

SAVEZ INŽENJERA I TEHNIČARA SRBIJE



**44. MEĐUNARODNA
KONFERENCIJA**

**ZBORNİK RADOVA
VODOVOD I KANALIZACIJA '23**

**Zlatibor
10 - 13. oktobar 2023.**



**ИНЖЕЊЕРСКА
КОМОРА
СРБИЈЕ**



SAVEZ INŽENJERA I TEHNIČARA SRBIJE

44. Međunarodna konferencija
VODOVOD I KANALIZACIJA '23

Zbornik radova

Zlatibor, 10 – 13. oktobar 2023.

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 Aleksandar Đukić, prof. dr Srđan Rončević, prof. dr Jovan Despotović, prof. dr Dragan Milićević, prof. dr Rada Petrović, Vladimir Milojević, Dušan Đurić, Miodrag Popović, dr Zorica Lopičić, dr Dragana Randelović, 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), Milan Stamatović, Dalibor Joknić, Nebojša Jakovljević, Nikica Ivić, Milomir Tucović, mr Zoran Pendić, dr Tatjana Šoštarić, dr Dušan Milojkov, dr Jelena Petrović, Zoran Nikolić, Milan Đorđević, dr Danijela Smiljanić, Aleksandar Jovanović, Mladen Bugarčić, Olivera Ćosović, MSc, Marijana Mihajlović i Olja Jovičić

Glavni i odgovorni urednik:

prof. dr Aleksandar Đukić, dipl. inž.

Lektura i korektura:

Olivera Ćosović, mast. filol.

Tehnički urednik:

Olja Jovičić, dipl. prav.

Štampa:

Akadska izdanja, Zemun

Naslovna strana:

Arahavi, Krf, Grčka

Autor fotografije:

Olja Jovičić

ISBN: 978-86-80067-59-9

Godina izdavanja: 2023.

Tiraž: 200 primeraka

Stavovi izneti u ovoj publikaciji ne odražavaju nužno stavove izdavača i članova Programskog odbora

Organizator:
Savez inženjera i tehničara Srbije

Suorganizatori:

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

Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“, Beograd

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

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

Inženjerska akademija Srbije, Beograd

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

JKP „Vodovod“, Zlatibor

Uz podršku:

Inženjerske komore Srbije, Beograd

Pod pokroviteljstvom:

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

Opštine Čajetina

**CIP - Каталогизacija у публикацији
Народна библиотека Србије, Београд**

628.1/.3(082)

**МЕЂУНАРОДНА конференција Водовод и
канализација (44 ; 2023 ;
Златибор)**

**Zbornik radova / 44. Međunarodna konferencija Vodovod i
kanalizacija '23,**

**Zlatibor, 10 – 13. oktobar 2023. ; [organizator] Savez inženjera i
tehničara Srbije**

... [et al.] ; [glavni i odgovorni urednik Aleksandar Đukić]. -

Beograd : Savez

inženjera i tehničara Srbije, 2023 (Zemun : Akademska izdanja). - 305

str. : ilustr.

; 24 cm

Tiraž 200. - Napomene uz radove. - Bibliografija uz svaki rad. -

Abstracts.

ISBN 978-86-80067-59-9

a) Водовод -- Зборници b) Канализација --

Зборници v) Отпадне воде --

Зборници g) Водозахвати -- Зборници

COBISS.SR-ID 126113545

SADRŽAJ

<i>PREDGOVOR</i>	13
<u>Tema 1. Organizacioni, ekonomski i institucionalni aspekti</u>	
<i>Marija Milićević, Rastislav Trajković, Dragan Milićević</i> Digitalna voda – digitalna transformacija upravljanja vodama u urbanim sredinama	15
<i>Goran Gavrilović</i> Direktiva o vodi za piće – problemi u praksi u zemljama članicama EU	25
<i>Rastislav Trajković, Marija Milićević, Dragan Milićević</i> Primena cost-benefit analize u vrednovanju manjih infrastrukturnih projekata u vodoprivredi	30
<i>Olivera Doklešić</i> Neka razmatranja o integralnom upravljanju vodovodnim sistemom i IP pokazateljima	40
<i>Siniša Gajin</i> Uloga odnosa s javnošću u sprovođenju ispitivanja zadovoljstva korisnika usluga JKP „VIK“	50
<i>Siniša Gajin</i> Uloga odnosa s javnošću u uspostavljanju i upravljanju centralizovanom obradom korisničkih zahteva u JKP „VIK“	58
<u>Tema 2. Vodovodni sistemi</u>	
<i>Zorana Radibratović, Maja Pražić, Nenad Milenković, Nenad Radić, Biljana Cakić, Ivan Irkić</i> Predlog rešenja dugoročnog snabdevanja vodom opštine Čajetina	68
<i>Dejan Dimkić, Nenad Milenković</i> Vodosnabdevanje Mačve – sadašnje stanje, najveći problemi i perspektiva	77
<i>Nemanja Branislavljević, Vidoje Stevanović</i> Određivanje načina upravljanja vodovodnom infrastrukturom u GIS okruženju	90
<i>Goran Orašanin, Stojan Simić, Jovana Blagojević, Davor Milić</i> Analiza efektivnih kriterijuma i način njihovog vrednovanja u planiranju obnove vodovodne mreže	98

<i>Milan Dorđević</i>	
Kvalitet očitavanja vodomera i efikasnost naplate	107
<i>Zoran Pendić, Lara Polak, Bojana Jakovljević, Željko Marković, Marko Polak, Dragana Jovanović, Marina Strižak, Zlatinka Vukčević</i>	
O kvalitetu i bezbednosti vodovodnih sistema sa posebnim osvrtnom na kvalitet cevi.....	113
<i>Dragan Vlatković</i>	
Monitoring indikatora efikasnosti pumpu u toku eksploatacionog perioda	126
<u>Tema 3. Izvorišta vode za piće</u>	
<i>Dragan Marinović, Zoran Dimitrijević, Zoran Milićević, Svetlana Belošević, Dušanka Marinović, Jovana Belošević</i>	
Kvalitet vode kaptiranih izvora pre i posle korone u okolini grada Kraljeva	131
<i>Ivanka Kaut, Jelena Stojić, Dragan Gardinovački, Dragana Jelača Novakov</i>	
Efekti revitalizacije bunara	139
<i>Nikola Nikolić, Vaso Novaković, Dejan Petrović</i>	
Revitalizacija bunara za odvodnjavanje rudnika nakon završene eksploatacije uglja i usklađivanje režima eksploatacije bunara za potrebe vodosnabdevanja na primeru bunara BGD-11 kod Srebrenika, BiH	144
<i>Njegoš Dragović, Snežana Urošević, Milovan Vuković</i>	
Studija spajanja izvora termomineralnih voda u Vranjskoj Banji	155
<u>Tema 4. Priprema vode za piće</u>	
<i>Mladen Popov, Marijana Kragulj Isakovski, Tajana Simetić, Tamara Apostolović, Radivoj Tomić, Jasmina Agbaba</i>	
Značaj monitoring programa u radu fabrike vode za piće.....	163
<i>Jelena Molnar Jazić, Tajana Simetić, Marija Kuč, Marijana Kragulj Isakovski, Jelena Beljin, Srđan Rončević, Jasmina Agbaba</i>	
Fotorazgradnja bisfenola A u vodi primenom UV/hlor i UV/H₂O₂ unapređenih oksidacionih procesa	169

Jana Petrović, Slavica Lazarević, Željko Radovanović, Rada Petrović

Fotokatalitička redukcija šestovalentnog hroma primenom grafitnog ugljenika(IV)-nitrida kao fotokatalizatora 176

Matej Čehovin, Alojz Medic

Primena ultrafiltracije za pripremu pijaće vode manjih naselooja i seoskih vodovoda 183

Tema 5. Kanalizacioni sistemi

UVODNI RAD PO POZIVU

Damjan Ivetić, Robert Ljubičić, Miloš Milašinović, Dušan Prodanović, Dragutin Pavlović

Merenje protoka otpadnih voda u kanalizacionim mrežama: kombinovanje inovativnih sa konvencionalnim mernim metodama ... 187

OSTALI RADOVI

Željka Ostojić, Miloš Stanić, Strahinja Nikolić, Sanja Marčeta, Nemanja Rak

Retenziranje – važna komponenta upravljanja kišnim oticajem 200

Ivan Milojković

Upravljanje projektovanim crpnim stanicama kanalizacije naselja Golubnje 213

Tema 6. Prečišćavanje otpadnih voda

UVODNI RAD PO POZIVU

Vladimir Adamović, Tatjana Šoštarić, Anja Antanasković, Zorica Lopičić

Prečišćavanje sanitarno-fekalnih otpadnih voda u izdvojenim inženjerskim objektima 221

OSTALI RADOVI

Marija Marković, Milena Obradović, Danijela Smiljanić, Milica Ožegović, Aleksandra Daković

Primena organominerala za uklanjanje emergentnog zagađivača diklofenaka 229

Mladen Bugarčić, Aleksandar Jovanović, Miroslav Sokić, Branislav Marković, Katarina Pantović-Spajić, Aleksandar Marinković

Slojeviti dvostruki hidroksidi za uklanjanje boja iz otpadnih voda ... 236

<i>Dragana Milošević, Luka Matović, Verica Ljubić, Jovana Perendija, Slobodan Cvetković</i>	
Mogućnost primene otpadne biomase (<i>Arundo donax</i>) za adsorpciju Ni²⁺ iz vodenih rastvora.....	243
<i>Ivana Radojević, Goran Gavrilović, Ivan Bogdanović, Sandra Grujić, Aleksandar Ostojić</i>	
Bioremedicioni potencijal biofilmova <i>Enterobacter cloace</i> i <i>Rhodotorula mucilaginosa</i> prema izabranim teškim metalima	249
<i>Jelena Petrović, Marija Simić, Marija Ercegović, Marija Koprivica, Jelena Dimitrijević</i>	
Dvostepena termohemijska modifikacija otpadne biomase kao pravac dobijanja visokoeфикаsnih adsorbenasa	258
<i>Iva Ćurić, Davor Dolar</i>	
Uklanjanje soli iz otpadnih voda s visoko-protočnim membranama	265
<i>Aleksandra Porjazoska Kujundziski, Dragica Chamovska</i>	
Electrochemical oxidation methods for the removal of methyloxanthine-based stimulants from wastewater	271
<i>Goran Sekulić, Milena Ostojić</i>	
Modularna postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda naselja	279
<i>Milena Ostojić, Goran Sekulić</i>	
Primjena off-grid sistema za otpadne vode u crnogorskim kantunima: izazovi i perspektive.....	286
<i>Ivana Dunić</i>	
Modularni kompaktni, kontejnerski sistem za tretman otpadnih voda	294
<i>Darko Vuksanović, Dragan Radonjić, Jelena Šćepanović, Senad Arabelović, Jasmin Ćeman</i>	
Prikupljanje i tretman ocjednih voda na sanitarnoj deponiji „Možura“ u Baru.....	299

ДВОСТЕПЕНА ТЕРМОХЕМИЈСКА МОДИФИКАЦИЈА ОТПАДНЕ БИОМАСЕ КАО ПРАВАЦ ДОБИЈАЊА ВИСОКОЕФИКАСНИХ АДСОРБЕНАСА

TWO-STAGE THERMOCHEMICAL MODIFICATION OF WASTE BIOMASS AS A WAY TO OBTAIN HIGHLY EFFICIENT ADSORBENTS

ЈЕЛЕНА ПЕТРОВИЋ¹, МАРИЈА СИМИЋ², МАРИЈА ЕРЦЕГОВИЋ³,
МАРИЈА КОПРИВИЦА⁴, ЈЕЛЕНА ДИМИТРИЈЕВИЋ⁵

Резиме: Главни циљ ове студије јесте припрема Fe/Mg-модификоване хидрочађи комине грозђа и испитивање утицаја двостепеног термохемијског третмана на ефикасност уклањања јона цинка. Прелиминарни адсорпциони тест је указао на вишеструко побољшање капацитета сорпције након модификације. Детаљнији увид у адсорпциони процес је испитан кроз утицај времена контакта и кинетичку студију. Добијени резултати су показали да уклањање јона цинка применом Fe/Mg-хидрочађи следи кинетички модел псеудо-другог реда. Овај модел претпоставља хемијску интеракцију између јона метала и функционалних група на површини хидрочађи као главни механизам везивања. Сумирањем закључака се може истаћи да Fe/Mg-хидрочађ показује ефикасно адсорпционо понашање и може се разматрати као нова опција валоризације агро-отпада.

Кључне речи: адсорпција тешких метала, хидротермална каронизација, модификација хидрочађи, кинетика адсорпције.

Abstract: The main objective of this study was preparation of Fe/Mg-modified grape pomace hydrochar and investigation of two-stage thermochemical treatment on the zinc removal. Preliminary adsorption test revealed a significant improvement of sorption capacity after modification. Detailed insight into the adsorption process was examined through the influence of contact time and kinetic study. The obtained results showed that the adsorption

¹ Јелена Петровић, Институт за технологију нуклеарних и других минералних сировина, Франш д'Епера 86, Београд, Србија

² Марија Симић, Институт за технологију нуклеарних и других минералних сировина, Франше д'Епера 86, Београд

³ Марија Ерцеговић, Институт за технологију нуклеарних и других минералних сировина, Франш д'Епера 86, Београд

⁴ Марија Копривица, Институт за технологију нуклеарних и других минералних сировина, Франш д'Епера 86, Београд

⁵ Јелена Димитријевић, Институт за технологију нуклеарних и других минералних сировина, Франш д'Епера 86, Београд

follows a pseudo-second-order kinetic model. This model assumes chemical interaction between metal ions and functional groups on hydrochar surface. It can be concluded that Fe/Mg-hydrochar shows efficient adsorption behaviour and can be considered as a new option for the valorisation of agro-waste.

Key Words: Up to 5 (five) words, separated by comma.

1. Увод

Последњих година, све интензивније људске активности узрокују генерисање велике количине отпада, који подразумева и отпадну биомасу. У недостатку ефикасног управљања, биомаса најчешће завршава на отвореним депонијама, при чему представља извор загађења животне средине, економске губитке и проблеме са здрављем људи. Иако се тренутно посматра као отпад, биомаса је такође вредан, обновљив ресурс и извор енергије. Међутим њена директна примена показује бројне недостатке и стога је научна јавност све више окренута ка конверзији овог ресурса са циљем добијања нових материјала попут високоефикасних адсорбенса или биогорива [1, 2].

Једна од метода конверзије јесте и хидротермална карбонизација. Током овог поступка биомаса постаје карбонизована у воденом медијуму, на умереној реакционој температури и аутогенерисаном притиску. Конверзија траје кратко, при чему се већина угљеника из прекурсора конвертује у енергетски богату хидрочађ без емисије гасова стаклене баште [3-5]. Захваљујући јефтиној и лакој припреми, хидрочађи се сматрају обећавајућим алтернативним материјалима за пречишћавање отпадних вода. Поред тога, изражена функционалност која подразумева обиље кисеоничних функционалних група на површини, хемијску реактивност и афинитет обезбеђује хидрочађима потенцијал за уклањање широког спектра загађивача [3].

У последње време је велика пажња усмерена ка додатној функционализацији и модификацији ових материјала са циљем добијања високоефикасних адсорбенса [3, 4]. Бројне научне студије су показале да алкална модификација или увођење нових функционалних група на површину хидрочађи значајно повећава адсорпционе капацитете испитиваних материјала [3, 5].

Стога је у оквиру ове студије испитана могућност Fe/Mg-обогаћене хидрочађи добијене током двостепене модификације отпадне комине грожђа за уклањање јона цинка из водених раствора. Цинк је изабран као полутант који се често може наћи у индустријским отпадним водама у повишеним концентрацијама. Испуштања контаминираних вода без адекватног третмана резултира акумулацијом цинка у водотоковима, што претставља један од озбиљних еколошких проблема обзиром на штетне последице по здравље људи, биљни и животињски свет [6]. Развој нових, одрживих и ефикасних материјала за пречишћавање индустријских отпадних вода пре њиховог испуштања у речне водотокове је од великог значаја за заштиту животне средине.

Циљ овог рада јесте развој еко-иновативног материјала са потенцијалом за пречишћавање контаминираних вода од биомасе као обновљивог прекурсора, и проучавање утицаја модификације на адсорпциони капацитет и услове у којима се материјал може ефикасно користити.

2. Материјали и методе

2.1. Припрема и модификација хидрочађи

Припрема хидрочађи од комине грожђа хидротермалном карбонизацијом на 220°C је детаљно описана у нашим претходним студијама [3,4]. Након хидротермалне конверзије, импрегнација MgO и FeO на површину добијене хидрочађи изведена је поступком копреципитације у два корака при чему је 1 g мешан са Mg и Fe солима током 4 h на 60°C. Након тога, материјал је подвргнут пиролизи (Nabertherm 30-3000°C, Немачка) на 300°C, у року од 1 h, у инертној атмосфери. Добијена Mg/Fe-активирана пиро-хидрочађ означена је као Fe/Mg-НС.

2.2. Адсорпциони тест

За прелиминарне адсорпционе експерименте 0,025 g суве модификоване хидрочађи је мешано на орбиталном шејкеру (Heidolph, модел Unimax 1010) са 25 mL стандардног раствора Zn(II) (1 mM) у стакленим ерленмајерима (100 mL), током 24 h, на собној температури, брзином од 220 rpm. На основу прелиминарних тестова, утврђиван је утицај времена контакта на уклањање јона цинка као битан параметар адсорпционе студије. Време је варирано од 10 до 240 минута, док су остали параметри били исти као у прелиминарној студији. Садржај цинка у полазном раствору и добијеним филтратима је одређен методом AAS (Perkin Elmer 900T). Капацитети адсорпције израчунати су по формули:

$$q = (c_0 - c_{eq}) \cdot V/m \quad (1)$$

где су c_0 и c_{eq} почетна и равнотежна концентрација раствора Zn(II) (mg/L); V представља запремину раствора Zn(II) (L), m је количину адсорбента (Fe/Mg-НС) (g), респективно.

Поред тога, на добијене резултате утицаја времена примењени су изабрани кинетички модели (псеудо први, псеудо други и дифузиони модел) у циљу предвиђања потенцијалног механизма уклањања. Метода линеарног и нелинеарног фитовања помоћу софтвера Origin 9.0 коришћена је за истраживање примењених кинетичких модела модела.

Нелинеарни и линеарни псеудо први ред су представљени једначинама (2) и (3) [3-5]:

$$q_t = q_{eq} \cdot (1 - e^{-kt}) \quad (2)$$

$$\ln(q_{eq} - q_t) = \ln q_{eq} - kt \quad (3)$$

Док су нелинеарни и линеарни преудо други кинетички модел представљени једначинама (4) и (5):

$$q_t = q_{eq}^2 k_2 t / (1 + k_2 q_{eq} t) \quad (4)$$

$$t/q_t = (1/k_2 q_{eq}^2) + (1/q_{eq} \cdot t) \quad (5)$$

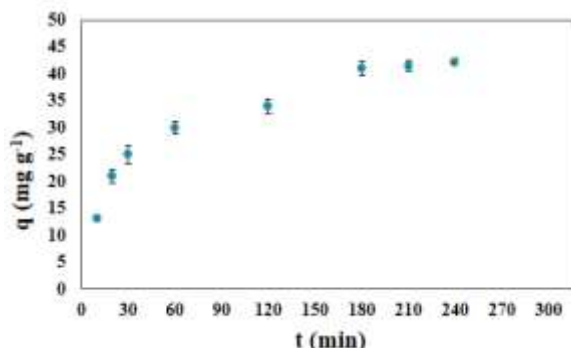
Дифузиони модел представљен је формулом (6):

$$q = k_{id} t^{0.5} + C \quad (6)$$

где q (mg/g) представља количину адсорбованог Zn(II) у времену t (min), k_{id} (mg/g min^{-1/2}) представља константу брзине дифузије унутар честице, а C је одсечак.

3. Резултати и дискусија

Прелиминарни адсорпциони тест је показао да хидрочађ комине грожђа након модификације показује знатно већи капацитет адсорпције (42 mg/g) него немодификовани материјал (13 mg/g). Како би се детаљније испитала могућност уклањања изабраног јона, урађени су експерименти утицаја времена контакта применом Fe/Mg-НС (слика 1). Утицај времена контакта између јона цинка и модификоване хидрочађи се испитивао у временским периодима од 10 до 240 минута. Са слике 1 се може приметити да се у почетку адсорпција одвија брзо. Разлог за то је велики број доступних активних центара на површини хидрочађи који могу да везују јоне цинка из воденог раствора [3]. Међутим, како током времена број ових центара постаје заузет, долази до смањења брзине везивања, те након 180 минута долази до успостављања равнотеже.

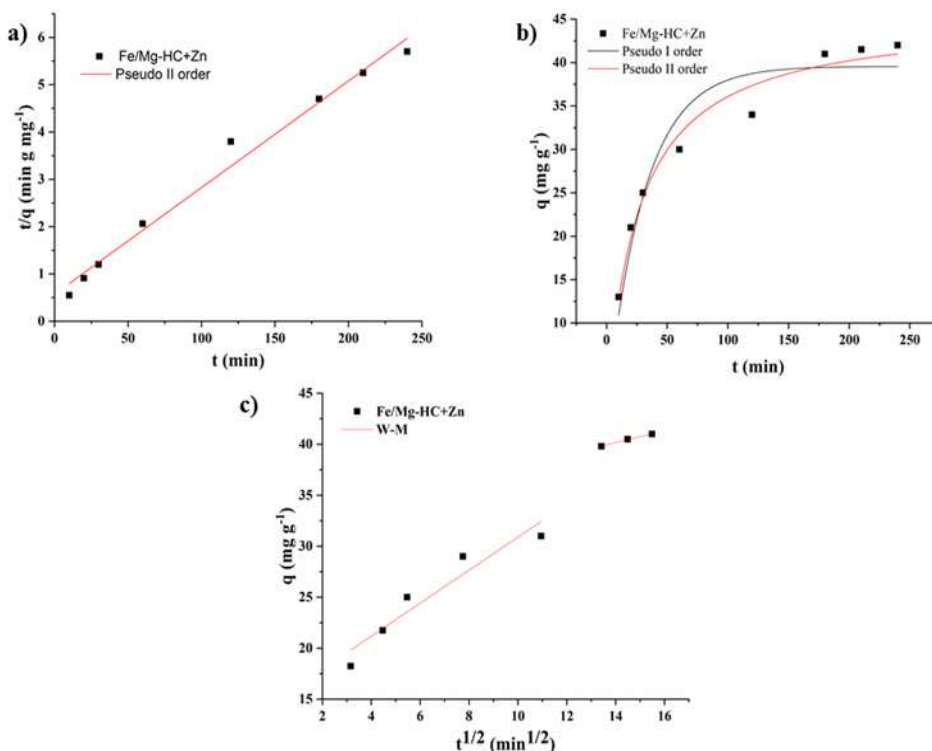


Слика 1. Утицај времена контакта на адсорпциони капацитет

На добијене експерименталне резултате су примењени кинетички модели који ће указати на потенцијалне механизме одговорне за везивање јона метала на површину хидрочађи (слика 2), док су израчунати коефицијенти и капацитет сорпције сумирани у табели 1.

Резултати из табеле 1 показују да су корелациони коефицијенти (R^2) за модел псеудо-другог реда и код линеарног и нелинеарног модела били ближи јединици у поређењу са онима добијеним за псеудо-први модел. На основу ових резултата може се закључити да је адсорпција одабраног тешког метала применом Fe/Mg-НС следи кинетички модел псеудо-другог реда. Поред тога,

израчунате вредности адсорпционог капацитета одређене псеудо-другим моделом су у изузетној сагласности са експериментално добијеним резултатом (q_{exp}) (табела 1). Овај модел подразумева хемијску сорпцију као корак који контролише брзину везивања и претпоставља хемијску интеракција између цинкових јона и функционалних група на површини испитиване хидрочађи као главни механизам везивања [3-5].



Слика 2. Криве кинетичких модела: линеарног псеудо-другог реда (a), нелинеарног псеудо-првог и псеудо другог реда (b) и модела међучестичне дифузије (c)

Утицај дифузије јона кроз раствор испитан је применом Weber-Morris-овог кинетичког модела на експерименталне резултате (слика 2c). На приказаном графику се може уочити подељена линеарност, на основу које се може закључити да дифузија цинкових јона није једини корак који контролише брзину адсорпције, већ су укључени и други механизми. Први линеарни интервал потиче од дифузије јона кроз раствор, све до површине адсорбенса, током чега долази до измене јона цинка са слабије везаним јонима на површини хидрочађи, док други линеарни регион потиче од дифузије и интра-честичне адсорпције јона цинка на активним местима [4, 5].

На основу добијених резултата се може закључити да се уклањање јона цинка применом Fe/Mg-HC одвија кроз више фаза, као и да се уклањање одвија

механизмима јонске измене и комплексирањем са функционалним групама на површини хидрочађи.

Табела 1. Сумирани кинетички параметри за адсорпцију јона цинка

Модел	Вредност	
$q_{\text{exp}} \text{ (mg g}^{-1}\text{)}$	45,0	
	Линеарни	Нелинеарни
Псеудо-први кинетички модел		
$q_{\text{eq, cal}} \text{ (mg g}^{-1}\text{)}$	31,72	39,55
$k_1 \text{ (min}^{-1}\text{)}$	0,83	0,03
R^2	0,9000	0,9263
Псеудо-други кинетички модел		
$q_{\text{eq, cal}} \text{ (mg g}^{-1}\text{)}$	44,36	45,39
$k_2 \text{ (g mg}^{-1} \text{ min}^{-1}\text{)}$	0,013	8,52
R^2	0,9850	0,9708
Модел међучестичне дифузије		
$K_{\text{id1}} \text{ (mg g}^{-1} \text{ min}^{-1/2}\text{)}$	1,45	
$C_1 \text{ (mg g}^{-1}\text{)}$	18,71	
R^2	0,8837	
$K_{\text{id2}} \text{ (mg g}^{-1} \text{ min}^{-1/2}\text{)}$	0,58	
$C_2 \text{ (mg g}^{-1}\text{)}$	32,03	
R^2	0,9942	

4. Закључак

У оквиру ове студије Fe/Mg-модификована хидрочађ је испитана као потенцијални адсорбент јона цинка из воденог раствора. Адсорпциони тест је показао да везивање Fe и Mg јона на површину хидрочађи побољшава њен адсорпциони капацитет. Кинетичка студија је потврдила да се уклањање јона цинка применом Fe/Mg-НС одиграва кроз две истовремене фазе и да је хемијска адсорпција корак који контролише брзину током уклањања изабраног метала. Резултати су показали да се ефикасан адсорбент са добрим перформансама за уклањање тешких метала може добити двостепеном термохемијском модификацијом отпадне комине грождја.

5. Захвалница

Аутори се захваљују Министарству за науку, технолошки развој и иновације Републике Србије на финансијској подршци (уговор бр. 451-03-47/2023-01/200023).

5. Литература

- [1] Simić M, Petrović J, Šoštarić T, Ercegović M, Milojković J, Lopičić J, Kojić M, A Mechanism Assessment and Differences of Cadmium Adsorption on Raw and Alkali-Modified Agricultural Waste, *Processes*, 10 (2022) 1957.
- [2] Noor A, Ali Khan S, Agricultural Wastes as Renewable Biomass to Remediate Water Pollution, *Sustainability*, 15 (2023) 4246.
- [3] Petrović J, Ercegović M, Simić M, Kalderis D, Koprivica M, Milojković J, Radulović D, Novel Mg-doped pyro-hydrochars as methylene blue adsorbents: Adsorption behavior and mechanism, *Journal of Molecular Liquids*, 376, 121424, 2023.
- [4] Petrović J, Stojanović M, Milojković J, Petrović M, Šoštarić T, Laušević M, Mihajlović M, Alkali modified hydrochar of grape pomace as a perspective adsorbent of Pb^{2+} from aqueous solution, *Journal of Environmental Management*, 182, 292-300, 2016.
- [5] Koprivica M., Simić M., Petrović J., Ercegović M., Dimitrijević J.: Evaluation of Adsorption Efficiency on Pb(II) Ions Removal Using Alkali-Modified Hydrochar from Paulownia Leaves, *Processes*, 11, 1327, 2023.
- [6] Deng H, Li Q, Huang M, Li A, Zhang J, Li Y, Kang C, Mo W, Removal of Zn(II), Mn(II) and Cu(II) by adsorption onto banana stalk biochar: adsorption process and mechanisms, *Water Science and Technology*, 82, 2962–2974, 2020.