

SAVEZ INŽENJERA I TEHNIČARA SRBIJE



42. MEĐUNARODNA
KONFERENCIJA

ZBORNİK RADOVA

VODOVOD I KANALIZACIJA '21

Vrnjačka Banja

12 - 15. oktobar 2021.

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 Rada Petrović, dr Mirjana Stojanović,
dr Zorica Lopičić, prof. dr Dragan Milićević, prof. dr Jovan Despotović,
prof. dr Radomir Kapor, Dušan Đurić, prof. dr Darko Vuksanović,
prof. dr Goran Sekulić, prof. dr Vaso Novaković, mr Olivera Doklešić,
prof. dr Goran Orašanin, prof. dr Dragica Chamovska, prof. dr Filip Kokalj

Organizacioni odbor:

mr Bogdan Vlahović (predsednik), mr Zoran Pendić, Gvozden
Perković, Nebojša Jakovljević, dr Dragana Randelović, dr Tatjana
Šoštarić, Dalibor Joknić, Nikica Ivić, mr Dragan Grujičić, Zoran
Nikolić, Zoran Dimitrijević, Saša Ilić, Milan Đorđević Marijana
Mihajlović, Olivera Čosović i Olja Jovičić

Glavni i odgovorni urednik:

Prof. dr Milovan Živković, dipl. inž.

Lektura i korektura:

Olivera Čosović

Tehnički urednik:

Olja Jovičić

Štampa:

Akademski izdanja, Zemun

Naslovna strana:

Zlatarsko jezero, Srbija

Godina izdavanja: 2021**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**

Uz podršku

Inženjerske komore Srbije, Beograd

Pod pokroviteljstvom

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

CIP - Каталогизација у публикацији Народна библиотека Србије, Београд

628.1/.3(082)

МЕЂУНАРОДНА конференција Водовод и канализација (42 ; 2021 ; Врњачка Бања)

Zbornik radova / 42. Međunarodna konferencija Vodovod i kanalizacija '21, Vrnjačka Banja, 12 -15. oktobar 2021. ; [organizator] Savez inženjera i tehničara Srbije ; [glavni i odgovorni urednik Bogdan Vlahović]. - Beograd : Savez inženjera i tehničara Srbije, 2021 (Zemun : Akademska izdanja). - 363 str. : ilustr. ; 24 cm

Radovi na više jezika. - Tekst lat. i ćir. - Tiraž 200. - Bibliografija uz svaki rad. - Abstracts.

ISBN 978-86-80067-47-6

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

COBISS.SR-ID 47151113



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

ИСТОРИЈАТ

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

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

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

Започињање наставе на Техничком факултету Велике школе 1863 значило је прекретницу у школовању српских инжењера. Поред школе 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 1863. ГОДИНЕ, САМО ГОДИНУ ДАНА ПОСЛЕ ПРЕДАЈЕ КЉУЧЕВА ГРАДА ГРАДА ОД СТРАНЕ ТУРСКОГ ПАШЕ КНЕЗУ МИХАЈЛУ, ДОЛАЗИ МИХАЈЛО НИВАЊА „ТЕХНИЧАРСКЕ ДРУЖИНЕ“, чији је први председник био Јосимовић и тај датум је усвојен као година настанка наше организације, а затим (1869) оснива се и Удружење за пољску привреду, односно Српско привредно друштво.

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

е Домовима и осталом имовином, извршавање опшних, административних, стручних, рачуноводствено-финансијских, техничких и других реко Стручне службе Савеза инжењера и техничара Србије у свом интересу чланова, чланица, запослених и друго.

чланице Савеза имају развијену сарадњу са органима локалне самоуправе грађанских и републичких министарствима и другим органима академијом наука и уметности, Инжењерском комором Србије, Инжењерском академијом Србије, Привредном комором Србије, са многим предузетним и стручним асоцијацијама, факултетима и универзитетима и другим институцијама. Имамо развијену и одговарајућу међународну сарадњу са органима других држава.

У прошлости, преко 20 година на основу Закона и уговора са надлежним републичким министарствима организује и спроводи послове одржавања стручних струка инжењерских струка у Републици Србији.

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

Чланови ИАС – Инжењерске академије Србије. У оквиру Савеза формиран је Центар Развојни центар СИТС-а који ангажује наше научнике и стручњаке у решавању многих текућих и развојних садржаја из области привреде и науке.

У оквиру периодичних публикација, редовно излази више стручних часописа: „Техника“, „КГХ“ (Климатизација, грејање, хлађење), „Изградња и експлоатација“, „Пољопривреда“, „Шумарство“, „Текстилна индустрија“, „Ecologica“, „Заштита материјала“ и други.

Своју покретну и непокретну имовину (Домове инжењера у Београду) финансира, редовно измирује своје обавезе према свим државним органима и својим добављачима и успешно послује.

Инжењер и техничар Србије, као национална инжењерска организација члан је међународних организација, и то FEANI – Европска федерација инжењерских удружења и COPISS – Стална конференција инжењерских удружења у источној Европи.

Чланица FEANI посебно учествује у програмима који се односе на обуку и едукације инжењера, затим у оквиру посебне Комисије за мониторинг са добијањем EUR-ING титуле и друго.

У прошлости, давно постављени и евидентни су резултати пређашњег рада. У области стандартизације 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.

Dušan Milojkov, Angelina Mitrović, Vaso Manojlović, Miroslav Sokić

Superabsorbenti na bazi polimernih mreža i gelova sa dodatkom nanočestica za prečišćavanje otpadnih voda od metala 13

Marija Koprivica, Marija Mihajlović, Jelena Petrović, Marija Simić, Tatjana Šoštarić, Zorica Lopičić, Jelena Dimitrijević

List paulovnije i njegove hidročadi kao potencijalni adsorbenti za uklanjanje jona bakra iz vodenih rastvora 20

Dejan Dimkić, Marko Babalj, Aleksandar Anđelković

Dovođenje vode u NIVOS iz Akumulacije „Zavoj“ 26

Maja Pražić, Nenad Milenković, Vesna Zuber Radenković

Mogući pravci razvoja regionalnog vodovodnog sistema ibarsko-šumadijski do 2040. godine 34

Nemanja Branislavljević, Draško Stojić, Vidoje Stevanović, Ljubica Marić

Procena stanja vodovodne infrastrukture grada pančeva 44

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

Infiltracija – važna komponenta upravljanja kišnim oticajem 50

Nikola Nikolić, Boško Vuković, Vaso Novaković

Pojava učestalih ekstremnih vrednosti padavina kao posledica globalnog zagrevanja i njihov uticaj na količine dotoka i vrednosti vodoobilnosti u površinskom kopu Rudnika „Gacko“ 57

Vladimir Adamović, Tatjana Šoštarić, Anja Antanasković, Zorica Lopičić

Močvarna zemljišta kao prirodna zaštita od poplava 68

Njegoš Dragović, Snežana Urošević, Milovan Vuković

Analiza mineralnih voda za piće u Sijarinskoj Banji 74

Ivan Stupić

Zaštita zone sanitarne zaštite Akumulacije „Gruža“ - problemi u praksi 80

Goran Gavrilović

Daljinski nadzor i upravljanje na vodovodnom sistemu „Grošnica“ 90

<i>Zoran Dimitrijević, Dragan Marinović</i>	
Aspekti upravljanja curenjima u vodovodnim sistemima i pokazatelji učinka	96
<i>Vladimir Kapetina, Goran Orašanić, Dejan Romić</i>	
Otkrivanje curenja vode pomoću logera šuma	105
<i>Milan Đorđević</i>	
Povećavanje efikasnosti u procesu evidencije potrošnje bez povećavanja troškova poslovanja	111
<i>Marko Šaković</i>	
Digitalizacija vodovodnih sistema kao mjera povećanja njihove energetske efikasnosti	116
<i>Zoran Pendić, Sanja Pendić Polak, Bojana Jakovljević, Marko Polak, Zoran Dimitrijević, Dragana Jovanović, Marina Strizak, Ljiljana Jovanović, Željko Marković</i>	
Šta pojam voda 4.0 znači za javna komunalna preduzeća koja se bave vodovodom?	124
<i>Dragan Milićević</i>	
Stanje i perspektive primene kružne ekonomije u Srbiji	138
<i>Dragan Vlatković</i>	
Korelacija vodne i energetske efikasnosti u hercegnovskom vodovodnom sistemu	151
<i>Ivan Bogdanović</i>	
Problematika održavanja linije gasa na S.P.O.V. „Cvetojevac“	158
<i>Zdravko Bijelić, Biljana Milanović, Mitar Bijelić</i>	
Upravljanje integrisanim kvalitetom planinskih vodotokova male energetske vrijednosti	163
<i>Slobodan Zlatković, Vukašin Đurković</i>	
Predlog za izmenu nekih propisa iz oblasti voda	171
<i>Vesna Pešić, Milena Bečelić-Tomin, Đurđa Kerkez, Dejan Krčmar, Božo Dalmacija, Anita Leovac Maćerak, Srđan Rončević</i>	
Ispitivanje uticaja ispuštanja otpadnih voda na reku Krivaju	177
<i>Dragan Marinović, Svetlana Belošević, Zoran Milićević, Zoran Dimitrijević, Dušanka Marinović</i>	
Kvalitet školskih voda u okolini grada Kraljeva	183
<i>Gordan Vrbanec</i>	
Merenje kvalitete i količine industrijske otpadne vode	191

<i>Angelina Mitrović, Tatjana Đurkić, Danijela Prokić, Jelena Lukić, Dušan Milojkov, Danijela Smiljanić</i>	
Mikroplastika u otpadnim vodama	197
<i>Rada Petrović, Slavica Lazarević, Ivona Janković-Častvan, Željko Radovanović, Đorđe Janačković</i>	
Uklanjanje šestovalentnog hroma iz otpadnih voda primenom nanočestica elementarnog gvožđa sintetisanih korišćenjem ekstrakta lišća hrasta	203
<i>Mladen Popov, Marijana Kragulj Isakovski, Jelena Molnar Jazić, Aleksandra Tubić, Nikica Ivić, Marina Šćiban, Jasmina Agbaba</i>	
Efekti O₃/GAU procesa na zastupljenost različitih klasa jedinjenja u vodi	211
<i>Jovana Blagojević, Goran Orašanić, Stojan Simić</i>	
Tehnički aspekti korišćenja ozona u tretmanu vode za piće sa analizom primjenljivosti na vodovodni sistem „Tilava“	217
<i>Tajana Simetić, Jelena Molnar Jazić, Irina Jevrosimov, Marijana Kragulj Isakovski, Aleksandra Tubić, Srđan Rončević, Jasmina Agbaba</i>	
Ispitivanje uticaja UV/H₂O₂ unapredene oksidacije i adsorpcije na aktivnom uglju za uklanjanje 1,2,3-trihlorbenzena iz vode	223
<i>Aleksandra Porjazoska Kujundziski, Dragica Chamovska</i>	
Adsorption of Heavy Metals from Aqueous Solutions by Various Adsorbents	231
<i>Slavica Lazarević, Ivona Janković-Častvan, Đorđe Janačković, Rada Petrović</i>	
Simultana adsorpcija jona bakra i antibiotika ciprofloksacina iz vode na sepiolitu	237
<i>Jelena Petrović, Marija Mihajlović, Marija Simić, Marija Koprivica, Jelena Dimitrijević, Jelena Milojković</i>	
Modifikovana hidročad komine grožđa kao potencijalni adsorbens jona cinka i organskih boja	243
<i>Ivanka Kaut, Jelena Stojić</i>	
Uticaj zamene filterske ispune na odstranjivanje amonijaka iz vode	249
<i>Aleksandra Ivanovska, Mirjana Kostić</i>	
Alkali Modified Waste Jute Fabrics as Efficient Adsorbents for Various Cations and Anthraquinone dye	255
<i>Iva Čurić, Davor Dolar</i>	
Novel Hybrid System for the Treatment of Textile Wastewater	261

<i>Ivana Mikavica, Dragana Randelović, Aleksandra Janošević, Jelene Mutić</i> Efficiency of Water Pollution Treatment by Various Adsorption Methods – a Review	263
<i>Matej Čehovin, Alojz Medic</i> Dezinfekcija pijaće vode seoskih vodovoda – moguća rešenja sa primerima iz prakse u Republici Sloveniji	270
<i>Dragan Milićević, Goran Nedić, Nemanja Sibinović</i> Predlog smernica za projektovanje fekalne kanalizacione mreže	276
<i>Zdravko Bijelić, Biljana Milanović, Mitar Bijelić</i> Optimizacija pouzdanosti kanalizacionih sistema u industrijskim zonama u fazi projektovanja	287
<i>Ivan Milojković, Miodrag Popović, Lazar Roglijić</i> Kanalizacioni potis duž Bulevara Vojvode Bojovića	295
<i>Darko Vuksanović, Dragan Radonjić, Jelena Šćepanović, Kaća Backović</i> Višekriterijumska analiza utvrđivanja lokacije za izgradnju postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda Podgorice	301
<i>Zorana Radibratović, Biljana Cakić, Bojan Obušковиć</i> Predlog tehničkog rešenja za unapređenje tehnologije prerade na PPV „Bežanija“ U Beogradu	312
<i>Olivera Doklešić, Nenad Konjević</i> Kolektor kanalizacije na Hercegovskoj rivijeri, primjer upravljanja i izgradnje velikog projekta	319
<i>Miloš Milošević, Dušan Todorović</i> Izveštaj o pumpnim stanicama kanalizacionog sistema od Kanli kule do PPOV – Meljine	326
<i>Darko Vuksanović, Kaća Backović, Dragan Radonjić, Jelena Šćepanović</i> Postojeće stanje upravljanja otpadnim vodama u Podgorici	332
<i>Davor Dolar, Iva Ćurić, Nada Glumac</i> Direct Reuse of Municipal Wastewater for Irrigation by MBR-NF/RO	342
<i>Branislava Matić, Dragana Jovanović, Snežana Dejanović</i> Kako unaprediti regulisanje dispozicije otpadnih voda iz zdravstvenih ustanova u Srbiji	349
<i>Miroslav Milosavljević</i> Kanalizacioni mulj PPOV Kruševac – energetski resurs	357

SUPERABSORBENTI NA BAZI POLIMERNIH MREŽA SA DODATKOM NANOČESTICA ZA PREČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA OD METALA

SUPERABSORBENTS BASED ON POLYMER NETWORKS WITH THE ADDITION OF NANOPARTICLES FOR WASTEWATER TREATMENT

DUŠAN MILOJKOV¹, ANGELINA MITROVIĆ², VASO MANOJLOVIĆ³, MIROSLAV SOKIĆ⁴

Rezime: U ovom radu biće prikazano dobijanje različitih adsorbenata na bazi polimernih mreža i gelova sa dodatkom nanočestica i njihova primena za prečišćavanje otpadnih voda od metala. Polimerne mreže i hidrogelovi kao adsorbenti predstavljaju novu klasu sistema tretmana otpadnih voda, ako se uzme u obzir da se mogu lako sintetisati iz dostupnih i jeftinih sirovina. Dodatkom nanočestica u polimerne matrice nastaju nove klase multifunkcionalnih nanokompozitnih materijala koje efikasno uklanjaju teške metale, radioaktivne elemente, boje, fenole i pesticide. U odnosu na konvencionalne adsorbente, ovakvi superabsorbenti imaju niz prednosti: visoki adsorpcioni kapacitet, velika brzina adsorpcije, mogućnost primene u širokom pH vrednosti, a potom i mogućnost desorpcije i ponovne upotrebe.

Ključne reči: superabsorbenti, hidrogel, metali, otpadne vode, polimerni materijali

Abstract: In this paper, the preparation of various adsorbents based on polymer networks and gels with the addition of nanoparticles and their application for metal removal from wastewater will be shown. Polymer networks and hydrogels as adsorbents represent a new class of systems for wastewater treatment, given that they can be easily synthesized from available and inexpensive raw materials. The addition of nanoparticles to such a polymer matrix creates new classes of multifunctional materials, which very efficiently remove heavy metals, radioactive elements and pesticides. Compared to conventional adsorbents, such superabsorbents have a number of advantages: high adsorption capacity, fast adsorption rate, applicability in a wide pH range, and the possibility of desorption and reuse.

¹ Dušan Milojkov, Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, d'Eperea 86, Beograd

² Angelina Mitrović, Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, d'Eperea 86, Beograd

³ Vaso Manojlović, Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd

⁴ Miroslav Sokić, Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, d'Eperea 86, Beograd

ЛИСТ ПАУЛОВНИЈЕ И ЊЕГОВЕ ХИДРОЧАЋИ КАО ПОТЕНЦИЈАЛНИ АДСОРБЕНТИ ЗА УКЛАЊАЊЕ ЈОНА БАКРА ИЗ ВОДЕНИХ РАСТВОРА

PAULOWNIA LEAF AND ITS HYDROCHARS AS POTENTIAL ADSORBENTS FOR COPPER IONS REMOVAL FROM AQUEOUS SOLUTIONS

МАРИЈА КОПРИВИЦА¹, МАРИЈА МИХАЈЛОВИЋ², ЈЕЛЕНА ПЕТРОВИЋ³,
МАРИЈА СИМИЋ⁴, ТАТЈАНА ШОШТАРИЋ⁵, ЗОРИЦА ЛОПИЧИЋ⁶,
ЈЕЛЕНА ДИМИТРИЈЕВИЋ⁷

Резиме: Адсорпција представља корисну методу за уклањање загађивача растворених у води. У дрвној индустрији, лист пауловније је био-отпад који се даље може искористити као биосорбент или као извор за ефикасне адсорпционе производе. Лист пауловније и његове хидрочађи добијене хидротермалном карбонизацијом на температурама 180, 200 и 220°C су проучавани као потенцијални адсорбенти јона бакра из водених раствора. У прелиминарним адсорпционим тестовима је примећено да је лист без претходног третмана био ефикаснији адсорбент него његове хидрочађи ($q_{PL}=14,75$ mg/g; $E_{PL}=48,44\%$). Кинетика адсорпције коришћењем листа следила је модел псеудо-другог реда ($R^2=0,9984$), који подразумева да брзину процеса контролише хемијска адсорпција.

Кључне речи: пречишћавање вода, лист пауловније, хидрочађи, бакар, кинетика адсорпције

¹ Марија Копривица, Институт за технологију нуклеарних и других минералних сировина, Франша д'Еперea 86, Београд

² Марија Михајловић, Институт за технологију нуклеарних и других минералних сировина, Франша д'Еперea 86, Београд

³ Јелена Петровић, Институт за технологију нуклеарних и других минералних сировина, Франша д'Еперea 86, Београд

⁴ Марија Симић, Институт за технологију нуклеарних и других минералних сировина, Франша д'Еперea 86, Београд

⁵ Татјана Шоштарић, Институт за технологију нуклеарних и других минералних сировина, Франша д'Еперea 86, Београд

⁶ Зорица Лопичић, Институт за техноогију нуклеарних и других минералних сировина, Франша д'Еперea 86, Београд

⁷ Јелена Димитријевић, Институт за технологију нуклеарних и других минералних сировина, Франша д'Еперea 86, Београд

Abstract: The adsorption represents a beneficial method for the removal of pollutants solv in water. In wood industry, Paulownia leaf is biowaste which further can be used biosorbent or source for effective adsorbents. Paulownia leaf and its hydrochars prepared using hydrothermal carbonization at 180, 200 and 220°C, were investigated as potential adsorbents of copper ions from aqueous solutions. In preliminary adsorption tests we observed that leaf without pretreatment was more efficient adsorbent than its hydrochar ($q_{PL}=14.75$ mg/g; $E_{PL}=48.44\%$). The adsorption kinetic using the leaf followed a pseudo second order model ($R^2=0.9984$), which implies chemical adsorption as the rate-controlling step.

Key words: water purification, Paulownia leaf, hydrochars, copper, adsorption kinetics

1. Увод

У 21. веку отпадне воде представљају један од водећих и главних проблема човечанства. У свом саставу могу да садрже различите органске и неорганске загађиваче због чега представљају извор токсичних материја које негативно утичу на здравље људи и природу [1]. Посебна пажња се посвећује истраживању јона тешких метала као загађивачима због њихове велике токсичности, постојаности и склоности ка биоакумулацији [2]. Бакар је један од најтоксичнијих метала који се често јавља у високим концентрацијама у различитим водотоковима и при томе може изазвати озбиљна обољења код људи и имати негативан утицај на животну средину [3, 4]. Због штетног дејства на здравље, од велике је важности уклањање јона метала пре њиховог испуштања у реке, језера и друге водене површине у природи [5]. Постоје многе методе пречишћавања као што су коагулација, јонска измена, оксидација, сепарација мембранама али многе од њих или су скупе или праве нежељене производе [1]. Адсорпција отпадним биомасама све више привлачи пажњу јер је једноставна, јефтина и ефикасна метода за отклањање загађивача из воде [2]. Додатно, ефикасност биосорпције и практичност адсорбената може побољшати комбинацијом биосорбената у хидрочађи које су погодније за складиштење и даљу употребу [6]. Хидрочађи су хомогени и хидрофобни материјали који садрже микро и нано угљеничне сферно порозне структуре и кисеоничне функционалне групе, због чега се могу искористити за многе практичне примене [7]. Настајући процесом хидротермалне карбонизације (ХТЦ) у којем вода под одређених услова мења биомасу у нови функционални материјал – хидрочађ која се може користити у разне сврхе као чврсто гориво, адсорбент, ђубриво и слично [7, 8].

Пауловнија је врста дрвета које потиче из источне Азије и које се због брзог раста и корисних карактеристика стабла све чешће сади. У индустрији се доста користи за израду намештаја, играчака, музичких инструмената и сл [9]. Има лепо лишће и цветове па се доста сади по парковима као украсна биљка [1, 9]. Међутим, док је у употреби стабло, лист пауловније представља био-отпад који се даље одлаже на депоније [1]. У оквиру ове студије, по први пут ће бити испитан потенцијал листа пауловније и његових хидрочађи добијених на различитим температурама (180, 200 и 220°C) за адсорпцију јона бакра и

водених раствора. Поред тога, на адсорбенту са најбољим адсорпционим капацитетом је додатно испитана кинетика адсорпције. Циљ овог рада је испитивање могуће примене нових отпадних биомаса као и примена добијених производа хидротермалном карбонизацијом.

2. Експериментални део

Лишће пауловније (PL) је сакупљено из парка у Београду, опрано дестилованом водом, осушено на ваздуху две недеље и уситњено у циљу добијања хомогеног узорка. Просејана фракција од 0,5 mm је даље коришћена за ХТЦ и биосорпционе експерименте.

Хидротермална карбонизација је спроведена у лабораторијском аутоклаву (Carl Roth model II), а током карбонизационог експеримента суспензија од 10 g лишћа и 150 mL бидестиловане воде је мешана у трајању од 1 сата на изабраним реакционим температурама (180, 200 и 220°C). Након реакционог периода суспензија је профилирана, чврсте хидрочађи (PL180, PL200 и PL220) су три пута испране бидестилованом водом и потом осушене на 105°C током 24 сата.

За прелиминарне адсорпционе експерименте 0,025 g адсорбента (листа пауловније или сувих хидрочађи) је мешано са 25 mL стандардног раствора бабра (30 mg/L) у стакленим ерленмајерима (50 mL), током 3 h, на собној температури, брзином од 220 rpm, а у полазном раствору и добијеном филтрату садржај бабра је одређен методом ААС (Perkin Elmer 900T).

Да би се одредила кинетика адсорпције и утицај времена контакта чврсто/течно, додатни експерименти су рађени са истом масом листа пауловније (0,025 g), истом концентрацијом (30 mg/L) и запремином (25 mL) основног раствора бабра само при различитим временима контакта, од 10 минута до 360 минута. На добијене експерименталне резултате примењени су кинетички модели псеудо-првог [6]:

$$\log(q_e - q_t) = \log q_e - \left(\frac{k_1}{2.303}\right) \times t \quad (1)$$

и псеудо-другог реда [6]:

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{kq_e^2} + \frac{1}{q_e} \times t. \quad (2)$$

при чему су q_e -равнотежни адсорпциони капацитет (mg/g); q_t -адсорпциони капацитет (mg/g) у одређеном времену t (min); k_1 (1/min) и k (g/(mg min)) – константе брзине адсорпције. Графичко приказивање времена контакта и кинетичких модела одрађено је у програму Origin 9. Раствор $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \times 3\text{H}_2\text{O}$ који је коришћен за адсорпционе експерименте био је аналитичког степена чистоће.

3. Резултати и дискусија

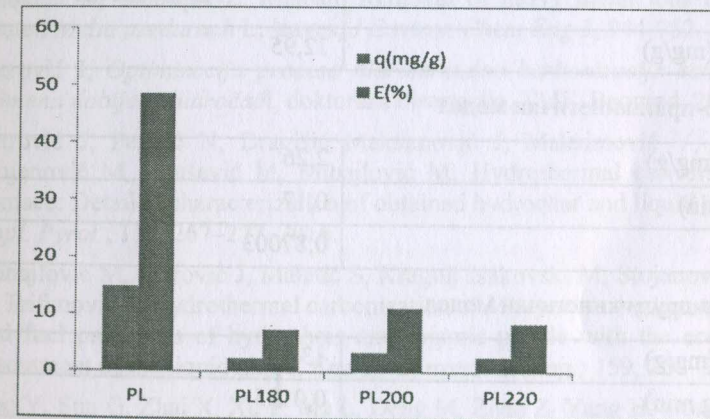
На основу добијених вредности за бакарни јон, одређени су капацитет адсорпције (q) и проценат уклањања (E) по следећим формулама [6]:

$$q = \left(\frac{C_0 - C_{eq}}{m}\right) \times V \quad (3)$$

$$E = \frac{C_0 - C_{eq}}{C_0} \times 100\% \quad (4)$$

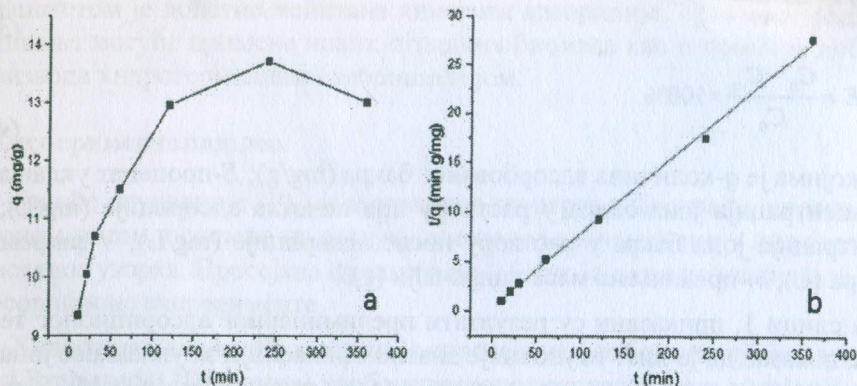
У којима је q -количина адсорбованог бабра (mg/g); E -процент уклањања; C_0 - концентрација јона бабра у раствору пре почетка адсорпције (mg/L); C_{eq} - концентрација јона бабра у раствору после адсорпције (mg/L); V -запремина раствора (L); m -примењена маса хидрочађи (g).

На слици 1. приказани су резултати прелиминарног адсорпционог теста који је показао да је лист пауловније знатно ефикаснији за уклањање јона бабра из водених раствора у односу на његове хидрочађи ($q_{PL}=14,75$ mg/g; $E_{PL}=48,44\%$). Додатно, све три испитиване хидрочађи показују приближан афинитет за уклањање бабра из воденог раствора (PL180 - $q_{PL}=2,25$ mg/g; $E_{PL}=7,39\%$; PL200 - $q_{PL}=3,40$ mg/g и $E_{PL}=11,17\%$; PL220 - $q_{PL}=2,60$ mg/g; $E_{PL}=8,54\%$).



Слика 1. Прелиминарни резултати адсорпције Cu^{2+} јона

Да би се утврдило после колико времена је достигнута равнотежа на граници фаза чврсто-течно и како би се претпоставио механизам везивања бакарног јона, одређивање времена контакта и кинетика адсорпције су битни параметри. Резултати одређивања времена контакта и кинетике адсорпције применом листа пауловније, који је показао највећи афинитет за уклањање јона бабра, приказани су на слици 2 и у табели 1. Применом листа пауловније највећи део бакарних јона се уклони током првих 120 минута (слика 2.а), кинетички параметри добијени коришћењем једначина 1 и 2 (табела 1) показују да псеудо-други модел најбоље описује кинетику адсорпције бакарних јона применом листа пауловније (слика 2.б) што подразумева да хемијска адсорпција, односно јонска измена и комплексирање, контролишу брзину адсорпције и да се јони бабра везују хемијским интеракцијама са поларним функционалним групама на површини листа пауловније.



Слика 2. Адсорпција Cu^{2+} применом PL: а) време контакта; б) псеудо-други кинетички модел

Табела 1. Кинетички параметри за адсорпцију Cu^{2+} применом PL

PL адсорбент	
$q_{\text{eq, exp}}$ (mg/g)	12,95
Псеудо-први кинетички модел	
$q_{\text{eq, cal}}$ (mg/g)	2,26
k_1 (1/min)	0,17
R^2	0,87003
Псеудо-други кинетички модел	
$q_{\text{eq, cal}}$ (mg/g)	13,44
k (g/mg min)	0,0125
R^2	0,9984

4. Закључак

На основу добијених резултата у овој студији може се закључити да лист пауловније без даље обраде хидротермалном карбонизацијом показује већу ефикасност за везивање јона бакра него његове хидрочађи добијене на различитим температурама карбонизације.

Кинетика адсорпције коришћењем листа следила је модел псеудо-другог реда, који подразумева да брзину процеса контролише хемисорпција. Наши резултати сугеришу да отпадна биомаса лист пауловније има велики потенцијал за уклањање јона бакра из отпадних вода, али су детаљна хемијска карактеризација листа, начин употребе као и првенствено детаљно испитивање параметара термодинамике процеса адсорпције неопходни као даљи кораци.

5. Литература

- [1] Deniz F, Saygideger S.D, Removal of a hazardous azo dye (Basic Red 46) from aqueous solution by princess tree leaf, *Desalination*, 268, 6–11, 2011.
- [2] Lopičić Z, Stojanović M, Marković S, Milojković J, Mihajlović M, Kaluđerović Radoičić T, Kijevčanin M, Effects of different mechanical treatments on structural changes of lignocellulosic waste biomass and subsequent Cu(II) removal kinetic, *Arab J Chem*, 12 (8), 4091-4103, 2019.
- [3] Petrović M, Šoštarić T, Pezo L, Stanković S, Lačnjevac Č, Milojković J, Stojanović M, Usefulness off ANN-based model for copper removal from aqueous solution using agro industrial waste materials, *Chem. Ind. Chem. Eng. Q.* 21 (2), 249-255, 2015.
- [4] Lopičić Z, Stojanović M, Kaluđerović Radoičić T, Milojković J, Petrović M, Mihajlović M, Kijevčanin M, Optimization of the process of Cu(II) sorption on mechanically treated *Prunus persica* L. – Contribution to sustainability in food processing industry, *J Clean Prod*, 156, 95-105, 2017.
- [5] Khokhar A, Siddique Z, Mišbah, Removal of heavy metal ions by chemical treated *Melia azedarach* L. leaves, *J Environ Chem Eng* 3, 944-952, 2015.
- [6] Petrović J, *Optimizacija procesa hidrotermalne karbonizacije komine grožđane primena dobijene hidročađi*, doktorska disertacija, TMF, Beograd, 2017.
- [7] Petrović J, Perišić N, Dragišić Maksimović J, Maksimović V, Kragović M, Stojanović M, Laušević M, Mihajlović M, Hydrothermal conversion of grape pomace: Detailed characterization of obtained hydrochar and liquid phase, *J. Anal. Appl. Pyrol.*; 118, 267–277, 2016.
- [8] Mihajlović M, Petrović J, Maletić S, Kragulj Isakovski M, Stojanović M, Lopičić Z, Trifunović S, Hydrothermal carbonization of *Miscanthus × giganteus*: Structure and fuel properties of hydrochars and organic profile with the ecotoxicological assessment of the liquid phase, *Energy Convers. Manag.*; 159, 254–263, 2018.
- [9] Cao Y, Sun G, Zhai X, Xu P, Ma L, Deng M, Zhao Z, Yang H, Dong Y, Shang Lv Y, Yan L, Liu H, Cao X, Li B, Wang Z, Zhao X, Yu H, Wang F, Ma W, Hua J, Fan G, Genomic insights into the fast growth of paulownias and the formation of *Paulownia witches' broom*, *Molecular Plant*, 14, 1-15, 2021.