

SAVEZ INŽENJERA I TEHNIČARA SRBIJE



**43. MEĐUNARODNA  
KONFERENCIJA**

**ZBORNİK RADOVA**

**VODOVOD I KANALIZACIJA '22**

**Zrenjanin**

**11 - 14. oktobar 2022.**



**SAVEZ INŽENJERA I TEHNIČAR A SRBIJE**

**43. Međunarodna konferencija**

# **VODOVOD I KANALIZACIJA '22**

**Zbornik radova**

**Zrenjanin, 11 – 14. oktobar 2022.**

---

**Izdavač:**

Savez inženjera i tehničara Srbije, Beograd

**Za izdavača:**

mr Bogdan Vlahović, dipl. inž, generalni sekretar

**Programski odbor:**

prof. dr Milovan Živković, (predsednik), prof. dr Srđan Kolaković, prof. dr Srđan Rončević, prof. dr Aleksandar Đukić, prof. dr Jovan Despotović, prof. dr Dragan Milićević, prof. dr Rada Petrović, Vladimir Milojević, Dušan Đurić, Miodrag Popović, dr Zorica Lopičić, dr Dragana Ranđelović, prof. dr Goran Orašanin, prof. dr Darko Vuksanović, prof. dr Goran Sekulić, prof. dr Vaso Novaković, mr Olivera Doklestić, prof. dr Dragica Chamovska, prof. dr Filip Kokalj

**Organizacioni odbor:**

mr Bogdan Vlahović (predsednik), Simo Salapura, Dalibor Joknić, Nebojša Jakovljević, Nikica Ivić, Predrag Bodiroga, Goran Marinković, mr Zoran Pendić, dr Tatjana Šoštarić, dr Dušan Milojkov, dr Jelena Petrović, Zoran Nikolić, Milan Đorđević, Marijana Mihajlović, Olivera Ćosović, MSc i Olja Jovičić

**Glavni i odgovorni urednik:**

prof. dr Milovan Živković, dipl. inž.

**Lektura i korektura:**

Olivera Ćosović, mast. filol.

**Tehnički urednik:**

Olja Jovičić, dipl. prav.

**Štampa:**

Akadska izdanja, Zemun

**Naslovna strana:**

Taranto, Pulja, Italija

ISBN: 978-86-80067-53-7

Godina izdavanja: 2022.

Tiraž: 200 primeraka

Savez

ITNMS - Inženjerski

Prirodno-matematički  
biohemija

Tehnološko-matematički  
hemijski

Institut za vaspitanje i obrazovanje

Inženjerski

IPIN Institut za projektovanje i inženjering

JKP „Inženjering“

Inženjerski

Ministarstvo

CIP - Каталогизација у публикацији  
Народна библиотека Србије, Београд

628.1/.3(082)

МЕЂУНАРОДНА конференција Водовод и канализација  
(43 ; 2022 ; Зрењанин)

Zbornik radova / 43. Međunarodna konferencija Vodovod i kanalizacija '22, Zrenjanin, 11-14. oktobar 2022. ; [organizator] Savez inženjera i tehničara Srbije ; [suorganizatori ITNMS - Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, Beograd ... [et al.]] ; [glavni i odgovorni urednik Milovan Živković]. - Beograd : Savez inženjera i tehničara Srbije, 2022 (Zemun : Akademska izdanja). - 364 str. : ilustr. ; 24 cm

Radovi na srp., hrv. i bos. jeziku. - Tekst lat. i ćir. - Tiraž 200. - Napomene uz radove. - Bibliografija uz svaki rad. - Abstracts.

ISBN

978-86-80067-53-7

а) Водовод -- Зборници б) Канализација -- Зборници в)  
Отпадне воде -- Зборници г) Водозахвати -- Зборници

СИТС - СА

И

#### ИСТОРИЈАТ

Корени српске те  
инжењерства су у р  
величанствених сакр

Од Првог (1804),  
градитељство које је  
саобраћајница, подиз

У то време (1834  
службеници – “прави  
а у том веку Србијом

Започињање нас  
значио је прекретн  
земљи један број инж

Истовремено са п  
за оснивањем струч  
ГОДИНЕ, САМО ГО

ГРАДА ОД СТРАН  
НИВАЊА „ТЕХНИ

Јосимовић и тај дат  
затим (1869) оснива

привредно друштво.

Године 1890. до  
инжењера и архитек

## SADRŽAJ

<i>Marija Ercegović, Jelena Petrović, Marija Simić, Marija Koprivica, Marija Kojić, Dimitrios Kalderis</i>	
<b>Valorizacija otpadne biomase za proizvodnju efikasnih adsorbenata teških metala hidrotermalnom karbonizacijom .....</b>	<b>13</b>
<i>Marija Simić, Jelena Petrović, Tatjana Šoštarčić, Marija Ercegović, Jelena Milojković, Marija Koprivica, Jelena Dimitrijević</i>	
<b>Potencijalna upotreba agroindustrijskog otpada za uklanjanje teških metala iz otpadnih voda .....</b>	<b>19</b>
<i>Rada Petrović</i>	
<b>Postupci uklanjanja bora iz podzemnih voda .....</b>	<b>25</b>
<i>Željka Ostojić, Branislav Babić, Strahinja Nikolić, Maja Đorović Stevanović, Sanja Marčeta</i>	
<b>Efekti klimatskih promena na vodovodne distributivne mreže .....</b>	<b>31</b>
<i>Dragan Vlatković, Dušan Todorović</i>	
<b>Monitoring i analiza noćne potrošnje kao pouzdanog indikatora gubitaka .....</b>	<b>41</b>
<i>Branislav Babić, Ognjen Govedarica, Aleksandar Đukić</i>	
<b>Bilans voda u vodovodu – metodološki pristupi i terminologija .....</b>	<b>47</b>
<i>Miroslav Kukučka, Nikoleta Kukučka Stojanović</i>	
<b>Kondicioniranje podzemnih voda bogatih gvožđem i manganom u cilju dobijanja vode za piće .....</b>	<b>53</b>
<i>Stanko Stankov</i>	
<b>Značaj velikih podataka u vodovodnim i kanalizacionim sistemima .....</b>	<b>58</b>
<i>Mladen Popov, Marijana Kragulj Isakovski, Tamara Apostolović, Aleksandra Tubić, Nikica Ivić, Marina Šćiban, Jasmina Agbaba</i>	
<b>Statistička analiza promene sadržaja organskih materija tokom prerade vode za piće .....</b>	<b>68</b>
<i>Jurica Kovač</i>	
<b>Pokazatelji i ocjene aktivnosti kontrole gubitaka vode .....</b>	<b>75</b>
<i>Olivera Doklešić</i>	
<b>Fizički (ne)integritet vodovodnog sistema na praktičnom primjeru oštećenja glavnog cjevovoda u Đenoviću, Opština Herceg Novi.....</b>	<b>90</b>

*Aleksandar Krstić*

**Benčmarking kao alat za sveobuhvatno planiranje i nadzor nad  
uapređenjem učinka vodovodnih i kanalizacionih preduzeća .....97**

*Vladimir Kapetina, Goran Orašarin*

**Analiza potrošnje vode ruralnih i urbanih dijelova vodovodnog  
sistema Istočno Sarajevo ..... 104**

*Dušan Milojkov, Angelina Mitrović, Danijela Smiljanić, Gvozden Jovanović,  
Miroslav Sokić*

**Identifikacija metoda za separaciju i karakterizaciju nanoplastike  
iz vodenih sredina ..... 110**

*Isidora Protić, Milana Drašković, Danijela Jašin*

**Mikrobiološka kontrola vode za piće grada Zrenjanina ..... 116**

*Njegoš Dragović, Snežana Urošević, Milovan Vuković*

**Mineralne vode za piće u Bujanovačkoj Banji ..... 122**

*Dejan Dimkić, Darko Kovač, Mira Papović*

**Faktori efikasnosti u vodosnabdevanju – upoređenje sa slučajem  
Vodovoda Nikšić (CG)..... 130**

*Tajana Simetić, Mladen Popov, Sanja Vasiljević, Marijana Kragulj  
Isakovski, Aleksandra Tubić, Nikica Ivić, Jasmina Agbaba*

**Određivanje sadržaja ukupnog organskog ugljenika i  
trihalometana u vodi ..... 139**

*Dragan Marinović, Svetlana Belošević, Zoran Milićević, Zoran Dimitrijević,  
Dušanka Marinović, Jovana Belošević*

**Higijenska ispravnost vode za piće Vrnjačke Banje ..... 146**

*Radoslav Raković*

**Zaštita podataka o ličnosti u korporacijskim mrežama za potrebe  
vodovoda i kanalizacije..... 153**

*Mirko Vujović*

**Izrada i realizacija Akcionog plana za upravljanje  
neprihodovanom vodom i smanjenje gubitaka ..... 159**

*Predrag Bogdanović, Zorana Petrović, Aida Bučo-Smajić*

**Zahtevi u pogledu kvalifikovanosti zaposlenih u preduzećima  
vodovoda – tehničko pravilo UTVSI DVGW  
W 1000 ..... 166**

*Marina Orlić, Tatjana Šoštarić, Anja Antanasković, Vladimir Adamović,  
Jelena Milojković, Zorica Lopičić*

**Uklanjanje fosfata sorbentom na bazi biočadi koštice šljive  
impregnisanom magnezijumom ..... 173**

*Ivan Stupić*

**Dostupnos  
posebnim**

*Siniša Gajin*

**Utica  
JKP „VII**

*Devad Koldžo*

**Uspostav  
(Saudijsk**

*Marija Čurčić, J  
Jasmina Agbaba*

**Ispitivanj  
na uklanj**

*Nikola Nikolić,*

**Fizičko-h  
u severno**

*Matej Čehovin,*

**Problem  
i seoskih  
rešenja ..**

*Goran Gavrilov  
Branja „I*

*Miloš Milošević  
Sanacija*

*Milan Đorđević*

**Iskustva  
obračun**

*Zoran Pendić,  
Sanja Ivošević,*

*Marina Strizak  
Lanac „*

*Dragan Milićević*

**Održivo  
naseljin**

*Jelena Milojković,  
Jelena Petrović*

**Uklanjanje  
biočadi**

<i>Ivan Stupić</i>	<b>Dostupnost vode za piće na teritoriji grada Kragujevca, sa posebnim osvrtom na seoska naselja .....</b>	<b>181</b>
<i>Siniša Gajin</i>	<b>Uticaj odnosa s javnošću na zadovoljstvo korisnika usluga i imidž JKP „VIK“ .....</b>	<b>190</b>
<i>Devad Koldžo</i>	<b>Uspostava pilot „SMART“ mjerne zone (DMA) u Džedi (Saudijska Arabija) .....</b>	<b>201</b>
<i>Marija Ćurčić, Jasmina Nikić, Vesna Kecić, Aleksandra Tubić, Jasmina Agbaba</i>	<b>Ispitivanje uticaja odabranih parametara procesa jonske izmene na uklanjanje nikla iz vode .....</b>	<b>208</b>
<i>Nikola Nikolić, Vaso Novaković</i>	<b>Fizičko-hemijske karakteristike podzemnih voda neogenih basena u severnom delu Bosne i Hercegovine .....</b>	<b>214</b>
<i>Matej Čehovin, Alojz Medic</i>	<b>Problematika održavanja adekvatnog kvaliteta vode za piće malih i seoskih vodovoda u sušnim periodima – izazovi i praktična rešenja .....</b>	<b>223</b>
<i>Goran Gavrilović</i>	<b>Brana „Nova Grošnica“ – stanje i održavanje .....</b>	<b>229</b>
<i>Miloš Milošević, Dušan Todorović</i>	<b>Sanacija dijela glavne dovodne cijevi vode Opštine Herceg Novi .....</b>	<b>236</b>
<i>Milan Đorđević</i>	<b>Iskustva u primeni sistema elektronskih faktura u sistemima za obračun i naplatu vode .....</b>	<b>242</b>
<i>Zoran Pendić, Sanja Pendić Polak, Bojana Jakovljević, Ana Milijić, Sanja Ivošević, Željko Marković, Vesna Reljić Ćurić, Dragana Jovanović, Marina Strizak, Ljiljana Jovanović</i>	<b>Lanac „voda - energija - hrana“ - koliko je važna karika „voda“? .....</b>	<b>249</b>
<i>Dragan Milićević</i>	<b>Održivo upravljanje komunalnim otpadnim vodama u manjim naseljima .....</b>	<b>261</b>
<i>Jelena Milojković, Tatjana Šoštarić, Anja Antanasković, Vladimir Adamović, Jelena Petrović, Marina Orlić, Zorica Lopičić</i>	<b>Uklanjanje zagađujućih materija iz otpadnih voda primenom biočadi .....</b>	<b>272</b>

Željka Ostojić, Miloš Stanić, Strahinja Nikolić, Maja Đorović Stevanović,  
Sanja Marčeta

**Infiltracija – važna komponenta kišne kanalizacije sa aspekta  
klimatskih promena** .....279

Ivan Milojković, Nikola Divac

**Kišni prelivi za priključenje otpadnih voda na tunel  
„Karaburma“** .....291

Rada Petrović, Marija Mihajlović-Kostić, Slavica Lazarević,  
Ivona Janković-Častvan, Đorđe Janačković

**Adsorpcija Cd<sup>2+</sup> i Zn<sup>2+</sup> jona iz ekvimolarnih dvokomponentnih  
rastvora u komunalnoj otpadnoj vodi i dejonizovanoj vodi na  
prirodnom i modifikovanom zeolitu** .....297

Stanko Stankov

**Frekvencijska regulacija u sistemima vodovoda i kanalizacije** .....304

Ognjen Prohaska, Stevan Prohaska

**Kvantitativne karakteristike kiša jakog intenziteta u okolini grada  
Zrenjanina sa aspekta projektovanja kišne kanalizacije** .....314

Jovan Despotović, Jasna Plavšić, Andrijana Todorović, Nenad Jaćimović,  
Miloš Stanić, Dušan Prodanović, Dragutin Pavlović, Ljiljana Janković,  
Aleksandar Đukić, Marko Ivetić, Anja Randelović

**Kišna kanalizacija u gradovima – analize i faze za izradu  
projekata kišne kanalizacije** .....323

Darko Vuksanović, Dragan Radonjić, Jelena Šćepanović

**Upravljanje procjednim otpadnim vodama na novoj sanitarnoj  
kadi komunalnog otpada u Opštini Žabljak** .....340

Jovana Perendija, Mina Popović, Verica Ljubić, Dragana Milošević,  
Slobodan Cvetković

**Mogućnost primene otpadne biomase hmelja za adsorpciju jona  
Ni<sup>2+</sup> iz vodenih rastvora** .....351

Goran Sekulić

**Mogućnost ugradnje malih hidroelektrana u sklopu postrojenja  
za prečišćavanje otpadnih voda** .....357

ВАЛОРИЗАЦИЈА  
ЕФИКАСИТЕТА  
ХИДРОЕЛЕКТРО  
СТРОЈЕЊА

VALORIZATION  
OF EFFICIENCY  
HYDROELECTRIC  
PLANTS

МАРИЈА ЕРЦЕГОВИЋ  
МАРИЈА КОПРИВИЦА

**Резиме:** Применом зеолитне  
отпадна биомаса може  
угљу, одличних адсорпционих  
комерцијалне биоугљеничних  
групама (КФГ) које имају  
Адсорпција применом  
уклањањем Cu<sup>2+</sup>, и Ni<sup>2+</sup>  
капацитети уклањања  
способност сорпције тешких  
површинске структуре.  
220°C побољшао је капацитет  
на 137, 49.3 и 38.2 mg/g  
добијене ХТЦ-ом на 200°C  
(297 mg/g и 131 mg/g,  
отпадне биомасе примењене на  
земље, и ваздуха у Србији.

<sup>1</sup> Марија Ерцеговић, Институт за  
сировина, Франше д'Епера 86, 11000  
Београд

<sup>2</sup> Јелена Петровић, Институт за  
сировина, Франше д'Епера 86, 11000  
Београд

<sup>3</sup> Марија Симић, Институт за  
сировина, Франше д'Епера 86, 11000  
Београд

<sup>4</sup> Марија Копривица, Институт за  
сировина, Франше д'Епера 86, 11000  
Београд

<sup>5</sup> Марија Којић, Институт за  
сировина, Франше д'Епера 86, 11000  
Београд

<sup>6</sup> Димитриос Калдерис,  
Hellenic Mediterranean



## UKLANJANJE ZAGAĐUJUĆIH MATERIJA IZ OTPADNIH VODA PRIMENOM BIOČAĐI

### REMOVAL POLLUTANTS FROM WASTEWATER BY BIOCHAR

JELENA MILOJKOVIĆ<sup>1</sup>, TATJANA ŠOŠTARIĆ<sup>2</sup>, ANJA ANTANASKOVIĆ<sup>3</sup>,  
VLADIMIR ADAMOVIĆ<sup>4</sup>, JELENA PETROVIĆ<sup>5</sup>, MARINA ORLIĆ<sup>6</sup>,  
ZORICA LOPIČIĆ<sup>7</sup>

**Rezime:** Pirolizom se mogu rešiti problemi vezani za otpad i energiju na održiv i cirkularni način zatvaranjem petlji ranije korišćenih linearnih procesa. Biočad, proizvedena kao nusproizvod pirolize otpadne biomase, ima niz jedinstvenih svojstava koje je čine zanimljivim adsorbentom zbog njene dostupnosti, niske cene proizvodnje i izuzetnih svojstava površine. Ovaj rad ima za cilj da objasni prednosti primene biočadi, sa posebnim fokusom na tipične mehanizme adsorpcije za uklanjanje organskih i neorganskih zagađivača iz otpadnih voda.

**Ključne reči:** biomasa, biočad, mehanizmi uklanjanja zagađujućih materija, otpadna voda, primena biočadi

**Abstract:** Pyrolysis can solve waste and energy concerns in a sustainable and circular manner by closing the loops of previously employed linear processes. Biochar, produced as a by-product of pyrolysis of waste biomass has a number of unique properties that make it an interesting adsorbent due to its availability, low manufacturing cost and exceptional surface properties. This paper aims to explain the benefits of applications of biochar, with a special focus on typical adsorption mechanisms for the removal of organic and inorganic pollutants from wastewater.

**Key Words:** biomass, biochar, mechanisms for the removal of pollutants, wastewater, application of biochar

<sup>1</sup> Jelena Milojković, Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, Bulevar Franš d'Eperea 86, Beograd

<sup>2</sup> Tatjana Šoštarić, Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, Bulevar Franš d'Eperea 86, Beograd

<sup>3</sup> Anja Antanasković, Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, Bulevar Franš d'Eperea 86, Beograd

<sup>4</sup> Vladimir Adamović, Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, Bulevar Franš d'Eperea 86, Beograd

<sup>5</sup> Jelena Petrović, Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, Bulevar Franš d'Eperea 86, Beograd

<sup>6</sup> Marina Orlić, Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, Bulevar Franš d'Eperea 86, Beograd

<sup>7</sup> Zorica Lopičić, Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, Bulevar Franš d'Eperea 86, Beograd

## MATERIJA IZ OTPADNIH VODA BIOČAĐI

### WASTEWATER BY BIOCHAR

TARIĆ<sup>2</sup>, ANJA ANTANASKOVIĆ<sup>3</sup>,  
PETROVIĆ<sup>5</sup>, MARINA ORLIĆ<sup>6</sup>,  
PIČIĆ<sup>7</sup>

ni za otpad i energiju na održiv i cirkularni  
eernih procesa. Biočad, proizvedena kao  
jedinstvenih svojstava koje je čine zani-  
ske cene proizvodnje i izuzetnih svojstava  
i primene biočadi, sa posebnim fokusom na  
nskih i neorganskih zagađivača iz otpadnih

njanja zagađujućih materija, otpadna voda,

gy concerns in a sustainable and circular  
yed linear processes. Biochar, produced as  
number of unique properties that make it an  
manufacturing cost and exceptional surface  
its of applications of biochar, with a special  
removal of organic and inorganic pollutants

for the removal of pollutants, wastewater,

eernih i drugih mineralnih sirovina, Bulevar

ernih i drugih mineralnih sirovina, Bulevar

ernih i drugih mineralnih sirovina, Bulevar

ernih i drugih mineralnih sirovina, Bulevar

ernih i drugih mineralnih sirovina, Bulevar

h i drugih mineralnih sirovina, Bulevar Franš

ernih i drugih mineralnih sirovina, Bulevar

## 1. Uvod

U poslednje dve decenije porast svetske populacije proizveo je sve veću potražnju za vodom, kako za ljudsku upotrebu, tako i za industrijski sektor, što je rezultiralo povećanjem količine otpadnih voda koje se ispuštaju u vodenu sredinu. Različite zagađujuće materije su detektovane u tokovima otpadnih voda: teški metali, naftni ugljovodonici, policiklični aromatični ugljovodonici (PAH), organske boje, fenoli, pesticidi, antibiotici itd. [1].

Različite konvencionalne tehnologije se primenjuju za sanaciju otpadnih voda, pri čemu neke metode imaju izvesna ograničenja, kao što su: niska efikasnost pri nižim koncentracijama polutanta, velika potrošnja energije, nekompletno uklanjanje, visoka kapitalna ulaganja, visoki troškovi za upravljanje procesima, neophodnost korišćenja skupih reagenasa, problem odlaganja otpadnog mulja i sekundarnog otpada...[2]. Navedeni nedostaci vode ka razvoju ekonomski povoljnijih (jeftinijih) alternativnih rešenja prečišćavanja. Jedna od mogućih tehnika je upotreba sorpcionih materijala u cilju vezivanja materija iz vodenih rastvora. U skorije vreme bočad dobija sve veći značaj zbog svojih jedinstvenih svojstava, te pronalazi sve veću primjenu u zaštiti životne sredine i održivom upravljanju resursima.

Biočad je ugljenični materijal velike specifične površine, koji se dobija pirolizom biomase u odsustvu kiseonika [3]. Biočad u svom sastavu sadrži velike količine ugljenika, čak od 60 do 95%. Hemijski sastav biočadi zavisi od vrsta sirovine i uslova pirolize (trajanje pirolize, temperature pirolize, brzina zagrevanja i vrsta termo reaktora). Usled različitog polaznog sastava biomase i različitih operativnih parametara, vrlo je bitno odrediti hemijski sastav biočadi.

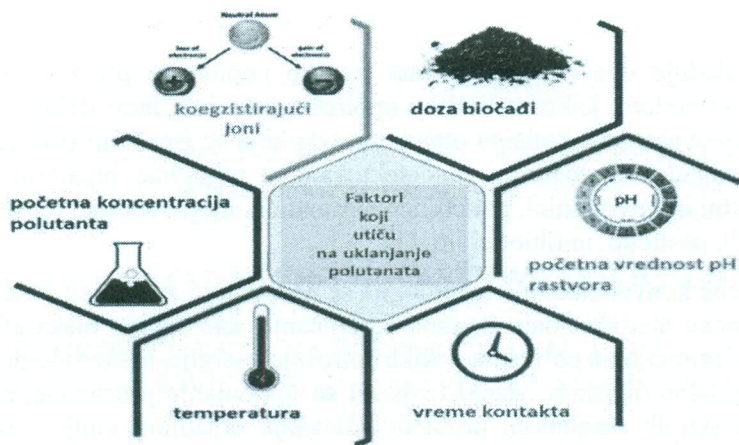
Organski deo biočadi ima visoki udeo ugljenika, a neorganski sadrži elemente poput: Ca, Mg, K, Na, Fe, Al, N, P, Si ...u zavisnosti od vrste sirovine [4]. Kako navode autori Lehmann i Joseph, (2009.), kompleksni i heterogeni hemijski i fizički sastav biočadi pružaju izvrsnu podlogu za uklanjanje zagađujućih materija. Istraživanja su pokazala da biočad poseduje značajan kapacitet za uklanjanje i organskih i neorganskih zagađujućih materija iz vode [3].

Poznavanje karakteristika biočadi i njenog mogućeg uticaja na mehanizme sorpcije prema različitim vrstama zagađivača u vodenim sredinama je neophodno kako bi se razjasnilo koje korake treba preduzeti ka poboljšanju karakteristika biočadi pomoću različitih tretmana [1].

## 2. Faktori koji utiču na uklanjanje zagađujućih materija

Na uklanjanje zagađujućih materija i kapacitet adsorpcije biočadi u velikoj meri utiču njena fizičko-hemijska svojstva, kao i priroda ciljnih zagađivača i radni uslovi datog tretmana.

Slika 1 prikazuje faktore koji utiču na uklanjanje zagađujućih materija pomoću biočadi. Generalno, najčešće se diskutuje o koncentraciji biočadi i početnoj vrednosti pH rastvora [1].



Slika 1. Glavni parametri koji utiču na uklanjanje zagađujućih materija primenom biočadi [1]

### 3. Mehanizmi uklanjanja zagađujućih materija primenom biočadi

Sorpcija predstavlja ravnotežni proces; vreme potrebno za uspostavljanje ravnoteže između rastvora sorbata i čvrstog sorbenta može biti veoma različito, od par sekundi do nekoliko časova. Dostizanje zasićenja sorbenta zavisi od brzine sorpcionog procesa i vremena kontakta između rastvora sorbata i sorbenta [6].

#### 3.1. Mehanizam uklanjanja teških metala

Različiti mehanizmi su uključeni u uklanjanje teških metala:

- fizička adsorpcija (fizički proces koji zavisi od temperature i uključuje formiranje veza kroz difuziju metalnih jona u porama sorbenta. Zapremina pora i površina sorbenta (biočadi) zavisi od temperature pirolize) [7].
- jonska izmena (glavni princip anjonske/katjonske izmene je izmena jonskih vrsta na površini biočadi sa katjonima metala) [8].
- elektrostatička interakcija (uključuje elektrostatičku interakciju između naelektrisane površine biočadi i jona metala čime se ograničava njihova mobilnost) [7].
- taloženje (uključuje formiranje mineralnih taloga u rastvoru ili na površini sorbata (formiranjem hidroksida, fosfata i karbonata), posebno za biočad koja nastaje razgradnjom celuloze i hemiceluloze na temperaturi pirolize većoj od 300°C sa alkalnim svojstvom) [9].
- kompleksiranje (uklanjanje metala iz rastvora se može izvršiti formiranjem kompleksa na površini biočadi nakon interakcije između metala i različitih funkcionalnih grupa. Biočad proizvedena na nižim temperaturama pirolize ima veću tendenciju da vezuju jone teških metala kroz kompleksiranje jer sadrži više funkcionalnih grupa koje doniraju elektrone, npr. karboksilna (-COOH), hidroksilna (-OH) i amino (-NH<sub>2</sub>) [8].



četna vrednost pH  
stvora

jućih materija primenom

### nom biočadi

trebno za uspostavljanje  
e biti veoma različito, od  
orbenta zavisi od brzine  
rbata i sorbenta [6].

metala:

erature i uključuje formi-  
benta. Zapremina pora i  
ize) [7].

mene je izmena jonskih

interakciju između naele-  
čava njihova mobilnost)

rastvoru ili na površini  
posebno za biočad koja  
eraturi pirolize većoj od

že izvršiti formiranjem  
među metala i različitih  
peraturama pirolize ima  
leksiranje jer sadrži više  
karboksilna (-COOH),

### 3.2. Mehanizmi uklanjanja nutrijenata

Kroz istraživanja uočeni su različiti mehanizmi za sorpciju  $\text{NH}_4\text{-N}$ ,  $\text{NO}_3\text{-N}$ , i  $\text{PO}_4\text{-P}$  biočadi poput: površinske sorpcije, elektrostatičke interakcije, jonske izmene, taloženja, interakcije sa funkcionalnim grupama na površini [10].

### 3.3. Mehanizam uklanjanja organskih zagađivača

Sorpcija organskih zagađujućih materija sa biočadi se javlja kroz: separaciju, punjenje pora, elektrostatičku interakciju, vodonične veze, interakciju donora i akceptora elektrona i hidrofobnu interakciju.

- Separacija (separacija sorbata u matricu sorbenta pomoću van derValsovih sila. Biočad se može podeliti na karbonizovane (grafenske, kristalne) i nekarbonizovane (amorfne, nekristalne) frakcije, koje različito reaguju sa molekulima zagađivača. U procesu separacije molekuli organskog sorbata difunduju u nekarbonizovani deo biočadi. Uopšteno, biočad sa većim sadržajem isparljivih materija dozvoljava veće particionisanje organskih zagađivača, a samim tim i veći sorpcioni kapacitet) [11].
- Punjenje pora (proces u kome su organski zagađivači na površini biočadi sa mezoporama (2–50 nm) i mikroporama (< 2 nm). Mehanizam popunjavanja pora zavisi od prirode, vrste biočadi, kao i polariteta organskog zagađivača) [7].
- Elektrostatička interakcija (važan mehanizam koji uključuje adsorpciju jona organskih jedinjenja na pozitivno naelektrisanu površinu biočadi putem elektrostatičke interakcije. Zavisi od njene mogućnosti da privuče ili odbije zagađivače, pH i jonske jačine vodenog rastvora) [12].
- Vodonične veze (vodonična veza se formira kroz elektrostatičke sile između vodonikovog atoma (kovalentno vezan za elektronegativniji atom ili grupu, npr. azot, kiseonik, i fluor) i elektronegativni atom (kao akceptor vodonične veze) koji nosi par nepodeljenih elektrona. Kako je jačina vodonične veze veća od van der Valsovih sila ali manja od kovalentne veze, ona može da igra važnu ulogu u sorpciji organskih zagađivača sa biočadi. Funkcionalne grupe biočadi, često u sebi sadrže kiseonik koji može delovati kao donor u vodoničnoj vezi) [13].
- Interakcija donora i akceptora elektrona (uglavnom se javlja kod adsorpcije aromatičnih jedinjenja na biočad)
- Hidrofobna interakcija (ovaj mehanizam se javlja kod adsorpcije hidrofobnih i neutralnih organskih jedinjenja. U poređenju sa procesom particionisanja, hidrofobni mehanizam interakcije zahteva manje energije) [7].

### 4. Primena biočadi i buduće perspektive

Karakteristike biočadi omogućile su njenu široku primenu u različitim sektorima (slika 2). Primena biočadi se ogleda u: poboljšanju zemljišta, održivom upravljanju otpadom, ublažavanju klimatskih promena, prečišćavanju otpadnih voda, proizvodnji energije i kao aditiv.

Trenutno, mnoga istraživanja su usmerena na sintezu funkcionalizovane bio-

čadi pošto poseduje bolje karakteristike u odnosu na sirovu (nemodifikovanu) biočad. Pregledom literature utvrđeno je da se većina istraživanja odnosi na vodene rastvore sa pojedinačnom zagađujućom materijom tako da bi trebalo proširiti istraživanja na višekomponentne rastvore zagađujućih materija. Temperatura pirolize utiče na kapacitet uklanjanja polutanta, ali to je proces koji zahteva veliku potrošnju energije. Stoga je potrebno uraditi eksperimente na različitim temperaturama pirolize radi optimizacije minimalne potrošnje energije za maksimalan kapacitet uklanjanja polutanta [14].



Slika 2. Primena biočadi u različitim sektorima

Studije odlaganja/iskorišćenja istrošene biočadi nakon sorpcije su trenutno ograničene. Neophodno je razmotriti regeneraciju biočadi kako bi proces bio isplativ, komercijalno održiv i kako bi se izbeglo ugrožavanje životne sredine prilikom njenog odlaganja.

## 5. Zaključak

Prevođenje otpada u biočad doprinosi očuvanju životne sredine što je u skladu sa principima cirkularne ekonomije. Konverzija tipičnog organskog otpada u biočad daje alternativni tretman otpadu koji je ekološki održiv. Takođe, praktična primena biočadi je potpomognuta jednostavnom pripremom i jeftinim sirovinama. Biočad je pokazala veliki potencijal da adsorbuje neorganske i organske zagađujuće materije iz otpadnih voda uz pomoć različitih mehanizma poput: elektrostatičke interakcije, jonske izmene, punjenje pora, taloženje, kompleksiranje, površinska sorpcija, vodonične veze koji zavise od fizičko-hemijskih karakteristika biočadi i procesnih parametara. Dalja istraživanja o primeni, modifikaciji i razvoju biočadi mogu pomoći da ona ostvari progres u cirkularnosti, bez generisanja otpada uz ekološku održivost i menadžment. Potrebno je više istraživanja realnim uslovima i istraživanja specifičnih lokacija da bi se pronašao stvaran uticaj biočadi na životnu sredinu pre nego što se masovnije koristi.

## 6. Zahvalnica

Ovaj rad je podržan od strane Ministarstva prosvete i nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije (Ugovor br. 451-03-68/2022-14/200023).

## 7. Literatura

- [1] Zeghioud H, Fryda L, Djelal H, Assadi A, Kane A, A comprehensive review of biochar in removal of organic pollutants from wastewater: Characterization, toxicity, activation/functionalization and influencing treatment factors, *Journal of Water Process Engineering* 47 102801, 2022.
- [2] Febrianto J, Kosasih A. N, Sunarso J, Ju Y. H, Indraswati N, Ismadji S, Equilibrium and kinetic studies in adsorption of heavy metals using biosorbent: A summary of recent studies, *Journal of Hazardous Materials* 162(2-3) 616–645, 2009.
- [3] Milojković J, Šoštarić T, Mihajlović M, Antanasković A, Adamović V, Lopičić Z, Modifikacija biomase za uklanjanje polutanata sa osvrtnom na biočad i imobilizovanu biomasu, Zbornik radova 196-202. 41. Međunarodna konferencija *Vodovod i kanalizacija '20*, Kraljevo, Srbija. 13-16. oktobar 2020.
- [4] Clemente J. S, Beauchemin S, Thibault Y, MacKinnon T, Smith D, Differentiating Inorganics in Biochars Produced at Commercial Scale Using Principal Component Analysis, *ACS Omega* 3(6) 6931-6944, 2018.
- [5] Lehmann, J, Joseph S, *Biochar for environmental management*, Science and technology Sterling, VA Earthscan, 2009.
- [6] Marjanović V, *Proučavanje sorpcije hroma(VI) iz vodenih rastvora na funkcionalizovanim sepiolitima*. Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet: doktorska disertacija 2013.
- [7] Ambaye T. G, Vaccari M, van Hullebusch E. D. Amrane A, Rtimi S, Mechanisms and adsorption capacities of biochar for the removal of organic and inorganic pollutants from industrial wastewater, *International Journal of Environmental Science and Technology* 18 3273–3294, 2021.
- [8] Wang Y, Zhong B, Shafi M, Ma J, Guo J, Wu J, Ye Z, Liu D, Jin H, Effects of biochar on growth, and heavy metals accumulation of moso bamboo (*Phyllostachy pubescens*), soil physical properties, and heavy metals solubility in soil, *Chemosphere*, 219 510–516, 2019.
- [9] Cao X, Harris W.: Properties of dairy-manure-derived biochar pertinent to its potential use in remediation, *Bioresource Technology* 101 5222–5228, 2010.
- [10] Zhang M, Song G, Gelardi D. L, Huang L, Khan E, Mašek O, Parikh S. J, Ok Y. S, Evaluating biochar and its modifications for the removal of ammonium, nitrate, and phosphate in water, *Water Research* 186 116303, 2020.
- [11] Liu G, Zheng H, Jiang Z, Zhao J, Wang Z, Pan B, Xing B, Formation and physicochemical characteristics of nano biochar: Insight into chemical and colloidal stability. *Environmental Science & Technology* 52 10369–10379, 2018.
- [12] Zheng H, Wang Z, Zhao J, Herbert S, Xing B, Sorption of antibiotic sulfamethoxazole varies with biochars produced at different temperatures, *Environmental Pollution* 181 60–67, 2013.

- [13] Dai Y, Zhang N, Xing, C, Cui Q, Sun Q, The adsorption, regeneration and engineering applications of biochar for removal organic pollutants: A review. *Chemosphere* 223 12–27, 2019.
- [14] Khandgave S. S, Sreedhar I, A mini-review on engineered biochars as emerging adsorbents in heavy metal removal, *Materials Today: Proceedings*, 2022.