

**НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ**

**Предмет:** Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидаткиње Катарине Антић

Одлуком бр. 35/88 од 03.03.2016. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидаткиње Катарине Антић под насловом

**„Синтеза и карактеризација полимерних хидрогелова на бази акрилата за уклањање тешких метала из водених раствора“.**

После прегледа достављене Дисертације и других пратећих материјала и разговора са Кандидатом, Комисија је сачинила следећи

**РЕФЕРАТ**

**1. УВОД**

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

**2009/2010.** године кандидаткиња Катарина Антић, дипл. инж. технолог., уписала је докторске студије на Технолошко-металуршком факултету, Универзитета у Београду, научна област Инжењерство заштите животне средине.

**23.06.2015.** године кандидаткиња Катарина Антић пријавила је тему докторске дисертације под насловом: „Синтеза и карактеризација полимерних хидрогелова на бази акрилата за уклањање тешких метала из водених раствора“.

**20.07.2015.** године на седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета донета је Одлука (бр. 35/308) о именовању чланова Комисије за оцену подобности теме докторске дисертације Катарине Антић, под насловом: „Синтеза и карактеризација полимерних хидрогелова на бази акрилата за уклањање тешких метала из водених раствора“, а за ментора је именована др Симонида Томић, ванредни професор Технолошко-металуршког факултета, Универзитета у Београду.

**20.07.2015.** године на седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета донета је Одлука (бр. 35/272) о продужењу рока за завршетак докторских студија Катарине Антић, за још два семестра – до 30.09.2016. године.

**23.09.2015.** године Наставно-научно веће Технолошко-металуршког факултета је донело Одлуку (бр. 35/386) о прихватању оцене Комисије о научној заснованости теме докторске дисертације под насловом: „Синтеза и карактеризација полимерних хидрогелова на бази акрилата за уклањање тешких метала из водених раствора“, кандидаткиње Катарине Антић.

**19.10.2015.** године на седници Већа научних области техничких наука Универзитета у Београду дата је сагласност на предлог теме докторске дисертације Катарине Антић, под насловом: „Синтеза и карактеризација полимерних хидрогелова на бази акрилата за уклањање тешких метала из водених раствора“ (Одлука бр. 61206-4485/2-15).

**03.03.2016.** године Наставно научно веће Технолошко-металуршког факултета је донело Одлуку (бр. 35/88) о именовану чланова Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације Катарине Антић, под насловом: „Синтеза и карактеризација полимерних хидрогелова на бази акрилата за уклањање тешких метала из водених раствора“ у саставу: ванред. проф. др Симонида Томић (Технолошко-металуршки факултет, Универзитет у Београду), ред. проф. др Душан Антоновић (Технолошко-металуршки факултет, Универзитет у Београду) и научни саветник, др Антоније Оњиа (Институт за нуклеарне науке Винча, Универзитет у Београду).

## 1.2. Научна област дисертације

Истраживања у оквиру ове докторске дисертације припадају научној области Инжењерство заштите животне средине, за коју је Технолошко-металуршки факултет матична установа. Ментор је др Симонида Томић, ванредни професор Технолошко-металуршког факултета, Универзитета у Београду.

## 1.3. Биографски подаци о кандидату

Антић (Марин) Катарина рођена је 28.04.1983. године у Београду, Република Србија, где је завршила основну школу и IV београдску гимназију. Дипломирала је 2009. године на Технолошко-металуршком факултету у Београду на Катедри за заштиту животне средине. Школске 2009/2010. године уписала је докторске студије на Технолошко-металуршком факултету у Београду, на студијском програму Инжењерство заштите животне средине. Од априла 2013. године запослена је у Иновационом центру Технолошко-металуршког факултета.

Катарина Антић је од 2010. године па до данас ангажована као истраживач на пројекту Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије (број пројекта 172015) под називом „*Динамика нелинеарних физичкохемијских и биохемијских система са моделирањем и предвиђањем њихових понашања под неравнотежним условима*“.

## **2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ**

### 2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација Катарине Антић, дипл. инж. технол., под насловом „**Синтеза и карактеризација полимерних хидрогелова на бази акрилата за уклањање тешких метала из водених раствора**“ написана је на 114 страни и садржи следећа поглавља: *Увод* (2 стране), *Теоријски део* (39 страна), *Експериментални део* (12 страна), *Резултати и дискусија* (38 страна), *Закључак* (3 стране) и *Литература са 170 референци* (15 страна). Кандидаткиња је уз текст дисертације приложила и Биографију (1 страна) и додатке прописане правилима Универзитета о подношењу докторских теза на одобравање (4 стране). На почетку дисертације дат је Извод на српском и енглеском језику. Дисертација садржи укупно 32

слике, 1 шему и 17 табела. По форми и садржају, написана дисертација задовољава све стандарде Универзитета у Београду за докторску дисертацију.

## 2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У *Уводу* дисертације истакнути су проблеми све већег загађења животне средине тешким металима који су условили потребу за развојем нових, ефикаснијих и јефтинијих метода за њихово уклањање. Истакнут је значај хидрогелова у процесу третмана отпадних вода и уклањању тешких метала процесом сорпције. Посебна пажња је посвећена интелигентним хидрогеловима осетљивим на спољне утицаје, међу којима су најинтересантнији рН осетљиви хидрогелови који при одређеној рН вредности воденог раствора драстично повећавају степен бубрења полимерне мреже и на тај начин значајно повећавају моћ сорпције јона метала из воде.

У оквиру *Теоријског дела* дата су три поглавља: Отпадне воде, Сорпција и Хидрогелови. У првом поглављу представљени су извори загађења отпадних вода и њихова подела. Описани су порекло, количина и оксидационо стање олова, кадмијума и никла у животној средини, расподела јонских врста испитиваних јона метала у воденој средини у функцији рН вредности раствора, као и њихов потенцијални негативан утицај на здравље људи и биљни и животињски свет. Такође, дат је преглед конвенционалних метода за уклањање тешких метала из водених раствора. У другом поглављу дати су теоријски основи процеса сорпције. Посебна пажња посвећена је моделима адсорпционих изотерми за интерпретацију експерименталних резултата, кинетичким моделима којима се описује брзина сорпције и одређују утицаји појединих ступњева сорпционог процеса на укупну брзину сорпције, као и термодинамичким параметрима процеса сорпције на основу којих је могуће предвидети природу и механизме овога процеса. У трећем поглављу је дата дефиниција хидрогелова и приказана њихова подела. Дефинисана су специфична својства и структура полимерне мреже, са акцентом на хидрогелове осетљиве на дејство спољних параметара (рН и температурно осетљиви хидрогелови) и њихову примену у уклањању тешких метала из отпадних вода.

У *Експерименталном делу* дисертације детаљно су приказана два поглавља: Добијање хидрогелова на бази 2-хидроксиетил акрилата и итаконске киселине и Сорпција јона олова, кадмијума и никла из водених раствора. Прво поглавље експерименталног дела дисертације се односи на синтезу хидрогелова на бази 2-хидроксиетил акрилата и итаконске киселине са различитим уделима итаконске киселине. Описани су материјали који су се користили приликом синтеза, као и детаљан поступак синтезе хидрогелова. Представљене су методе карактерисања хидрогелова. У другом поглављу дисертације представљене су методе карактеризације хидрогелова након сорпције јона метала као и утицај разних фактора на капацитет сорпције јона метала. Приказан је поступак компетитивне сорпције као и метода испитивања процеса десорпције различитим десорпционим агенсима.

У поглављу *Резултати и дискусија* су приказани и дискутовани резултати истраживања. Овде су детаљно приказана два поглавља: Синтеза и карактеризација хидрогелова на бази 2-хидроксиетил акрилата и итаконске киселине и Уклањање јона  $Pb^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$  и  $Ni^{2+}$  из водених раствора. У првом поглављу су приказани и дискутовани добијени резултати у вези са дефинисањем структуре, морфологије, термичких и механичких својстава, као и испитивање „интелигентног“ понашања хидрогелова. У поглављу Уклањање јона  $Pb^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$  и  $Ni^{2+}$  из водених раствора приказани су и дискутовани резултати сорпције јона олова, кадмијума и никла из водених раствора. Приказани су и дискутовани резултати карактеризације хидрогелова након сорпције јона метала (морфологија, термичка и механичка својства). Такође, приказани су и дискутовани резултати испитивања утицаја услова сорпције на сорпциони капацитет испитиваних хидрогелова (рН средине, маса сорбента, јонска јачина,

температура, компетитивна сорпција). На крају је испитана и дискутована могућност десорпције хидрогелова.

У поглављу *Закључак* концизно су сумирани добијени резултати истраживања који су у потпуности сагласни са постављеним циљевима дисертације. На крају дисертације наведена је *Литература* која садржи све референце цитиране у раду.

### **3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ**

#### 3.1. Савременост и оригиналност

Један од најактуелнијих проблема данашњице јесте све веће загађење животне средине непречишћеним и/или недовољно пречишћеним отпадним водама. Међу бројним техникама које се користе за уклањање тешких метала из отпадних вода, сорпција представља једну од најефикаснијих метода, пре свега због високе ефикасности, економичности, лаке употребе сорбената и не стварања секундарног загађења. Последњих година хидрогелови су привукли много пажње, јер у поређењу са конвенционалним чврстим сорбентима имају бројне предности као што су биокомпатибилност, биоразградивост, способност укључивања различитих функционалних група у полимерне мреже, једноставне примене и могућности поновне употребе.

У оквиру ове докторске дисертације синтетисана је серија хидрогелова на бази 2-хидроксиетил акрилата и итаконске киселине, а затим је испитана хемијска структура, морфологија, механичка и термичка својства као и „интелигентно“ понашање хидрогелова. Затим је проучавана сорпција јона олова, кадмијума и никла на синтетисаним хидрогеловима. Истраживањима у оквиру ове докторске дисертације објашњен је утицај састава хидрогела као и услова сорпције (рН, масе сорбента, јонске јачине, температуре, времена контакта, почетне концентрације раствора) на капацитет сорпције. Посебна пажња је посвећена испитивању процеса десорпције и поновне употребе хидрогелова као и испитивању сорпције јона олова, кадмијума и никла из вишекомпонентних система.

Анализом литературних података утврђено је да до сада није испитивана сорпција јона олова, кадмијума и никла на хидрогеловима на бази 2-хидроксиетил акрилата и итаконске киселине. Приказани резултати истраживања дају значајан и оригиналан допринос развоју система за ефикасно уклањање тешких метала из водених раствора.

#### 3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

У докторској дисертацији кандидаткиње Катарине Антић цитирано је 170 литературних навода, од којих већи број чине радови из међународних часописа са тематиком значајном за израду докторске дисертације. Наведене референце садрже експерименталне резултате истраживања многих истраживача, анализу и дискусију добијених резултата и изведене закључке, као и теоријске основе примењених метода испитивања. Највећи број наведених референци је новијег датума. На основу прегледане литературе, кандидат је анализирао до сада позната сазнања о методама карактеризације хидрогелова у циљу њихове примене као сорбената тешких метала из отпадних вода, затим о могућности поновне употребе сорбената, сорпцији тешких метала из једнокомпонентних и вишекомпонентних система, као и утицају параметара сорпције на ефикасност уклањања јона метала из водених раствора помоћу хидрогелова.

У оквиру литературних навода налазе се и референце кандидаткиње Катарине Антић, проистекле из истраживања изведених у области докторске дисертације, а које су објављене у међународним часописима. Из образложења предложене теме докторске дисертације и

објављених радова које је кандидат приложио, као и из прегледа литературе која је коришћена у истраживању, уочава се адекватно познавање предметне области истраживања и актуелног стања истраживања у овој области.

### 3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

У оквиру ове докторске дисертације хидрогелови на бази 2-хидроксиетил акрилата и итаконске киселине су синтетисани методом полимеризације преко слободних радикала у циљу добијања материјала са добрим сорпционим карактеристикама који би се користио за уклањање јона тешких метала из водених раствора. У изради ове докторске дисертације примењене су различите савремене методе у циљу што боље карактеризације хидрогелова пре и након сорпције јона метала. Инфрацрвеном спектроскопском анализом (FTIR), на основу положаја апсорпционих трака, утврђене су присутне функционалне групе које потенцијално утичу на процес сорпције. Морфологија испитиваних хидрогелова пре и након сорпције метала анализирана је скенирајућом електронском микроскопијом и микроскопијом атомских сила (SEM и AFM). Механичка својства хидрогелова испитана су помоћу динамичко-механичке анализе (DMA), а термичка својства узорака су анализирана помоћи диференцијалне скенирајуће калориметрије (DSC). Концентрације јона тешких метала одређене су оптичком емисионом спектроскопијом са индуковано спрегнутом плазмом (ICP-OES). За математичко моделовање резултата коришћени су кинетички модели (псеудо-првог реда и псеудо-другог реда) и модели адсорпционих изотерми (Ленгмирова, Фројндлихова, Редлих-Петерсонова, Темкинова и Дубинин-Радушкевичева).

### 3.4. Применљивост остварених резултата

У оквиру ове докторске дисертације детаљно су анализирана физичко-хемијска и сорпциона својства синтетисаних хидрогелова на бази 2-хидроксиетил акрилата и итаконске киселине. Оригинални резултати остварени при изради ове докторске дисертације су патентбилни. Подаци добијени у овом раду омогућавају оптимизацију процеса пречишћавања отпадних вода загађених јонима тешких метала применом хидрогелова на бази акрилата. Објашњење утицаја различитих параметара сорпције на брзину и капацитет сорпције, као и могућност поновне употребе сорбента, неопходно је за техноекономску анализу процеса пречишћавања отпадних вода. Резултати и закључци изнети у дисертацији од значаја су за даљи развој материјала жељеног састава, структуре и сорпционих својстава, као и за нове могућности примене ових материјала у заштити животне средине.

### 3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Кандидаткиња Катарина Антић је током израде докторске дисертације показала изузетну стручност у креирању и реализацији експеримената као и обради и анализи резултата. Кандидаткиња поседује све квалитете који су неопходни за самостални научни рад.

## **4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС**

### 4.1. Приказ остварених научних доприноса

Научни доприноси резултата истраживања ове докторске дисертације су:

- Проширење фундаменталних знања из области и синтезе и структуре хидрогелова на бази 2-хидроксиетил акрилата и итаконске киселине,
- Синтеза и карактеризација добијених материјала,

- Одређен утицај састава синтетисаних хидрогелова на хемијску структуру, морфологију, термичка и механичка својства, понашање при бубрењу у медијумима различите рН вредности и температуре,
- Утврђен утицај различитих параметара сорпције (рН средине, маса сорбента, јонска јачина, температура, почетна концентрација раствора метала) на ефикасност уклањања јона метала,
- Одређен утицај компетитивних јона на капацитет сорпције хидрогелова,
- Могућност поновне употребе хидрогелова за сорпцију јона тешких метала.

#### 4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Дефинисањем циљева истраживања утврђена је методологија истраживања примењена током израде докторске дисертације. Увидом у доступну литературу из ове области, као и у добијене резултате може се констатовати да су у овој дисертацији коришћене методе у складу са савременом методологијом истраживања примене хидрогелова као сорбената за уклањање тешких метала из водених раствора.

Целокупним сагледавањем циљева и постављених хипотеза у односу на добијене резултате, може се констатовати да приказана истраживања у потпуности задовољавају критеријуме једне докторске дисертације. Од посебног су значаја резултати који се односе на сорпцију јона тешких метала из вишекомпонентних раствора као и резултати десорпције и поновне употребе сорбената. На тај начин, ова докторска дисертација представља важан корак ка практичној примени хидрогелова на бази акрилата у процесима уклањања јона метала из отпадних вода и отвара нове могућности за даља истраживања и примену.

#### 4.3. Верификација научних доприноса

##### Категорија M21:

1. **Antić K.M.**, Babić M.M., Vuković J.J.J., Vasiljević-Radović D.G., Onjia A.E., Filipović J.M., Tomić S.Lj.: Preparation and characterization of novel P(HEA/IA) hydrogels for Cd<sup>2+</sup> ion removal from aqueous solution, - *Applied Surface Science*, Vol 338, pp. 178-189, 2015 (**IF(2014)=2,711**) (ISSN 0169-4332).

##### Категорија M23:

1. **Antić K.M.**, Babić M.M., Vuković J.S., Onjia A.E., Filipović J.M., Tomić S.Lj.: Removal of Pb<sup>2+</sup> ions from aqueous solution by P(HEA/IA) hydrogels, - *Hemijaska industrija*, 2016, Rad prihvaćen za publikaciju, DOI:10.2298/HEMIND151225006A, (**IF(2014)=0,364**) (ISSN 2217-7426)

## **5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ**

На основу претходно изложеног, Комисија сматра да докторска дисертација Катарине Антић, дипл. инж. технол., под називом: „Синтеза и карактеризација полимерних хидрогелова на бази акрилата за уклањање тешких метала из водених раствора“, представља значајан оригинални научни допринос у области Заштите животне средине, што је потврђено публикавањем делова дисертације у два међународна часописа.

Имајући у виду квалитет, обим и научни допринос постигнутих резултата, Комисија предлаже Наставно-научном већу Технолошко-металуршког факултета, Универзитета у Београду да се докторска дисертација под насловом: „Синтеза и карактеризација полимерних хидрогелова на бази акрилата за уклањање тешких метала из водених раствора“, кандидаткиње Катарине Антић, дипл. инж. технол., прихвати, изложи на увид јавности и упути на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

У Београду 16.05.2016. године

#### **ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ**

.....  
Др Симонида Томић, ванредни професор  
Универзитет у Београду, Технолошко-металуршки факултет

.....  
Др Душан Антоновић, редовни професор  
Универзитет у Београду, Технолошко-металуршки факултет

.....  
Др Антоније Оџија, научни саветник,  
Универзитет у Београду, Институт за нуклеарне науке „Винча“