



# Processing '23

36. Međunarodni kongres o procesnoj industriji

1. i 2. jun 2023, Centar za stručno usavršavanje, Šabac

## ZBORNİK RADOVA Proceedings



ElixirGroup

**ZBORNİK RADOVA**  
**pisanih za 36. Međunarodni kongres o procesnoj industriji**  
**PROCESING '23**

Centar za stručno usavršavanje, Šabac

**Izdavač**

Savez mašinskih i elektrotehničkih  
inženjera i tehničara Srbije (SMEITS)  
Društvo za procesnu tehniku  
Kneza Miloša 7a/II,  
11000 Beograd

**Predsednik Društva za procesnu tehniku  
pri SMEITS-u**

prof. dr Aleksandar Jovović, dipl. inž.

**Urednici**

Prof. dr Marko Obradović, dipl. inž.  
Prof. dr Miroslav Stanojević, dipl. inž.  
Prof. dr Aleksandar Jovović, dipl. inž.

**Tiraž**

50 primeraka

**CD umnožava**

Paragon, Beograd

**ISBN**

978-86-85535-15-4

**Godina izdavanja**

2023.



Društvo za procesnu tehniku  
pri SMEITS-u



Katedra za procesnu tehniku  
Mašinskog fakulteta u Beograd



Samit energetike Trebinje  
Trebinje

CIP - Каталогизација у публикацији  
Народна библиотека Србије, Београд

Održavanje 36. Procesinga finansijski je pomoglo  
Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog  
razvoja Republike Srbije



### Programski pokrovitelji

- MAŠINSKI FAKULTET UNIVERZITETA U BEOGRADU, BEOGRAD
- TEHNOLOŠKO-METALURŠKI FAKULTET UNIVERZITETA U BEOGRADU, BEOGRAD
- FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA UNIVERZITETA U NOVOM SADU, NOVI SAD
- FAKULTET ORGANIZACIONIH NAUKA UNIVERZITETA U BEOGRADU, BEOGRAD

### Generalni pokrovitelj



Elixir Group  
Šabac

### 36. Processing se održava uz podršku



Institut za nuklearne nauke „Vinča“  
Beograd



Inženjerska komora Srbije  
Beograd

### Sponzori



Beograd



Beograd



Beograd



Subotica

## MEĐUNARODNI NAUČNI ODBOR

- Dr Nikolina Banjanin** *Univerzitet u Beogradu, Medicinski fakultet, Institut za higijenu sa medicinskom ekologijom, Beograd*
- Dr Maja Đolić** *Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd*
- Dr Mirko Dobrnjac** *Mašinski fakultet Banja Luka, BiH*
- Dr Damir Đaković** *Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*
- Dr Srbislav Genić** *Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, Beograd*
- Dr Zvonimir Guzović** *Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Hrvatska*
- Dr Gorica Ivaniš** *Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd*
- Dr Jelena Janevski** *Univerzitet u Nišu, Mašinski fakultet, Niš*
- Dr Rade Karamarković** *Univerzitet u Kragujevcu, Fakultet za mašinstvo i građevinarstvo, Kraljevo*
- Dr Mirjana Kijevčanin** *Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd*
- Dr Atanas Kočov** *Univerziteta Skopje, Mašinski fakultet, Severna Makedonija*
- Dr Dorin Lelea** *University Politehnica Timisoara, Rumunija*
- Dr Stefan Mandić-Rajčević** *University of Milan, Italija*
- Dr Ljiljana Medić-Pejić** *Universidad Politécnica de Madrid, Španija*
- Dr Sanda Midžić-Kurtagić** *Mašinski fakultet, Univerzitet u Sarajevu, Sarajevo, BiH*
- Dr Dobrica Milovanović** *Univerzitet u Kragujevcu, Fakultet inženjerskih nauka, Kragujevac*
- Dr Biljana Miljković** *Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*
- Dr Srđan Nešić** *Ohio University, Russ College of Engineering and Technology, Ohio, SAD*
- Dr Branislava Nikolovski** *Univerzitet u Novom Sadu, Tehnološki fakultet, Novi Sad*
- Dr Nataša Nord** *Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Norveška*
- Dr Marko Obradović** *Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, Beograd (predsednik)*
- Dr Goran Orašanić** *Univerzitet u Istočnom Sarajevu, Mašinski fakultet, Sarajevo, Bosna i Hercegovina*
- Dr Nataša Petrović** *Univerzitet u Beogradu, Fakultet organizacionih nauka, Katedra za menadžment tehnologije, inovacija i održivog razvoja, Beograd*
- Dr Dejan Radić** *Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, Beograd*
- Dr Ivona Radović** *Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd*
- Dr Jelena Ruso** *Univerzitet u Beogradu, Fakultet organizacionih nauka, Katedra za menadžment kvaliteta i standardizaciju, Beograd*
- Dr Niko Samec** *Univerzitet u Mariboru, Mašinski fakultet, Slovenija*
- Dr Anastasija Selaković** *Udruženje energetičara Subotica, Subotica*
- Dr Stojan Simić** *Univerzitet u Istočnom Sarajevu, Mašinski fakultet, Sarajevo, Bosna i Hercegovina*
- Dr Dunja Sokolović** *Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*
- Dr Mirjana Stamenić** *Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, Beograd*
- Dr Olivera Stamenković** *Univerzitet u Nišu, Tehnološki Fakultet, Leskovac*
- Dr Jasna Tolmač** *Univerzitet u Novom Sadu, Tehnički fakultet „Mihajlo Pupin“, Zrenjanin*
- Dr Radoje Vujadinović** *Univerzitet Crne Gore, Mašinski fakultet, Crna Gora*
- Dr Igor Vušanović** *Univerzitet Crne Gore, Mašinski fakultet, Crna Gora*
- Dr Nikola Živković** *Univerzitet u Beogradu, Institut za nuklearne nauke „Vinča“, Laboratorija za termotehniku i energetiku, Beograd*
- Dr Milan Gojak** *Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, Beograd*
- Dr Čedo Lalović** *Akademija strukovnih studija Šumadija – Odsek Aranđelovac*

## ORGANIZACIONI ODBOR

<b>Dr Miroslav Stanojević</b>	<i>Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, Beograd (predsednik)</i>
<b>Dr Nikola Karličić</b>	<i>Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, Beograd (potpredsednik)</i>
<b>Slavica Bogdanović</b>	<i>inženjer specijalista za zaštitu životne sredine, Elixir Zorka, Šabac</i>
<b>Dr Dušan Todorović</b>	<i>Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, Beograd</i>
<b>Dr Zoran Simić</b>	<i>Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd</i>
<b>Doc. dr Nemanja Milenković</b>	<i>Univerzitet u Beogradu, Fakultet organizacionih nauka, Beograd (Katedra za operaciona istraživanja i statistiku)</i>
<b>Dr Milica Karanac</b>	<i>Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd</i>
<b>Dr Marta Trninić</b>	<i>Akademija tehničkih strukovnih studija Beograd – Odsek Beogradska politehnika</i>
<b>Branislav Todorović</b>	<i>Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, Beograd</i>
<b>Aleksandar Branković</b>	<i>SET Trebinje, Bosna i Hercegovina</i>

## POČASNI ODBOR

<b>Prof. dr Bratislav Blagojević</b>	<i>Predsednik SMEITS-a</i>
<b>Prof. dr Vladimir Popović</b>	<i>dekan Mašinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu</i>
<b>Prof. dr Petar Uskoković</b>	<i>dekan Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu</i>
<b>Prof. dr Milan Martić</b>	<i>dekan Fakulteta organizacionih nauka Univerziteta u Beogradu</i>
<b>Prof. dr Srđan Kolaković</b>	<i>dekan Fakulteta tehničkih nauka Univerziteta u Novom Sadu</i>
<b>Prof. dr Svetlana Karić</b>	<i>Predsednik Akademije strukovnih studija Šabac</i>
<b>Prof. dr Martin Bogner</b>	<i>Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, Beograd</i>
<b>Prof. dr Snežana Pajović</b>	<i>Institut za nuklearne nauke "Vinča" – Institut od nacionalnog značaja za Republiku Srbiju – Univerzitet u Beogradu</i>
<b>Jovana Jovanović</b>	<i>ATS – Akreditaciono telo Srbije, Beograd</i>
<b>Mijodrag Martić</b>	<i>pomoćnik direktora za proizvodnju i tehnološki razvoj hemijske divizije, Elixir Group, Šabac</i>
<b>Aleksandar Branković</b>	<i>SET Trebinje</i>
<b>Veljko Todorović</b>	<i>Grundfos Srbija, Beograd</i>
<b>Dejan Dotlić</b>	<i>Kazantrade Solution, Beograd</i>
<b>Čaba Kern</b>	<i>Cim gas, Subotica</i>
<b>Nemanja Tubić</b>	<i>Wilo Beograd, Beograd</i>

## ORGANIZATOR

Savez mašinskih i elektrotehničkih  
inženjera i tehničara Srbije (SMEITS),  
**Društvo za procesnu tehniku**  
Kneza Miloša 7a/II, 11000 Beograd  
Tel. +381 (0) 11 3230-041, +381 (0) 11 3031-696,  
tel./faks +381 (0) 11 3231-372  
E-mail: office@smeits.rs  
web: www.smeits.rs

12.	CIRKULARNA HEMIJA KAO ODGOVOR NA KRIZU IZAZVANU NEDOSTATKOM FOSFATA Alija SALKUNIĆ, Ljiljana STANOJEVIĆ, Nikola BELOBABA, Slavica BOGDANOVIĆ, Bajro SALKUNIĆ . . . . .	93
13.	OD OTPADNE LJUSKE JAJA I KORIŠĆENOG KUHINJSKOG ULJA DO TEČNIH I ČVRSTIH BIOGORIVA POŠTUJUĆI POSTULATE CIRKULARNE EKONOMIJE Gorica R. IVANIŠ, Zoran V. SIMIĆ, Sofija P. MIŠKOV PANIĆ, Mirjana Lj. KIJEVČANIN, Ivona R. RADOVIĆ . . . . .	95
14.	OTPORNOST ZIDA OD BALIRANE SLAME NA POŽAR Biljana M. MILJKOVIĆ . . . . .	97
15.	MODELOVANJE SASTAVA SANITARNIH OTPADNIH VODA I RADA MBR POSTROJENJA SA DENITRIFIKACIJOM I NITRIFIKACIJOM David MITRINOVIĆ, Marija PEROVIĆ, Srđan KOVAČEVIĆ, Miodrag POPOVIĆ, Zorana RADIBRATOVIĆ . . . . .	99
16.	ZELENE TEHNOLOGIJE – REŠENJA ZA PRILAGOĐAVANJE KLIMATSKIM PROMENAMA Titomir OBRADOVIĆ, Violeta ERIĆ . . . . .	101
17.	KONTINUALNI SISTEM ZA OBEZBOJAVANJE OTPADNIH VODA. PRIMENA UMREŽENE PEROKSIDAZE IZ POLJOPRIVREDNOG OTPADA U UKLANJANJU BOJE Milica SVETOZAREVIĆ, Nataša ŠEKULJICA, Maja MARKOVIĆ, Ana DAJIĆ, Marina MIHAJLOVIĆ, Dušan MIJIN . . . . .	107
18.	UTICAJ ENERGETSKE SANACIJE STAMBENIH ZGRADA NA POTROŠNJU TOPLOTNE ENERGIJE U SISTEMIMA DALJINSKOG GREJANJA Đorđe KARIĆ . . . . .	113
19.	STABILIZACIJA MATRICE LETEĆEG PEPELA PRIMENOM KALCIJUM – OKSIDA, HIDROKSIDA I KARBONATA Mirjana ČUJIĆ, Marina VITOROVIĆ, Milica STOJKOVIĆ, Maja ĐOLIĆ, Aleksandra PERIĆ-GRUJIĆ . . . . .	115
20.	PREVRELI OSTATAK IZ BIOGASNIH POSTROJENJA VISOKOKVALITETNO ĐUBRIVO Stojan SIMIĆ, Davor MILIĆ, Goran ORAŠANIN, Srđan VASKOVIĆ, Jovana BLAGOJEVIĆ, Krsto BATINIĆ . . . . .	117
21.	BIOGAS U PROIZVODNJI BIOVODONIKA REFORMINGOM VODENOM PAROM Slobodan CVETKOVIĆ, Jovana PERENDIJA, Aleksandra RADOMIROVIĆ, Dragana MILOŠEVIĆ, Mirjana KIJEVČANIN . . . . .	125

## **Projektovanje, izgradnja, eksploatacija i održavanje procesnih postrojenja**

22.	PRAĆENJE PROJEKTNIH PARAMETARA KOD BAC KULA ZA HLAĐENJE Nemanja STOJANOVIĆ, Martin BOGNER . . . . .	127
23.	PRORAČUN VEZE IZMEĐU CEVI CEVNOG SNOPA I CEVNE PLOČE RAZMENJIVAČA TOPLOTE PO JUS M.E2.259 (AD 2000) I SRPS EN 13445-3:2010 – UPOREDNA ANALIZA Lazar ĐORĐEVIĆ . . . . .	131

# STABILIZACIJA MATRICE LETEĆEG PEPELA PRIMENOM KALCIJUM-OKSIDA, HIDROKSIDA I KARBONATA

## STABILIZATION OF FLY ASH MATRIX USING CALCIUM-OXIDE, HYDROXIDE AND CARBONATE

Mirjana ČUJIC<sup>1</sup>, Marina VITOROVIĆ<sup>2</sup>, Milica STOJKOVIĆ<sup>2\*</sup>,  
Maja ĐOLIĆ<sup>2</sup>, Aleksandra PERIĆ-GRUJIĆ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institut za nuklearne nauke "Vinča", Univerzitet u Beogradu

<sup>2</sup> Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd

*Sagorevanjem uglja u termoelektranama nastaju velike količine letećeg pepela koji u svom sastavu sadrži teške metale i metaloide čije izluživanje može narušiti stanje životne sredine u velikoj meri.*

*Cilj ovog rada jeste optimizacija procesa stabilizacije matrice letećeg pepela upotrebom oksida, hidroksida i karbonata kalcijuma, kao i ispitivanje stepena desorpcije (izluživanje) elemenata u desorpcionim rastvorima. Stabilizacijom letećeg pepela omogućila bi se njegova dalja upotrebe u građevinskoj industriji ili u svrhu adsorbenta.*

*Kako bi se dobili optimalni uslovi korišćeno je nekoliko različitih stabilizatora (CaO, Ca(OH)<sub>2</sub> i CaCO<sub>3</sub>) u različitim koncentracijama (5% i 7%). Variraran je i sastav desorpcionog rastvora (dejonizovana voda i 4% i 8% sirćetna kiselina) kao i odnos letećeg pepela i desorpcionog rastvora (1:10 i 1:30). Koncentracija jona teških metala i metaloide (V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, As, Cd, Pb) određivana je metodom masene spektrometrije sa indukovano spregnutom plazmom (ICP-MS).*

*Za obradu podataka rađena je multivarijaciona statistička analiza (korelaciona analiza, analiza glavnih elemenata i klusterska analiza). Korišćen je statistički softver MINITAB.*

**Ključne reči:** *leteći pepeo; stabilizacija; izluživanje; teški metali; metaloidi*

*Combustion of coal in thermal power plants produces large amounts of fly ash, which contains heavy metals and metalloids, and their leaching can greatly damage the environment.*

*The aim of this paper is to optimize the process of stabilization of the fly ash matrix using calcium oxide, hydroxide and carbonate, as well as to examine the degree of desorption (leaching) of elements in desorption solutions. Stabilization of fly ash would enable its further use in the construction industry or as an adsorbent.*

*In order to obtain optimal conditions, several different stabilizers (CaO, Ca(OH)<sub>2</sub> and CaCO<sub>3</sub>) were used in different concentrations (5% and 7%). The composition of the desorption solution (deionized water and 4% and 8% acetic acid) is also variable, as is the ratio of fly ash to the desorption solution (1:10 and 1:30). The concentration of heavy metal ions and metalloids (V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, As, Cd, Pb) was determined by the method of Inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS).*

*Multivariate statistical analysis (correlation analysis, principal component analysis (PCA) and cluster analysis (CA)) was performed for data processing. MINITAB statistical software was used.*

**Key words:** *fly ash; stabilization; leaching; heavy metals; metalloids*

\* Corresponding author, e-mail: mstojkovic@tmf.bg.ac.rs