

**УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
ФАКУЛТЕТ ЗА ФИЗИЧКУ ХЕМИЈУ
НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ**

На VI редовној седници Наставно-научног већа Факултета за физичку хемију одржаној 09.04.2026. године именовани смо за чланове Комисије за преглед и оцену докторске дисертације кандидаткиње Катарине Станковић, мастер физикохемичара, под насловом:

**„Развој и примена хидрогелова на бази хитозана у континуалној адсорпцији
јона тешких метала из воде“**

Одлуком Наставно-научног већа Факултета за физичку хемију Универзитета у Београду, са IX редовне седнице од 14.06.2021. године одобрена је израда докторске дисертације под наведеним насловом. На основу те одлуке, Веће научних области природних наука Универзитета у Београду је на седници одржаној 24.06.2021. године дало сагласност да се прихвати предложена тема докторске дисертације.

Након прегледа и анализе докторске дисертације кандидата, Наставно-научном већу подносимо следећи

ИЗВЕШТАЈ

А. Приказ садржаја дисертације

Докторска дисертација кандидаткиње Катарине Станковић написана је на српском језику, на 103 стране А4 формата куцаног текста, припремљена према упутству за обликовање докторске дисертације Универзитета у Београду (фонт Times New Roman величине 12 pt и проред 1). Дисертација се састоји из следећих 8 поглавља: **Увод** (2 стране), **Теоријски део** (17 страна), **Циљ истраживања** (1 страна), **Експериментални део** (8 страна), **Резултати и дискусија** (45 страна), **Закључак** (1 страна), **Литература** (159 навода, 13 страна) и **Прилози** (7 страна). Поред наведеног, дисертација садржи и насловне стране на српском и енглеском језику (2 стране), списак ментора и чланова комисије (1 страна), захвалницу (1 страна), сажетке на српском и енглеском језику (2 стране), садржај (3 стране).

У дисертацији је приказано 47 слика и 19 табела, од којих 40 слика и 17 табела представљају оригиналне резултате истраживања кандидаткиње.

У поглављу **Увод** истакнут је значај очувања воде као основног ресурса за живот људи, уз осврт на растући проблем њеног загађења тешким металима. У циљу њиховог уклањања из водених средина, процес адсорпције издвојен је као ефикасан и економски прихватљив у односу на друге доступне методе, при чему је посебан акценат стављен на адсорбенте на бази хитозана и његових композита у облику хидрогелова, који су показали значајан потенцијал за ефикасно уклањање јона тешких метала.

У поглављу **Теоријски део** наведени су извори тешких метала у воденој средини, као и основне карактеристике тешких метала који су анализирани у овој дисертацији (хром, бакар, олово, кадмијум и цинк). Поред адсорпције, која је издвојена као најпогоднија и најчешће примењивана метода у истраживањима која се баве третманом водених система контаминираних јонима тешких метала, наведене су и друге методе које се примењују за њихово уклањање. Објашњени су основни принципи процеса адсорпције, са посебним освртом на шаржне и континуалне системе, укључујући и математичке моделе који се у овим системима примењују, при чему је истакнута недовољна заступљеност континуалних система у досадашњој литератури. Приказане су опште карактеристике хитозана и могућности његове модификације, са посебним нагласком на хидрогелове на бази хитозана као изузетно ефикасне

адсорбенте за уклањање јона тешких метала уз преглед релевантне литературе.

У поглављу **Циљ истраживања** сумирани су специфични циљеви ове докторске дисертације, као и крајњи циљ који подразумева да се на основу добијених експерименталних резултата, изведу закључци о примени синтетисаних адсорбената у системима за пречишћавање индустријских отпадних вода контаминираних тешким металима, пре њиховог отпуштања у природне водене токове.

У поглављу **Експериментални део** наведене су коришћене хемикалије у оквиру ове докторске дисертације, приказана је синтеза хидрогел куглица на бази хитозана (CHB), модификованих хидрогел куглица на бази хитозана (CHB-GLA-CA) и композитних хидрогел куглица на бази хитозана и целулозе (CHB-CF-GLA). Описан је поступак одређивања степена деацетиловања полазног, комерцијалног хитозана, а затим су наведени експериментални услови примене различитих метода карактеризације, које обухватају скенирајућу електронску микроскопију и енергетски дисперзивну спектроскопију, инфрацрвену спектроскопску анализу, рендгенску дифракциону анализу, одређивање тачке нултог наелектрисања синтетисаних адсорбената, као и степен бубрења добијених хидрогелова. Дат је поступак извођења експерименталних адсорпције у шаржном и континуалном систему, а наведене су и коришћене једначине за моделовање кривих пробоја применом софтверског пакета COMSOL Multiphysics верзија 3.5.

У поглављу **Резултати и дискусија** приказани су резултати добијени за степен деацетиловања хитозана, а затим и резултати физичкохемијске карактеризације адсорбената. Након ових анализа, испитивани су параметри процеса адсорпције у шаржном систему Cr(VI) јона применом адсорбента CHB и CHB-GLA-CA, а затим и оптимизација процеса адсорпције у континуалном систему Cr(VI) јона применом CHB-GLA-CA, који је показао боље адсорпционе карактеристике у односу на CHB. Представљени су прелиминарни резултати процеса адсорпције Cu(II), Pb(II), Zn(II) и Cd(II) јона у шаржном систему применом CHB и CHB-GLA-CA, као и резултати процеса адсорпције Cu(II), Pb(II), Zn(II) и Cd(II) јона у континуалном систему применом CHB-GLA-CA. Услед недовољно добрих резултата добијених у прелиминарним експериментима, приступљено је оптимизацији параметара процеса адсорпције Cu(II), Pb(II), Zn(II) и Cd(II) јона у шаржном систему применом новосинтетисаног адсорбента CHB-CF-GLA. Како су добијени обећавајући резултати у шаржним системима процеса адсорпције, испитани су и параметри процеса адсорпције Cu(II) јона који је изабран као репрезентативан, применом CHB-CF-GLA у континуалном систему. Адсорбенти CHB-GLA-CA и CHB-CF-GLA су показали висок проценат адсорпционих способности у циљу уклањања Cr(VI) и Cu(II) јона, респективно, па је испитана и могућност регенерације и њихове поновне употребе. На крају овог поглавља представљени су резултати моделованих кривих пробоја у софтверском пакету COMSOL Multiphysics, који су упоређени са оним добијеним у експериментима за континуалне системе. Упоређени експериментални и моделовани резултати су показали добро слагање.

У поглављу **Закључак** сумирани су најважнији резултати истраживања ове докторске дисертације и истакнути закључци који из њих произилазе.

У поглављу **Литература** дат је преглед најзначајнијих радова из области, распоређених у складу са редоследом њиховог цитирања у тексту докторске дисертације.

У поглављу **Прилози** наведена је биографија и библиографија кандидаткиње, као и обрасци прописани упутством Универзитета о обликовању докторске дисертације.

Б. Кратак преглед остварених резултата

У овој докторској дисертацији успешно су синтетисани материјали CHB, CHB-GLA-CA и CHB-CF-GLA, а потом и детаљно окарактерисани применом различитих физичко-хемијских метода и испитани у циљу ефикасног уклањања јона тешких метала из водених раствора у шаржном и континуалном систему.

На почетку истраживања одређен је степен деацетиловања комерцијалног, прашкастог, хитозана применом две независне методе, чиме је обезбеђена поузданост добијених резултата.

Применом прве методе утврђен је степен деацетиловања од 95,3%, док је другом методом добијена вредност од 93,3%. Овим је потврђено да коришћени прашкасти хитозан поседује висок степен деацетиловања, већи од 90%.

Након тога одрађена је карактеризација материјала различитим физичко-хемијским методама. За синтетисане материјале СНВ, СНВ-GLA-CA и СНВ-CF-GLA одређен је степен бубрења. Добијени резултати показују да је највећи степен бубрења (око 1600%) забележен код неумреженог материјала СНВ, док су код материјала СНВ-GLA-CA и СНВ-CF-GLA утврђене значајно ниже вредности, од 292% и 230%, респективно. Овакви резултати су очекивани, с обзиром да модификација материјала доводи до формирања додатних хемијских веза између полимерних ланаца, што условљава смањење слободног простора унутар хидрогелне мреже, а самим тим и мању способност бубрења материјала.

Одређене су вредности тачке нултог наелектрисања (pH_{pzc}) синтетисаних материјала СНВ, СНВ-GLA-CA и СНВ-CF-GLA од 8,9; 5,8 и 6,8, респективно. Уочене разлике у добијеним вредностима pH_{pzc} могу се објаснити променама у хемијској стурктури хитозана насталим током процеса модификације. Такође, за све испитане материјале, потврђено је да не долази до адсорпције K^+ и NO_3^- јона, односно pH_{pzc} је независан од јонске јачине раствора.

Морфологија и елементарни састав синтетисаних материјала анализирани су применом скенирајућег електронског микроскопа са емисионим пољем (FESEM), у комбинацији са енергетски дисперзивном спектроскопијом (EDS). FESEM анализа је показала да неумрежени СНВ поседује сунђерасту структуру са танкозидним порама великог пречника, док модификовани материјали СНВ-GLA-CA и СНВ-CF-GLA имају знатно компактнију и мање порозну морфологију услед умрежавања полимерних ланаца. Увођење целулозе у СНВ-CF-GLA доводи до формирања развијене влакнасте мреже и слојевите структуре, што доприноси побољшаној механичкој стабилности материјала. Такође, након адсорпције јона тешких метала, уочено је додатно смањење порозности и формирање компактније структуре, што указује на успешно везивање јона унутар полимерне мреже. EDS анализа је потврдила да СНВ, СНВ-GLA-CA и СНВ-CF-GLA садрже угљеник (C), кисеоник (O) и азот (N), у складу са очекиваним саставом полисахарида, док су након адсорпције Cr(VI) и Cu(II) јона уочени додатни пикови, који су потврдили присуство ова два тешка метала.

Функционалне групе узорака анализирани су инфрацрвеном спектроскопијом са Фуријеовом трансформацијом. Анализа је показала да материјал СНВ поседује карактеристичне функционалне групе типичне за хитозан, укључујући хидроксилне и аминокне групе. Код модификованог материјала СНВ-GLA-CA уочене су промене које указују на успешно умрежавање глутаралдехидом и додатну функционализацију лимунском киселином, уз формирање нових хемијских веза и интеракција. Након адсорпције Cr(VI) јона, уочене су промене у спектрима, које су потврдиле да у процесу везивања учествују аминокне, хидроксилне и карбоксилне групе, при чему долази и до редукције Cr(VI) у мање токсичан Cr(III). За композитни материјал СНВ-CF-GLA утврђено је присуство структурних елемената и хитозана и целулозе, као и постојање интермолекулских интеракција и умрежавања. Након адсорпције Cu(II) јона уочене су промене које указују да аминокне и хидроксилне групе представљају главна активна места за везивање Cu(II).

Фазни састав коришћених материјала одређен је методом рендгенске дифракционе анализе, која је показала да формирање хидрогелне структуре код СНВ доводи до смањења кристалинкости у односу на прашкасти хитозан услед нарушавања уређених кристалних домена. Даљом модификацијом материјала (СНВ-GLA-CA) долази до израженијег повећања аморфности, као последице умрежавања и формирања стабилне тродимензионалне мреже. Код композитног материјала СНВ-CF-GLA уочено је присуство структурних доприноса и хитозана и целулозе, при чему механичка обрада целулозе додатно смањује њену кристалинност, што за резултат има мешовиту, делимично аморфну структуру материјала.

У другом делу истраживања испитана је адсорпција Cr(VI) јона применом адсорбентата СНВ и СНВ-GLA-CA у шаржном и континуалном систему. Резултати у шаржном систему су показали да рН вредност раствора значајно утиче на ефикасност уклањања Cr(VI) јона, при

чему је максимална ефикасност уклањања добијена у киселој средини ($\text{pH} = 2,5$), док је пораст pH довео до смањења ефикасности, израженије код CHB него CHB-GLA-CA . Кинетички модели (модел псеудо-првог и модел псеудо-другог реда) и модели адсорпционих изотерми (Лангмирова и Фројндлихова) примењени су за анализу експерименталних података. Адсорпција Cr(VI) јона на адсорбентима CHB и CHB-GLA-CA може се описати кинетиком модела псеудо-другог реда и Лангмировом изотермом, при чему ефикасност уклањања опада са порастом полазне концентрације Cr(VI) јона. Резултати утицаја других анјона су показали да је ефикасност уклањања Cr(VI) јона готово независна од присуства NO_3^- јона, чак и при вишим концентрацијама, док SO_4^{2-} јони имају изражен негативан утицај, доводећи до смањења ефикасности адсорпције Cr(VI) јона. Након испитивања шаржног система, приступљено је анализи утицаја радних параметара у уклањању Cr(VI) јона применом CHB-GLA-CA у континуалном систему применом колоне са фиксним слојем. Утврђено је да повећање висине слоја продужава време пробоја и засићења, док повећање протока и полазне концентрације убрзава засићење колоне. Код сва три параметра која су анализирана на утицај кривих пробоја, експериментални резултати су показали боље слагање са моделима *Thomas-a* и *Yoon-Nelson-a*, док су већа одступања од експерименталних резултата уочена код *Adams-Bohartov*-ог модела.

У трећем делу истраживања испитана је адсорпција Cu(II) , Pb(II) , Zn(II) и Cd(II) јона применом CHB-CF-GLA у шаржном и континуалном систему. Највећа ефикасност уклањања постигнута је за Cu(II) јоне на $\text{pH} = 5,5$, уз задржавање високе ефикасности у целом испитаном pH опсегу. На истом pH , добијене су и максималне ефикасности уклањања за Pb(II) , Zn(II) и Cd(II) , уз опадање ефикасности уклањања катјона по редоследу $\text{Cu(II)} > \text{Pb(II)} > \text{Zn(II)} > \text{Cd(II)}$. Слично, као у случају за Cr(VI) јоне, адсорпција Cu(II) , Pb(II) , Zn(II) и Cd(II) јона применом CHB-CF-GLA може се описати кинетиком модела псеудо-другог реда и Лангмировом изотермом. Резултати испитивања компетитивне адсорпције су показали да у вишекомпонентним системима долази до изражене конкуренције међу катјонима за активна места, при чему Cu(II) јони показују највећи афинитет и доминантно заузимају површину адсорбента CHB-CF-GLA , док за Pb(II) , Zn(II) и Cd(II) већи утицај има присуство других катјона. У континуалном систему применом колоне са фиксним слојем и CHB-CF-GLA као адсорбента, у циљу уклањања Cu(II) јона, добијени резултати су показали значајну улогу оперативних параметара у одређивању ефикасности процеса адсорпције. Резултати анализе кривих пробоја у сва три испитана случаја (промена висине слоја адсорбента у колони, брзине протока полазног раствора и полазне концентрације) су показали да *Thomas-ов* и *Yoon-Nelson-ов* модел знатно боље описују експериментално добијене податке у поређењу са *Adams-Bohartov*-овим моделом, што указује на њихову већу погодност за моделовање процеса адсорпције у испитиваном систему.

Као завршни део експеримената испитана је могућност регенерације адсорбента који су се показали као најуспешнији, CHB-GLA-CA (за уклањање Cr(VI)) и CHB-CF-GLA (за уклањање Cu(II)) у шаржном систему. Добијени резултати су потврдили добру регенерабилност и стабилност кроз више циклуса адсорпције-десорпције. Оба материјала су у почетним циклусима задржала висок адсорпциони капацитет, уз тек благи пад ефикасности, док је израженије смањење уочено након четвртог циклуса. Добијени резултати потврђују да оба адсорбента поседују задовољавајућу стабилност и могућност поновне употребе, што указује на њихову економску исплативост и потенцијал за дугорочну примену у процесима пречишћавања вода контаминираних јонима тешких метала.

Након завршених експеримената, примењено је нумеричко моделовање коришћењем софтвера *COMSOL Multiphysics* на резултате добијене у континуалном систему колоне са фиксним слојем. Добијени резултати омогућили су детаљније разумевање транспортних и адсорпционих феномена у оваквим системима, при чему је уочено веома добро слагање између експерименталних и моделованих података. На тај начин је потврђено да примена нумеричког моделовања може значајно да поједностави и убрза процес пројектовања, нарочито при разматрању примене у већим, индустријским системима.

В. Упоредна анализа резултата кандидата са резултатима из литературе

У овом поглављу извршена је упоредна анализа резултата добијених у оквиру ове докторске дисертације са релевантним подацима из литературе, који се односе на примену хидрогелова на бази хитозана за уклањање јона тешких метала из водених раствора. Посебан акценат стављен је на утицај модификације хитозана на адсорпциона својства материјала у шаржном и континуалном систему.

У досадашњој литератури се може пронаћи да умрежавање хитозанских хидрогел куглица различитим агенсима (као што су глутаралдехид, епихлорохидрин и етилен гликол диглицидил етар) доводи до побољшања хемијске стабилности и механичких својстава материјала, али при томе долази до благог смањења адсорпционог капацитета у односу на неумрежене узорке [1]. Ови резултати потврђују да избор агенса за умрежавање представља кључан фактор у оптимизацији односа између стабилности и ефикасности адсорпције. Слично томе, у литератури је потврђено да функционализација хитозана лимунском киселином значајно повећава адсорпциони капацитет за Pb(II) и Cd(II) јоне, што је приписано увођењу нових функционалних група (карбоксилних група) које поседују висок афинитет према јонима тешких метала. Такође, адсорпциони процес у овим системима се најбоље описује кинетиком псеудо-другог реда и Лангмировим моделом изотерми [2,3], што је потврђено и резултатима добијеним у оквиру ове докторске дисертације.

Поред уклањања катјона тешких метала, у литератури је анализирано и уклањање оксианјона Cr(VI), који је анализиран у овој дисертацији. Литературом је потврђено да хидрогелови на бази хитозана који су умрежени лимунском киселином омогућавају високу ефикасност уклањања Cr(VI) јона, уз значајан утицај рН вредности и других процесних параметара. Такође је потврђено да такви системи имају најбоље слагање са Лангмировим моделом изотерми [4], што је у складу са резултатима добијеним за материјале CHB и CHB-GLA-SA коришћене у дисертацији за уклањање Cr(VI) јона.

Поред наведеног, приказано је у више студија да комбинација хитозана са целулозом доводи до побољшања механичке стабилности и специфичне површине материјала. У раду *Li* и *Bai* потврђено је да хидрогел куглице на бази хитозана и целулозе показују висок афинитет према Cu(II) јонима, при чему су аминок групе идентификоване као главна активна места [5]. Такође, *Yang* и сарадници су додатно показали да повећање удела хитозана у композиту хитозан-целулоза доводи до значајног раста адсорпционог капацитета у уклањању Cu(II), Zn(II) и Co(II) јона из воде [6]. Ови резултати јасно указују да хемијска модификација има утицај на ефикасност уклањања јона тешких метала из водених раствора.

С друге стране, иако су бројна истраживања потврдила високу ефикасност уклањања јона тешких метала применом материјала у облику хидрогел куглица на бази хитозана у шаржним системима, знатно је мањи број радова који се баве њиховом применом у континуалним системима применом колоне са фиксним слојем. У раду *Futalan* и сарадника показано је да параметри као што су полазна концентрација, рН вредност и проток значајно утичу на време пробоја и адсорпциони капацитет колоне, при чему је *Thomas*-ов модел успешно описао експерименталне податке [7]. Слични закључци потврђени су и у раду *Futalan* и *Wan* за уклањање Pb(II) јона, где је утврђено да повећање висине слоја и смањење протока доводе до продуженог времена засићења колоне са фиксним слојем [8].

На основу свеобухватне анализе литературе и поређења са добијеним резултатима, може се закључити да испитивани материјали у оквиру ове дисертације показују упоредиве адсорпционе карактеристике. Посебан значај огледа се у њиховој примени у континуалним системима применом колоне са фиксним слојем, који су у литератури и даље недовољно истражени. Добијени резултати потврђују висок потенцијал синтетисаних хидрогел куглица на бази хитозана као ефикасних, стабилних и економичних адсорбената за уклањање јона тешких метала из водених система. Овом дисертацијом дат је значајан научни допринос у области развоја функционалних адсорбената, уз пружање поуздане основе за њихову даљу

примену у реалним индустријским системима за пречишћавање отпадних вода, нарочито у континуалним процесима.

Референце

- [1] Ngah, W.S.W.; Endud, C.S.; Mayanar, R. Removal of Copper(II) Ions from Aqueous Solution onto Chitosan and Cross-Linked Chitosan Beads. *React. Funct. Polym.* 2002, 50, 181-190.
- [2] Suc, N. Van; Ly, H.T.Y. Lead (II) Removal from Aqueous Solution by Chitosan Flake Modified with Citric Acid via Crosslinking with Glutaraldehyde. *J. Chem. Technol. Biotechnol.* 2013, 88, 1641-1649, doi:10.1002/jctb.4013.
- [3] Ly, H.T.Y.; Nguyen, S. Van. Modified Chitosan Flakes with Glutaraldehyde and Citric Acid as a Potential Biosorbent for Adsorption of Cd(II) from Aqueous Solution. *3rd International Conference on Green Technology and Sustainable Development (GTSD)*, Institute of Electrical and Electronics Engineers (USA), 22 December, 2016, Proceedings: 244-250, doi:10.1109/GTSD.2016.62.
- [4] Bagheri, M.; Younesi, H.; Hajati, S.; Borghei, S.M. Application of Chitosan-Citric Acid Nanoparticles for Removal of Chromium (VI). *Int. J. Biol. Macromol.* 2015, 80, 431-444, doi:10.1016/j.ijbiomac.2015.07.022.
- [5] Li, N.; Bai, R. Copper Adsorption on Chitosan-Cellulose Hydrogel Beads: Behaviors and Mechanisms. *Sep. Purif. Technol.* 2005, 42, 237-247, doi:10.1016/j.seppur.2004.08.002.
- [6] Yang, S.C.; Liao, Y.; Karthikeyan, K.G.; Pan, X.J. Mesoporous Cellulose-Chitosan Composite Hydrogel Fabricated via the Co-Dissolution-Regeneration Process as Biosorbent of Heavy Metals. *Environ. Pollut.* 2021, 286, 117324, doi:10.1016/j.envpol.2021.117324.
- [7] Futralan, C.M.; Yang, J.H.; Phatai, P.; Chen, I.P.; Wan, M.W. Fixed-Bed Adsorption of Copper from Aqueous Media Using Chitosan-Coated Bentonite, Chitosan-Coated Sand, and Chitosan-Coated Kaolinite. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 2020, 27, 24659-24670, doi:10.1007/s11356-019-06083-0.
- [8] Futralan, C.M.; Wan, M.W. Fixed-Bed Adsorption of Lead from Aqueous Solution Using Chitosan-Coated Bentonite. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2022, 19, 2597, doi:10.3390/ijerph19052597.

Г. Научни радови и саопштења публиковани из резултата дисертације

Из резултата докторске дисертације кандидаткиње до сада су објављена три рада у научним часописима и то један у водећем међународном часопису (категирија M21a), један у водећем међународном часопису (категирија M21) и један у водећем националном часопису (категирија M24). Поред тога, из докторске дисертације проистекла су и три саопштења са међународних скупова штампана у целини (M33) и три саопштења са међународних скупова штампана у изводу (M34).

Рад у водећем међународном часопису (M21a)

1. **Stanković, K.**; Telečki, I.; Smiljanić, D.; Bajuk-Bogdanović, D.; Potočnik, J.; Veselinović, Lj.; Kumrić, K. Chitosan/cellulose functional composite hydrogel as adsorbent for the removal of Cu(II) from aqueous solutions in dynamic adsorption system. *Polysaccharides* 2026, 7, 30, doi:10.3390/polysaccharides7010030.

Рад у водећем међународном часопису (M21)

1. **Stanković, K.**; Telečki, I.; Bajuk-Bogdanović, D.; Petrović, Đ.; Potočnik, J.; Vladislavljević, G.; Kumrić, K. Citric acid functionalized cross-linked chitosan hydrogel beads for enhanced removal of Cr(VI): experimental assessment and COMSOL modelling of adsorption in a fixed-bed system. *J. Ind. Eng. Chem.* 2025, 144, 512-525, doi:10.1016/j.jiec.2024.09.051.

Рад у водећем националном часопису (M24)

1. Egerić, M.; **Stanković, K.**; Vujasin, R.; Matović, Lj.; Petrović, Đ.; Devečerski, A.; Kumrić, K. Investigation of adsorption performance of chitosan for the removal of hexavalent chromium from aqueous solutions. *Adv. Tech.* 2019, 8(2), 58-65, doi:10.5937/savteh1902058E.

Саопштења са међународних скупова штампана у целини (M33)

1. Egerić, M.; **Stanković, K.**; Vujasin, R.; Matović, Lj.; Petrović, Đ.; Kumrić, K. Removal of hexavalent chromium from aqueous solutions by adsorption on biopolymer chitosan. *56th Meeting of the Serbian Chemical Society*, 07-08 June, 2019, Niš, Serbia, Proceedings: 114-118.
2. **Stanković, K.**; Petrović, Đ.; Telečki, I.; Vujasin, R.; Matović, Lj.; Devečerski, A.; Kumrić, K. Development of chitosan-based hydrogel beads for heavy metals removal from aqueous solutions. *15th International Conference on Fundamental and Applied Aspects of Physical Chemistry*, 20-24 September, 2021, Belgrade, Serbia, Proceedings: 588-591.
3. Petrović, Đ.; **Stanković, K.**; Slavković Beškoski, L.; Kumrić, K. Removal of Cu(II) from aqueous solutions using adsorbent based on chitosan hydrogel beads. *54th International October Conference on Mining and Metallurgy*, 18-21 October, 2023, Bor, Serbia, Proceedings: 175-178.

Саопштења са међународних скупова штампана у изводу (M34)

1. **Stanković, K.**; Petrović, Đ.; Telečki, I.; Vujasin, R.; Matović, Lj.; Devečerski, A.; Kumrić, K. Adsorptive removal of heavy metals by citric acid functionalized chitosan hydrogel beads: batch and continuous fixed-bed column study. *14th Symposium „Novel technologies and economic development“*, 22-23 October, 2021, Leskovac, Serbia, Book of abstracts: 113.
2. **Stanković, K.**; Telečki, I.; Petrović, Đ.; Vladislavljević, G.; Kumrić, K. Chromium (VI) adsorption on citric acid functionalized cross-linked chitosan beads: comparison of experimental results and results obtained with COMSOL Multiphysics Software for fixed-bed system. *1st Earth Systems and Environment Journal Annual Meeting (ESEV)*, 28-30 April, 2025, Istanbul, Turkey, Book of abstracts: 149.
3. Petrović, Đ.; **Stanković, K.**; Telečki, I.; Kumrić, K. COMSOL modeling of chromium (VI) adsorption on citric acid functionalized chitosan hydrogel beads. *Materials, Methods and Technologies 2025, 27th International Conference*, 14-17 August, 2025, Burgas, Bulgaria, Book of abstracts: 88.

Д. Провера оригиналности докторске дисертације

Провера оригиналности докторске дисертације извршена је на начин прописан Правилником о поступку провере оригиналности докторских дисертација које се бране на Универзитету у Београду („Гласник Универзитета у Београду“ број 204 од 22.06.2018.). Помоћу програма iThenticate извршена је провера оригиналности докторске дисертације кандидата под називом „**Развој и примена хидрогелова на бази хитозана у континуалној адсорпцији јона тешких метала из воде**“ и установљено је да количина подударарања текста (similarity index) износи 8 %. Наведени степен подударности последица је употребе цитата, личних имена, библиографских података о коришћеној литератури, тзв. општих места и података, као и претходно публикованих резултата докторандових истраживања, који су проистекли из дисертације што је у складу са чланом 9. поменутог Правилника. На основу свега изнетог, Комисија је утврдила да је докторска дисертација кандидаткиње Катарине Станковић оригинална, као и да су у потпуности поштована академска правила цитирања, те

се прописани поступак припреме за њену одбрану може наставити.

Ђ. Закључак комисије

На основу изложеног може се закључити да резултати кандидаткиње Катарине Станковић представљају оригиналан и значајан научни допринос у области физичке хемије, посебно у ужој научној области заштите животне средине и физичке хемије материјала. Део резултата докторске дисертације кандидаткиње публикован је у оквиру једног рада у водећем међународном часопису (категирија M21a), једног рада у водећем међународном часопису (категирија M21) и једног рада у водећем националном часопису (категирија M24). Поред тога из докторске дисертације проистекла су и три саопштења са међународних скупова штампана у целини (M33) и три саопштења са међународних скупова штампана у изводу (M34). У складу са наведеним, Комисија сматра да кандидаткиња испуњава све услове за прихватање завршене докторске дисертације прописане од стране Универзитета у Београду и услове дефинисане Правилником о изради и оцени докторске дисертације на Факултету за физичку хемију Универзитета у Београду. На основу изложеног, Комисија позитивно оцењује дисертацију мастер физикохемичара Катарине Станковић под називом: **„Развој и примена хидрогелова на бази хитозана у континуалној адсорпцији јона тешких метала из воде“** и предлаже Наставно – научном већу Факултета за физичку хемију Универзитета у Београду да прихвати ову оцену Комисије, чиме би били испуњени сви услови за одобрење јавне одбране докторске дисертације и стицања звања кандидаткиње - доктор физикохемијских наука.

У Београду, 29.04.2026. године

Чланови комисије:

др Љубиша Игњатовић, редовни професор
Универзитет у Београду - Факултет за Физичку хемију

др Бојана Недић Васиљевић, ванредни професор
Универзитет у Београду - Факултет за Физичку хемију

др Данијела Смиљанић, научни сарадник
Универзитет у Београду - Институт за нуклеарне науке „Винча“,
Институт од националног значаја за Републику Србију