

SAVEZ INŽENJERA I TEHNIČARA SRBIJE



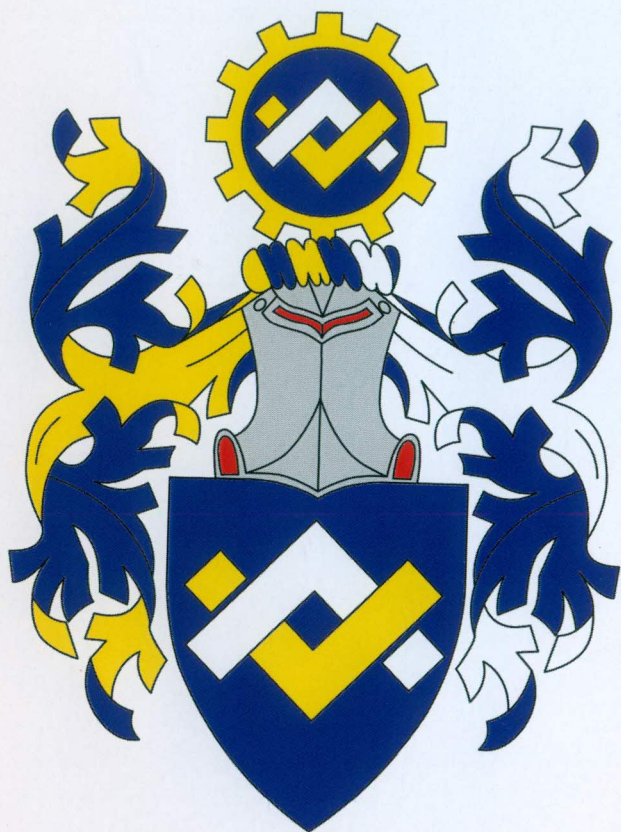
**43. MEĐUNARODNA  
KONFERENCIJA**

**ZBORNİK RADOVA**

**VODOVOD I KANALIZACIJA '22**

**Zrenjanin**

**11 - 14. oktobar 2022.**



**ИНЖЕЊЕРСКА  
КОМОРА  
СРБИЈЕ**



**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 Orašanić, prof. dr Darko Vuksanović, prof. dr Goran Sekulić, prof. dr Vaso Novaković, mr Olivera Doklešić, 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 Šošarić, dr Dušan Milojkov, dr Jelena Petrović, Zoran Nikolić, Milan Đorđević, Marijana Mihajlović, Olivera Čosović, MSc i Olja Jovičić

**Glavni i odgovorni urednik:**

prof. dr Milovan Živković, dipl. inž.

**Lektura i korektura:**

Olivera Čosović, 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

**Organizator:**

**Savez inženjera i tehničara Srbije**

**Suorganizatori:**

**ITNMS - Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, Beograd**

**Prirodno-matematički fakultet – Departman za hemiju, biohemiju i zaštitu životne sredine, Novi Sad**

**Tehnološko-metalurški fakultet – Katedra za neogransku hemijsku tehnologiju, Beograd**

**Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“, Beograd**

**Inženjerska akademija Srbije, Beograd**

**IPIN Institut za primjenjenu geologiju i vodoinženjering, Bijeljina**

**JKP „Vodovod i kanalizacija“, Zrenjanin**

**Društvo inženjera Zrenjanin**

**Uz podršku:**

**Inženjerske komore Srbije, Beograd**

**Pod pokroviteljstvom:**

**Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja  
Republike Srbije i  
Grada Zrenjanina**



## СИТС - САВЕЗ ИНЖЕЊЕРА И ТЕХНИЧАРА СРБИЈЕ ИСТОРИЈАТ И САДРЖАЈ РАДА

### ИСТОРИЈАТ

Корени српске техничке цивилизације почињу још у доба Немањића. Зачеци инжењерства су у рударско-металуршким подухватима (Ново брдо) и грађењу величанствених сакралних објеката средњевековне српске државе.

Од Првог (1804), а посебно Другог српског устанка (1815), оживљава српско градитељство које је нарочито од тридесетих година било везано за изградњу саобраћајница, подизање јавних објеката, уређење вароши, и др.

У то време (1834/35. године) из аустријског царства долазе и први државни службеници – “правителствени инџинири” (Франц Јанке и барон Франц Кордон), а у том веку Србијом је прошло око 600 инжењера.

Започињање наставе на Техничком факултету Велике школе 1863. године значило је прекретницу у школовању српских инжењера. Поред школовања у земљи један број инжењера се школовао и у иностранству.

Истовремено са школовањем првих техничких кадрова јавља се и иницијатива за оснивањем стручне, еснафске организације. ТАКО ВЕЋ 3. ФЕБРУАРА 1868. ГОДИНЕ, САМО ГОДИНУ ДАНА ПОСЛЕ ПРЕДАЈЕ КЉУЧЕВА ГРАДА БЕОГРАДА ОД СТРАНЕ ТУРСКОГ ПАШЕ КНЕЗУ МИХАЈЛУ, ДОЛАЗИ ДО ОСНИВАЊА „ТЕХНИЧАРСКЕ ДРУЖИНЕ“, чији је први председник био Емилијан Јосимовић и тај датум је усвојен као година настанка наше организације. Убрзо затим (1869) оснива се и Удружење за пољску привреду, односно Српско пољопривредно друштво.

Године 1890. долази до оснивања Удружења српских инжењера, а од 1896. инжењера и архитеката

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

достављање Домовима и осталом имовином, извршавање општих, административних, стручних, рачуноводствено-финансијских, техничких и других ова преко Стручне службе Савеза инжењера и техничара Србије у свом ресу, интересу чланова, чланица, запослених и друго.

Савез и чланице Савеза имају развијену сарадњу са органима локалне самоуправе, одговарајућим градским и републичким министарствима и другим организацијама, академском академијом наука и уметности, Инжењерском комором Србије, Инженерском академијом Србије, Привредном комором Србије, са многим предузетним и стручним асоцијацијама, факултетима и универзитетима и другим институцијама. Имамо развијену и одговарајућу међународну сарадњу са организацијама из других држава.

У последњих неколико година на основу Закона и уговора са надлежним републичким министарствима организује и спроводи послове одржавања стручних области инжењерских струка у Републици Србији.

Савез инжењера и техничара Србије – СИТС, данас има више хиљада својих чланова и чланица у Србији, и то: 27 чланица на републичком нивоу, струковне коморе различитих инжењерских струка, (архитектура, урбанизам, грађевинарство, електротехника, рударство, геологија, геодезија, агрономија, шумарство и др.), 18 колективних чланица савеза на покрајинском, градском и општинском нивоу.

Савез је оснивач ИАС – Инжењерске академије Србије. У оквиру Савеза функционисао је од 2002. године Развојни центар СИТС-а који ангажује наше научнике и стручњацима на решавању многих текућих и развојних садржаја из области привреде и науке.

Савез издаје бројних периодичних публикација, редовно излази више стручних часописа којима: „Техника“, „КГХ“ (Климатизација, грејање, хлађење), „Изградња“, „Процесна техника“, „Пољопривреда“, „Шумарство“, „Текстилна индустрија“, „Екологика“, „Заштита материјала“ и други.

Савез има своју покретну и непокретну имовину (Домове инжењера у Београду, који се стално финансира, редовно измирује своје обавезе према свим државним органима и својим добављачима и успешно послује).

Савез инжењера и техничара Србије, као национална инжењерска организација, члан је међународних организација, и то FEANI – Европска федерација националних инжењерских удружења и COPISSE – Стална конференција инжењера Југоисточне Европе.

Савез је као чланица FEANI посебно учествује у програмима који се односе на струковну едукацију инжењера, затим у оквиру посебне Комисије за мостове и везе са добијањем EUR-ING титуле и друго.

Савез је су давно постављени и евидентни су резултати пређашњег рада. Савез је инспирацију у прошлим временима сагласно многим и великим пројектима, а посебно у техници и технологији, Савеза инжењера и техничара Србије чланице у континуитету иновирају свој рад, од интереса за своје чланице, грађане и државу Србију.

*Marija Ercegović, Jelena Petrović, Marija Simić, Marija Koprivica, Marija Kojić, Dimitrios Kalderis*

**Valorizacija otpadne biomase za proizvodnju efikasnih adsorbenata teških metala hidrotermalnom karbonizacijom .....13**

*Marija Simić, Jelena Petrović, Tatjana Šoštarić, Marija Ercegović, Jelena Milojković, Marija Koprivica, Jelena Dimitrijević*

**Potencijalna upotreba agroindustrijskog otpada za uklanjanje teških metala iz otpadnih voda .....19**

*Rada Petrović*

**Postupci uklanjanja bora iz podzemnih voda .....25**

*Željka Ostojić, Branislav Babić, Strahinja Nikolić,*

*Maja Đorović Stevanović, Sanja Marčeta*

**Efekti klimatskih promena na vodovodne distributivne mreže .....31**

*Dragan Vlatković, Dušan Todorović*

**Monitoring i analiza noćne potrošnje kao pouzdanog indikatora gubitaka .....41**

*Branislav Babić, Ognjen Govedarica, Aleksandar Đukić*

**Bilans voda u vodovodu – metodološki pristupi i terminologija .....47**

*Miroslav Kukučka, Nikoleta Kukučka Stojanović*

**Kondicioniranje podzemnih voda bogatih gvoždem i manganom u cilju dobijanja vode za piće .....53**

*Stanko Stankov*

**Značaj velikih podataka u vodovodnim i kanalizacionim sistemima .....58**

*Mladen Popov, Marijana Kragulj Isakovski, Tamara Apostolović,*

*Aleksandra Tubić, Nikica Ivić, Marina Šćiban, Jasmina Agbaba*

**Statistička analiza promene sadržaja organskih materija tokom prerade vode za piće .....68**

*Jurica Kovač*

**Pokazatelji i ocjene aktivnosti kontrole gubitaka vode .....75**

*Olivera Doklešić*

**Fizički (ne)integritet vodovodnog sistema na praktičnom primjeru oštećenja glavnog cjevovoda u Đenoviću, Opština Herceg Novi.....90**

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

Инфилтрација – важна компонента кишне канализације са аспекта  
климатских промена .....279

Điloković, Nikola Divac

Кишни преливи за прикључење отпадних вода на тунел  
„Карабурма“ .....291

Đetrović, Marija Mihajlović-Kostić, Slavica Lazarević,  
Đanković-Častvan, Đorđe Janačković

Адсорпција  $Cd^{2+}$  и  $Zn^{2+}$  јона из еквимоларних двокомпонентних  
раствора у комуналној отпадној води и дејонизованој води на  
природном и модификованом зеолиту .....297

Stankov

Фреквенцијска регулација у системима водовода и канализације .....304

Prohaska, Stevan Prohaska

Квантитативне карактеристике киша јаког интензитета у околини града  
Београда са аспекта пројектовања кишне канализације .....314

Đespotović, Jasna Plavšić, Andrijana Todorović, Nenad Jaćimović,  
Đanić, Dušan Prodanović, Dragutin Pavlović, Ljiljana Janković,  
Đar Đukić, Marko Ivetić, Anja Ranđelović

Пројекат кишне канализације у градовима – анализе и фазе за израду  
пројеката кишне канализације .....323

Đuksanović, Dragan Radonjić, Jelena Šćepanović

Управљање процједним отпадним водима на новој санитарној  
општини у општини Жаблијак .....340

Đerendija, Mina Popović, Verica Ljubić, Dragana Milošević,  
Đo Cvetković

Ефикасност примене отпадне биомасе хмелја за адсорпцију јона  
 $Cd^{2+}$  из водених раствора .....351

Đokulić

Ефикасност уградње малих хидроелектрана у склопу постројења  
за пречишћавање отпадних вода .....357

## ВАЛОРИЗАЦИЈА ОТПАДНЕ БИОМАСЕ ЗА ПРОИЗВОДЊУ ЕФИКАСНИХ АДСОРБЕНАТА ТЕШКИХ МЕТАЛА ХИДРОТЕРМАЛНОМ КАРБЕНИЗАЦИЈОМ

### VALORIZATION OF WASTE BIOMASS FOR THE PRODUCTION OF EFFICIENT HEAVY METAL ADSORBENTS BY HYDROTHERMAL CARBONIZATION

МАРИЈА ЕРЦЕГОВИЋ<sup>1</sup>, ЈЕЛЕНА ПЕТРОВИЋ<sup>2</sup>, МАРИЈА СИМИЋ<sup>3</sup>,  
МАРИЈА КОПРИВИЦА<sup>4</sup>, МАРИЈА КОЈИЋ<sup>5</sup>, ДИМИТРИОС КАЛДЕРИС<sup>6</sup>

**Резиме:** Применом зелене технологије хидротермалне карбенизације (ХТЦ) влажна отпадна биомаса може се ефикасно конвертовати у хидрочађ (ХЦ), производ сличан угљу, одличних адсорпционих карактеристика. ХЦ иако ниже порозности у односу на комерцијалне биоугљеве, веома су богате реактивним кисеоничним функционалним групама (КФГ) које имају значајну улогу у адсорпцији неорганских полутаната. Адсорпција применом ХЦ мискантуса добијене ХТЦ-ом на 180°C је испитивана уклањањем  $Cu^{2+}$  и  $NH_4^+$  из водених раствора при чему су постигнута максимална капацитет уклањања од 310 и 71 mg/g, респективно. Да би се додатно побољшала способност сорпције тешких метала, испитиване су различите методе активације површинске структуре ХЦ. Алкални третман ХЦ комине грожђа добијене ХТЦ-ом на 220°C побољшао је капацитет уклањања  $Pb^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$  и  $Cu^{2+}$  из воденог раствора пет пута, на 137, 49.3 и 38.2 mg/g, респективно. Калцификацијом ХЦ супстрата за гајење гљива, добијене ХТЦ-ом на 200°C, дизајниран је нов адсорбент Са-пиро-ХЦ за  $Pb^{2+}$  и  $Cd^{2+}$  (297 mg/g и 131 mg/g, респективно). Добијањем високо ефикасних адсорбента из отпадне биомасе применом ХТЦ, може се подстаћи санирање проблема загађења воде, земље, и ваздуха у Србији.

<sup>1</sup> Марија Ерцеговић, Институт за технологију нуклеарних и других минералних сировина, Франше д'Еперea 86, Београд

<sup>2</sup> Јелена Петровић, Институт за нуклеарне науке „Винча“, Мике Петровића Аласа 12-14, Винча, Београд

<sup>3</sup> Марија Симић, Институт за технологију нуклеарних и других минералних сировина, Франше д'Еперea 86, Београд

<sup>4</sup> Марија Копривица, Институт за технологију нуклеарних и других минералних сировина, Франше д'Еперea 86, Београд

<sup>5</sup> Марија Којић, Институт за нуклеарне науке „Винча“, Мике Петровића Аласа 12-14, Винча, Београд

<sup>6</sup> Димитриос Калдерис, Department of Electronic Engineering, School of Engineering, Hellenic Mediterranean University, Chania, Crete, Greece

**Кључне речи:** хидротермална карбонизација, отпадна биомаса, адсорпција, тешки метали, третман отпадне воде.

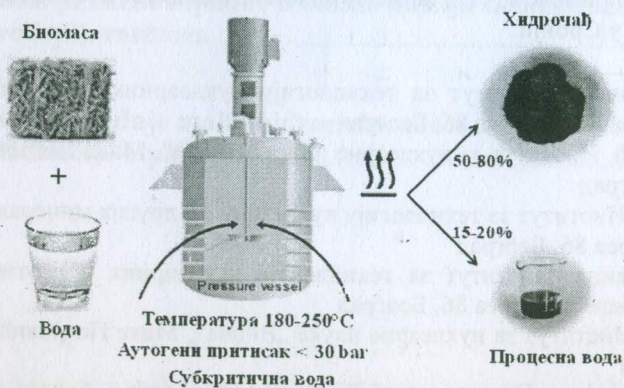
**Abstract:** Using the green technology of hydrothermal carbonization (HTC), wet biowaste can be efficiently converted into hydrochar (HC), a coal-like product with outstanding adsorption characteristics. Although of lower porosity compared to commercial biochars, HCs are rich in reactive oxygen functional groups that play a significant role in the adsorption of inorganic pollutants. The adsorption behavior of miscanthus HC, obtained by HTC at 180°C, was investigated by removing  $\text{Cu}^{+2}$ , and  $\text{NH}_4^+$  from aqueous solutions, where the maximum removal capacities of 310 and 71 mg/g were achieved, respectively. To further improve the sorption capacity of HC for heavy metals, various activation methods of the HC surface were investigated. Alkaline treatment of grape pomace HC, obtained by HTC at 220°C, improved the adsorption capacity for  $\text{Pb}^{+2}$  and  $\text{Cd}^{+2}$  and  $\text{Cu}^{+2}$  by fivefold to 137, 49.3 and 38.2 mg  $\text{g}^{-1}$ , respectively. Also, a new adsorbent, Ca-pyro-HC, was designed for  $\text{Pb}^{+2}$  and  $\text{Cd}^{+2}$  removal (297 mg/g and 131 mg/g, respectively) by calcification of spent mushroom substrate HC derived through HTC at 200°C. By obtaining highly efficient adsorbents from biowaste using HTC it is possible to encourage the remediation of water, land, and air pollution problems in Serbia

**Key Words:** Hydrothermal carbonization, waste biomass, adsorption, heavy metals, wastewater treatment.

## 1. Хидротермална карбонизација

Смањење количине угљеника у атмосфери улагањем у истраживања производње енергената и нових материјала из обновљивих извора, приоритет је највећих светских биономија. Из тог разлога имплементација зелених технологија термохемијске конверзије отпадне биомасе у производе нове употребне вредности као што је хидротермална карбонизација (ХТЦ), данас привлаче велику пажњу[1].

ХТЦ представља поступак конверзије органског материјала применом умерено повишене температуре (180-260°C) и аутогеног притиска у затвореном реактору (аутоклаву) у угљенични материјал сличних или бољих карактеристика од фосилног угља назван хидрочађ (ХЦ).



Слика 1. Шематски приказ процеса хидротермалне карбонизације биомасе

Током овог процеса највећи део угљеника из биљног отпада (и до 80%) преводи се у чврст хидрофобни материјал сличан лигниту и/или тресету, високе енергетске густине, без ослобађања угљендиоксида и метана у атмосферу. Поред ХЦ при хидротермалној конверзији генеришу се одређене количине процесне воде, богате фенолним компонентама и раствореним органским фрагментима, Принос и карактеристике добијених производа зависе од реакционих услова и од биомасе која се користи као сировина (слика 1) [2].

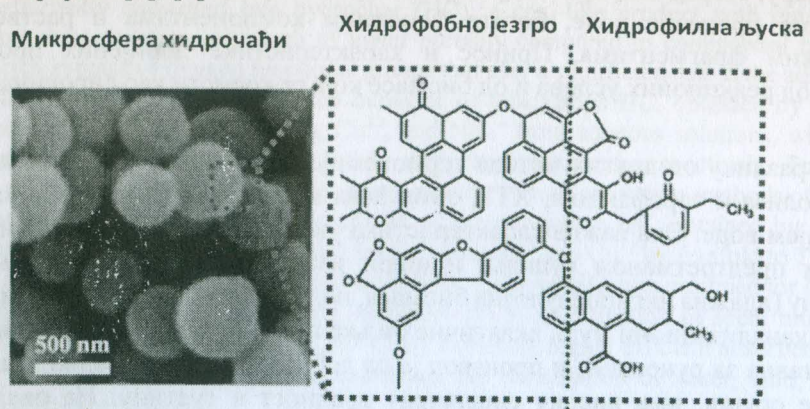
За разлику од других метода термохемијске конверзије биомасе као што су пиролиза и торефакција, ХТЦ омогућава коришћење биомасе са високим садржајем воде. Ова важна карактеристика уклања потребу за интензивним и скупим предтретманом сушења и шири избор потенцијалних биомаса за примену (влажна лигноцелулозна биомаса, пољопривредни остаци, комунални отпад, канализациони муљ, акватичне биљке и др.). Осим тога добијена ХЦ је једноставна за руковање, и производ је са dobrим својствима одводњавања, а када се осуши, има високу енергетску вредност и густину. На овај начин превазилазе се основни недостаци примене сирове биомасе као што су ниска енергетска густина, висок садржај влаге, високи транспортни трошкови и проблеми складиштења и руковања. Поред тога, због својих интересантних структурних карактеристика ХЦ осим као енергенти има широк спектар других еколошких, електрохемијских и каталитичких примена (биосорбент, ремедијатор и кондиционер земљишта, носачи катализатора и др.). Занимљиве особине ове технологије намећу питање њеног великог капацитета примене, нарочито у Србији која располаже потенцијално великом количином обновљивог ресурса у виду биомасе [3].

## 2. Примена хидрочађи у уклањању тешких метала из отпадних вода

Бројне студије су показале да биосорбенти имају конкурентне перформансе у уклањању неорганских и органских загађивача из отпадних вода, у поређењу са активним угљем који се обично користи [4][5]. Међутим, биомасе су биоразградиве и имају ниску специфичну површину, стога не испуњавају строге критеријуми пречишћавања воде постигнуте јоноизмењивачима, неоргански пречистачима и активним угљем. Из тог разлога, испитивање метода термохемијске конверзије како би се произвео хемијски стабилан порозни угљенични материјал, са побољшаним капацитетима адсорпције, је у сталном порасту. Са становишта енергетске ефикасности конверзије, ниске радне температуре, не емитавања гасова стаклене баште, и рекордно високог приноса, ХТЦ се издвојио као посебно пожељан метод.

Поред тога, добијене ХЦ се одликују јединственом структуром микро-сфера. Микросфере су типа језгро-љуска са пречником 2-10  $\mu\text{m}$ . Језгро је хидрофобно и садржи стабилне кисеоничне групе (етарске, пиронске и хинонске). Љуска је хидрофилна и састоји се од бројних реактивних кисеоничних функционалних група (КФГ) као што су карбонилне и хидроксилне/фенолне

(слика 2). Иако типично слабе порозности услед великог броја реактивних КФГ на својој површини, ХЦ показују потенцијал за примену као адсорбенти и прекурсори за пројектовану/модификовану производњу порозних угљеничних материјала [6], [7].



Слика 2. Приказ структуре микросфера хидрочађи [8]

Последњих година група истраживача Института за технологију нуклеарних и других минералних сировина из Београда, са својим колегама и сарадницима из земље и иностранства, интензивно се бави проучавањем потенцијалних примена ХЦ-и добијених ХТЦ-ом из лигноцелулозне биомасе. У даљем тексту биће укратко сумирани неки од досадашњих резултата наших истраживања везани за употребу ХЦ-и као адсорбенса различитих полутаната из водених раствора и испитивања могућности њихове површинске модификације различитим методама.

Адсорпција применом ХЦ мискантуса добијене на 180, 200, 220, 240 и 260°C је испитивана уклањањем  $\text{Cu}^{2+}$ , и  $\text{NH}_4^+$  јона из водених раствора у шаржном систему. Утврђено је да се повећањем ХТЦ температуре повећава и садржај угљеника у узорцима ХЦ (47,9 и 68,9% за узорке припремљене на 180 и 260°C, редом), док је садржај кисеоника смањен (са 44,2 на 25,5%, редом). Као оптимални узорак за уклањање  $\text{Cu}^{2+}$ , и  $\text{NH}_4^+$  из водених раствора идентификован је МИС-180, који је постигао максималне вредности коефицијента уклањања од 310 и 71 mg/g, респективно. Изотермна и кинетичка анализа указале су на већи број КФГ у МИС-180 у односу на друге узорке ХЦ као главни разлог већег адсорпционог капацитета. Адсорпција  $\text{Cu}^{2+}$  је пратила кинетички модел другог реда, док је адсорпција  $\text{NH}_4^+$  пратила кинетички модел првог реда. Ово је последица различитих механизма укључених у везивање полутанта као и формирање комплекса унутрашње и спољашње сфере, редом [9]. Да би се додатно побољшала способност сорпције тешких метала, испитиване су различите методе активације површинске структуре ХЦ. Алкално модификована ХЦ комине грожђа је испитивана као потекцијални адсорбент јона различитих метала. Алкални третман ХЦ комине грожђа добијене ХТЦ-ом на 220°C побољшао је капацитет уклањања  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$  и  $\text{Cu}^{2+}$  из воденог

раствора пет пута, на 137, 49.3 и 38.2 mg/g, респективно [10]. Сумирањем добијених резултата закључено је да је алкално модификована ХЦ комине грожђа врло ефикасан адсорбент различитих металних јона.

Недавно испитивање двостепене модификације истрошеног супстрата шампињона (СМС) потврдило је да је нова калцијум-пиро-хидрочађ (Са-ПХЦ) врло ефикасан сорбент  $\text{Pb}^{2+}$  и  $\text{Cd}^{2+}$  из воденог раствора. Са-ПХЦ добијен је ХТЦ-ом СМС-а на 200°C а затим активацијом ХЦ-СМС са  $\text{CaCl}_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  процесом пиролизе. Ефикасност уклањања Са-ПХЦ била је вишеструко већа од ХЦ-СМС због побољшана функционалности његове површине. Серија експеримената је урађена да се тестира ефекат рН, дозе сорбента, почетне концентрације металних јона и времена контакта на адсорпциони капацитет Са-ПХЦ.

Резултати су показали да процес адсорпције  $\text{Pb}^{2+}$  и  $\text{Cd}^{2+}$  на Са-ПХЦ прати кинетички модел псеудо-другог реда и Фројндлихова изотерма. Максимални адсорпциони капацитети Са-ПХЦ за  $\text{Pb}^{2+}$  и  $\text{Cd}^{2+}$  били су 297 и 131 mg/g, редом. Уклањање одабраних метала постигнуто је механизмима јонске размене, површинским комплексирањем, таложењем, и  $\pi$ - $\pi$  интеракцијама катјона. Термодинамички параметри су показали да је адсорпција одабраних метала са Са-ПХЦ спонтани и ендотермни процес. Дакле, добијени Са-ПХЦ пореклом из биоотпада показао се као врло ефикасан и хемијски стабилан биосорбент  $\text{Pb}^{2+}$  и  $\text{Cd}^{2+}$  из отпадних вода [11]

### 3. Закључак

Применом ХТЦ влажна отпадна биомаса може се ефикасно конвертовати у ХЦ која иако ниже порозности у односу на комерцијалне биоугљеве, садржи велики број реактивних КФГ које имају значајну улогу у адсорпцији неорганских полутаната. Тако је адсорпција различитих метала из водених раствора применом ХЦ добијених из лигноцелулозног биоотпада показала да се ови материјали могу успешно користити као хемијски стабилни биосорбенти конкурентних адсорпционих потенцијала.

Додатна активација површине ХЦ доприноси њиховим бољим адсорпционим перформансама. Алкална активација и калцификација су неке од предложених метода којима се способност уклањања метала из отпадних вода помоћу ХЦ може вишеструко побољшати. Даља истраживања у овој области омогућиће у будућности добијање материјала високе употребне вредности као и пораст броја истраживања који промовишу одрживо управљање отпадном биомасом.

### 4. Литература

[1] Михајловић М, и остали. Hydrothermal carbonization of Miscanthus × giganteus: Structural and fuel properties of hydrochars and organic profile with the ecotoxicological assessment of the liquid phase. *Energy Convers Manag.*159:254–63, 2018.



- [2] Петровић Ј, и остали. Hydrothermal conversion of grape pomace: Detailed characterization of obtained hydrochar and liquid phase. *J Anal Appl Pyrolysis* 2016;118.
- [3] Петровић Ј, и остали. Fuel potential and properties of grape pomace hydrochar. *Acta Period Technol*, 50, 2019.
- [4] Милојковић Ј, и остали. Selected heavy metal biosorption by compost of *Myciophyllum spicatum* - A chemometric approach. *Ecol Eng*, 93, 2016.
- [5] Лопичић З. Р, и остали. Influence of pH value on Cu(II) biosorption by lignocellulose peach shell waste material. *Hem Ind*, 67, 2013.
- [6] Михајловић М, и остали. Hydrochars, perspective adsorbents of heavy metals: A review of the current state of studies. *Zast Mater*, 57:488–95, 2016.
- [7] Којић М. М, и остали. Hydrothermal carbonization of spent mushroom substrate: Physicochemical characterization, combustion behavior, kinetic and thermodynamic study. *J Anal Appl Pyrolysis*, 155, 2021.
- [8] Sevilla M, Fuertes A. B. Chemical and structural properties of carbonaceous products obtained by hydrothermal carbonization of saccharides. *Chem - A*
- [9] Georgiou E. и остали. Single-stage production of miscanthus hydrochar at low severity conditions and application as adsorbent of copper and ammonium ions. *Bioresour Technol* 337, 2021.
- [10] Петровић Ј. Т. и остали. Alkali modified hydrochar of grape pomace as a perspective adsorbent of Pb<sup>2+</sup> from aqueous solution. *J Environ Manage*, 182, 2016.
- [11] Којић М, и остали. Calcium-pyro-hydrochar derived from the spent mushroom substrate as a functional sorbent of Pb<sup>2+</sup> and Cd<sup>2+</sup> from aqueous solutions. *Waste Manag Res* 2022.

## ПОТЕНЦИЈАЛНА УПОТРЕБА АГРОИНДУСТРИЈСКОГ ОТПАДА ЗА УКЛАЊАЊЕ ТЕШКИХ МЕТАЛА ИЗ ОТПАДНИХ ВОДА

### AGROWASTE MATERIALS AS POTENTIAL ADSORBENT FOR HEAVY METALS REMOVAL FROM WASTEWATER SAMPLES

МАРИЈА СИМИЋ<sup>1</sup>, ЈЕЛЕНА ПЕТРОВИЋ<sup>2</sup>, ТАТЈАНА ШОШТАРИЋ<sup>3</sup>,  
МАРИЈА ЕРЦЕГОВИЋ<sup>4</sup>, ЈЕЛЕНА МИЛОЈКОВИЋ<sup>5</sup>,  
МАРИЈА КОПРИВИЦА<sup>6</sup>, ЈЕЛЕНА ДИМИТРИЈЕВИЋ<sup>7</sup>

**Резиме:** У оквиру овог рада испитана је могућност употребе агроиндустријског отпада, окласка кукуруза (ОК) и кукурузне свиле (КС), за уклањање тешких метала из водених раствора и узорак отпадне воде. Карактеризација ОК и КС вршена је хемијском и елементалном анализом, одређивањем капацитета катјонске измене, SEM-EDX и FTIR спектроскопијом. У циљу поређења адсорпционог афинитета ова два материјала, експерименти су рађени у шаржном систему. Максимални адсорпциони капацитети ОК за уклањање Pb(II), Cu(II) и Zn(II) јона износили су 0,027; 0,0413 и 0,019 mmol g<sup>-1</sup>, респективно, док су максимални адсорпциони капацитети КС за уклањање Pb(II), Cu(II) и Zn(II) јона износили 0,400; 0,220 и 0,190 mmol g<sup>-1</sup>, респективно. Како би се испитала могућност употребе ОК и КС за уклањање тешких метала из реалних отпадних вода, ови материјали су примењени у сврху пречишћавања отпадне воде атомског апсорпционог спектрофотометра. Оба испитивана материјала су показала добре адсорпционе карактеристике и афинитету ка адсорпцији метала на своју површину а самим тим и њиховом уклањању из отпадне воде. Резултати приказану у овој студији указују на то да испитани агроиндустријски отпадни материјали (ОК и КС) могу наћи

- <sup>1</sup> Марија Симић, Институт за технологију нуклеарних и других минералних сировина, Франше д'Епера 86, Београд
- <sup>2</sup> Јелена Петровић, Институт за технологију нуклеарних и других минералних сировина, Франше д'Епера 86, Београд
- <sup>3</sup> Татјана Шоштарић, Институт за технологију нуклеарних и других минералних сировина, Франше д'Епера 86, Београд
- <sup>4</sup> Марија Ерцеговић, Институт за технологију нуклеарних и других минералних сировина, Франше д'Епера 86, Београд
- <sup>5</sup> Јелена Милојковић, Институт за технологију нуклеарних и других минералних сировина, Франше д'Епера 86, Београд
- <sup>6</sup> Марија Копривица, Институт за технологију нуклеарних и других минералних сировина, Франше д'Епера 86, Београд
- <sup>7</sup> Јелена Димитријевић, Институт за технологију нуклеарних и других минералних сировина, Франше д'Епера 86, Београд