić, Darko Vuksanović</b>	49
Waste Tires in Podgorica, Resource or Waste That Endangers the Environment <i>Otpadne gume u Podgorici, resurs ili otpad koji ugrožava životnu sredinu</i> <b>Darko Vuksanović<sup>*</sup>, Dragan Radonjić, Jelena Šćepanović</b>	55
Use of Municipal Waste as a Resource <i>Iskorišćenje komunalnog otpada kao resursa</i> <b>Dragan Radonjić<sup>*</sup>, Jelena Šćepanović, Darko Vuksanović</b>	67

Rosa Canina (Rosehip) as a corrosion inhibitor in acidic media <b>Regina Fuchs–Godec<sup>1*</sup>, Marija Riđošić<sup>2</sup>, Miomir G. Pavlović<sup>2</sup>, Milorad. V. Tomić<sup>2</sup></b>	<b>72</b>
The application of thin films to prevent corrosion <b>Regina Fuchs–Godec</b>	<b>77</b>
Magnetic properties of electrodeposited Ni-Co powders <i>Magnetna svojstva elektrohemijskih taloženih Ni-Co prahova</i> <b>Vesna Maksimović<sup>1*</sup>, Nebojša Nikolić<sup>2</sup></b>	<b>83</b>
Physical and mechanical properties of glass-ceramic-metal composite materials after sintering <i>Fizička i mehanička svojstva staklo-keramika-metal kompozitnih materijala nakon sinterovanja</i> <b>Vladimir Pavkov<sup>1</sup>, Gordana Bakić<sup>2</sup>, Vesna Maksimović<sup>1*</sup>, Ivana Cvijović-Alagić<sup>1</sup>, Branko Matović<sup>1</sup></b>	<b>84</b>
Titanium Aluminide Cyclic Oxidation Kinetics <i>Kinetika ciklične oksidacije titan aluminida</i> <b>Ivana Cvijović-Alagić<sup>*</sup>, Milan T. Jovanović</b>	<b>85</b>
Capacitive properties of electrochemically synthesized polyaniline on graphite electrode <i>Kapacitivna svojstva elektrode na bazi elektrohemijski formiranog polianilina</i> <b>Jelena Gojgić, Miloš Petrović, Branimir Jugović, Branimir Grgur, Bojan Jokić, Milica Gvozdrenović</b>	<b>86</b>
Electrochemical co-deposition of neodymium and praseodymium from oxyfluoride molten salts <i>Elektrohemijsko taloženje neodijuma i prazeodijuma iz oksifluoridnih rastopa</i> <b>Nataša M. Vukićević, Dominic Feldhaus, Vesna S. Cvetković, Bernd Friedrich, Jovan N. Jovićević</b>	<b>87</b>
Influence of Parameters and Regimes of the Electrodeposition on Morphology and Structure of Tin Dendrites <i>Uticaj parametra i režima elektrohemijskog taloženja na morfologiju i strukturu dendrita kalaja</i> <b>Nebojša D. Nikolić<sup>1*</sup>, Jelena D. Lović<sup>1</sup>, Vesna M. Maksimović<sup>2</sup></b>	<b>89</b>
Platinum nanoparticles supported on bacterial nanocellulose for ethanol electrooxidation <i>Platinske nanočestice deponovane na bakterijskoj nanocelulozi za elektrooksidaciju etanola</i> <b>Sanja Stevanović<sup>1*</sup>, Marijana Ponjavić<sup>1</sup>, Jasmina Nikodinović Runić<sup>2</sup>, Sanja Jeremić<sup>2</sup>, Vladan Ćosović<sup>1</sup>, Vesna Maksimović<sup>3</sup></b>	<b>90</b>
Electrochemical impedance spectroscopy of oxygen evolution reaction in acidic conditions on Pt nanoparticles <b>Milica Košević<sup>1*</sup>, Marija Mihailović<sup>1</sup>, Srećko Stopić<sup>2</sup>, Bernd Friedrich<sup>2</sup>, Jasmina Stevanović<sup>1,3</sup>, Vladimir Panić<sup>1,3,4</sup></b>	<b>92</b>
Anodic Linear Sweep Voltammetric Examination of Deposits from Ore Leaching Solutions Containing Ni, Co and Fe Ions <b>Milica Košević<sup>1</sup>, Srećko Stopić<sup>2</sup>, Bernd Friedrich<sup>2</sup>, Vladimir Panić<sup>1,3,4</sup>, Jasmina Stevanović<sup>1,3</sup>, Sanja Krstić<sup>5</sup>, Marija Mihailović<sup>1, *</sup></b>	<b>93</b>
Corrosion behavior of copper in 3 % NaCl with addition of cynarae extract <i>Koroziono ponašanje bakra u 3% rastvoru NaCl sa dodatkom ekstrakta cynarae</i> <b>Bojan Jokić<sup>1,*</sup>, Milica Gvozdrenović<sup>2</sup>, Marijana Jovanović<sup>2</sup>, Branimir Jugović<sup>3</sup>, Branimir Grgur<sup>2</sup></b>	<b>94</b>
Investigation of the possibility the Pb-Zn slag from "Topionica" -Veles quality improving using magnetic separation	



<i>Ispitivanje mogućnosti poboljšanja kvaliteta Pb-Zn šljake iz "Topionica" -Veles primenom magnetne separacije</i>	
<b>Dejan Todorović, Vladimir Jovanović, Branislav Ivošević, Dragan Radulović, Sonja Milićević</b>	<b>100</b>
Possibility of "Topionica" - Veles Pb-Zn slag valorization by gravity concentration procedure <i>Mogućnost valorizacije Pb-Zn šljake "Topionica"-Veles postupkom gravitacijske koncentracije</i>	
<b>Dragan Radulović, Vladimir Jovanović, Dejan Todorović, Branislav Ivošević, Sonja Milićević</b>	<b>108</b>
Cu, Mn, Pb and Zn concentrations in bark of different tree species as indicator of atmospheric pollution	
<b>Dragana Pavlović*, Marija Matić, Olga Kostić, Dimitrije Sekulić, Natalija Radulović, Miroslava Mitrović, Pavle Pavlović</b>	<b>117</b>
Human health risk assessment of PTEs in soil originating from urban parks in Serbia	
<b>Marija Matić*, Dragana Pavlović, Veljko Perović, Milica Marković, Dimitrije Sekulić, Miroslava Mitrović, Pavle Pavlović</b>	<b>125</b>
<i>Thymus Serpillum and Origanum Minutiflorum</i> as green corrosion inhibitors	
<b>Marija Riđošić<sup>1</sup>, Regina Fuchs-Godec<sup>2</sup>, Milorad Tomić<sup>1*</sup>, Miomir Pavlović<sup>1</sup></b>	<b>133</b>
Determination of Corrosion Resistance of Aluminium after Anodization in Sulfuric Acid and Post-Processing	
<b>Milorad Tomić<sup>1*</sup>, Marija Riđošić<sup>1</sup>, Milena Milovanović<sup>2</sup>, Stana Stanišić<sup>3</sup>, Dubravka Banjac<sup>3</sup>, Dragan Tošković<sup>1</sup>, Vladan Mičić<sup>1</sup>, Miomir G. Pavlović<sup>1</sup></b>	<b>140</b>
Carbon-based Polymer Nanocomposites as Indispensable Sensing Elements in Different Sensing Applications	
<b>Marija Riđošić*, Milorad Tomić</b>	<b>141</b>
Testing of Chemical Composition of Materials Using a Portable Handmade Device for X-Ray Fluorescent Analysis-XRF. Part I <i>Ispitivanje hemijskog sastava materijala primjenom prenosnog ručnog uređaja za rendgensku fluorescentnu analizu-XRF. Dio I</i>	
<b>Zorica Ristić, Stana Stanišić, Božidarka Arsenović</b>	<b>142</b>
Ecosystem Sustainability From the Aspect of the Role of Green and Blue Water <i>Održivost ekosistema sa aspekta uloge zelene i plave vode</i>	
<b>Božidarka Arsenović</b>	<b>148</b>
New Heteropolynuclear Systems Obtained Using 3d-4f Nodes	
<b>Adina-Elena Neacsu,<sup>1</sup> Robert-Alin Pelle,<sup>1</sup> Catalin Maxim,<sup>1</sup> Delia-Laura Popescu,<sup>1</sup> Marius Andruh,<sup>1</sup> and Traian-Dinu Pasatoiu<sup>1,*</sup></b>	<b>156</b>
Luminescent Materials Based on 3d-4f Nodes	
<b>Traian-Dinu Pasatoiu,<sup>1,*</sup> Augustin Madalan,<sup>1</sup> and Marius Andruh<sup>1</sup></b>	<b>157</b>
Ash radioactivity level and ambient dose equivalent rate in the vicinity of TPP Kosovo B Obilić <i>Nivo radioaktivnosti u pepelu i jačina ambijentalnog doznog ekvivalenta u okolini TE "Kosovo B" Obilić</i>	
<b>Ljljana Gulan<sup>1</sup>, Stanimirka Jovanović<sup>1</sup>, Marija Mitrović<sup>2,*</sup>, Jelena M. Stajić<sup>3</sup></b>	<b>158</b>
Radon concentration in dwellings in the mining area of "Trepča" complex <i>Koncentracija radona u stanovima u rudarskom području "Trepča" kompleksa</i>	
<b>Marija Mitrović<sup>1,*</sup>, Aleksandra Lempic<sup>2</sup>, Ljljana Gulan<sup>2</sup></b>	<b>164</b>
Corrosion costs for oil and gas industry	
<b>Nikola Kostić<sup>1,*</sup>, Živče Šarkoćević<sup>1</sup>, Ivica Čamagić<sup>1</sup>, Dragan Lazarević<sup>1</sup>, Jasmina Dedić<sup>1</sup></b>	<b>170</b>

The role of drainage systems in the prevention of material degradation of bridge structures

*Uloga sistema za odvodnjavanje u prevenciji degradacije materijala konstrukcija mostova*

Vujadin Aleksić<sup>1,\*</sup>, Bojana Zečević<sup>2</sup>, Srđan Bulatović<sup>1</sup>, Ana Maksimović<sup>2</sup>, Ljubica Milović<sup>3</sup> \_\_\_\_\_ 176

**S P O N S O R S** \_\_\_\_\_ **186**

## Extraction of novel exopolysaccharide as potential biosorbent for removal of Ni<sup>2+</sup> ions from contaminated water

Verica Ljubic<sup>1</sup>, Slobodan Cvetkovic<sup>1</sup>, Jovana Perendija<sup>1</sup>, Aleksandra Djukic-Vukovic<sup>2</sup>, and Mina Popovic<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> University of Belgrade, Institute of Chemistry, Technology and Metallurgy, National Institute of Republic of Serbia, Njegoseva 12, 11000 Belgrade, Serbia

<sup>2</sup> Faculty of Technology and Metallurgy, University of Belgrade, Karnegijeva 4, 11000 Belgrade, Serbia

[\\*mina.popovic@ihtm.bg.ac.rs](mailto:mina.popovic@ihtm.bg.ac.rs)

### Abstract

*Lactic acid bacteria synthesize metabolites that can be used in pharmaceutical, food, water, and dairy industries. Hence, in this study, a novel exopolysaccharide was extracted and isolated from the probiotic strain L. reuteri B2, assessed on possible application as a biosorbent for removal of heavy metals from the contaminated water. Novel exopolysaccharide was characterized using SEM, and TGA/DTG analysis. Our hypothesis was that if this EPS can be used as potential biomaterial, than its application for nickel removal from the contaminated water can be performed. After biosorption experiments, the removal efficiency of Ni<sup>2+</sup> from the aqueous solution was 92.96%. According to these results, this exopolysaccharide can be considered as a very promising biomaterial for application in different industries, from pharmacy to treatments of contaminated water.*

**Keywords:** Exopolysaccharide, L. reuteri B2, Biosorbent, Nickel, Removal efficiency

### Abstrakt

*Bakterije mlečne kiseline sintetišu metabolite koji se mogu koristiti u farmaceutskoj, prehrambenoj, vodenoj i mlečnoj industriji. S toga, u ovoj studiji je ekstrahovan i izolovan novi egzopolisaharid iz probiotičkog soja L. reuteri B2, koji je testiran za moguću primenu kao biosorbent za uklanjanje teških metala iz kontaminirane vode. Novi egzopolisaharid je okarakterisan korišćenjem SEM i TGA/DTG analize. Naša hipoteza je bila da ako se ovaj EPS može koristiti kao potencijalni biomaterijal, onda se može primeniti za uklanjanje nikla iz kontaminirane vode. Nakon eksperimenata biosorpcije, efikasnost uklanjanja Ni<sup>2+</sup> jona iz vodenog rastvora bila je 92,96%. Prema ovim rezultatima, ovaj egzopolisaharid se može smatrati veoma perspektivnim biomaterijalom za primenu u različitim industrijama, od farmacije do tretmana kontaminirane vode.*

**Ključne reči:** Egzopolisaharid, L. reuteri B2, Biosorbent, Nikl, Efikasnost Uklanjanja

### 1. Uvod

Pojava novih biosorbenata i biosorpcija postaje jedno od najvažnijih istraživanja u svetu poslednjih godina, kako bi se izbeglo prisustvo teških metala u otpadnim vodama [1]. Prema hemijskoj strukturi, funkcionalnosti i fizičko-hemijskim svojstvima, egzopolisaharidi (EPS) poseduju jedinstvenost koja obezbeđuje njihovu široku primenu u različitim komercijalnim oblastima kao što su medicina, poljoprivreda i hrana, ambalaža, hemijska industrija, voda, tekstil, kozmetika i farmaceutska industrija.

Nikl (Ni), kao jedan od najprisutnijih teških metala u vodi, poseduje kancerogena dejstva povezana sa oksidativnim oštećenjem DNK i proteina, a takođe može izazvati ozbiljne probleme sa plućima i bubrezima, plućnu fibrozu i kožni dermatitis [2]. Dakle, sve veće prisustvo nikla (Ni) u otpadnim vodama ukazuje da se dalja istraživanja moraju fokusirati na njegovo uklanjanje kako bi se izbegao njegov negativan uticaj na zdravlje ljudi. Za uklanjanje Ni<sup>2+</sup> jona iz otpadnih voda koriste se skupe

metode kao što su: precipitacija, flotacija, flokulacija/koagulacija, elektrohemijski tretman, jonska flotacija i jonska razmena i filtracija [3,4].

Glavna mesta za vezivanje jona metala su karboksilne i hidroksilne grupe prisutne u strukturi EPS-a [5]. Prednosti biosorpcija koje koriste EPS, kao biosorbente, su u tome što na njih ne utiče toksičnost, deluju kao izmenjivač jona, mogu se ponovo koristiti kao biosorbent, mogu se čuvati dugo vremena i imaju jeftiniju radnu cenu od neke adsorpcije kojoj je potrebna liza bakterijske ćelije [6]. Isto tako, uklanjanje teških metala iz vodenih rastvora je povezano sa načinom ekstrakcije EPS-a iz bakterijskih ćelija.

Cilj ovog istraživanja bio je da se ispita potencijalna upotreba EPS ekstrahovanog iz probiotičkog soja *L. reuteri* B2 [7] kao biosorbenta za uklanjanje  $\text{Ni}^{2+}$  jona iz kontaminirane vode. Dobijena ekstracelularna supstanca je ekstrahovana iz soja *L. reuteri* B2 i karakterisana skenirajućom elektronskom mikroskopijom (SEM) i termogravimetskom (TG/DTG) analizom. Takođe, ispitana je uticaj doze EPS na efikasnost uklanjanja  $\text{Ni}^{2+}$  jona iz vodenih sistema, i određena je tačka nultog naelektrisanja (PZC).

## 2. Materijal i metode

### 2.1. Bakterije i uslovi kulture

Soj *L. reuteri* B2, iz kolekcije Instituta Torlak, Beograd, Srbija, izolovan je iz fecesa miševa C57BL/6, identifikovan je sekvenciranjem 16S rDNK, tabela 1, i ispitan na probiotička svojstva, prema prethodnim istraživanjima od Popovića i dr. 2021, [7]. Ukratko, soj je uzgajan prema standardnim procedurama korišćenjem de Man Rogosa Sharpe (MRS) agar ploča (Torlak, Srbija) na 37 °C inkubiranih anaerobno narednih 48 h. Anaerobni uslovi su održavani pomoću vreća za generisanje anaerobne atmosfere AnaeroGen (Fluka, St. Louis, MO, SAD) u AnaeroJar posudama (Fisher, Hampton, NH, USA). Praćenje nivoa kiseonika (<1%) je vršeno pomoću indikatorskih traka (Fisher, Hampton, NH, USA). Matične kulture su pripremljene od uzgojenih kolonija u MRS bujonu sa 50% glicerola i čuvane na -80 °C. Prema rezultatima dobijenim iz prethodne studije [7], ovaj probiotički soj je izabran za dalja istraživanja za proizvodnju EPS-a. Hemikalije: Saharoza,  $\text{K}_2\text{HPO}_4$ , NaCl, Na – acetat,  $\text{MgSO}_4$ ,  $\text{MnSO}_4$ , Tveen 80 nabavljeni su od Sigma–Aldrich (Sent Luis, MO, SAD), pepton i goveđi ekstrakti su dobijeni iz Torlaka (Beograd, Srbija).

**Tabela 1.** Identifikovani sojevi 16S rDNA sekvenciranjem izolovani iz fecesa miševa C57BL/6

Strain	GenBank accession no.
<i>Lactobacillus reuteri</i> B2	CP015408.2 and CP029615.1
<i>Lactobacillus murinus</i> H10	EU006153.1 and EU006157.1
<i>Klebsiella oxytoca</i> J7	CP029128.1 and CP033844.1

### 2.2. Prečišćavanje i karakterizacija prečišćavanja egzopolisaharida iz soja *L. reuteri* B2

Ekstrakcija i prečišćavanje EPS-a iz soja *L. reuteri* B2 izvedeni su kao što su opisali Bajpai et al., 2016 [8], uz neke modifikacije. Ukratko, kultura *L. reuteri* B2 je inokulisana u modifikovanom MRS (mMRS) medijumu sa dodatkom 20 g/L saharoze, bez glukoze i ekstrakta kvasca u medijumu, tabela 2, [9]. Za EPS ekstrakciju, mMRS medijum je inokulisan sa 10% (v/v) aktivne kulture od 16 sati (preko noći) i inkubiran na 37°C. Posle centrifugiranja uzgojene kulture na 8000 x g tokom 20 minuta na 4°C, supernatant je sakupljen i dodat 2N NaOH, da bi se denaturisao sadržaj proteina. Posle homogenizacije u šejkeru (90 obrtaja) u trajanju od 30 minuta, nakon čega je usledilo centrifugiranje na 8000 x g tokom 20 minuta na 4°C, ćelije su uklonjene i supernatant je izvučen za EPS ekstrakciju u hladnom apsolutnom etanolu 95%, tokom 48 h na 4°C. Nakon toga, EPS je ponovo taložen u ledeno

hladnom 95% etanolu, još jednom u naredna 24 h, a zatim dijalizovan u vrećici za dijalizu sa graničnom molekulskom težinom od 12-14 kD MVCO Standardni RC kompleti za suhu dijalizu Fischer Scientific, 4 °C, 48 h u destilovanoj vodi. Da bi se dobio čisti EPS, supernatant je dijalizovan protiv (4 °C, 48 h) da bi se uklonile soli i druge komponente iz njega. Liofilizirani EPS je izmeren i rastvoren u sterilnoj dejonizovanoj vodi. Prečišćeni egzopolisaharid je čuvan na -80 °C za dalju analizu.

**Tabela 2.** mMRS medijum za produkciju EPS iz *L. reuteri* B2

Komponente	Količina (g)
Peptone	10.0
Ekstrakt govedine	10.0
Saharoza	20.0
K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	2.0
NaCl	5.0
Na - acetat	2.5
MgSO <sub>4</sub>	1.1
MnSO <sub>4</sub>	0.2
Tween 80	1.0
mMRS	1 Liter

### 2.3. Karakterizacija EPS ekstrahovanog iz soja *L. reuteri* B2

#### 2.3.1. SEM mikroskopija

Izolovani EPS je okarakterisan tehnikom skenirajućeg elektronskog mikroskopa (SEM). Ukratko, uzorci EPS (5 mg) su poprskani zlatom od 10 nm i postavljeni na aluminijumski klin, koji je ubačen u skenirajući elektronski mikroskop (Tescan Mira3 KSMU FE-SEM) održavanjem ubrzanog napona od 10 kV. Slike EPS-a su snimljene u nasumično odabranim poljima.

#### 2.3.2. Termogravimetrijska analiza (TGA)

TGA je izvedena u instrumentu SDT K600. Termogram je dobijen u opsegu od 20–450 °C u atmosferi azota pri brzini protoka od 100 mL/min, uz linearno zagrevanje počev od brzine od 20 °C/min. Liofilizovani EPS uzorak (≈ 8 mg) stavljen je u Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> lončić. Tokom ovog perioda detektovan je gubitak težine EPS-a iz *L. reuteri* B2 soja.

#### 2.3.3. Određivanje nulte tačke naelektrisanja EPS iz soja *L. reuteri* B2

Određivanje nulte tačke naelektrisanja (PZC) procenili su Mustafa i sar. 2002 [10]. Ukratko, PZC EPS-a je određen u 0,1 M rastvoru NaNO<sub>3</sub> (Sigma Aldrich) na sobnoj temperaturi. 40 mL 0,1 NaNO<sub>3</sub> (Sigma Aldrich) rastvora je uzeto u različite titracione boce. pH vrednosti rastvora je podešen na 2, 4, 6 8, 10 korišćenjem rastvora HNO<sub>3</sub> (Sigma Aldrich) i NaOH (Sigma Aldrich). Početni pH rastvora EPS je zabeležen laboratorijskim pH metrom, InoLab 730 preciznim meračem provodljivosti (VTV GmbH), sa tačnošću od ± 0,01 pH jedinica. Oko 0,2 g uzorka je dodato u svaki balon i mućkano 24 h na kupatilu za mešanje. Konačni pH rastvora je zabeležen; razlika između početne i krajnje pH vrednosti (Δ pH) je ucrtana u odnosu na početne pH vrednosti. Vrednost PZC je identifikovana na pH kada je Δ pH bio nula, tj. početni pH je jednak konačnom pH.

## 2.4. Studije biosorpcije

Da bi se procenila sposobnost EPS-a vezivanja  $\text{Ni}^{2+}$  jona u vodenim rastvorima, sprovedeni su eksperimenti serijske adsorpcije. Različite koncentracije novog EPS-a su kombinovane sa rastvorima uzoraka koji sadrže uzorak  $\text{Ni}^{2+}$  jona i inkubirani u termostatskom šejkeru sa redovnom brzinom od 200 o/min do postizanja ravnoteže. Efikasnost adsorpcije je procenjena pri različitim dozama EPS-a. Nakon adsorpcije, rastvori uzoraka su filtrirani kroz špric filter sa najlonskom membranom (veličina pora 0,22  $\mu\text{m}$ ), a količina  $\text{Ni}^{2+}$  jona u medijumu je određena pomoću AAS.

Brzina uklanjanja i kapacitet adsorpcije [11] izračunati su prema jednačinama (1) - (2), kao:

$$R = (C_i - C_f) / C_i \times 100 \quad (1)$$

$$q_e = (C_i - C_f) \times V / m \quad (2)$$

gde  $C_i$  predstavlja početnu koncentraciju  $\text{Ni}^{2+}$  jona (mg/L);  $C_f$  je konačna koncentracija  $\text{Ni}^{2+}$  jona (mg/L), a,  $q_e$ , adsorpcioni kapacitet EPS-a, V, je zapremina upotrebljenog rastvora adsorbata (L), a m, masa EPS-a koji se koristi kao adsorbent (g).

### 2.4.1 Analiza jona nikla

Vodeni rastvori  $\text{Ni}^{2+}$  jona pripremljeni su u laboratorijskim uslovima. Osnovni rastvor je pripremljen od standardnog nikla AA, 1000  $\mu\text{g ml}^{-1}$  (Accustandard) u dvostruko destilovanoj (dd)  $\text{H}_2\text{O}$ . Radni rastvori su pripremljeni razblaživanjem osnovnih rastvora do željene koncentracije  $\text{Ni}^{2+}$  jona, dok podešavanje pH je postignuto sa 0,1 M NaOH i 0,1 M  $\text{HNO}_3$  (Sigma Aldrich). U svakoj studiji biosorpcije korišćeni su sveži rastvori metala. Koncentracije  $\text{Ni}^{2+}$  jona u vodenim rastvorima mereni su atomskom apsorpcionom spektrometrijom (AAS), korišćenjem uređaja Perkin Elmer PinAAcle 900T, SAD.

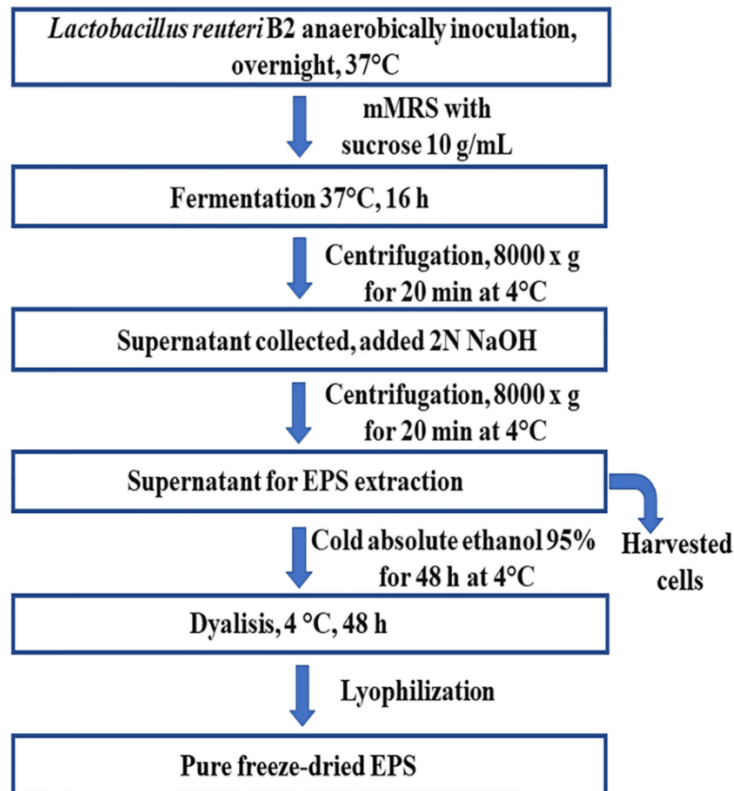
### 2.4.2. Uticaj doze biosorbenta

Ispitivan je uticaj doziranja EPS-a na sposobnost vezivanja metala prema  $\text{Ni}^{2+}$ . Takođe, ispitivane su različite koncentracije EPS-a za uklanjanje  $\text{Ni}^{2+}$  jona iz vodenih rastvora (0, 10, 30, 65, 135, 170 i 200 mg/L).

## 3. Rezultati i diskusija

### 3.1. Ekstrakcija i prečišćavanje EPS-a iz *L. reuteri* B2

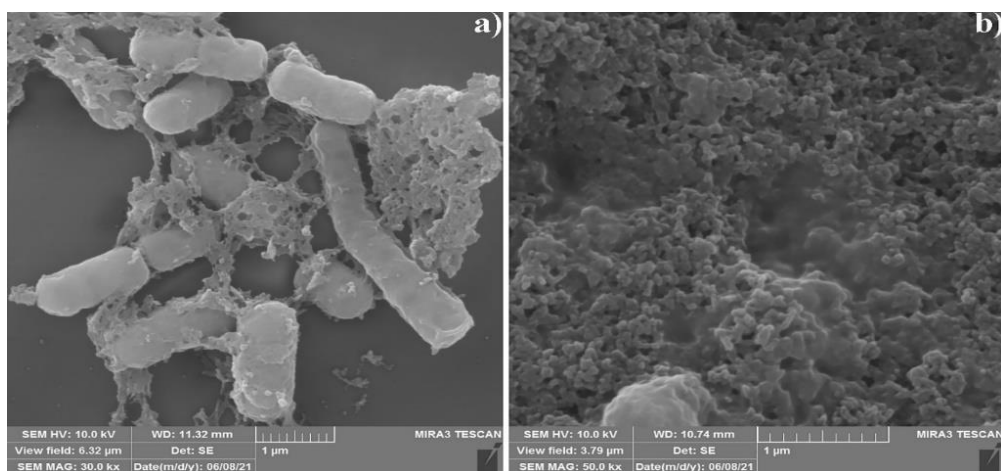
Na šemi 1. je prikazan proces ekstrakcije i prečišćavanja EPS-a iz *L. reuteri* B2, koji se sastojao od sledećih koraka: rast bakterija, fermentacije i ekstrakcije EPS-a. Ukratko, ćelijske kulture su uzgajane anaerobno, na 37°C. Uzgajana kultura (inokulum) je dalje korišćena za fermentaciju u mMRS sa saharozom, preko noći na 37°C. Posle centrifugiranja (8000 k g tokom 20 min, 4°C), supernatant je sakupljen, i 2N NaOH je dodat u sadržaj da bi denaturisao proteina u smeši. Posle još jednog koraka centrifugiranja u istim uslovima, ovaj supernatant je korišćen za ESP ekstrakciju u hladnom apsolutnom etanolu 95%, tokom 48h na 4°C. Konačno, nakon dijalize i liofilizacije, dobija se čist liofilizovan EPS. Prinos EPS-a je bio 1,084 g po gramu bakterijskih ćelija (suve mase) [12]. Ovi rezultati sugerišu da je *L. reuteri* B2 kao probiotički soj potencijalni izvor EPS-a.



Slika 1. Šema izolacije i ekstrakcije EPS iz *L. reuteri* B2 soja

### 3.2. SEM analiza

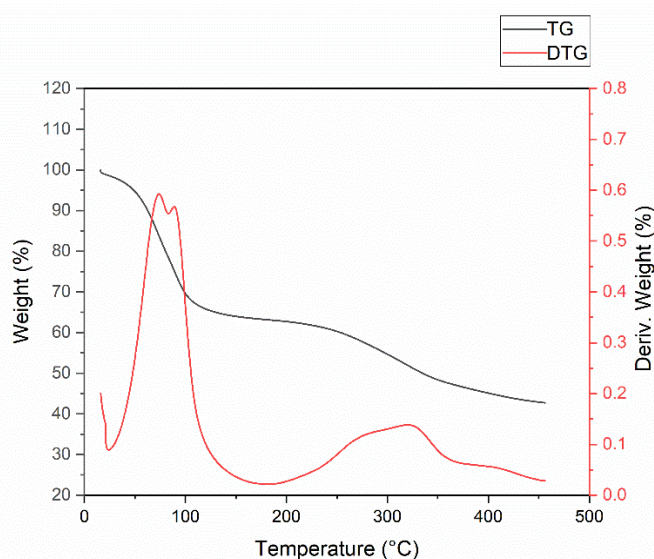
Skenirajući elektronski mikroskop (SEM) se koristio za karakterizaciju površine i strukture EPS. Mikrostruktura ovog EPS-a pri dva različita uvećanja ( $\times 30,0$  k i  $\times 50,0$  k), predstavljena je na Slici 2. Stabilna trodimenzionalna porozna i hrapava površina može doprineti povećanju specifične površine EPS-a [13]. Isto tako, na Slici 2. b), na uvećanju od 50,0 kk, ovaj EPS može da napravi plastificirani film, što ukazuje na interakciju između molekula vode [14] i hidroksilnih grupa iz EPS-a iz *L. reuteri* B2 [15]. Shodno tome, može se reći da su mikrostruktura i morfologija EPS-a zavisile od načina ekstrakcije i prečišćavanja EPS-a izolovanog iz soja *L. reuteri* B2 [16].



Slika 2. Skenirajući elektronski mikroskopski snimci probiotičkih ćelija *L. reuteri* B2 i EPS iz *L. reuteri* B2 snimljeni su pri dva različita uvećanja od 30,0 kk (a); i  $\times 50,0$  kk (b), respektivno

### 3.3. Termogravimetrijska analiza (TG/DTG)

Na TG/DTG dijagramu je prikazana Slika 3., gde je gubitak mase EPS-a iz *L. reuteri* B2 bio u opsegu od 20-450 °C. Termička degradacija EPS-a obavljena je u dve faze. U početku je došlo do gubitka težine od 3,68% na temperaturi do 44,0 °C, što bi moglo biti povezano sa gubitkom masene težine adsorbovane i vezane vode u EPS-u. U drugoj fazi razgradnje egzopolisaharida povećanje temperature dovodi do depolimerizacije EPS-a, zbog prisustva karboksilnih grupa u strukturi EPS-a [17]. Nakon depolimerizacije EPS uzorka usledio je raspad hemijskih veza u strukturi šećernog prstena kidanjem C-C i C-O veza u jedinicama prstena što je rezultiralo formiranjem CO, CO<sub>2</sub> i H<sub>2</sub>O [18]. Na 375,3°C ostalo je 42,91% čvrstog ostatka. DTG kriva na slici 3., koja ima pik na temperaturi degradacije EPS-a, od 320,8°C, je bila viša od dekstrana iz literature u soju *Lactobacillus reuteri* SK24.003 (292,6°C) [18]. Prema ovoj analizi, EPS ima relativno visoku temperaturu degradacije i ovo termičko svojstvo se može primeniti u različitim industrijama za poboljšanje toplotne tolerancije proizvoda [17].



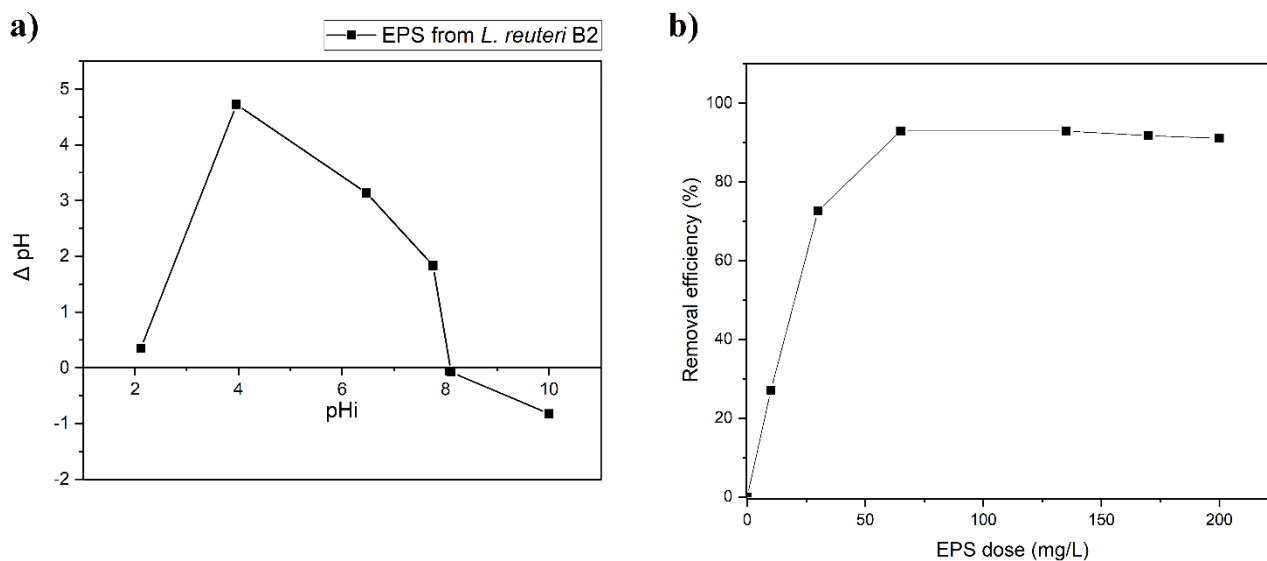
Slika 3. Termička analiza EPS-a iz *L. reuteri* B2 sa istovremenim TG i DTG krivinama

### 3.4. Određivanje nulte tačke (PZC) i efikasnost uklanjanja Ni<sup>2+</sup> jona iz vodenih rastvora EPS izolovanog iz *L. reuteri* B2

Tačka koja određuje pH vrednost na kojoj površina adsorbenta ima električnu neutralnost, gde ni kisele ni bazne funkcionalne grupe više ne doprinose rastvoru je tačka nultog naelektrisanja (PZC) [19]. Izmerena vrednost PZC EPS-a, koja je preseкла ΔpH u odnosu na pH, na grafikonu, je 8,03, prikazana na Slici 4 a). Iznad ove pH vrednosti, površinsko naelektrisanje adsorbenta je negativno, tako da je ovaj pH pogodan za vezivanje pozitivnih jona. Dakle, svi eksperimenti serije su pripremljeni na pH 8,72, da bi se uklonili Ni<sup>2+</sup> joni iz vodenih rastvora. Slika 4 a).

Maksimalno dozvoljena koncentracija (MAC) za Ni<sup>2+</sup> jone u vodi je 0,1 mg/L s obzirom na njen štetni uticaj na životnu sredinu i zdravlje ljudi [20]. Uticaj količine biosorbenta EPS na uklanjanje Ni<sup>2+</sup> jona proučavan je korišćenjem početnih koncentracija rastvora Ni<sup>2+</sup> jona od 10 mg/L. Na slici 4 b). prikazan je uticaj količine EPS na efikasnost uklanjanja Ni<sup>2+</sup> jona, pri čemu je maksimalna vrednost efikasnosti uklanjanja iznosila 92,96 %, na koncentraciji 65 mg/L EPS. Isto tako, pri koncentraciji od 135 mg/L EPS efikasnost uklanjanja ostaje nepromenjena. Shodno tome, rezultati su pokazali da mala količina EPS-a izolovanog iz *L. reuteri* B2, može ukloniti visoke koncentracije Ni<sup>2+</sup> jona iz kontaminirane vode. Ova činjenica ukazuje da se ovaj EPS može koristiti kao potencijalni biosorbent, što potvrđuju i rezultati SEM i TG/DTA koji ukazuju na stabilnost ovog EPS-a.





**Slika 4.** Nulta tačka naelektrisanja (PZC) EPS-a iz *L. reuteri* B2, a); efikasnost uklanjanja EPS-a za biosorpciju  $\text{Ni}^{2+}$  jona pri pH 8,72; pri početnim koncentracijama  $C_i$  ( $\text{Ni}$ ) = 10 mg/L,  $T = 25$  °C,  $t = 60$  min, b)

#### 4. Zaključak

U ovoj studiji, EPS izolovan iz *L. reuteri* B2 soja, okarakterisan je SEM, TGA/DTG analizom. Ovaj biopolimer poseduje stabilnu poroznu strukturu, koja povećava površinu EPS-a izolovanog iz *L. reuteri* B2. Takođe, na većim uvećanjima primećuje se pojava plastificiranog filma, što ukazuje na njegovu potencijalnu upotrebu za industriju isporuke lekova. Zatim, u studijama biosorpcije, vrednost efikasnosti uklanjanja  $\text{Ni}^{2+}$  jona iz vodenih rastvora iznosila je 92,96%, što ukazuje na njegovu moguću upotrebu kao biosorbenta za vodu kontaminiranu teskim metalima.

#### Zahvalnica

Ovaj rad je finansijski podržalo Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije (Grant br. 451-03-68/2022-14/200026).

#### References

- Zeraatkar AK, Ahmadzadeh H, Talebi AF, Moheimani NR, McHenry MP. Potential use of algae for heavy metal bioremediation, a critical review. *J Environ Manage* 2016;181:817–31. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.06.059>.
- Lu H, Shi X, Costa M, Huang C. Carcinogenic effect of nickel compounds. *Mol Cell Biochem* 2005;279:45–67. <https://doi.org/10.1007/s11010-005-8215-2>.
- Shrestha R, Ban S, Devkota S, Sharma S, Joshi R, Tiwari AP, et al. Technological trends in heavy metals removal from industrial wastewater: A review. *J Environ Chem Eng* 2021;9:105688. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105688>.
- Azimi A, Azari A, Rezakazemi M, Ansarpour M. Removal of Heavy Metals from Industrial Wastewaters: A Review. *ChemBioEng Rev* 2017;4:37–59. <https://doi.org/10.1002/cben.201600010>.
- Dobrowolski R, Szcześ A, Czemińska M, Jarosz-Wikołazka A. Studies of cadmium(II), lead(II), nickel(II), cobalt(II) and chromium(VI) sorption on extracellular polymeric substances produced by *Rhodococcus opacus* and *Rhodococcus rhodochrous*. *Bioresour Technol* 2017;225:113–20. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.11.040>.
- Li H, Dong W, Liu Y, Zhang H, Wang G. Enhanced biosorption of nickel ions on immobilized surface-engineered yeast using nickel-binding peptides. *Front Microbiol* 2019;10. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.01254>.

7. Popović M, Stojanović M, Veličković Z, Kovačević A, Miljković R, Mirković N, et al. Characterization of potential probiotic strain, *L. reuteri* B2, and its microencapsulation using alginate-based biopolymers. *Int J Biol Macromol* 2021;183:423–34. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.04.177>.
8. Bajpai VK, Majumder R, Rather IA, Kim K. Extraction, isolation and purification of exopolysaccharide from lactic acid bacteria using ethanol precipitation method. *Bangladesh J Pharmacol* 2016;11:573–6. <https://doi.org/10.3329/bjp.v11i3.27170>.
9. Sims IM, Frese SA, Walter J, Loach D, Wilson M, Appleyard K, et al. Structure and functions of exopolysaccharide produced by gut commensal *Lactobacillus reuteri* 100-23. *ISME J* 2011;5:1115–24. <https://doi.org/10.1038/ismej.2010.201>.
10. Mustafa S, Dilara B, Nargis K, Naeem A, Shahida P. Surface properties of the mixed oxides of iron and silica. *Colloids Surfaces A Physicochem Eng Asp* 2002;205:273–82. [https://doi.org/10.1016/S0927-7757\(02\)00025-0](https://doi.org/10.1016/S0927-7757(02)00025-0).
11. Li H, Liu L, Cui J, Cui J, Wang F, Zhang F. High-efficiency adsorption and regeneration of methylene blue and aniline onto activated carbon from waste edible fungus residue and its possible mechanism. *RSC Adv* 2020;10:14262–73. <https://doi.org/10.1039/d0ra01245a>.
12. Wang X, Shao C, Liu L, Guo X, Xu Y, Lü X. Optimization, partial characterization and antioxidant activity of an exopolysaccharide from *Lactobacillus plantarum* KX041. *Int J Biol Macromol* 2017;103:1173–84. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.05.118>.
13. Rajoka MSR, Mehwish HM, Hayat HF, Hussain N, Sarwar S, Aslam H, et al. Correction to: Characterization, the Antioxidant and Antimicrobial Activity of Exopolysaccharide Isolated from Poultry Origin *Lactobacilli* (Probiotics and Antimicrobial Proteins, (2018), 10.1007/s12602-018-9494-8). *Probiotics Antimicrob Proteins* 2019;11:1143–4. <https://doi.org/10.1007/s12602-018-9504-x>.
14. Liu Z, Zhang Z, Qiu L, Zhang F, Xu X, Wei H, et al. Characterization and bioactivities of the exopolysaccharide from a probiotic strain of *Lactobacillus plantarum* WLPL04. *J Dairy Sci* 2017;100:6895–905. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11944>.
15. Wang Y, Li C, Liu P, Ahmed Z, Xiao P, Bai X. Physical characterization of exopolysaccharide produced by *Lactobacillus plantarum* KF5 isolated from Tibet Kefir. *Carbohydr Polym* 2010;82:895–903. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.06.013>.
16. Kanamarlapudi SLRK, Muddada S. Characterization of Exopolysaccharide Produced by *Streptococcus thermophilus* CC30. *Biomed Res Int* 2017;2017. <https://doi.org/10.1155/2017/4201809>.
17. Wang B, Song Q, Zhao F, Xiao H, Zhou Z, Han Y. Purification and characterization of dextran produced by *Leuconostoc pseudomesenteroides* PC as a potential exopolysaccharide suitable for food applications. *Process Biochem* 2019;87:187–95. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2019.08.020>.
18. Miao M, Ma Y, Huang C, Jiang B, Cui SW, Zhang T. Physicochemical properties of a water soluble extracellular homopolysaccharide from *Lactobacillus reuteri* SK24.003. *Carbohydr Polym* 2015;131:377–83. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.05.066>.
19. Yu X, Zhang G, Xie C, Yu Y, Cheng T, Zhou Q. Equilibrium, kinetic, and thermodynamic studies of hazardous dye neutral red biosorption by spent corncob substrate. *BioResources* 2011;6:936–49.
20. Guidelines WHO. Nickel in drinking-water 2021.