

SAVEZ INŽENJERA I TEHNIČARA SRBIJE



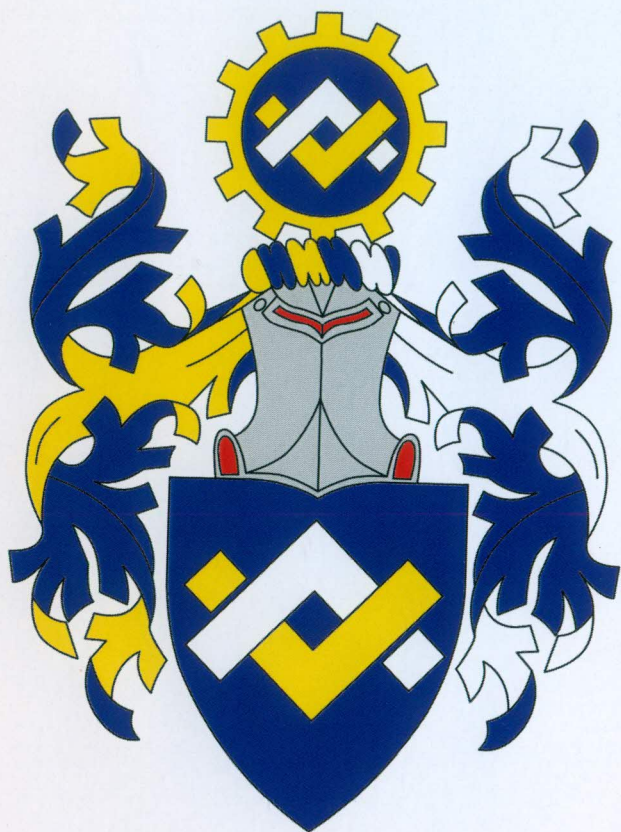
**43. MEĐUNARODNA
KONFERENCIJA**

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 средњовековне 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 многим институцијама.

Већ дуги низ година на основу Закона и уговора са надлежним републичким министарствима организује и спроводи послове одржавања стручних области инжењерских струка у Републици Србији.

Инжењера и техничара Србије – СИТС, данас има више хиљада својих чланова, 15 својих чланица у Србији, и то: 27 чланица на републичком нивоу, струковне везе 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), стално се финансира, редовно измирује своје обавезе према свим институцијама и државним органима и својим добављачима и успешно послује.

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

Савез 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 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 karbonizacijom13

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

Potencijalna upotreba agroindustrijskog otpada za uklanjanje teških metala iz otpadnih voda19

Rada Petrović

Postupci uklanjanja bora iz podzemnih voda25

Željka Ostojić, Branislav Babić, Strahinja Nikolić,

Maja Đorović Stevanović, Sanja Marčeta

Efekti klimatskih promena na vodovodne distributivne mreže31

Dragan Vlatković, Dušan Todorović

Monitoring i analiza noćne potrošnje kao pouzdanog indikatora gubitaka41

Branislav Babić, Ognjen Govedarica, Aleksandar Đukić

Bilans voda u vodovodu – metodološki pristupi i terminologija47

Miroslav Kukučka, Nikoleta Kukučka Stojanović

Kondicioniranje podzemnih voda bogatih gvoždem i manganom u cilju dobijanja vode za piće53

Stanko Stankov

Značaj velikih podataka u vodovodnim i kanalizacionim sistemima58

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 piće68

Jurica Kovač

Pokazatelji i ocjene aktivnosti kontrole gubitaka vode75

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 промена279

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 зеолиту297

Stankov

Фреквенцијска регулација у системима водовода и канализације304

Prohaska, Stevan Prohaska

Квантитативне карактеристике киша јаког интензитета у околини града
Београда са аспекта пројектовања кишне канализације314

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 канализације323

Đuksanović, Dragan Radonjić, Jelena Šćepanović

Управљање процједним отпадним водима на новој санитарној
општини у општини Жаблијак340

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

Ефикасност примене отпадне биомасе хмелја за адсорпцију јона
 Cd^{2+} из водених раствора351

Đokulić

Ефикасност уградње малих хидроелектрана у склопу постројења
за пречишћавање отпадних вода357

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 ЕРЦЕГОВИЋ¹, ЈЕЛЕНА ПЕТРОВИЋ², МАРИЈА СИМИЋ³,
МАРИЈА КОПРИВИЦА⁴, МАРИЈА КОЈИЋ⁵, ДИМИТРИОС КАЛДЕРИС⁶

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.

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

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

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

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

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

⁶ Димитриос Калдерис, Department of Electronic Engineering, School of Engineering, Hellenic Mediterranean University, Chania, Crete, Greece

- [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 Pb²⁺ 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 Pb²⁺ and Cd²⁺ 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 СИМИЋ¹, ЈЕЛЕНА ПЕТРОВИЋ², ТАТЈАНА ШОШТАРИЋ³,
МАРИЈА ЕРЦЕГОВИЋ⁴, ЈЕЛЕНА МИЛОЈКОВИЋ⁵,
МАРИЈА КОПРИВИЦА⁶, ЈЕЛЕНА ДИМИТРИЈЕВИЋ⁷

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⁻¹, 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⁻¹, 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

¹ Марија Симић, Институт за технологију нуклеарних и других минералних сировина, Франше д'Епера 86, Београд

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

³ Татјана Шоштарић, Институт за технологију нуклеарних и других минералних сировина, Франше д'Епера 86, Београд

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

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

⁶ Марија Копривица, Институт за технологију нуклеарних и других минералних сировина, Франше д'Епера 86, Београд

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

цијалну примену као адсорбенси у постројењима за пречишћавање отпадних

не речи: адсорпција, агроиндустријски отпад, тешки метали, окласак кукуруза и узна свила, третман отпадних вода

act: In this study agro waste material, corn cob (OK) and corn silk (KS), were used as adsorbent for heavy metals removal from aqueous solutions and real wastewater sample. The OK and KS were characterized by chemical and elemental analysis, cation exchange capacity, SEM-EDX and FTIR spectroscopy. In order to compare adsorption affinity, adsorption experiments were performed in batch system. The maximum adsorptive capacity of CC for Pb(II), Cu(II) and Zn(II) ions removal was 0,027; 0,0413 and 0,019 mmol g⁻¹, respectively, while the maximum adsorptive capacity of CS for Pb(II), Cu(II) and Zn(II) ions removal was 0,400; 0,220 and 0,190 mmol g⁻¹, respectively. In order to examine the efficiency of CC and CS as heavy metals adsorbents from real wastewater sample, these materials were applied for purification of laboratory drain water contained from atomic power station spectrophotometer. Both materials showed good adsorption performance and efficiency for heavy metal adsorption and their removal from the real sample. The obtained results from this study suggest that the agrowaste materials (CC and CS) can be applied as natural adsorbent for heavy metals wastewater treatment applications.

Words: Adsorption, agrowaste materials, heavy metals, corn cob and corn silk, wastewater treatment.

од

У последњих пар деценија интензивни технолошки развој допринео је све већем искоришћавању водних ресурса као контаминацији површинских вода различитим полутантима. Због својих физичко-хемијских и токсиколошких карактеристика, тешки метали представљају велики проблем за животну средину. Ови полутанти су веома токсични, неразградиви, имају афинитет ка биолошкој флори и фауни у живе организме и тим путем доспевају у ланац исхране.

У мањим концентрацијама они су неопходни за функционисање и развој живих организама док повишене концентрације могу изазвати различите проблеме а неретко и смрт. Самим тим је и разумљива потреба да се воде очисте од контаминације овим полутантом и да се нађу најприхватљивија средства за снижавање њиховог садржаја у отпадним водама.

За третман отпадних вода тренутно се користе конвенционалне технике које су: оксидо-редукциони процеси, хемијско таложење, коагулација и флокулација, јонска измена као и многе друге. Услед високих оперативних трошкова, генерисања токсичног муља, недовољне селективности и др. традиционалних метода, пажња се све више усмерава ка проналажењу адекватнијих средстава за третман отпадних вода [1].

Велики интерес је усмерен ка испитивању различитих алтернативних материјала, посебно отпадних биоматеријала, као потенцијалних адсорбентских материјала. Ови материјали често представљају отпад из индустријских постројења а захваљујући свом структурном саставу имају афинитет да ступе у

интеракцију са јонима метала [2, 3]. Ниски оперативни трошкови, селективност, висока ефикасност, еколошка прихватљивост као и многе друге погодности издвајају ове материјале у сам врх испитивања [4]. Тако на пример, добре адсорпционе перформансе у односу на јоне бакра никла и цинка показала је пшенична слама, љуска кикирикија може да уклони веома висок садржај јона бакра и цинка док кора грејпфрута може да уклони 42,08 mg g⁻¹ јона бакра [5-7].

Будући да се велике површине обрадивог земљишта, како у Србији тако и широм света, налазе под кукурузом, самим тим и велике количине нуспроизвода остаје након бербе кукуруза. Управо због тога је у овом раду испитана могућност употребе окласка кукуруза и кукурузне свиле за уклањање јона олова, бакра и цинка из водених раствора и лабораторијске отпадне воде која остаје након анализе на атомском апсорпционом спектрофотометру. Како би се до детаља испитао процес адсорпције метала на ОК и КС, карактеризација ова два материјала вршена је хемијском и елементалном анализом, одређивањем капацитета катјонске измене, SEM-EDX и FTIR спектроскопијом. У циљу утврђивања структурних карактеристика које утичу на афинитет ОК и КС ка везивању јона метала на површину материјала, вршени су упоредни адсорпциони експерименти и поређење добијених резултата.

2. Материјал и методе

Делови кукуруза ОК и КС прикупљани су на околном пољу у околини Београда након бербе кукуруза, испрани неколико пута како би се уклониле нечистоће и сушени на ваздуху. Осушен материјал је самлевен, осушен до константне масе и као такав коришћен за даље експерименте.

За припрему радних раствора коришћени су Pb(NO₃)₂·xH₂O; Cu(NO₃)₂·xH₂O и ZnSO₄·xH₂O. Све хемикалије су биле п.а. степена чистоће.

Садржај С, Н, N и S испитан је елементалном анализом на елементалном анализатору „VARIO-EL III CHNS-O Analyzer“. Узорак је спаљен на 1150°C у струји хелијума уз убризгавање кисеоника. Процентуални садржај O₂ добијен је одузимањем добијених вредности од 100%. Капацитет катјонске измене узмерен је по прописаној стандардној методи [8]. На механичком шејкеру током 24x мешана је суспензија материјала и раствора NH₄Cl. Суспензија је профильтрирана а садржај Na⁺, K⁺ и Ca²⁺ одређен је методом атомске емисионе спектрометрије (АЕС), садржај Mg²⁺ је одређен методом атомске апсорпционе спектрометрије (ААС) док је садржај H⁺ одређен на основу промене рН вредности.

Морфолошке карактеристике материјала испитане су методом скенирајуће електронске микроскопије и енергијско дисперзивне рендгенске анализе SEM-EDX. Инфрацрвена спектроскопија са Фуријеовом трансформацијом FTIR коришћена је за идентификацију функционалних група на површини ОК и КС. Анализа је вршена на уређају „Thermo Nicolet 6700 FT-IR“.

Адсорпциони експерименти су рађени у шаржном систему. Суспензија материјала и раствора метала је мешана на механичком шејкеру током 120 мин он чега је филтрирана кроз филтер хартију. Концентрација метала у пртрату мерена је методом ААС док је адсорпциони капацитет рачунат на нову измерених вредности и прерачунат преко следеће формуле:

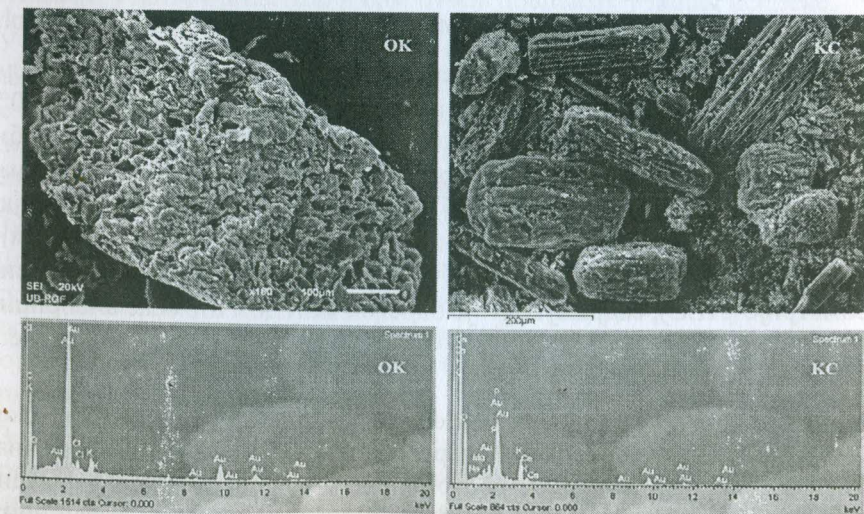
$$q_e = (C_0 - C_e)V/m \quad (1)$$

је q_e - количина адсорбованог метала на ОК и КС (mmol g^{-1}); C_0 - почетна концентрација јона метала у раствору (mmol L^{-1}); C_e - концентрација јона метала у филтрату (mmol L^{-1}); V – запремина раствора (L) и m – маса ОК и КС

Резултати и дискусија

Адсорпционе карактеристике неког материјала доста зависе од његове структурне. Тако на пример, код лигноцелулозних материјала, целулоза је битна градивна компонента која утиче на реактивност ових материјала. Како је садржај целулозе виши, реактивност материјала је нижа [9]. Хемијском анализом установљено је да је садржај целулозе у ОК и КС 36,7 и 12,63%, респективно. На основу ових резултата очекује се боља реактивност КС. У узорку КС највећи удео имају протеини (20,07%), хемицелулоза је заступљена са 1,9% док је садржај лигнина 7,89%. Узорак ОК претежно састоји од целулозе и хемицелулозе (40,7% хемицелулозе), садржај лигнина је 7,89% а протеина 2,48%. Анализом елементалног састава установљено је да се узорци ОК и КС састоје претежно од угљеника и кисеоника док је садржај водоника, азота и сумпора знатно мањи.

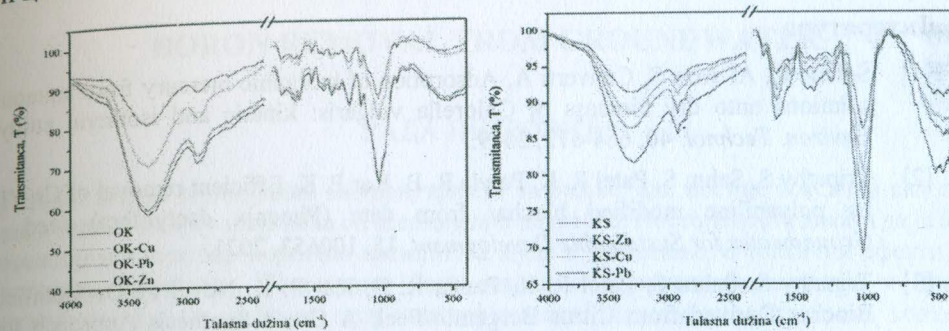
SEM-EDX анализом испитане су морфолошке карактеристике ОК и КС. Резултати анализе су приказани на слици 1.



Слика 1. SEM микрографије и EDX спектри ОК и КС

Када се упореде SEM микрографије ова два материјала, може се уочити да ова два материјала немају високу порозност али да постоје канали који су распоређени дуж структуре ОК и КС што је погодно за дифузију јона метала током процеса адсорпције [10]. Са EDX спектра може се закључити да се оба материјала састоје од калијума, натријума фосфора, магнезијума и калцијума.

FTIR анализа ОК и КС извршена је пре и након уклањања јона олова, бакра и цинка. Резултати су приказани на слици бр. 2.



Слика 2. FTIR спектри ОК и КС пре и након адсорпције јона метала

Као што се може уочити са слике 2, након адсорпције ових метала долази до промене интензитета и померања неких пикова у FTIR спектрима ОК и КС што указује да је дошло до интеракције између јона метала и функционалних група присутних на ова два материјала. На основу експерименталних резултата прелиминарне упоредне анализе утврђено је да КС има већи афинитет ка ступању у интеракцију са јонима метала у односу на ОК. 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^{-1} , 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^{-1} , респективно. Када је у питању реалан узорак отпадне воде настале током анализе на атомском адсорпционом спектрофотометру садржај Fe, Pb, Cu, Zn, Cr и Ni се смањи за 99, 92, 85, 81, 20 и 45%, респективно, када је као адсорбент коришћена КС, док се садржај истих метала смањило за 89, 83, 79, 65, 12 и 31%, респективно, када је као адсорбент коришћен ОК.

4. Закључак

У овом раду испитана је могућност употребе КС и ОК за уклањање јона метала из отпадних вода. У циљу поређења ефикасности ова два материјала и испитивања утицаја њихове структуре на афинитет ка везивању јона метала, урађена је карактеризација ОК и КС хемијском и елементалном анализом, одређивањем капацитета катјонске измене, SEM-EDX и FTIR спектроскопијом. На основу структурних карактеристика уочено је да КС има боље адсорпционе перформансе, што је и потврђено прелиминарном адсорпционом студијом. Такође је показано да се КС и ОК могу користити као ефикасни

адсорбенти за уклањање метала из контаминиране лабораторијске отпадне воде.

5. Захвалница

Аутори се захваљују Министарству просвете, науке и технолошког развоја које је својим финансирањем помогло описана истраживања (бр. 451-03-68/2022-14/200023).

6. Литература

- [1] Solisio C, Al Arni S, Converti A, Adsorption of inorganic mercury from aqueous solutions onto dry biomass of *Chlorella vulgaris*: kinetic and isotherm study, *Environ. Technol.* 40, 664-672, 2019.
- [2] Tripathy S, Sahm S, Patel R. K, Panda R. B, Kar P. K, Efficient removal of Cr(VI) by polyaniline modified biochar from date (*Phoenix dactylifera*) seed, *Groundwater for Sustainable Development*, 15, 100653, 2021.
- [3] Tripathy S, Sahm S, Patel R. K, Panda R. B, Kar P. K, Novel Fe₃O₄-Modified Biochar Derived from Citrus Bergamia Peel: A Green Synthesis Approach for Adsorptive Removal of Methylene Blue, *Chemistry Select*, 2022.
- [4] Cela-Dablanca R, Barreiro A, Ferreira-Coelho G, Campillo-Cora C, Pérez-Rodríguez P, Arias-Estévez M, Núñez-Delgado A, Álvarez-Rodríguez E, Fernández-Sanjurjo MJ. Cu and As(V) Adsorption and Desorption on/from Different Soils and Bio-Adsorbents. *Materials*. 15(14):5023, 2022.
- [5] Gorgievski M, Božić D, Stanković V, Štrbac N, Šerbula S, Kinetics, equilibrium and mechanism of Cu²⁺, Ni²⁺ and Zn²⁺ ions biosorption using wheat straw. *Ecol. Eng.* 58, 113–122, 2013.
- [6] Witek-Krowiak A, Szafran R, Biosorption of heavy metals from aqueous solutions onto peanut shell as a low-cost biosorbent. *Desalination*, 265, 126–134, 2011.
- [7] Torab-Mostaedi M, Asadollahzadeh M, Hemmati A, Khosravi A, Equilibrium, kinetic, and thermodynamic studies for biosorption of cadmium and nickel on grapefruit peel. *J. Taiwan Inst. Chem. Eng.* 44, 295–302, 2013.
- [8] Daković A, Tomašević-Čanović M, Dondur V, Stojšić D, *Rottinghous Studies in Surface Science and Catalysis* 135, 5276–5283, 2001.
- [9] Abdolali A, Guo W. S, Ngo H. H, Chen S. S, Nguyen N. C, Tung K. L, Typical lignocellulosic wastes and by-products for biosorption process in water and wastewater treatment: a critical review. *Biores. Technol.* 160, 57–66, 2014.
- [10] Petrović M, Šoštarić T, Stojanović M, Milojković J, Mihajlović M, Stanojević M, Stanković S, Removal of Pb²⁺ ions by raw Corn silk (*Zea mays* L) as a novel biosorbent, *J. Taiwan Inst. Chem. E.* 58, 407-416, 2016.

ПОСТУПЦИ УКЛАЊАЊА БОРА ИЗ ПОДЗЕМНИХ ВОДА

BORON REMOVAL FROM GROUNDWATER

РАДА ПЕТРОВИЋ¹

Резиме: Бор је есенцијални микронутријент за биљке, али постаје токсичан већ у малим количинама које су мало веће од есенцијално потребне. Постоји доста доказа да је бор есенцијални или бар користан елемент за људе и животиње, а токсични ефекти су углавном непознати. Токсичност бора зависи од дужине, фреквенције и ниво изложености и не може се лако квантификовати. Максимално дозвољена концентрација бора у пијаћој води према Правилнику о хигијенској исправности воде за пиће је 1 mg/L, колика је и максимална дозвољена концентрација у водотоцима II класе. У подземним водама бор се јавља у концентрацијама од 0,3 до 100 mg/L, у зависности од састава стена. Технологије прераде које се примењују за воде са малим концентрацијама бора (< 10 mg/L) обухватају флокулацију/таложње, адсорпцију, јонску измену, мембранске поступке и др. За воде са високим концентрацијама бора углавном се предлажу реверзна осмоза и јонска измена коришћењем бор-селективних смола, али и њихова комбинација, као и кобиновање са другим процесима, било у циљу одговарајућег предtretмана воде, било у циљу повећању ефикасности уклањања бора.

Кључне речи: бор, подземне воде, реверзна осмоза, јонска измена

Abstract: Boron is an essential micronutrient for plants, but it becomes toxic if the amount is slightly greater than essential. There have been a number of studies proving that boron is an essential or at least a beneficial element for human beings and animals. The toxic effects of boron on animals and humans remain largely unknown. Boron toxicity depends on the length of exposure, frequency, and level of exposure and therefore it is difficult to quantify. The maximum permitted concentration of boron in drinking water according to the Rulebook on water potability is 1 mg/L, which is also the maximum permitted concentration in Class II watercourses. Boron exists in ground water with concentrations ranging from 0.3 to 100 mg/L, depending on the mineralogy of the area. Treatment technologies used for low concentration of boron (<10 mg/L) include flocculation/sedimentation, adsorption, ion exchange, membrane technics, etc. For waters with high boron concentration, reverse osmosis and ion-exchange using boron-selective resins have been suggested, as well as the combination and combination with other processes in order to increase the efficiency of boron removal or pretreat water to prevent scaling of membranes and resin.

Key Words: boron, groundwater, reverse osmosis, ion exchange

¹ Рада Петровић, Универзитет у Београду, Технолошко-металуршки факултет, Капетановићева 4, Београд