

SRPSKO DRUŠTVO ZA ZAŠTITU VODA

54. konferencija o aktuelnim temama korišćenja i zaštite voda

VODA 2025

The 54th Annual Conference of the Serbian Water Pollution Control Society

WATER 2025

Conference Proceedings



Kopaonik, 16. – 18. jun 2025.



www.sdzv.org.rs

SRPSKO DRUŠTVO ZA ZAŠTITU VODA

SERBIAN WATER POLLUTION CONTROL SOCIETY



INŽENJERSKA KOMORA SRBIJE

II

IZDAVAČ (PUBLISHER):

Srpsko društvo za zaštitu voda, Kneza Miloša 9/1, Beograd, Srbija
Tel/Faks: (011) 32 31 630

PROGRAMSKI ODBOR (PROGRAMME COMMITTEE):

Prof. dr Branislav ĐORĐEVIĆ, dipl.inž.građ, Univerzitet u Beogradu – Građevinski fakultet
Prof. dr Božo DALMACIJA, dipl.hem, Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno matematički fakultet
Dr Momir PAUNOVIĆ, naučni savetnik, dipl.biol, Univerzitet u Beogradu - Institut za biološka istraživanja „Siniša Stanković“
Dr. Bela CSÁNYI, dipl.biol, Mađarska akademija nauka, Centar za ekološka istraživanja, Institut za istraživanje Dunava, Budimpešta-Mađarska
Prof. dr Peter KALINKOV, dipl.inž.građ, Univerzitet za arhitekturu, građevinarstvo i geodeziju, Sofija-Bugarska
Prof. dr Valentina SLAVEVSKA STAMENKOVIĆ, dipl.biol, Prirodno-matematički fakultet, Univerzitet Svetog Kirila i Metodija, Skopje-S.Makedonija
Prof. Dr. Goran SEKULIĆ, dipl.inž.građ, Univerzitet Crne Gore, Građevinski fakultet, Podgorica-Crna Gora
Prof. dr Violeta CIBULIĆ, dipl.hem, Univerzitet „Union“ Beograd
Prof. dr Slavka STANKOVIĆ, dipl.inž.tehnol, Univerzitet u Beogradu – Tehnološko metalurški fakultet,

UREDNIK (EDITOR): Dr Aleksandar ĐUKIĆ, dipl.građ.inž, Univerzitet u Beogradu – Građevinski fakultet

RECENZENTI (Reviewers):

Dr Zorana NAUNOVIĆ, dipl.inž.tehnol, Univerzitet u Beogradu – Građevinski fakultet
Dr Aleksandar ĐUKIĆ, dipl. građ.inž, Univerzitet u Beogradu – Građevinski fakultet
Dr Božica VASILJEVIĆ, dipl.biol, Univerzitet u Beogradu – Institut za biološka istraživanja „Siniša Stanković“
Dr Maja RAKOVIĆ, dipl.biol, Univerzitet u Beogradu – Institut za biološka istraživanja „Siniša Stanković“

Svi radovi su publikovani pod CC-BY licencom. Svi radovi u ovom zborniku radova su recenzirani. Stavovi izneti u ovoj publikaciji ne odražavaju nužno i stavove izdavača, urednika ili programskog odbora.

TIRAŽ (Print run): 150 primeraka

ŠTAMPA: "Akademska izdanja", Zemun, 2025

CIP - Каталогизација у публикацији Народна библиотека Србије, Београд

502.51(082)
556.11(082)
628.3(082)
628.1(082)

ГОДИШЊА конференција о актуелним проблемима коришћења и заштите

вода (54 ; 2025 ; Копаноник)

Voda 2025 : zbornik radova 54. godišnje konferencije o aktuelnim problemima

korišćenja i zaštite voda = Water 2025 : conference proceedings 54th Annual
Conference of the Serbian Water Pollution Control Society, Kopaonik, 16. – 18. jun
2025. / [urednik, editor Aleksandar Đukić]. - Beograd : Srpsko društvo za zaštitu voda,

2025 (Zemun : Akademska izdanja). - X, 396 str. : ilustr. ; 24 cm

Tiraž 150. - Str. X: Predgovor / Aleksandar Đukić. - Bibliografija uz svaki rad. - Abstracts.
ISBN 978-86-82674-02-3

a) Воде -- Зборници b) Отпадне воде -- Зборници v) Снабдевање водом -- Зборници
COBISS.SR-ID 170171913

SRPSKO DRUŠTVO ZA ZAŠTITU VODA

ZBORNIK RADOVA

**54. GODIŠNJE KONFERENCIJE O AKTUELNIM TEMAMA
KORIŠĆENJA I ZAŠTITE VODA**

VODA 2025

*54TH ANNUAL CONFERENCE OF THE
SERBIAN WATER POLLUTION CONTROL SOCIETY
"WATER 2025"
CONFERENCE PROCEEDINGS*

Kopaonik, 16. – 18. jun 2025.

ORGANIZATOR KONFERENCIJE (*CONFERENCE ORGANISERS*):

Srpsko društvo za zaštitu voda (Beograd),

uz podršku

Ministarstva nauke, tehnološkog razvoja i inovacija Republike Srbije i
Inženjerske komore Srbije

ORGANIZACIONI ODBOR KONFERENCIJE (*ORGANIZING COMMITTEE*):

PREDSEDNIK: Dr Momir PAUNOVIĆ, dipl.biol, Univerzitet u Beogradu - Institut za
biološka istraživanja „Siniša Stanković“ Beograd

SEKRETAR: Suzana VASIĆ, Srpsko društvo za zaštitu voda, Beograd

ČLANOVI: Dr Branko MILJANOVIĆ, dipl.biol, Univerzitet u Novom Sadu,
Prirodno matematički fakultet
Dr Aleksandar ĐUKIĆ, dipl.građ.inž, Univerzitet u Beogradu –
Građevinski fakultet
Dr Maja RAKOVIĆ, dipl. biol, Univerzitet u Beogradu - Institut za
biološka istraživanja „Siniša Stanković“ Beograd Beograd
Slavica ŽIVKOVIĆ, Srpsko društvo za zaštitu voda, Beograd

ODRŽAVANJE KONFERENCIJE SU POMOGLI (*SPONSORED BY*):

- Ministarstvo nauke, tehnološkog razvoja i inovacija Republike Srbije
- Inženjerska komora Srbije

Slika na koricama: slika generisana veštačkom inteligencijom (ChatBot GPT) na temu „Zaštita
voda 2025“

BIOUGALJ POREKLOM OD PŠENIČNE SLAME I DRVETA: ODRŽIVO REŠENJE ZA UKLANJANJE PESTICIDA IZ VODE

Tijana Marjanović Srebro, Tajana Simetić, Jasmina Anojčić,
Tamara Apostolović, Nina Đukanović, Sanja Mutić, 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, email: tijanam@dh.uns.ac.rs, ORCID: 0009-0006-9886-6516,
0000-0002-0923-7034, 0000-0002-2750-1994, 0000-0002-0614-2611,
0009-0008-2746-4522, 0000-0003-3659-0455, 0000-0001-9269-4377*

REZIME

U ovom radu je ispitana efikasnost biougla poreklom od pšenične slame i drveta u adsorpciji pesticida, lindana i β -endosulfana iz vode. Razlike u adsorpciji između ova dva biougla analizirane su tokom različitih vremenskih intervala, uzimajući u obzir karakteristike biougla. Rezultati pokazuju da oba biougla efikasno uklanjaju pesticide, s tim da biougla poreklom od pšenične slame ima nešto višu efikasnost. Ovo istraživanje pruža ekološki prihvatljive alternative za tretman zagađene vode, doprinoseći očuvanju vodenih resursa.

KLJUČNE REČI: biougla, pšenična slama, drvo, pesticidi, adsorpcija

BIOCHAR FROM WHEAT STRAW AND WOOD: A SUSTAINABLE SOLUTION FOR PESTICIDE REMOVAL FROM WATER

ABSTRACT

This study investigates the efficiency of biochar derived from wheat straw and wood in the adsorption of pesticides, lindane, and β -endosulfan from water. The differences in adsorption between the two biochars were analyzed over various time intervals, considering their characteristics. The results show that both biochars effectively remove pesticides, with the biochar originating from wheat exhibiting slightly higher efficiency. This research offers environmentally friendly alternatives for treating contaminated water, contributing to the preservation of water resources.

KEY WORDS: biochar, wheat straw, wood, pesticides, adsorption

UVOD

Konvencionalna postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda (eng. *Wastewater Treatment Plant*, WWTP) ne mogu u potpunosti ukloniti organske mikropolutante (eng. *Organic micropollutants*, OMPs), kao što su lekovi, pesticidi, proizvodi za ličnu negu i sredstva za higijenu. Ovi mikropolutanti dospevaju u vodene ekosisteme i predstavljaju značajan rizik po životnu sredinu i zdravlje ljudi (Adeleye i sar., 2022). Iako koncentracije pojedinih mikropolutanata mogu biti niske, njihova dugotrajna prisutnost u vodi dovodi do hroničnih efekata na akvatične organizme, kao i do razvoja antibiotske rezistencije kod mikroorganizama (Ahmad i sar., 2019; Arslan i sar., 2017). Pored toga, tragovi ovih jedinjenja mogu završiti u vodi namenjenoj za piće i navodnjavanje, dodatno naglašavajući potrebu za njihovim efikasnijim uklanjanjem (Fekadu i sar., 2019).

Trenutni konvencionalni procesi u WWTP pokazuju varijabilnu efikasnost u uklanjanju mikropolutanata, u zavisnosti od njihovih fizičko-hemijskih karakteristika. Hidrofobni mikropolutanti se efikasnije uklanjaju procesima adsorpcije i koagulacije, dok se hidrofilna jedinjenja često teže uklanjaju ovim postupcima (Loos i sar., 2013; Margot i sar., 2013). Ova činjenica je podstakla na istraživanja dodatnih tretmana, kao što su ozonacija, membranska filtracija, nanofiltracija i fotokataliza (Rizzo i sar., 2019; Shah i sar., 2020). Među ovim metodama, adsorpcija na aktivnom uglju pokazala se kao jedno od najefikasnijih i najprihvaćenijih rešenja, zahvaljujući visokom kapacitetu uklanjanja širokog spektra organskih mikropolutanata (Oluwole i sar., 2020). Međutim, konvencionalni aktivni ugalj se uglavnom proizvodi iz fosilnih sirovina, poput lignita i uglja, što dovodi do velikog ugljeničnog otiska i visokih troškova transporta (Hagemann i sar., 2018). S obzirom na globalne zahteve za održivim rešenjima u tretmanu voda, biougalj predstavlja ekološki prihvatljivu alternativu. Biougalj se dobija pirolizom biomase i može biti proizveden lokalno iz obnovljivih izvora, smanjujući zavisnost od neobnovljivih resursa i negativan uticaj na životnu sredinu (Weber i Quicker, 2018). U zavisnosti od vrste biomase i uslova pirolize, biougalj može imati različite fizičko-hemijske karakteristike koje utiču na njegovu sposobnost adsorpcije mikropolutanata.

Cilj ovog rada je ispitivanje efikasnosti biougla dobijenog iz pšenične slame i biougla dobijenog od biomase drveta u adsorpciji pesticida lindana i β -endosulfana iz vode, kao potencijalnog održivog rešenja za uklanjanje ovih mikropolutanata iz vode. Lindan i β -endosulfan odabrani su kao model mikropolutanti, jer pripadaju grupi organohlorinih pesticida, koji su se decenijama intenzivno koristili u poljoprivredi, a istovremeno su izuzetno postojani u životnoj sredini. Lindan je zbog svoje hemijske stabilnosti prisutan u različitim tipovima voda, što može da predstavlja ozbiljan ekološki i zdravstveni problem. Slična situacija je i sa β -endosulfanom, čija spora razgradnja omogućava njegovo dugotrajno prisustvo u vodi i zemljištu, uprkos zabrani njegove upotrebe u mnogim zemljama.

MATERIJALI I METODE

HEMIKALIJE I REAGENSI

U eksperimentima su korišćeni lindan, Pestanal® (CAS No. 58-89-9, Fluka) i β -endosulfan, Pestanal® (CAS No. 33213-65-9, Sigma Aldrich), početnih koncentracija 100 $\mu\text{g/L}$. Organski rastvarači korišćeni u istraživanju su metanol (CAS No. 67-56-1, J.T. Baker®) i heksan (CAS No. 110-54-3, J.T. Baker®). Za potrebe eksperimenta korišćene su dve vrste biouglja, poreklom od pšenične slame i drveta (fizičko-hemijske karakteristike su prikazane u Tabeli 1). Fizičko-hemijska karakterizacija ispitivanih ugljeničnih adorbena podrazumevala je određivanje BET specifične površine i određivanje elementarnog sastava ispitivanih materijala. Korišćeni biougljevi su dobijeni pirolizom na 700°C, a postupak proizvodnje je detaljno objašnjen u radu Mutić i sar. (2025).

Tabela 1. Fizičko-hemijska karakterizacija primenjenih biougljeva
Table 1. Physicochemical characterization of the applied biochar

Tip biouglja	Parametar				
	BET (m ² /g)	Elementarni sastav materijala			
		C (%)	H (%)	N (%)	S (%)
Drvo	284	89,80±2,47	0,90±0,05	0,42±0,08	<0,03
Pšenica	80,8	66,29±2,23	1,66±0,01	0,94±0,07	2,01±0,32

DIZAJN EKSPERIMENTA

U 50 mL dejonizovane vode dodat je biouglj u koncentraciji od 0,2 g/L. Eksperimenti su sprovedeni na mućkalici (IKA® KS 501) pri brzini mućkanja od 180 o/min. Vremenski intervali kontakta biouglja sa rastvorom iznosili su 60, 180, 360, 1440, 2880 i 4320 minuta. Po isteku definisanog vremena, uzorci su filtrirani kroz celulozno-nitratni filter papir (0,45 μm , Sartorius, SAD). Nakon filtracije, pripremljeni uzorci su podvrgnuti tečno-tečnoj ekstrakciji sa heksanom, a zatim analizirani gasnom hromatografijom sa masenim detektorom (GC/MS).

REZULTATI I DISKUSIJA

U Tabeli 2 je predstavljena efikasnost adsorpcije pesticida (lindan i β -endosulfan) na biouglju dobijenom iz pšenične slame i drveta u različitim vremenskim intervalima. Rezultati eksperimenta pokazali su jasnu razliku u efikasnosti adsorpcije između biouglja dobijenog iz biomase drveta i pšenične slame za oba pesticida.

Tabela 2. Efikasnost adsorpcije (%) pesticida (lindana i β -endosulfana) na biouglju poreklom od pšenične slame i drveta u različitim vremenskim intervalima
 Table 2. Adsorption efficiency (%) of pesticides (lindane and β -endosulfan) on biochar originating from wheat straw and wood at different time intervals

		Efikasnost adsorpcije (%)			
Jedinjenje		Lindan	β -endosulfan	Lindan	β -endosulfan
Tip biougla		Drvo	Drvo	Pšenica	Pšenica
Vreme kontakta (min)	60	5,830	23,97	12,59	46,13
	180	33,92	51,77	21,90	61,44
	360	44,61	65,97	41,28	79,96
	1440	51,47	73,99	56,76	83,87
	2880	50,88	74,40	55,32	84,62
	4320	51,80	74,85	57,33	84,70

Pri početnom kontaktnom vremenu (60 minuta), biouglj dobijen iz pšenične slame pokazuje veću adsorpciju oba pesticida u poređenju sa biougljem poreklom od drveta. Adsorpcija za β -endosulfan na biouglju dobijenim iz pšenične slame iznosi 46,13%, što je gotovo dvostruko više od 23,97% (vrednost dobijena za biouglj poreklom od drveta). Sličan trend primećen je i kod lindana, gde adsorpcija iznosi 12,59% za biouglj dobijen od biomase pšenične slame naspram 5,83% za biouglj dobijen od biomase drveta.

Ova početna razlika u adsorpcionim kapacitetima može se povezati sa specifičnim fizičko-hemijskim karakteristikama biougla. Iako biouglj poreklom od drveta poseduje veću specifičnu površinu (284 m²/g, Tabela 1) u poređenju sa biougljem poreklom od biomase pšenične slame (80,8 m²/g, Tabela 1), biouglj od pšenične slame sadrži veći udeo heteroatoma, naročito sumpora (2,01%, Tabela 1) i azota (0,94%, Tabela 1), što može doprineti prisustvu više reaktivnih funkcionalnih grupa na njegovoj površini. Prisustvo takvih grupa može povećati afinitet prema organskim mikropolutantima, posebno onima sa izraženom polarnom ili elektrofilnom prirodom. S obzirom na to da je β -endosulfan polarniji od lindana zbog prisustva epoksidne i sulfidne grupe, moguće je da funkcionalne grupe bogate heteroatomima prisutne na površini biougla iz pšenične slame doprinose jačim međumolekulskim interakcijama, što se odražava u njegovoj većoj efikasnosti adsorpcije.

Pri dužem kontaktnom vremenu od 360 minuta, adsorpcija β -endosulfana na biouglju dobijenom iz pšenične slame dostiže 79,96%, dok se kod biougla poreklom od drveta beleži nešto niža vrednost od 65,97%. Kod lindana, razlika se smanjuje, 41,28% za pšeničnu slamu i 44,61% za drvenu biomasu. Ova dinamika može ukazivati na postepeno aktiviranje dodatnih adsorpcionih mesta, kao i na potencijalnu razliku u difuziji pesticida unutar porozne strukture.

Iako se vrednosti adsorpcije nakon 1440 minuta manje razlikuju, biougalj poreklom od pšenične slame i dalje pokazuje nešto višu efikasnost, 56,76% za lindan i 83,87% za β -endosulfan, u poređenju sa 51,47% i 73,99% za biougalj poreklom od drveta. Na 2880 i 4320 minuta, razlika između oba biouglja dodatno opada, ali biougalj iz pšenične slame zadržava blagu prednost, što potvrđuje značaj hemijskog sastava i funkcionalne površine u procesima adsorpcije pesticida.

Dobijeni rezultati sugerišu da je biougalj dobijen iz pšenične slame efikasniji u procesu adsorpcije lindana i β -endosulfana, verovatno zahvaljujući specifičnoj morfologiji i prisustvu funkcionalnih grupa koje ostaju aktivne. Ipak, dalja istraživanja su potrebna kako bi se ovi mehanizmi detaljnije razjasnili i potvrdili eksperimentalno. Pored ekološke efikasnosti u uklanjanju pesticida, upotreba biouglja dobijenog iz pšenične slame i drveta takođe pruža održivo rešenje za rešavanje problema zagađenosti voda. Pirolizom biomase, kao što je pšenična slama, ne samo da se smanjuje količina otpada, već se i stvara proizvod koji može značajno doprineti očuvanju vodenih resursa. Ovaj proces takođe smanjuje emisiju ugljen-dioksida u poređenju sa tradicionalnim sagorevanjem biomase, čineći biougalj ekološki prihvatljivijom opcijom.

ZAKLJUČAK

Rezultati ovog istraživanja pokazuju da biougljevi dobijeni iz pšenične slame i drveta imaju određenu efikasnost u adsorpciji pesticida, lindana i β -endosulfana, uz očiglednu prednost biouglja poreklom od pšenične slame u većini vremenskih intervala. Iako biougalj poreklom od pšenične slame pokazuje bolju efikasnost, biougalj poreklom od drveta takođe predstavlja potencijalno održivo rešenje za uklanjanje ovih zagađivača iz vode. Razlike u adsorpciji mogu se objasniti specifičnim fizičko-hemijskim karakteristikama oba biouglja, uključujući poroznu strukturu i prisustvo funkcionalnih grupa koje olakšavaju interakciju sa pesticidima. Ovi nalazi ukazuju na to da oba biouglja mogu biti efikasna sredstva za tretman kontaminirane vode, pružajući ekološki prihvatljive alternative za rešavanje problema sa zagađenjem voda pesticidima. Dalja istraživanja mogu doprineti optimizaciji primene oba biouglja u različitim uslovima tretmana.

Zahvalnica

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

LITERATURA

- Adeleye, A.S., Xue, J., Zhao, Y.X., Taylor, A.A., Zenobio, J.E., Sun, Y., Han, Z.W., Salawu, O.A., Zhu, Y.R., Abundance, fate, and effects of pharmaceuticals and personal care products in aquatic environments, *Journal of Hazardous Materials* 424 (2022) 127284.
- Ahmad, J., Naeem, S., Ahmad, M., Usman, A.R.A., Al-Wabel, M.I., A critical review on organic micropollutants contamination in wastewater and removal through carbon nanotubes, *Journal of Environmental Management* 246 (2019) 214–228.

- Arslan, M., Ullah, I., Müller, J.A., Shahid, N., Afzal, M., Organic micropollutants in the environment: ecotoxicity potential and methods for remediation. In: Enhancing Cleanup of Environmental Pollutants, pp. 65–99 (2017).
- Hagemann, N., Spokas, K., Schmidt, H.P., Kagi, R., Bohler, M.A., Bucheli, T.D., Activated carbon, biochar and charcoal: linkages and synergies across pyrogenic carbon's ABCs, *Water* 10 (2018) 2.
- Loos, R., Carvalho, R., Antonio, D.C., Cornero, S., Locoro, G., Tavazzi, S., Paracchini, B., Ghiani, M., Lettieri, T., Blaha, L., Jarosova, B., Voorspoels, S., Servaes, K., Haglund, P., Fick, J., Lindberg, R.H., Schwesig, D., Gawlik, B.M., EU-wide monitoring survey on emerging polar organic contaminants in wastewater treatment plant effluents, *Water Research* 47 (2013) 6475–6487.
- Margot, J., Kienle, C., Magnet, A., Weil, M., Rossi, L., de Alencastro, L.F., Abegglen, C., Thonney, D., Chevre, N., Scharer, M., Barry, D.A., Treatment of micropollutants in municipal wastewater: ozone or powdered activated carbon?, *Science of the Total Environment* 461 (2013) 480–498.
- Oluwole, A.O., Omotola, E.O., Olatunji, O.S., Pharmaceuticals and personal care products in water and wastewater: a review of treatment processes and use of photocatalyst immobilized on functionalized carbon in AOP degradation, *BMC Chemistry* 14 (2020) 1.
- Rizzo, L., Malato, S., Antakyali, D., Beretsou, V.G., Dolic, M.B., Gernjak, W., Heath, E., Ivancev-Tumbas, I., Karaolia, P., Ribeiro, A.R.L., Mascolo, G., McArdell, C.S., Schaar, H., Silva, A.M.T., Fatta-Kassinos, D., Consolidated vs new advanced treatment methods for the removal of contaminants of emerging concern from urban wastewater, *Science of the Total Environment* 655 (2019) 986–1008.
- S., Mutić, J., Anojčić, N., Đukanović, T., Apostolović, T., Simetić, J., Petrović, J., Beljin, J., Exploring wood-derived biochar potential for electrochemical sensing of fungicides mancozeb and maneb in environmental water samples, *Talanta* 287 (2025) 127648.
- Shah, A.I., Dar, M.U.D., Bhat, R.A., Singh, J.P., Singh, K., Bhat, S.A., Prospectives and challenges of wastewater treatment technologies to combat contaminants of emerging concerns, *Ecological Engineering* 152 (2020).
- Weber, K., Quicker, P., Properties of biochar, *Fuel* 217 (2018) 240–261.
- Westerlund, C., Viklander, M., Particles and associated metals in road runoff during snowmelt and rainfall, *Science of the Total Environment* 362 (2006) 143–156.