



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

Y u C o r r

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 SCIENCE, TECHNOLOGICAL DEVELOPMENT
AND INNOVATION OF THE REPUBLIC OF SERBIA

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

May 28-31, 2023 :: Divčibare, Serbia

CIP - Katalogizacija 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 (24 ; 2023 ; 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 / XXIV YuCorr International Conference, May 28-31, 2023, Divčibare, Serbia = XXIV YuCorr [Jugoslovenska korozija] Međunarodna konferencija = [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, 2023 (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 978-86-82343-30-1

a) Премази, антикорозиони -- Зборници b) Превлаке, антикорозионе --
Зборници v) Антикорозиона заштита -- Зборници g) Животна средина --
Заштита -- Зборници d) Наука о материјалима -- Зборници

COBISS.SR-ID 119553545

XXIV YUCORR – International Conference | Međunarodna konferencija

PUBLISHED BY | IZDAVAČ

SERBIAN SOCIETY OF CORROSION AND MATERIALS PROTECTION (UISKOZAM)

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

Kneza Miloša 7a/II, 11000 Beograd, Srbija, tel/fax: +381 11 3230 028, office@sitzam.org.rs; 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, N. 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, N. Macedonia; Prof. dr R. Fuchs Godec, Slovenia; Prof. dr J. Stevanović, Serbia; Dr V. Panić, Serbia; Dr M. Mihailović, Serbia; Prof. dr V. Marić, B.&H.; Prof. Dr C. Stojanović, B.&H.; Prof. dr J. Jovičević, Serbia; Prof. dr D. Jevtić, Serbia; Dr M. Pantović Pavlović, Serbia; Dr F. Kokalj, Slovenia; Prof. dr M. Gligorić, B.&H.; Prof. dr A. Kowal, Poland; Prof. dr M. Tomić, B.&H.; Prof. Dr B. Arsenović, B.&H., Dr S. Blagojević, Serbia

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: 2023

ISBN 978-86-82343-30-1



May 28-31, 2023, Divčibare, Serbia

Ovaj PDF fajl sadrži elektronsku Knjigu radova prezentovanih u okviru Međunarodne konferencije **XXIV 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 **XXIV 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.

**XXIV YUCORR IS ORGANIZED BY
ORGANIZATORI XXIV 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*



INSTITUTE OF GENERAL AND PHYSICAL CHEMISTRY, BELGRADE

Institut za Opštu i Fizičku Hemiju



UNION OF ENGINEERS AND TEHNICIANS OF SERBIA, BELGRADE

Savez Inženjera i Tehničara Srbije



ENGINEERING ACADEMY OF SERBIA

Inženjerska Akademija Srbije

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



***XXIV YUCORR JE FINANSIJSKI POMOGLA
MINISTARSTVO NAUKE, TEHNOLOŠKOG RAZVOJA I
INOVACIJA 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
MIKROLUX d.o.o., Zaprešić, Hrvatska
TESCAN
FIRESTOP INTERNACIONAL d.o.o., Nova Pazova
SURTEC ČAČAK 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
EPS OGRANAK DRINSKO-LIMSKE HIDROELEKTRANE, Bajina Bašta
NOVOHEM d.o.o., Šabac**

Table of Contents

PLENARY LECTURES	1
Strong Metal-Support Interaction - a Tool Towards Enhanced Electrocatalytic Materials Milutin Smiljanić^{1*}, Marjan Bele¹, Luka Pavko¹, Armin Hrnjić¹, Lea Gašparič², Anton Kokalj², Miran Gaberšček¹, Nejc Hodnik¹	2
Enzymatic Electrochemical Biosensors <i>Enzimske elektronijski biosenzori</i> Milica Gvozdrenović	5
Renewable Energy Potentials of the Republic of Serbia for Green Hydrogen Production and Applications <i>Potencijali Obnovljive Energije Republike Srbije za Proizvodnju i Primenu Zelenog Vodonika</i> Branimir N. Grgur	10
Development and optimization of photoreactor prototype for the treatment of wastewater loaded with organic effluents Nemanja Banić*	18
Uranium - <i>Magnum Crimen</i> Radomir Kovačević	19
Towards sustainable rare earth elements recovery <i>Ka održivom recikliranju elemenata retkih zemalja</i> Vesna S. Cvetković*	20
INVITED LECTURES	36
Review of the Anticorrosive Contribution of Nanotechnologies and Nanostructured Materials Based on LHO <i>Prikaz antikorozijskog doprinosa nanotehnologija i nanostrukturnih materijala na bazi LHO</i> Jovan P. Šetrajčić*	37
The Impact of Ultrasound Waves on Polyphenol Yield and Antioxidant Capacity of <i>Aloe vera</i> L. Extracts <i>Uticaj ultrazvučnih talasa na prinos polifenola i antioksidativni kapacitet Aloe vera L. ekstrakata</i> Aleksandra A. Jovanović^{1,*}	50
ORAL PRESENTATIONS	57
Determination of micronutrient accumulation in livestock fodder and soil in three Belgrade municipalities Marija Matić*, Dragana Pavlović, Veljko Perović, Olga Kostić, Milica Marković, Miroslava Mitrović, Pavle Pavlović	58
Machine learning assisted screening of materials for Li-ion batteries <i>Razvoj materijala za litijum-jonske baterije korišćenjem mašinskog učenja</i> Katarina Batalović*, Mirjana Medić Ilić, Bojana Kuzmanović, Bojana Paskaš Mamula, Jana Radaković	65
Aktivna katodna zaštita od elektrohemijske korozije čelične konstrukcije pontona za pretovar naftnih derivata Željko Krivačević, Dejan Grgić, Saša Stojanović, Aleksandar Pešić	71

Assessment of Emissions into the Atmosphere from Biogas Cogeneration Plant in Serbia <i>Procena Emisija u Atmosferu iz Biogasnog Kogenerativnog Postrojenja u Srbiji</i> Slobodan Cvetković ^{1*} , Jovana Perendija ¹ , Aleksandra Radomirović ²	81
When the Oxygen Might Be Applied for Corrosion Protection at Steel Surface Zoran Karastojković ^a , Ognjen Ristić ^b , Mladen Mladenović ^b	87
POSTER PRESENTATIONS	94
The influence of the voltage on formation and morphology of hydroxyapatite/titanium composite coatings Katarina Đ. Božić ^{1,2,*} , Miroslav M. Pavlović ^{1,2} , Đorđe V. Gjumišev ¹ , Đorđe N. Veljović ³ , Marijana R. Pantović Pavlović ^{1,2}	95
The Stability of Wild Thyme Extract-Loaded Phospholipid-Cholesterol Liposomal Particles <i>Stabilnost lipozomalnih čestica sa inkapsuliranim ekstraktom majčine dušice</i> Aleksandra A. Jovanović ^{1,*} , Muna Rajab Elferjane ^{2,3} , Milena Milošević ⁴ , Petar Batinić ⁵ , Jovana Bošnjaković ⁶ , Milica Rančić ⁷ , Aleksandar Marinković ²	96
Promoting effect of Zn in platinum catalyst for effective ethanol electrooxidation reaction <i>Promotivni efekat Zn u platinskom katalizatoru za efikasnu reakciju elektrooksidacije etanola</i> Sanja I. Stevanović ^{1,*} , Dragana L. Milošević ¹ , Dušan V. Tripković ¹ , Vladan R. Ćosović ¹ , Vesna M. Maksimović ² , Nebojša D. Nikolić ¹	102
Effect of essential micronutrients on catalase enzyme activity in <i>Tilia sp.</i> leaves growing in urban areas Dragana Pavlović [*] , Marija Matić, Veljko Perović, Natalija Radulović, Milica Marković, Miroslava Mitrović, Pavle Pavlović	104
Synthesis of iridescent crystal vanadium-oxide ceramic glazes <i>Sinteza kristalnih vanadijum-oksidnih keramičkih glazura</i> Bojan Jokić ^{1,*} , Milica Gvozdenović ² , Branimir Jugović ²	112
Chemometric approach in detection the effect of environment and type of TiNi alloy on its corrosion degradation Đendi Vaštag ^{1,*} , Špiro Ivošević ²	113
Efficiency of methylene blue removal and hydrogen production using noble metals modified MoO ₃ under UV and simulated solar radiation Ivana Jagodić ¹ , Dina Tenjić ² , Teodora Vidović ¹ , Jovana Cvetić ¹ , Nemanja Banić ^{1*}	114
Reusable Fe ₂ O ₃ /TiO ₂ /PVC photocatalysts synthesis and application for the removal of methylene blue in the presence of simulated solar radiation Ivana Jagodić ¹ , Dina Tenjić ² , Teodora Vidović ¹ , Jovana Cvetić ¹ , Nemanja Banić ^{1*}	115
Impact of deposition conditions on the electrocatalytic performances of Sn-Pd catalysts in ethanol oxidation reaction <i>Uticaj uslova taloženja na elektrohemijske performanse Sn-Pd katalizatora u reakciji oksidacije etanola</i> Jelena D. Lović [*] , Nebojša D. Nikolić [*]	116
Phenomena of Nucleation and Growth of Tin Dendrites from the Alkaline Solution <i>Fenomeni nukleacije i rasta dendrita kalaja iz alkalnog rastvora</i> Nebojša D. Nikolić [*] , Jelena D. Lović, Dragana L. Milošević, Sanja I. Stevanović	123

Anti-corrosion investigation of curcumin as a green and sustainable corrosion inhibitor for copper Regina Fuchs–Godec^{1*}, Marija Riđošić², Miomir. G. Pavlović², Milorad. V. Tomić²	124
Corrosion resistance of hydrophobic FDTS self-assembly layer on silver-coated copper in acidic solution Regina Fuchs–Godec[*]	130
Production of Landfill Biogas and Examination of the Possibility of Its Utilization at the Možura Landfill in Bar <i>Proizvodnja deponijskog biogasa i ispitivanje mogućnosti njegovog iskorišćenja na deponiji Možura u Baru</i> D. Vuksanović^{1*}, J. Šćepanović¹, D. Radonjić¹, J. Ćeman², S. Arabelović²	136
Investigation of the Influence of Inorganic and Organic Inhibitors on the Corrosion Kinetics of AISI 304 Steel (1.4301) in Acidic and Neutral Solutions <i>Ispitivanje uticaja neorganskih i organskih inhibitora na kinetiku korozije čelika AISI 304 (1.4301) u kiselim i neutralnim rastvorima</i> J. Šćepanović[*], B. Zindović, D. Radonjić, D. Vuksanović	146
Influence of Temperature on Hard-Chrome Coatings Properties Danijel Milošević¹, Stana Stanišić^{2*}, Regina Fuchs – Godec³, Marija Mitrović¹, Snježana Vučićević¹, Zorica Ristić², Milorad Tomić¹	157
Endemic and protected taxa in subclasses Asteridae and Liliidae in Nature Park Trebević Dragana Aščerić^{*1}, Jelena Vulinović¹, Slađana Petronić²	158
Formic acid electrooxidation on Ni-supported platinum thin film catalyst <i>Oksidacija mravlje kiseline na platinskim katalizatorima na Ni nosaču</i> Dragana L. Milošević^{1*}, Sanja I. Stevanović¹, Nebojša D. Nikolić¹, Dušan V. Tripković¹	167
Methanol electrooxidation on carbon-supported binary and ternary platinum catalysts <i>Elektrooksidacija metanola na binarnim i ternarnim platinskim katalizatorima na ugljeničnom nosaču</i> Dragana L. Milošević^{1*}, Dušan V. Tripković¹, Vladan R. Ćosović¹, Vesna M. Maksimović², Nebojša D. Nikolić¹, Sanja I. Stevanović¹	169
Zn/Au alloys formation by Zn electrodeposition from a deep eutectic system <i>Formiranje Zn/Au legura elektrohemijским taloženjem Zn iz dubokog eutektikuma</i> Vesna S. Cvetković^{1*}, Nebojša D. Nikolić¹, Nataša M. Petrović¹, Tanja S. Barudžija², Silvana B. Dimitrijević³, Jovan N. Jovićević¹	171
Quasi Linear Spread of Air Pollution and the Environment Caused by a Periodic Source <i>Kvazi linearno širenje zagađenja vazduha i okoline uzrokovano periodičnim izvorom</i> Jovan P. Štrajčić^{1*}, Stevo K. Jaćimovski², Siniša M. Vučenović³	176
The influence of the brookite/anatase TiO ₂ nanoparticles on structural and electrochemical properties of conducting polyaniline form <i>Uticaj nanočestica brukit/anatas TiO₂ na strukturna i elektrohemijška svojstva provodne forme polianilina</i> Bojana Kuzmanović^{1*}, Nenad Ivanović¹, Nataša Tomić², Bojana Paskaš Mamula¹, Katarina Batalović¹, Mirjana Medić Ilić¹, Milica Vujković³	184

Long-term air exposure surface modification-XPS first principle approach study <i>Ispitivanje promena na površini nakon dugotrajnog izlaganja vazduhu polazeći od prvih principa-XPS</i> Mirjana Medić Ilić^{1,*}, Bojana Kuzmanović¹, Bojana Paskaš Mamula¹, Katarina Batalović¹, Nenad Bundaleski^{1,2}	191
DFT study of MgH ₂ and AlH ₃ hydrides doped with 3d transition metals <i>DFT studija MgH₂ i AlH₃ hidrida dopiranih 3d prelaznim metalima</i> Bojana Paskaš Mamula^{1,*}, Milijana Dragojlović², Katarina Batalović¹, Bojana Kuzmanović¹, Mirjana Medić Ilić¹, Nikola Novaković¹	196
The Life of Humanity on an Environmentally Unstable Planet From the Aspect of Environmental Reality and Development Božidarka Arsenović	203
Procedures for preventing corrosion of welded joints <i>Procedura za sprečavanje korozije zavarenih spojeva</i> Srđan Bulatović^{1,*}, Vujadin Aleksić¹, Bojana Zečević², Ognjen Ristić¹, Ana Maksimović²	210
The Finite Element Method in the function of corrosion damage assessment of pipelines <i>Metoda konačnih elemenata u funkciji procene korozionog oštećenja cevovoda</i> Vujadin Aleksić^{1,*}, Bojana Zečević², Srđan Bulatović¹, Ana Maksimović², Ljubica Milović³	216
In-situ hydrothermal synthesis of Pt/TiO ₂ nanocomposites for electrochemical applications Milica Košević¹, Marija Mihailović^{1,*}, Vladimir Panić^{1,2}	226
S P O N S O R S	234

PLENARY LECTURES
PLENARNA PREDAVANJA

Assessment of Emissions into the Atmosphere from Biogas Cogeneration Plant in Serbia

Procena Emisija u Atmosferu iz Biogasnog Kogenerativnog Postrojenja u Srbiji

Slobodan Cvetković^{1*}, Jovana Perendija¹, Aleksandra Radomirović²

¹Univerzitet u Beogradu, Institut za hemiju, tehnologiju i metalurgiju, Njegoševa 12, 11000 Beograd, Srbija

²Društvo "Chemical And Energy Engineering", 11000 Beograd, Srbija

¹University of Belgrade, Institute of Chemistry, Technology and Metallurgy (ICTM), Njegoseva 12, 11000 Belgrade, Serbia

²Society "Chemical and Energy Engineering", 11000 Belgrade, Serbia

*Corresponding Author: slobodan.cvetkovic@ihm.bg.ac.rs

Abstrakt

Biogas je gasna smeša koja nastaje tretmanom otpadnih tokova u procesu anaerobne digestije. Proizvodnja električne energije iz kogeneracionih postrojenja koja koriste biogas je u porastu u Republici Srbiji. U ovom radu je izvršena kvantifikacija emisija (ugljen-dioksida, sumpor-dioksida, oksida azota, metana i čestica) u atmosferu iz tipičnog biogasnog postrojenja u Republici Srbiji, instalisanog kapaciteta od 1 MW. Dobijeni rezultati su pokazali da proizvodnja električne energije iz kogeneracije biogasa predstavlja dobro rešenje u cilju smanjenja emisije gasova sa efektom staklene bašte i racionalne upotrebe prirodnih resursa.

Ključne reči: biogas; energija; kogeneracija; emisija

Abstract

Biogas is the gas mixture generated by the treatment of waste streams in the process of anaerobic digestion. The production of electricity from cogeneration plants that use the biogas is increasing in the Republic of Serbia. In this paper, the quantification of emissions (carbon dioxide, sulphur dioxide, nitrogen oxides, methane and particles) into the atmosphere from a typical biogas plant in the Republic of Serbia with an installed capacity of 1 MW was carried out. The obtained results showed that the production of electricity from biogas cogeneration is a good solution in order to reducing the emission of greenhouse gases and rational use of natural resources.

Key Words: Biogas; Energy; Cogeneration; Emission

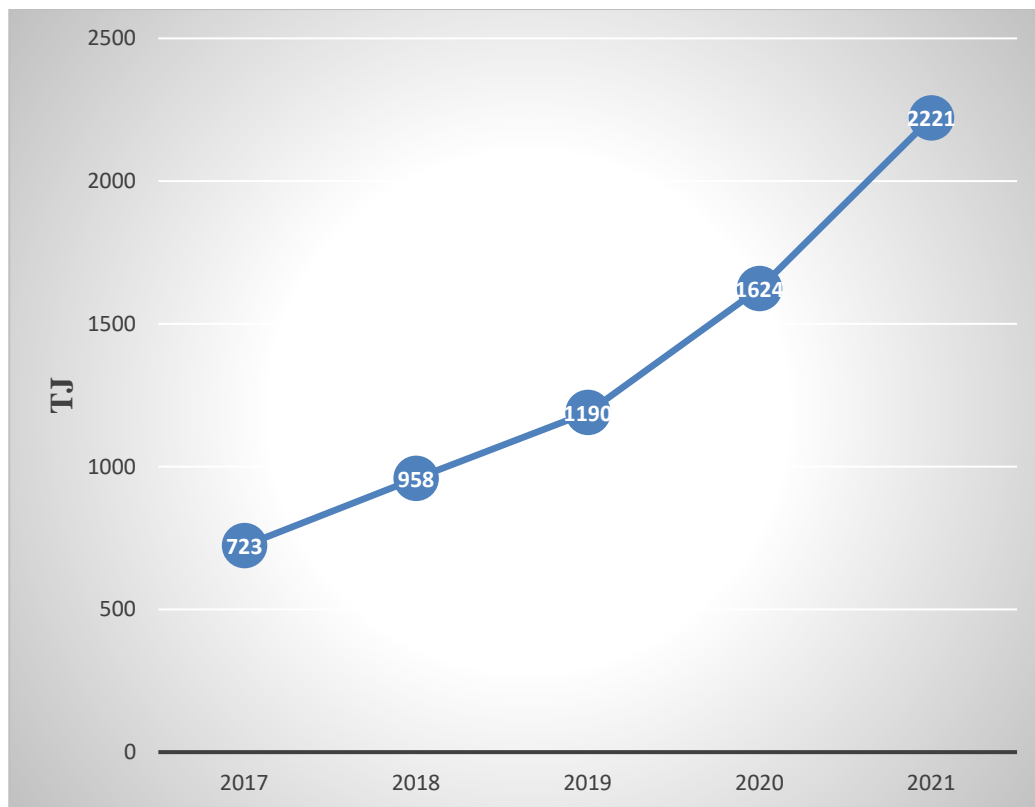
Uvod

Fosilna goriva su ograničena svojom dostupnošću u prirodi i zagađuju životnu sredinu prilikom sagorevanja. Sve veći uticaj ovih procesa na prirodno okruženje, intenzivirao je primenu obnovljivih resursa kako bi se obezbedila čistija i ekološki prihvatljivija goriva. Globalno zagrevanje i klimatske promene koje su rezultirale ekološkim i zdravstvenim problemima, kao i rastuće cene goriva i energije, pojačale su pritisak na nacionalne ekonomije da se postepeno okreću ka upotrebi obnovljivih izvora energije. Stoga, korišćenje obnovljivih izvora energije kontinuirano raste zbog njihovog manjeg ekološkog uticaja, kao i doprinosa dekarbonizaciji energetske sektora [1].

Među dostupnim rešenjima za proizvodnju energije iz biomase, biogas predstavlja dobro rešenje za alternativnu proizvodnju energije, usled nižih kapitalnih i operativnih troškova. Takođe, korišćenje širokog spektra otpadne organske biomase (stajnjak, komunalni otpad, poljoprivredni ostaci, otpadne

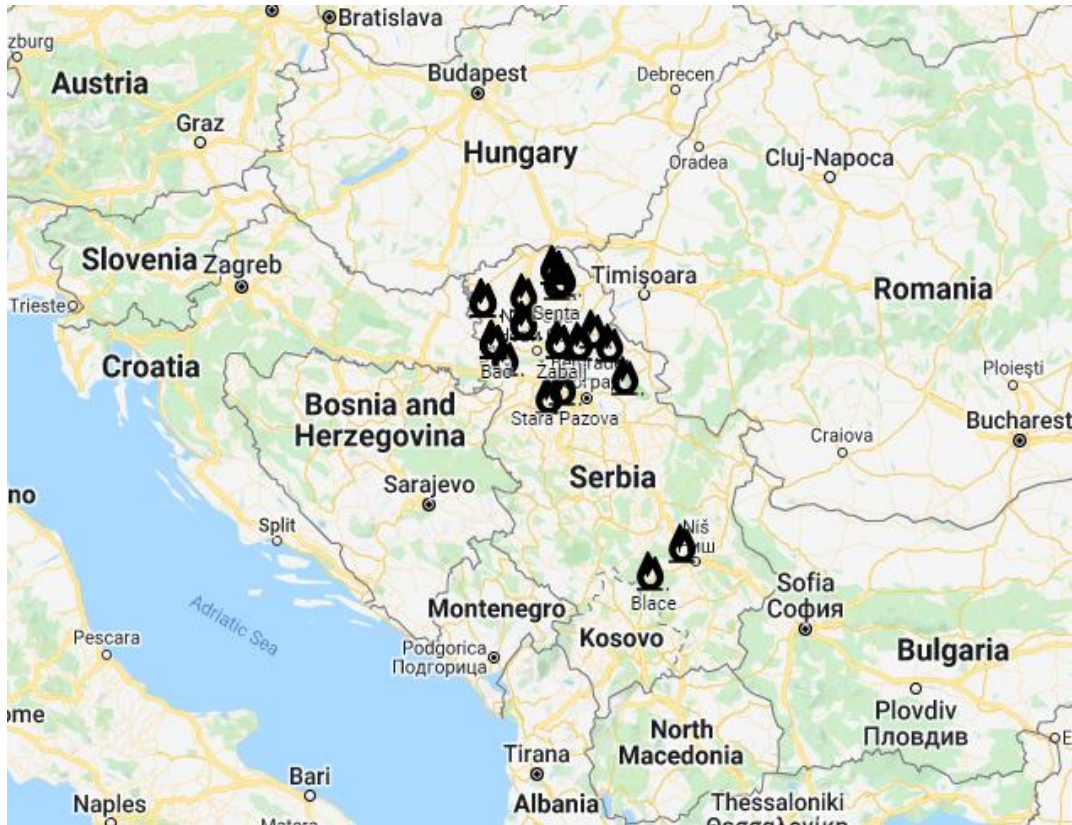
vode iz prehrambene industrije, itd.), koja bi u suprotnom bila deponovana u životnu sredinu i doprinosila emisiji gasova staklene bašte (GHG), izbacilo je ovu tehnologiju u prvi plan. Proizvedeni biogas može se koristiti za različite svrhe kao što su grejanje i proizvodnja električne energije (kogeneracija), transport, ili ubrizgavanje u mrežu prirodnog gasa, nakon uklanjanja zagađivača [2]. Procenjuje se da se upotreba energije iz biogasa udvostručila za jednu deceniju sa 14.5 GV u 2012. na 29.5 GV u 2022. godini [3]. Postoji sve veće interesovanje za proizvodnju biogasa širom sveta usled ekoloških, kao i ekonomskih i socijalnih razloga. Proizvodnja energije iz biogasa doprinosi proizvodnji obnovljive i održive energije, pošto se biogas može koristiti kao fleksibilna i predvidljiva alternativa za fosilna goriva.

Republika Srbija je kao zemlja kandidat za članstvo u Evropskoj Uniji prihvatila obavezu većeg korišćenja obnovljivih izvora energije u svom energetskom miksu. Donošenjem podsticajnog zakonodavnog okvira 2010. godine za investicije u obnovljive izvore energije, počela je izgradnja biogasnih postrojenja. Proizvodnja energije iz ovih ekološko-energetskih sistema beleži značajan rast poslednjih godina (Slika 1).



Slika 1. Primarna energija iz biogasa u Republici Srbiji u periodu od 2017.-2021.[4]

Najviše biogasnih postrojenja u Republici Srbiji locirano je na teritoriji AP Vojvodina (Slika 2), imajući u vidu da je to područje sa najvećom poljoprivrednom proizvodnjom, čiji se otpadni tokovi koriste za proizvodnju biogasa. Ukupna instalisana snaga biogasnih postrojenja u Republici Srbiji iznosi 34.28 MW[5].



Slika 2. Lokaliteti biogasnih postrojenja u Srbiji [5]

Tokom procesa kogeneracije biogasa nastaje emisija gasova (ugljen dioksida, sumpor dioksida, azotnih oksida, metana) i čestica. Neke od ovih supstanci su gasovi sa efektom staklene bašte (ugljen dioksida i metan), dok sumpor dioksid, azotni oksidi i čestice imaju štetan uticaj na ljudsko zdravlje. Cilj ovog rada je da razmatrajući sistem najčešće instalisanih biogasnih elektrana u Srbiji, kvantifikuje ovu emisiju u atmosferu iz biogasnog postrojenja, kao i da uporedi sa referentnom vrednošću emisije gasova sa efektom stalene bašte za kogenerativna postrojenja koja koriste fosilna goriva.

Metodologija

Razmatrajući proizvođače električne energije iz biogasa, može se zaključiti da se najveći broj biogasnih postrojenja u Srbiji nalazi na velikim poljoprivrednim farmama i postrojenjima za tretman otpadnih voda. Kada govorimo o instalisanoj snazi ovih postrojenja ona se kreće od 250 kW do 3.5 MW [5]. Najveći broj postrojenja ima instalisanu snagu od 999 kW (~1 MW) i ova instalisana snaga (PBG) biogasnog postrojenja je korišćena u ovom radu za razmatranje emisija u atmosferu tokom proizvodnje električne energije u kogenerativnom procesu iz biogasa.

Imajući u vidu činjenicu da broj radnih sati biogas postrojenja iznosi od 5,000 - 7,800 godišnje [6,7], usvojeno je u ovom istraživanju da broj radnih sati biogas postrojenja (N) iznosi 7,500 časova godišnje.

Godišnja proizvedena električna energije (WE) u procesu kogeneracije iz biogasa računata je kao:

$$WE = PBG * N \quad (1)$$

Za ovu proizvedenu količinu električne energije potrebno je obezbediti odgovarajuću zapreminu biogasa (VBG) koja je određena iz jednačine (2).

$$VBG = WE / (LHV_{BG} * \mu) \quad (2)$$

gde je:

μ -Stepen energetske efikasnosti u proizvodnji električne energije, koji je u biogas kogenerativnim postrojenjima u opsegu od 0.25 - 0.6 [2,8-9], i u ovoj studiji usvojeno je da μ iznosi 0.4.

LHV_{BG} je donja toplotna moć biogasa (60% metana u biogasu) - 6 kWh/m³N [10].

Količina svakog emitovanog polutanta Q_{PI} , determinisana je korišćenjem jednačine (3).

$$Q_{PI} = VBG * LHV_{BG} * E_{fi} \quad (3)$$

Emisioni faktori za svaki polutant dati su u Tabeli 1.

Tabela 1. Emisioni faktori polutanata iz kogenerativnog biogas postrojenja

Substanca	Emisioni faktor (E_{fi}) (g/GJ)	Reference
CO ₂	77,170	[11]
SO ₂	25	[11]
NO _x	202	[11]
CH ₄	323	[12]
PM	2.63	[12]

Rezultati i Diskusija

Korišćenjem jednačine (1) izračunata je godišnja proizvedena električna energija iz biogasnog postrojenja snage 1MW, koja je iznosila 7,500,000 kWh. Za ovu proizvodnju električne energije bilo je potrebno obezbediti 3,125,000 m³N biogasa, koji je određena iz jednačine (2). Imajući u vidu da prosečno domaćinstvo u Srbiji troši godišnje oko 5,000 kWh električne energije [13], proizvedena količina električne energije iz biogasnog postrojenja je dovoljna za snabdevanje električnom energijom 1,500 domaćinstava. Korišćenjem jednačine (3) i emisionih faktora iz Tabele 1. izračunate su vrednosti emisije za svaku zagađujuću supstancu i prikazane su u Tabeli 2.

Tabela 2. Emisije za svaku zagađujuću supstancu iz biogas kogeneracije

Substanca	Ukupna emisija polutnata (kg)
CO ₂	5,208,975
SO ₂	1,687.5
NO _x	13,635
CH ₄	21,802.5
PM	177.525

Poznajući vrednosti u Tabeli 2. za ugljen dioksid i metan, kao i preporuke Međunarodnog panela za klimatske promene za sledeće faktore: $1\text{ kg CO}_2 = 1\text{ kg CO}_2\text{ eq}$, $1\text{ kg CH}_4 = 25\text{ kg CO}_2\text{ eq}$ [6], moguće je izračunati ekvivalentnu emisiju gasova sa efektom staklene bašte ($\text{kg CO}_2\text{ eq}$) kao:

$$\text{TCO}_2\text{eq} = \text{TCO}_2 + \text{TCH}_4 \quad (4)$$

gde su:

TCO_2eq - ukupna ekvivalentna emisija gasova sa efektom staklene bašte

TCO_2 - ekvivalentna emisija GHG za ugljen-dioksid

TCH_4 - ekvivalentna emisija GHG za metan

Sprovedena kalkulacija je pokazala da ekvivalentna emisija gasova sa efektom staklene bašte iznosi $5,754,037.5\text{ kg CO}_2\text{eq}$. Koristeći ovu vrednost i količinu proizvedene električne energije, moguće je odrediti specifičnu emisiju gasova sa efektom staklene bašte, kao $0.77\text{ kg CO}_2\text{ eq/kWh}$ električne energije. Dobijeni rezultat je daleko manji od specifične emisije gasova sa efektom staklene bašte za proizvodnju električne i toplotne energije u Republici Srbiji ($1.085\text{ kg CO}_2\text{ eq/kWh}$ energije) [14]. Takođe, izračunata specifična emisija gasova sa efektom staklene bašte je u dobrom slaganju sa onom koju su dobili Bachmaier i saradnici u svojim istraživanjima ($573\text{--}910\text{ g CO}_2\text{eq/kWh}$) [15], kao i (Cuéllar i Webber) ($685\text{ g CO}_2\text{eq/kWh}$) [16].

Zaključak

U ovom radu izvršena je kvantifikacija emisija (ugljen dioksida, sumpor dioksida, azotnih oksida metana i čvrstih čestica) u atmosferu iz tipičnog biogasnog postrojenja u Republici Srbiji instalisane snage od 1 MW . Rezultati dobijeni u ovom radu pokazuju da kogenerativna proizvodnja energije iz analiziranog biogasnog postrojenja dovodi do emisije $5,208.975\text{ tona CO}_2$, 1.687 tona SO_2 , 13.635 tona NO_x , 21.80 tona CH_4 , kao i 0.177 tona PM čestica. Nadalje, sprovedena analiza pokazala je da ukupna ekvivalentna emisija gasova sa efektom staklene bašte za ovo biogasno postrojenje iznosi $5,754,037.5\text{ kg CO}_2\text{eq}$, dok specifična emisija iznosi $0.77\text{ kg CO}_2\text{eq/kWh}$ električne energije. Dobijeni rezultati pokazuju da proizvodnja električne energije iz kogeneracije biogasa predstavlja dobru alternativu za proizvodnju električne energije iz fosilnih resursa.

Zahvalnica

Ovaj rad finansijski je podržalo Ministarstvo nauke, tehnološkog razvoja i inovacija Republike Srbije (Grant br. 451-03-68/2023-14/200026).

Reference

1. M.A. Qyyum, R. Dickson, S.F.A. Shah, H. Niaz, A. Khan, J. J. Liu, M. Lee, Availability, versatility, and viability of feedstocks for hydrogen production: product space perspective, *Renew. Sustain. Energy. Rev.*, **110843**, 2021.
2. A. Rafiee, K. R. Khalilpour, J. Prest, I. Skryabin, Biogas As An Energy Vector, *Biomass And Bioenergy*, 144, **105935**, 2021.
3. A.I. Adnan, M.Y. Ong, S. Nomanbhay, K.W. Chew, P. L. Show, Technologies For Biogas Upgrading To Biomethane: A Review, *Bioengineering*, **6**, 92, 2019.
4. Bilans Biogasa. Available: <https://www.stat.gov.rs/media/358394/balance-of-biogas-in-2021-previous-data.pdf>.
5. Registar Povlašćenih Proizvođača, Available: https://mre.gov.rs/sites/default/files/registri/RegistarPovlasPro12-8-2022.html#Sec_Biogas

6. J. Pucker, G. Jungmeier, S. Siegl, E.M. Potsch, Anaerobic digestion of agricultural and other substrates—implications for greenhouse gas emissions, *Animal*, **7**, 283–29, 2013.
7. C. Hennig, M. Gawor, Bioenergy production and use: Comparative analysis of the economic and environmental effects, *Energ. Convers. Manage.*, **63**, 130–13, 2012.
8. A. Trendewicz, R.J. Braun, Techno-economic analysis of solid oxide fuel cell based combined heat and power systems for biogas utilization at waste water treatment facilities, *J. Power Source*, **233**, 380-393, 2013.
9. M. J. B. Kabeyi & O. A. Olanrewaju, Technologies for biogas to electricity conversion, *Energy Reports*, **8**, 774-786, 2022.
10. AEBIOM, 2009. A biogas road map for Europe. European Biomass Association Available: https://www.big-east.eu/downloads/brochure_biogasroadmap_web%5b1%5d.pdf.
11. V. Paolini, F. Petracchini, M. Segreto, L. Tomassetti, N. Naja, A. Cecinato, 2018. Environmental impact of biogas: a short review of current knowledge, *J. Environ. Sci. Health A*, **53 (10)**, 899–906.
12. P.G. Kristensen, J. K. Jensen, M. Nielsen, J. B. Illerup, Emission Factors for Gas Fired CHP Units <25 MW, Danish Gas Technology Centre and National Environmental Research Institute of Denmark, 2004.
13. Potrošnja Električne Energije. Available: <https://www.politika.rs/scc/clanak/455113/Domacinstva-u-Srbiji-trose-50-odsto-vise-struje-od-evropskih>.
14. IRENA, Available:https://www.irena.org/irenadocuments/statistical_profiles/europe/serbia_europe_re_sp.pdf
15. J. Bachmaier, M. Effenberger, A. Gronauer, Greenhouse gas balance and resource demand of biogas plants in agriculture, *Eng. Life Sci.* **6**, 560–569, 2010.
16. A. D. Cuélar, M. E. Webber, Cow power: the energy and emissions benefits of converting manure to biogas, *Environ. Res. Lett.*, **3(3)**, 034002, 2008.