



UDRUŽENJE ZA TEHNOLOGIJU VODE I SANITARNO INŽENJERSTVO
ASSOCIATION FOR WATER TECHNOLOGY AND SANITARY ENGINEERING

UDRUŽENJE VODOVODA I KANALIZACIJE SRBIJE
WATERWORKS AND SEWERAGE ASSOCIATION OF SERBIA

u saradnji sa / in cooperation with

PRIVREDNOM KOMOROM SRBIJE
CHAMBER OF COMMERCE AND INDUSTRY OF SERBIA

GRADOM KRAGUJEVAC
CITY OF KRAGUJEVAC

i / and

JKP VODOVOD I KANALIZACIJA KRAGUJEVAC
PUBLIC COMMUNAL COMPANY WATERWORKS AND SEWERAGE KRAGUJEVAC

KONFERENCIJA

OTPADNE VODE, KOMUNALNI ČVRSTI OTPAD I OPASAN OTPAD

CONFERENCE

WASTE WATERS,
MUNICIPAL SOLID WASTES
AND HAZARDOUS WASTES



3 – 5. april 2024. godine, KRAGUJEVAC – Hotel Šumarice
3th- 5th April 2024, KRAGUJEVAC – Hotel Šumarice

UDRUŽENJE ZA TEHNOLOGIJU VODE I SANITARNO INŽENJERSTVO
ASSOCIATION FOR WATER TECHNOLOGY AND SANITARY ENGINEERING

UDRUŽENJE VODOVODA I KANALIZACIJE SRBIJE
WATERWORKS AND SEWERAGE ASSOCIATION OF SERBIA

u saradnji sa / in cooperation with

PRIVREDNOM KOMOROM SRBIJE / CHAMBER OF COMMERCE AND INDUSTRY OF SERBIA

GRADOM KRAGUJEVCOM / CITY OF KRAGUJEVAC

i/and

JKP VODOVOD I KANALIZACIJA KRAGUJEVAC
PUBLIC COMMUNAL COMPANY WATERWORKS AND SEWERAGE KRAGUJEVAC

KONFERENCIJA / CONFERENCE

OTPADNE VODE, KOMUNALNI ČVRSTI OTPAD I OPASAN OTPAD

WASTE WATERS, MUNICIPAL SOLID WASTES AND HAZARDOUS WASTES

3 – 5. april 2024. godine, KRAGUJEVAC – Hotel Šumarice
3rd- 5th April 2024, KRAGUJEVAC – Hotel Šumarice

Izdavač
UDRUŽENJE ZA TEHNOLOGIJU VODE I SANITARNO INŽENJERSTVO
Beograd, Terazije 23/IV/416

Za izdavača
Predrag Bogdanović, dipl.inž.građ., predsednik Upravnog odbora Udruženja za tehnologiju vode i sanitarno inženjerstvo

Organizacioni odbor / Organizing committee
Nebojša Jakovljević, dipl.ecc, predsednik

Izvršno - redakcioni odbor / Executive - editorial board
Prof. dr Milena Bečelić – Tomin, dipl.hem, predsednik, PMF NS
Prof. dr Vladana Rajaković – Ognjanović, dipl.inž.tehnol, GF, BG
Prof. dr Đurđa Kerkez, dipl.hem, PMF NS
Prof. dr Vladimir Pavićević, dipl.inž.tehnol, TMF BG
Gordana Perović, dipl.inž.tehnol, UTVSI
Dr Radmila Šerović, dipl.inž.tehnol, MZŽS
Zoran Marinković, dipl.inž.građ, UTVSI
Prof. dr Goran Vujić, dipl.inž.maš, FTN NS
Prof. dr Gordana Stefanović, dipl.inž.tehnol, MAŠ. FAK. Niš
Prof. dr Ana Popović, dipl.inž.tehnol, TMF BG

Tiraž: 200 primeraka

ISBN– 978-86-81618-17-2

Kompjuterska priprema
Katarina Čović, Beograd

Štampa
Planeta print d.o.o. Beograd

CIP - Каталогизација у публикацији
Народна библиотека Србије, Београд

628.3/.4(082)
502/504(082)

КОНФЕРЕНЦИЈА Отпадне воде, комунални чврсти отпад и опасан отпад (53 ; 2024 ; Крагујевац)

Konferencija Otpadne vode, komunalni čvrsti otpad i opasan otpad, 3-5. april 2024. godine, Kragujevac / [organizatori] Udruženje za tehnologiju vode i sanitarno inženjerstvo ... [et al.] = Conference Waste Waters, Municipal Solid Wastes and Hazardous Wastes, 3rd-5th April 2024, Kragujevac / [organized by] Association for Water Technology and Sanitary Engineering ... [et al.]. - Beograd : Udruženje za tehnologiju vode i sanitarno inženjerstvo, 2024 (Beograd : Planeta Print). - 163 str. : ilustr. ; 25 cm

"... Udruženje ... organizuje 53. konferenciju 'Otpadne vode, komunalni čvrsti otpad i opasan otpad'". -> Predgovor. - Tiraž 200. - Bibliografija uz sve radove. - Abstracts.

ISBN 978-86-81618-14-1

a) Отпадне воде – Зборници б) Отпадне материје – Зборници
в) Опасне материје – Зборници г) Животна средина – Заштита – Зборници

COBISS.SR-ID 140928777

SADRŽAJ

A. OTPADNE VODE

A. WASTE WATERS

1. UZROCI ZAGAĐENJA VODNIH RESURSA I OPTEREĆENJA OTPADNIH
KOMUNALNIH VODA U REPUBLICI SRBIJI
*CAUSES OF POLLUTION OF WATER RESOURCES AND LOAD OF MUNICIPAL
WASTEWATER IN THE REPUBLIC OF SERBIA*
Radmila M. Šerović, Filip Abramović, Aleksandra Drobac, Nenad Radojević . . .13
2. FAKTORI KOJI UTIČU NA PRODUKCIJU BIOGASA NA POSTROJENJU ZA
TRETMAN OTPADNIH VODA
*FACTORS AFFECTING BIOGAS PRODUCTION AT A WASTEWATER TREATMENT
PLANT*
**Dejan Krčmar, Dragana Tomašević Pilipović, Vesna Pešić, Milena Bečelić-Tomin,
Aleksandra Kulić Mandić, Nataša Duduković, Đurđa Kerkez20**
3. DIGITALNA TRANSFORMACIJA UPRAVLJANJA ZAŠTITOM VODA
DIGITAL TRANSFORMATION OF WATER PROTECTION MANAGEMENT
Marija Milićević, Rastislav Trajković, Dragan Milićević27
4. RAZVOJ STRATEGIJA ZA UNAPREĐENJE SISTEMA UPRAVLJANJA VODNIM
RESURSIMA U GRADU BEOGRADU
*DEVELOPING WATER MANAGEMENT STRATEGIES FOR THE CITY OF
BELGRADE*
Đorđe Grizović, Vasilije Matijašević35
5. PRIMENA ANALITIČKIH ALATA ZA SAVREMENE TEHNOLOGIJE
UKLANJANJA ORGANSKIH MIKROPOLUTANATA IZ AKVATIČNIH
MEDIJUMA
*IMPLEMENTATION OF ANALYTICAL TOOLS FOR MODERN TECHNOLOGIES
OF ORGANIC MICROPOLLUTANTS REMOVAL FROM AQUATIC MEDIA*
**Mladenka Novaković, Ivana Mihajlović, Nevena Živančev, Tijana Adamov, Maja
Petrović40**
6. POTENCIJALI PRIMENE CRVENOG MULJA ZA UKLANJANJE TEŠKIH
METALA IZ OTPADNE VODE
*POTENTIAL APPLICATION OF RED MUD FOR THE REMOVAL OF HEAVY
METALS FROM WASTEWATER*
**Maja Rajković, Maja Đolić, Milica Stojković, Milica Karanac, Vladimir Pavićević,
Marija Šljivić-Ivanović.46**

7. POSTROJENJE ZA TRETMAN VODE OD PRANJA FILTERA NA PP „BEŽANIJA“ -
TEHNIČKO REŠENJE
*THE PLANT FOR TREATMENT WASTEWATER FROM WASHING FILTERS FROM
WTP „BEŽANIJA“ – TECHNICAL SOLUTION*
**Dragiša Žiguć, Olivera Glišović, Milica Sajić, Vladimir Kapetina, Dimitrije
Mihailović, Bojan Stanačević, Dragan Rajić**51

8. PREČIŠĆAVANJE I PONOVA UPOTREBA OTPADNIH VODA – MOGUĆNOSTI
I IZAZOVI
WASTEWATER TREATMENT AND REUSE - OPPORTUNITIES AND CHALLENGES
**Vesna Pešić, Milena Bečelić-Tomin, Đurđa Kerkez, Dejan Krčmar, Anita Leovac
Maćerak, Dragana Tomašević Pilipović, Nataša Slijepčević, Aleksandra Kulić
Mandić, Nataša Duduković**56

9. InfoLAB U MONITORINGU OTPADNIH VODA BEOGRADSKOG
KANALIZACIONOG SISTEMA
InfoLAB IN MONITORING OF WASTEWATER BELGRADE SEWERAGE SYSTEM
Jelena Vukić, Marija Mihajlovic-Kostić61

10. POSTROJENJE ZA VISOKOTEMPERATURNU REGENERACIJU
GRANULISANOG AKTIVNOG UGLJA NA PPV „MAKIŠ“
*HIGH-TEMPERATURE REGENERATION PLANT FOR GRANULATED ACTIVATED
CARBON AT WTP „MAKIŠ“*
**Bojan Marković, Bojan Stanačević, Dragan Rajić,
Olivera Glišović, Milica Sajić**66

11. REKONSTRUKCIJA CRPNE STANICE ZA RECIRKULACIJU MULJA NA
SPOV GRADA KRAGUJEVCA SA SPROVEDENIM MERAMA ENERGETSKE
EFIKASNOSTI
*RECONSTRUCTION OF THE SLUDGE RECIRCULATION PUMP STATION ON
THE WWTP OF THE CITY OF KRAGUJEVAC WITH IMPLEMENTED ENERGY
EFFICIENCY MEASURES*
Goran Ljubisavljević71

12. TRETIRANA KOMUNALNA OTPADNA VODA - POTENCIJALNI RESURS U
POLJOPRIVREDI
*TREATED MUNICIPAL WASTEWATER - A POTENTIAL RESOURCE IN
AGRICULTURE*
**Nataša Duduković, Anita Leovac Maćerak, Nataša Slijepčević, Vesna Pešić,
Milena Bečelić-Tomin, Dragana Tomašević Pilipović, Đurđa Kerkez**76

13. KVALITET OTPADNIH VODA SA VODOVODNOG SISTEMA „GRUŽA“
QUALITY OF WASTEWATER FROM THE “GRUŽA” WATER SUPPLY SYSTEM
Goran Gavrilovic82

14. POTENCIJAL IZABRANIH MIKROORGANIZAMA U PREČIŠĆAVANJU
OTPADNIH VODA
*THE POTENTIAL OF SELECTED MICROORGANISMS IN WASTEWATER
TREATMENT*
**Ivana Radojević, Katarina Ćirković, Aleksandar Ostojić, Goran Gavrilović, Ivan
Bogdanović, Marijana Vasić87**
15. ELEKTRIČNO POLJE ZA POVEĆANJE EFIKASNOSTI TRETMANA OTPADNE
VODE
ELECTRIC FIELD FOR INCREASING WASTEWATER TREATMENT EFFICIENCY
Ivana Dunić92

B. KOMUNALNI ČVRSTI OTPAD B. MUNICIPAL SOLID WASTES

1. EU TAKSONOMIJA - OKVIR ZA DEFINISANJE ODRŽIVIH AKTIVNOSTI I
PRIMENU CIRKULARNE EKONOMIJE
*EU TAXONOMY - A FRAMEWORK FOR DEFINING SUSTAINABLE ACTIVITIES
AND IMPLEMENTATION THE CIRCULAR ECONOMY*
Aleksandra Vučinić, Vesna Alivojvodić99
2. POLJOPRIVREDNI OSTACI KAO NEISKORIŠĆENI RESURS: PRILIKE I IZAZOVI
*AGRICULTURAL RESIDUES AS AN UNUSED RESOURCE: OPPORTUNITIES AND
CHALLENGES*
**Jelena Beljin, Jasmina Anojčić, Tajana Simetić, Sanja Mutić, Nina Đukanović,
Tamara Apostolović, Snežana Maletić106**
3. POTENCIJALI ZA PONOVRNO KORIŠĆENJE INDUSTRIJSKIH VRSTA OTPADA U
PUTNOJ INFRASTRUKTURI
*POTENTIALS FOR REUSE OF INDUSTRIAL TYPES OF WASTE IN ROAD
INFRASTRUCTURE*
Radmila M. Šerović, Ivana V. Jelić, Aleksandar R. Savić, Filip Abramović,113
4. INOVATIVNA REŠENJA ZA POPLOČAVANJE GRADOVA U CILJU SMANJENJA
EFEKATA POPLAVA PRIMENOM STRATEGIJE „NULA OTPADA“
*INNOVATIVE SOLUTIONS FOR CITY PAVING TO REDUCE THE EFFECTS OF
FLOODING USING A ZERO-WASTE STRATEGY*
**Vladana N. Rajaković-Ognjanović, Branislava Lekić, Zorana Naunović, Ognjen
Govedarica, Dimitrije Zakić, Marina Škondrić120**
5. IZGRADNJA REGIONALNOG CENTRA ZA UPRAVLJANJE OTPADOM
„KALENIĆ“, IZRADA TEHNIČKE DOKUMENTACIJE ZA IZVOĐENJE RADOVA
*CONSTRUCTION OF REGIONAL WASTE MANAGEMENT CENTER „KALENIĆ“ –
TECHNICAL DOCUMENTATION*
**Petar Isaković, Nemanja Đurović, Nemanja Milić, Nikola Žugić, Milica Nešović,
Milica Sajić, Petra Bujas, Dimitrije Stevanović125**

6. UTICAJ PUCANJA BRANE PLUTAJUĆEG OTPADA NA KVALITET VODE RIJEKE VRBAS
THE IMPACT OF FLOATING ANTI-WASTE DAM BREAKING ON THE RIVER VRBAS WATER QUALITY
Slobodanka Zorić, Aleksandra Tubić, Milena Bečelić-Tomin, Božo Dalmacija, Miroslava Marčić.....130

7. METRIKE ODRŽIVOSTI: KRITIČKI OSVRT NA INDIKATORE CIRKULARNE EKONOMIJE - EFIKASNOST I RAZVOJ
THE METRICS OF SUSTAINABILITY: A CRITICAL REVIEW OF CIRCULAR ECONOMY INDICATORS -EFFICACY AND DEVELOPMENT
Ana Momčilović, Gordana Stefanović, Marija Perkunić, Milica Ivanović135

8. PRIMENA TESTA IZLUŽIVANJA ZA PROCENU UTICAJA MODIFIKOVANIH BETONSKIH KOČKI NA VODE U OKRUŽENJU
APPLICATION OF THE LEACHING TEST FOR ASSESSING THE IMPACT OF MODIFIED CONCRETE CUBES ON ENVIRONMENTAL WATER
Vladana N. Rajaković-Ognjanović, Zorana Naunović, Ognjen Govedarica, Marina Škondrić140

9. KARAKTERIZACIJA BIOHEMIJSKIH PARAMETARA I SINERGIJSKIH EFEKATA KODIGESTIJE PRIMARNOG MULJA I OTPADA OD HRANE
CHARACTERIZING BIOCHEMICAL PARAMETERS AND SYNERGISTIC EFFECT OF CO-DIGESTION OF PRIMARY SLUDGE AND FOOD WASTE
Ivan Bogdanović, Nikola Rakić,146

10. UTICAJ TEMPERATURE PIROLIZE NA ODABRANE FIZIČKO-HEMIJSKE OSOBINE BIOUGLJA
INFLUENCE OF PYROLYSIS TEMPERATURE ON SELECTED PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF BIOCHAR
Nina Đukanović, Snežana Maletić, Jasmina Anojčić, Tajana Simetić, Sanja Mutić, Tamara Apostolović, Jelena Beljin.....151

11. TRANSFER STANICA „MLADENOVAC“ – IZVOĐENJE RADOVA
A TRANSFER STATION "MLADENOVAC" – CONSTRUCTION WORKS
Miloš Miljković, Miloš Čkonjević.155

12. SANACIJA NESANITARNE DEPPONIJE U TOPOLI, ISTRAŽNI RADOVI I TEHNIČKO REŠENJE
SANATION OF UNSANITARY LANDFILL IN TOPOLA, INVESTIGATIVE WORKS AND TECHNICAL SOLUTION
Bojan Marković, Gordana Perović, Vladimir Kapetina, Olivera Glišović, Jelena Radovanović, Milica Sajić, Marija Savković160

POLJOPRIVREDNI OSTACI KAO NEISKORIŠĆENI RESURS: PRILIKE I IZAZOVI

Jelena Beljin, Jasmina Anojčić, Tajana Simetić, Sanja Mutić,
Nina Đukanović, Tamara Apostolović, Snežana Maletić

*Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno-matematički fakultet, Departman za hemiju,
biohemiju i zaštitu životne sredine, Trg Dositeja Obradovića 3, Novi Sad, 21000, Srbija
jelena.beljin@dh.uns.ac.rs*

Rezime

Globalno, veliki broj poljoprivrednog otpada se stvara svakog dana kako bi se ispunili sve veći zahtevi brzorastuće populacije. Ograničeno i/ili nepravilno upravljanje istim stvorilo je hitnu potrebu da se osmisli strategija za njihovo korišćenje i valorizaciju, za održivost poljoprivrede, ishranu ljudi i zdravstvenu sigurnost. Poljoprivredni otpad se generiše iz različitih izvora uključujući ostatke useva, agroindustriju i stočarstvo. Neadekvatno upravljanje ovim otpadom, koje trenutno podrazumeva spaljivanje i/ili zakopavanje u zemlju, uzrokuje degradiranje vode, vazduha i zemljišta. Poslednjih godina, posebna pažnja se poklanja uticaju poljoprivrednog otpada na emisiju gasova staklene bašte. Dakle, valorizacijom i adekvatnim upravljanjem poljoprivrednim ostacima postoji potencijal da se utiče na bioekonomiju proizvodnjom proizvoda sa dodatnom vrednošću uključujući biođubriva, biocigle, biougali, bioplastiku, papir, biogoriva, industrijske enzime, organske kiseline itd. Ovaj pregledni rad obuhvata pregled vrsta i izvora poljoprivrednog otpada, proizvodnju biougla, mogućnosti i ograničenja njegove primene.

Ključne reči: poljoprivredni ostaci, cirkularna ekonomija, zagađenje

AGRICULTURAL RESIDUES AS AN UNUSED RESOURCE: OPPORTUNITIES AND CHALLENGES

Abstract

Globally, a large amount of agricultural waste is generated every day to meet the increasing demands of a rapidly growing population. Limited and/or improper management of the same has created an urgent need to design a strategy for their use and valorization, for the sustainability of agriculture, human nutrition, and health security. Agricultural waste is generated from various sources including crop residues, agro-industry, and animal husbandry. Inadequate management of this waste, which currently involves burning and/or burying it in the ground, causes degradation of water, air, and soil. In recent years, special attention has been paid to the impact of agricultural waste on greenhouse gas emissions. Thus, by valorization and adequate management of agricultural residues, there is potential to influence the bioeconomy by producing value-added products including biofertilizers, biobricks, biochar, bioplastics, paper, biofuels, industrial enzymes, organic acids, etc. This review includes an overview of types and sources of agricultural waste, biochar production, possibilities, and limitations of its application.

Key words: agricultural residues, circular economy, pollution

UVOD

Svetska populacija je eksponencijalno rasla od 1970. godine, dosežući 7,9 milijardi u 2021. godini, sa prognozom da će dostići 9 milijardi do 2050. i 11 milijardi do 2100 godine. Ovaj rast stavlja ogroman pritisak na sigurnost hrane u budućnosti. Povećana potražnja za hranom dovela je do intenzivnog uzgoja i proizvodnje useva, što je rezultiralo velikim porastom poljoprivrednog otpada. Otpad se generiše u različitim oblicima, uključujući ostatke useva, stočni otpad, otpad iz agroindustrije i otpad iz akvakulture. Ovaj rast poljoprivrednog otpada izaziva zabrinutost zbog njegovih ekoloških i zdravstvenih posledica. Nepravilno odlaganje može dovesti do emisije štetnih gasova staklene bašte, kao i zagađenja zemljišta, vazduha i vode. Međutim, poljoprivredni otpad takođe predstavlja važan resurs koji se može iskoristiti.

Strategije upravljanja poljoprivrednim otpadom mogu pomoći u smanjenju zagađenja i stvaranju dodatne vrednosti kroz proizvodnju raznih proizvoda. Ovo može uključivati konverziju otpada u kompost, biogoriva, organske kiseline i druge proizvode sa dodatnom vrednošću. Osim ekoloških koristi, ove strategije takođe mogu pružiti nove mogućnosti zapošljavanja i unapređenje održivosti poljoprivrede. Brze promene u životnoj sredini tokom poslednjih stotinu godina jasno ukazuju na neophodnost hitnog delovanja. To je evidentno u naporima svih svetskih država da postignu neutralnost u emisiji ugljenika, s ciljem očuvanja ekološke ravnoteže. U skladu sa Pariskim sporazumom, glavni cilj država je održavanje rasta globalne prosečne temperature znatno ispod 2°C u odnosu na preindustrijski period, što je označeno kao kritična granica od strane mnogih naučnika. Da bi se ostvario ovaj cilj, planira se zadržavanje emisije gasova staklene bašte na globalnom nivou na niskom nivou tokom narednih godina, nakon čega će se primeniti brze redukcije u skladu sa najnovijim naučnim saznanjima. Takođe se vodi računa o tome da će najsiriromašnijim zemljama biti potrebno više vremena da smanje svoje emisije.

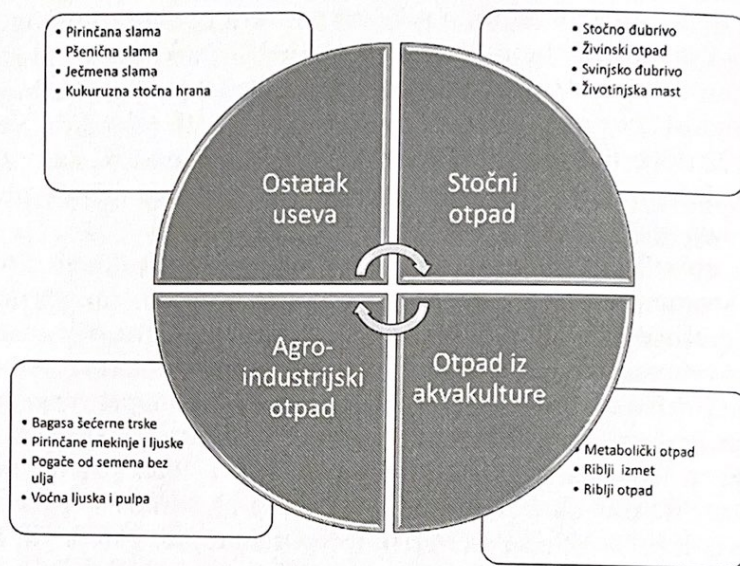
U ovom preglednom radu analiziraju se pregled vrste i izvori poljoprivrednog otpada, ističe se njihov potencijalni ekološki rizik, sa posebnim akcentom na proizvodnju biougla, način i uslovi proizvodnje, kao i mogućnosti i ograničenja njegove primene.

IZVORI POLJOPRIVREDNOG OTPADA

Da bi se osmislile specifične *in-situ* ili *ex-situ* strategije za upravljanje poljoprivrednim ostacima neophodno je da postoji jasno razumevanje, izvor, količina i tip otpadaka koji se generiše. Ostaci od žetve, stočni otpad, agroindustrijski otpad i otpad iz akvakulture su četiri glavna tipa poljoprivrednog otpada (Slika 1) [1].

- i. *Ostatak useva.* Ostaci useva kao što su lišće, kukuruz, pirinač, pšenica, zob, ječam, slamke i mahune su neki od otpada koji nastaje u poljoprivrednim poljima. Proizvodnja žetvenih ostataka trenutno iznosi oko 2800 Mt/god globalno. Samo mali deo žitnih ostataka pšenice, kukuruza i pirinča se koriste u proizvodnji bioetanola ili kao stočna hrana, dok se

ostatak odbacuje ili otvoreno/nasumično spaljuje na poljima. Globalna proizvodnja pirinčane slame je 731 Mt, a zanimljivo je da sama Azija proizvodi 667,6 Mt godišnje. Predviđa se da će do 2030. godine pirinčana slama u Indiji dostići 221,8 Mt/god. Godišnja proizvodnja pšenične slame dostiže 354,34 Mt, dok se proizvodnja kukuruza kreće oko 128,02 Mt.



Slika 1. Različiti izvori poljoprivrednog otpada

Figure 1. Different sources of agricultural waste

- i. **Stočni otpad.** Otpadne vode (sastoje se od vode koja se koristi na farmama, tečni stajnjak, sokovi za silažu), čvrsto đubrivo (poljoprivredni stajnjak) i tečni stajnjak (urinarni otpad), tri su glavna oblika stočnog otpada. Životinjsko đubrivo se proizvodi u evropskom poljoprivrednom sektoru po stopi od nešto više od 1500 Mt/god. Od ovog otpada, na stočni stajnjak otpada 1284 Mt, a na svinjski stajnjak oko 295 Mt. Stajnjak koji nije tretiran mogao bi da ima negativne efekte na kvalitet zemljišta, vazduha i vode. Zagađenje površinskih i podzemnih voda, kao i zemljišta može biti uzrokovano kontaminacijom patogenima i ispiranjem čvrstog otpada i tečnog đubriva koje je bogato hranljivim materijama. Stajnjak zagađuje životnu sredinu oslobađanjem ugljen-dioksida (18%) i metana (57%), što dovodi do povećanja efekta staklene bašte..
- ii. **Agroindustrijski otpad.** Agroindustrijski otpad je još jedna kategorija poljoprivrednog otpada koja predstavlja nusproizvode proizvedene u prehrambenoj industriji. To uključuje npr. melasu i bagasu iz industrije za proizvodnju šećera, pirinčane ljuske, koru povrća i voća i kominu, ostatke skroba, ljuske jajeta, koža živine i životinja na farmi, i meso iz odgovarajućih industrija. Bagasa šećerne trske se u velikoj meri proizvodi kao agroindustrijski otpad koji se akumulira nakon vađenja šećerne trske. Otprilike 180,73 Mt bagase šećerne trske je dobijeno svake godine širom

sveta i ova cifra može dostići 221 Mt ukoliko materijal nije adekvatno odlagan, nije vršeno odvajanje korisnih materijala kao što su papir, metal, plastika i guma, a tek poslednjih godina korišćenjem kompaktora, sprečava se dublje prodiranje vazduha i vode u deponovani materijal.

- iii. *Otpad iz akvakulture.* Rast globalne ljudske populacije je takođe rezultirao povećanjem potražnje za ribom. Akvakultura je rezultat režima intenziviranja poljoprivrede i predstavlja brzo rastuće polje poljoprivrede. Uzgoj i sakupljanje slatkovodnih/morskih riba/školjaka i vodenih biljaka, pa čak i održavanje njihovih ugroženih vrsta je povezano sa akvakulturom. Međutim, kako polje akvakulture raste, proizvodnja raste, raste i kontaminacija voda i otpad od stočne hrane postaje ozbiljan problem i predstavlja pretnju za životne sredine i ometa održivost akvakulture.

PROIZVODNJA BIOUGLJA IZ POLJOPRIVREDNOG OTPADA

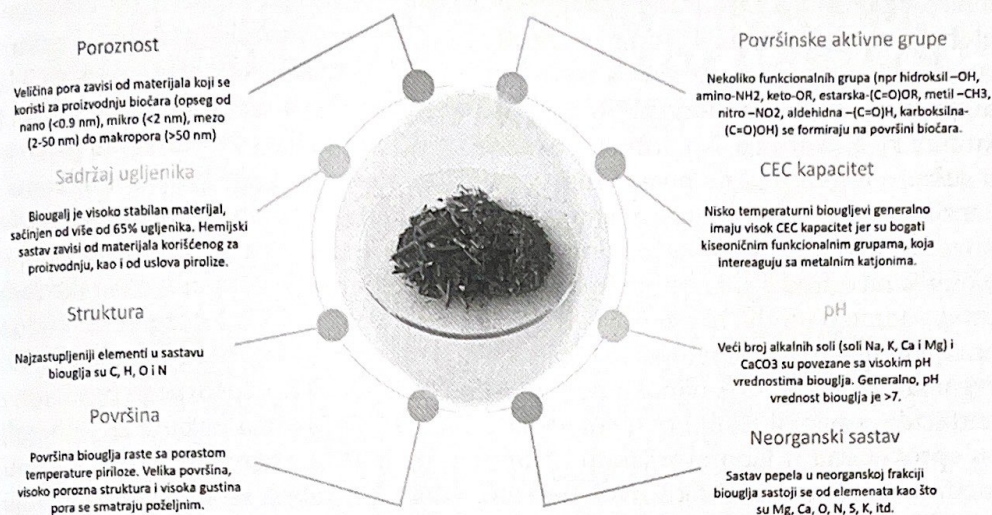
Kao što je već napomenuto, na globalnom nivou, poljoprivredni otpad ili biljni ostaci predstavljaju značajan problem po pitanju uticaja na životnu sredinu zbog njihove uloge u povećanju gasova staklene bašte emisije. Raniji način upravljanja poljoprivrednim otpadom podrazumevao je uglavnom spaljivanje na samom mestu nastanka, što je doводilo do niza otvorenih pitanja vezano za uticaj na globale promene. Iz tog razloga, naučnici širom sveta pokušavaju da dođu do najboljeg rešenja za upravljanje takvim otpadom. Najčešća primena podrazumeva malčiranje zemljišta, organska đubriva i proizvodnju biouglja. Biougalj ili biočar je supstanca koja se ekstrahuje iz različitih komponenti procesom termičke konverzije sa ograničenom isporukom kiseonika na temperaturama manjim od 1000°C. Biougalj je ugalj proizveden pirolizom, koji se karakteriše dobrom poroznom strukturom sa dovoljno funkcionalnih grupa, sadrži različite neorganske hranljive materije i stabilne ugljenične komponente. Biougalj je stabilna hranljiva materija u zemljištu u poređenju sa drugim vrstama organskih hranljivih materija i igra ključnu ulogu u adsorpciji i mineralizaciji. Može povećati dostupnost hranljivih materija u zemljištu i poboljšati kvalitet zemljišta. Karakteristike proizvedenog biouglja (slika 2) zavisi od tri faktora: (i) metode (temperature i drugih proizvodnih parametara), (ii) vrste biomase (ljuske pirinča, otpad od hrane, nusproizvodi životinjskog porekla i drugi različiti čvrsti otpad) i (iii) proizvodne tehnologije (piroliza, termička karbonizacija, gasifikacija) [2,3]. Biougalj proizveden na različitim temperaturama pokazuje različite funkcije i svojstva.

PRIMENA BIOUGLJA

Biougalj sadrži visok procenat ugljenika koji sadrži kiseonične grupe, komponente inertnog ugljenika i ima veliku površinu. Pored toga, ima strukturu pora koja dovodi do povećanog potencijala za sekvestraciju ugljenika, smanjenja gasova staklene bašte, povećane plodnosti zemljišta i povećava prinos useva. Struktura i svojstva biouglja utiču na njegovu primenu. Biougalj se takođe može

koristiti za proizvodnju biogoriva. Primarne metode primene biougla u zemljištu podrazumevaju apliciranje u gornji sloj zemlje u cilju inkorporacije, dubinske primene i prihrane. Biougalj pozitivno utiče na svojstva zemljišta povećavajući zadržavanje vode, propusnost i plodnost zemljišta. Dakle, biougalj je našao primenu u različitim sferama[1-4]:

- i. Poboljšava svojstva tla. Primena biougla na poljoprivrednom zemljištu poboljšava zemljišnu strukturu utičući na fizičke, hemijske i biološke osobine, što pomaže poljoprivrednom zemljištu da poveća svoj kapacitet apsorpcije hranljivih materija. Jedna od bitnijih karakteristika biougla je da ima izreženu sposobnost adsorpcije i uklanjanja potencijalno toksične elemente iz zemljišta.
- ii. Poboljšanje statusa plodnosti povećanjem dostupnosti hranljivih materija. Zaslanjenost zemljišta može uticati na smanjenje useva usporavanjem apsorpcije hranljivih materija u zemljištu i vode korenom iz zemljišta. Biougalj smanjuje salinitet zemljišta, poboljšava kapacitet jonske izmene i povećava značajne i manje hranljive materije u zemljištu, smanjuje gubitak ispiranja azotnog đubriva, ima visok kapacitet adsorpcije koji omogućava adsorpciju kalijuma, azota, organske materije i fosfora u zemljištu. Dokazano je da biougalj stimuliše neorganski azot u zemljištu i povećava količinu pristupačnog Fe, Cu i Zn kada se nanese na krečnjačko zemljište.
- iii. Sanacija zemljišta. Značajan problem poslednjih decenija u svetu jesu kontaminirana zemljišta. Jedna od tehnika za uklanjanje polutanata iz zemljišta je korišćenje biougla, kao pristupačnog i ekološki održivog rešenja. Pored toga, zbog svoje velike aktivne porozne površine, biougalj ima dobru sposobnost zadržavanja vode i mogućnost sorpcije polutanata. U prilog tome govori nekoliko studija dokumentovanih sanacija zemljišta za uklanjanje teških metala i metaloida imobilizacijom.
- iv. Indukuje mikrobnu aktivnost u zemljištu. Prednosti primene biougla na rast i zdravlje biljaka, povezan je sa sposobnošću da stimuliše korisne mikrobe kako u zemljištu tako i u rizosferi.
- v. Agronomski značaj (poboljšanje useva).
- vi. Ublažavanje klimatskih promena. Jedan od najznačajnijih ekoloških problema 21. veka je globalno zagrevanje, uslovljeno povećanjem emisije gasova staklene bašte emisije (GHG), a ciklus C igra ključnu ulogu.
- vii. Sekvestracija ugljenika. Sekvestracija ugljenika je proces apsorbovanja C iz atmosfere gde se nalazi u obliku CO_2 i zadržavanja i skladištenja ugljenika u tlu. Jedan od najefikasnijih načina da se delimično umani nivo CO_2 u atmosferi je putem prirodnog procesa fotosinteze. Ljudi i životinje oslobađaju CO_2 , dok ga biljke unose i oslobađaju kiseonik i zadržavaju ugljenik u tlu. S obzirom na metode i kultivaciju i uzgoj biljaka, ovaj proces pokazuje da poljoprivreda, zajedno sa stočarstvom, može biti jedno od rešenja za probleme emisije gasova staklene bašte i klimatskih promena.
- viii. Smanjenje emisije gasova staklene bašte.



Slika 2. Fizičko-hemijske karakteristike biougla
Figure 2. Physical and chemical properties of biochara

Prema nekim procenama, korišćenje biougla na globalnom nivou bi moglo smanjiti emisije gasova staklene bašte za 12%, emisiju metana iz pirinčanih polja podsticanjem zajednica metanotrofa (bakterija koje troše metan) i smanjenjem raznolikosti metanogeni (bakterije koje proizvode metan).

PREDNOSTI I NEDOSTACI PRIMENE BIOUGLJA

Biljke u svom životnom ciklusu apsorbuju CO₂ iz vazduha, dok ga tokom razgradnje organske materije otpuštaju, održavajući ukupni nivo CO₂ relativno stabilnim. Umesto da se dopusti prirodno oslobađanje nakupljenog CO₂ nakon vegetacije, pirolizom se CO₂ zadržava u biljkama kao biouglj, što je stabilniji oblik skladištenja. Proces pravljenja biougla može biti kombinovan s proizvodnjom biogoriva putem termičkog procesa, dajući materijale u čvrstom, tečnom i gasovitom stanju. Biouglj ima dugotrajno prisustvo u zemljištu, s potencijalom zadržavanja od 100 do 6000 godina, te donosi dodatne koristi kao što su poboljšanje plodnosti zemljišta, smanjenje emisija gasova staklene bašte i podrška poljoprivredi. Takođe, ima širok spektar industrijskih primena kao što su građevinski materijal, adsorbent za kontrolu emisija gasova, izvor ugljenika u proizvodnji guma i plastike, te osnova za proizvodnju različitih hemijskih proizvoda i materijala.

Nedostaci korišćenja biougla zahtevaju pažljivo prepoznavanje i rešavanje radi optimizacije poljoprivrednih i ekoloških koristi. Nepoznanice oko procesa karbonizacije biomase otežavaju pouzdanu procenu doprinosa biougla u smanjenju emisije CO₂. Istraživanja u švedskim šumama ukazuju da zakopani ugalj može povećati raspadanje humusa, narušavajući tako skladišteni ugljenik. Ovo može dovesti do degradacije tla i povećanja emisije CO₂ od strane

mikroorganizama. Dodavanje biougla može smanjiti reflektivnost tla, doprinoseći globalnom zagrevanju. Tvrdnje o dugotrajnosti biougla su diskutabilne, s nekim istraživanjima koja sugerišu da može opstati samo deset do stotinu godina. Uz to, primena biougla može imati različite efekte u zavisnosti od tipa zemljišta i kulture koja se uzgaja. Na primer, dokazano je da biougalj može poboljšati prinose u sušnim regionima na peskovitom zemljištu, ali ne i na plodnim zemljištima. Fabrike za preradu biomase u biougalj moraju biti blizu izvora biomase, što može povećati troškove transporta i dovesti u pitanje ekonomsku isplativost primene biougla na određenim zemljištima. Dugoročno uklanjanje žetvenih ostataka radi proizvodnje biougla može dovesti do degradacije zemljišta i poremetiti ciklus hranjivih materija. Osim toga, neki biougaljevi mogu sadržati teške metale i štetne organske materije, dok njihova poroznost može dovesti do apsorpcije pesticida i herbicida, smanjujući njihovu efikasnost. Većina istraživanja vezana za biougalj su sprovedena u laboratorijskim uslovima, pa je dugoročni uticaj na životnu sredinu i poljoprivredu još uvek nejasan. Stoga, potrebna su dalja istraživanja i pažljivo prilagođavanje upotrebe biougla kako bi se maksimizirale njegove koristi i minimizirali negativni uticaji, uzimajući u obzir specifičnosti zemljišta i useva.

ZAHVALNICA

Ovo istraživanje sprovedeno je uz podršku Fonda za nauku Republike Srbije, #10810, Sustainable solutions in environmental chemistry: exploring biochar potential–EnviroChar.

LITERATURA

1. B. Koul, M. Yakoob, M.P. Shah (2022) Agricultural waste management strategies for environmental sustainability, *Environmental Research*, 206, 112285.
2. K. Yrjälä, M. Ramakrishnan, E. Salo (2022) Agricultural waste streams as resource in circular economy for biochar production towards carbon neutrality, *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 26, 100339
3. S.P.S. Yadav, S. Bhandari, D. Bhatta, A. Poudel, S. Bhattarai, P. Yadav, N. Ghimire, P. Paudel, P. Paudel, J. Shrestha, B. Oli (2023) Biochar application: A sustainable approach to improve soil health, *Journal of Agriculture and Food Research*, 11, 100498.
4. Sahar Safarian (2023) Performance analysis of sustainable technologies for biochar production: A comprehensive review, *Energy Reports* 9, 4574-4593.

UTICAJ TEMPERATURE PIROLIZE NA ODABRANE FIZIČKO-HEMIJSKE OSOBINE BIOUGLJA

Nina Đukanović, Snežana Maletić, Jasmina Anojčić, Tajana Simetić,
Sanja Mutić, Tamara Apostolović, Jelena Beljin

*Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno-matematički fakultet, Departman za hemiju,
biohemiju i zaštitu životne sredine, Trg Dositeja Obradovića 3, Novi Sad, 21000, Srbija
nina.djukanovic@dh.uns.ac.rs*

Rezime

Biougalj se često koristi radi prečišćavanja različitih medijuma životne sredine poput sedimenta i vode. Može se dobiti procesom spore pirolize, i tako nastao biougalj ima veliku specifičnu površinu i razvijenu poroznu strukturu, što ga čini dobrim adsorbentom. Kako bi se postigla maksimalna efikasnost adsorpcije, neophodno je okarakterisati biougalj prije upotrebe. Cilj ovog eksperimenta bio je ispitati sadržaj teških metala, specifičnu površinu i površinsku morfologiju biougljeva dobijenih procesom spore pirolize na temperaturama od 400 i 700°C.

Ključne reči: Biougalj, piroliza, adsorpcija, zagađenje, karakterizacija

INFLUENCE OF PYROLYSIS TEMPERATURE ON SELECTED PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF BIOCHAR

Abstract

Biochar is often used for purifying various environmental media such as sediment and water. It can be obtained through the slow pyrolysis process, resulting in biochar with a large specific surface area and a developed porous structure, making it a good adsorbent. To achieve maximum adsorption efficiency, it is necessary to characterize the biochar before use. The aim of this experiment was to examine the content of heavy metals, specific surface area, and surface morphology of biochars obtained through slow pyrolysis process at temperatures of 400 and 700°C.

Key words: Biochar, pyrolysis, adsorption, pollution, characterization

UVOD

Važan alat u smanjenju negativnih uticaja ljudskih aktivnosti na životnu sredinu je biougalj, koji kao adsorbent polutanata može biti efikasna metoda za prečišćavanje vode i zemljišta. Biougalj se može dobiti procesom spore pirolize, koji je termički proces razgradnje organske materije u odsustvu kiseonika. Ovaj proces se obično odvija na temperaturama između 350 i 700°C. Tokom spore pirolize, organska materija se pretvara u biougalj, gasove i tečne produkte, koji se odvojeno sakupljaju [1]. Ovaj proces može biti kontrolisan kako bi se postigla odgovarajuća temperatura i vrijeme zadržavanja, što će uticati na kvalitet i karakteristike dobijenog biougla. Biougalj, koji se proizvodi putem procesa

pirolize organske materije, posjeduje veliku specifičnu površinu i razvijenu poroznu strukturu, što ga čini izuzetno efikasnim adsorbentom za različite vrste zagađujućih materija iz grupe teških metala i organskih polutanata.

Prednosti korišćenja biougla za adsorpciju zagađenja uključuju visoku efikasnost, ekološku prihvatljivost, i mogućnost regeneracije i ponovne upotrebe. Biougalj može pozitivno uticati na kvalitet i strukturu zemljišta, zadržavanje vode, može doprinijeti smanjenju emisija gasova koji doprinose efektu staklene bašte a korišćenjem biomase kao sirovine za proizvodnju biougla smanjuje se količina otpada i pritisak na deponije.

Prije upotrebe, biougalj je važno dobro okarakterisati, kako bi se razumjele njegove fizičke, hemijske i strukturne karakteristike, što može biti ključno za optimizaciju procesa primjene, odabir optimalnih uslova i količine za postizanje maksimalne efikasnosti.

METODA

Ispitivani biougaljevi proizvedeni su pomoću sistema KonTiki sa tvrdim drvetom i temperaturama pirolize od 400°C (Biougalj 1) i 700°C (Biougalj 2). Ukratko, vatra je zapaljena unutar peći korišćenjem manjih drvenih grančica prečnika od oko 1 cm. Nakon te početne faze, u peć su dodavane nove i peć je redovno punjena dok se sav odabrani biomaterijal nije potrošio. Biougljevi dobijeni na ovaj način filtrirani su i sušeni na 105°C najmanje 48 sati, a potom su usitnjeni i prosijani [2].

U okviru karakterizacije ispitivanih adsorbenata urađena je fizičko-hemijska i morfološka karakterizacija koja je obuhvatala: određivanje sadržaja teških metala, određivanje specifične površine pora (SSA analiza (eng. specific surface area) izračunata pomoću BET metode (eng. Brunauer-Emmett-Teller)), određivanje kristalnog sastava proizvedenih adsorbenata primjenom difrakcije rendgenskih zraka (XRD analiza (eng. X-Ray Diffraction)), ispitivanje morfologije površine ispitivanih adsorbenata (SEM/EDS analiza (eng. Scanning Electron Microscopy equipped with an Energy Dispersive X-ray Spectrometry)), određivanje elementarne kompozicije biougla (EDS analiza (eng. Energy Dispersive X-ray Spectrometry)), ispitivanje termičkog ponašanja biougla tokom zagrijavanja (TG analiza (eng. Termogravimetry)). U ovom radu biće više riječi o sadržaju teških metala u biougljevima i o njihovoj specifičnoj površini i površinskoj morfologiji.

Dobijeni biougljevi ispitani su na sadržaj teških metala tako što su pripremljeni mikrotalasnom digestijom ($\text{ccHNO}_3:\text{ccHCl}=3:1$) a potom snimljeni na ICP-MS. Specifična površina (SSA) izmjerena je primjenom adsorpcije azota na 77 K upotrebom analizatora za određivanje specifične površine i veličine pora (AutosorbTM i Quantochrome Instruments, USA). SSA je izračunata pomoću BET metode (Brunauer-Emmett-Teller). Površinska morfologija biougla (SEM) ispitana je korišćenjem skenirajućeg elektronskog mikroskopa Hitachi TM3030 pri naponu ubrzanja od 15 kV. Analiza je podrazumjevala nanošenje određenih masa uzoraka biougla na lepljivu traku, gdje nakon toga dolazi do ispuštanja vazduha iz komore za uzorak. Nakon toga, elektronski snop stupa u kontakt sa uzorkom, na osnovu čega dobijamo sliku o morfologiji površine uzorka.

REZULTATI I DISKUSIJA

Sadržaj odabranih teških metala u biougljevima nastalim sporom pirolizom na različitim temperaturama prikazan je u tabeli 1.

Tabela 1. Koncentracija teških metala u biougljevima nastalim pirolizom na različitim temperaturama

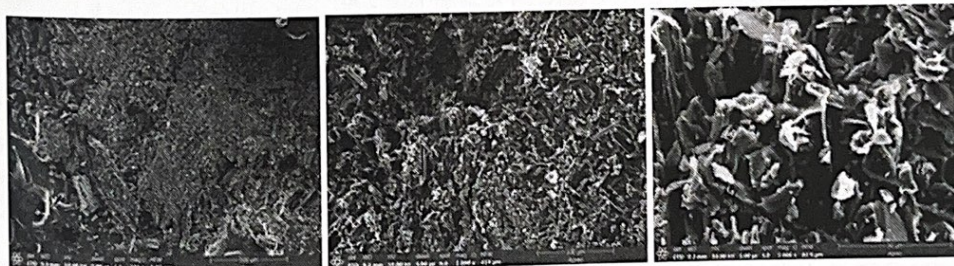
Table 1. The concentration of heavy metals in biochars produced by pyrolysis at different temperatures

Temperatura pirolize (°C)	Koncentracija teških metala (mg/kg)							
	Cr	Cu	Fe	Ni	Zn	As	Cd	Pb
400	10,1	46,5	1977	25,2	120	162	0,26	6,35
700	2,66	23,5	1129	17,6	31,6	6,05	0,15	6,09

Nakon pirolize, razlaganje organskih supstanci u materijalu koji je podvrgnut pirolizi uzrokuje oslobađanje teških metala povezanih sa organskom materijom i taloženje istih u biougljevima. Na osnovu rezultata prikazanih u tabeli 1, možemo zaključiti da je sadržaj teških metala opadao sa porastom temperature pirolize, i to u slučaju nekih metala, npr. Fe, Zn, Cr i As, koncentracija je bila znatno niža u biouglju 2. Ovaj rezultat pokazuje da je specijacija teških metala u biougljevima bila pod uticajem temperature pirolize i da je pirolizom na 700°C toksično dejstvo teških metala na životnu sredinu smanjeno, odnosno da je sa većom temperaturom pirolize smanjen ekološki rizik teških metala [3].

Na slici 1 prikazani su rezultati SEM analize, odnosno površinska morfologija biougljeva nastalih procesom spore pirolize na različitim temperaturama.

a)



b)



Slika 1. SEM mikrofografija biouglja nastalog procesom spore pirolize na: a) 400°C; b) 700°C

Figure 1. SEM micrography of biochar produced by pyrolysis at a) 400°C; b) 700°C

Na osnovu rezultata SEM analize, može se uočiti da postoji razlika između biougljeva proizvedenih na različitim temperaturama, pa tako vidimo da biougalj proizveden na višoj temperaturi (slika 1 b) ima veću poroznost, sa značajno manjim veličinama pora, što mu daje visok potencijal za adsorpciju organskih polutanata ili teških metala. Povećana poroznost i smanjene veličine pora takođe su se odrazile na specifičnu površinu, izraženu kao BET-vrijednost, koja za biougalj 1 iznosi $\approx 176 \text{ m}^2/\text{g}$ a za biougalj 2 $\approx 284 \text{ m}^2/\text{g}$ [4].

ZAKLJUČAK

Biougalj, proizveden iz biomase procesom spore pirolize, efikasan je adsorbent različitih zagađujućih materija, zahvaljujući njegovoj velikoj specifičnoj površini, dobro razvijenoj poroznoj strukturi i velikom broju aromatičnih funkcionalnih grupa. Kako bi se postigla maksimalna efikasnost, neophodno je detaljno okarakterisati biougalj prije njegove upotrebe. U ovom radu prikazani su sadržaji teških metala, specifična površina i površinska morfologija biougljeva nastalih procesom spore pirolize na temperaturi od 400°C i od 700°C . Sadržaj teških metala opadao je sa porastom temperature pirolize, dok su specifična površina i poroznost sa porastom temperature pirolize rasli. Na osnovu dobijenih rezultata možemo zaključiti da biougalj nastao na višoj temperaturi ima bolja adsorpciona svojstva zbog velike specifične površine i visoke poroznosti, kao i da je upotrebom ovog biouglja ekološki rizik manji, zbog manjeg sadržaja teških metala.

ZAHVALNICA

Ovo istraživanje sprovedeno je uz podršku Fonda za nauku Republike Srbije, #10810, Sustainable solutions in environmental chemistry: exploring biochar potential – EnviroChar.

LITERATURA

1. Premchand, P., Demichelis, F., Chiaramonti, D., Bensaid, S., Fino, D., (2023), Biochar production from slow pyrolysis of biomass under CO_2 atmosphere: A review on the effect of CO_2 medium on biochar production, characterisation, and environmental applications, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 11, 110009.
2. Fuentes, A. L. B., Canevesi, R. L. S., Gadonneix, P., Mathieu, S., Celzard, A., Fierro, V., (2020), Paracetamol removal by Kon-Tiki kiln-derived biochar and activated carbons, *Industrial Crops and Products*, 155, 112740.
3. Wang, A., Zou, D., Zeng, X., Chen, B., Zheng, X., Li, L., Zhang, L., Xiao, Z., Wang, H., (2021), Speciation and environmental risk of heavy metals in biochars produced by pyrolysis of chicken manure and water-washed swine manure, *Scientific Reports*, 11, 11994.
4. Cai, N., Zhang, H., Nie, J., Deng, Y., Baeyens, J., Biochar from Biomass Slow Pyrolysis, (2020), *2nd International Conference on Environment Sciences and Renewable*.