

**УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ**  
**Технолошко-металуршки факултет**

## **НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ**

**Предмет:** Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидаткиње Милене Кнежевић

Одлуком бр. 35/395 од 17.09.2015. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидаткиње Милене Кнежевић под насловом:

### **Уклањање азотних једињења из отпадних вода у дисперзним системима**

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

**2010/2011.** Кандидат Милене Кнежевић, уписала је докторске студије на Технолошко-металуршком факултету у Београду, смер Инжењерство заштите животне средине.

**17.01.2013.** Кандидат Милене Кнежевић пријавила је тему докторске дисертације под насловом "Уклањање азотних једињења из отпадних вода у дисперзним системима".

**01.02.2013.** Наставно научно веће је донело одлуку бр **35/13** о именовању чланова Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације Милене Кнежевић под насловом "Уклањање азотних једињења из отпадних вода у дисперзним системима".

**06.03.2013.** Наставно научно веће је прихватило оцену Комисије о научној заснованости теме докторске дисертације под насловом "Уклањање азотних једињења из отпадних вода у дисперзним системима", кандидата Милене Кнежевић, по одлуци бр **35/46**, а за ментора је именован др Драган Повреновић, ванредни професор ТМФ-а.

**15.04.2013.** На седници Већа научних области техничких наука Универзитета у Београду дата је сагласност на предлог теме докторске дисертације Милена Кнежевић под насловом "Уклањање азотних једињења из отпадних вода у дисперзним системима" (Одлука **02 бр. 61206-1412/2-13**)

**17.09.2015.** Наставно научно веће је донело одлуку о именовању чланова Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације Милена Кнежевић под насловом "Уклањање азотних једињења из отпадних вода у дисперзним системима" у саставу проф.др Драган Повреновић, проф. др Невенка Бошковић-Враголовић, ТМФ и проф.др Влада Вељовић, Технолошки факултет Лесковац.

### 1.2. Научна област дисертације

Истраживања у оквиру ове докторске дисертације припадају научној области Технологија пречишћавања отпадних вода, ужа научна област Инжењерство заштите животне средине, за коју је Технолошко-металуршки факултет матична установа. Ментор дисертације је др Драган Повреновић, дипл.инж., ванредни професор, који је биран за област Инжењерство заштите животне средине, а на Технолошко-металуршком факултету држи наставу из предмета Технологије припреме воде и Пречишћавања отпадних вода.

### 1.3. Биографски подаци о кандидаткињи

Милена Кнежевић, дипл. инж. технол., рођена је 14.09.1985. године у Београду. Основну школу „Сава Ковачевић (Јован Миодраговић)“ и XIV београдску гимназију, природно-математичког смера, завршила је у Београду. Основне студије на Технолошко-металуршком факултету започела је 2004/2005. школске године, а дипломирала је 2010. године на Катедри за Инжењерство заштите животне средине, са просечном оценом 8,87. Дипломски рад под називом „Третман отпадних вода града Кладова“ одбранила је са оценом 10. Од септембра 2010. године уписана је на докторске студије на Технолошко-металуршком факултету у Београду на којима је положила све програмом предвиђене испите са просечном оценом 9,58. Од школске 2011/2012 ангажована је у настави у оквиру рачунских вежби на предметима који се баве биотехнологијом, технологијом воде и пречишћавања отпадних вода на Катедри за инжењерство заштите животне средине. Од 2011. ангажована је на пројекту Министарства за науку и технологију Републике Србије- „Развој ефикаснијих хемијско-инжењерских процеса заснован на истраживањима феномена преноса и принципима интензификације процеса“. Коаутор је универзитетског уџбеника „Основе технологије пречишћавања отпадних вода“, ТМФ, 2013 (ИСБН 978-86-7401-302-1). Бирана је у истраживачко звање истраживач сарадник и има полагаен стручни испит за пројектовање система за третман вода.

## 2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

### 2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација кандидаткиње Милене Кнежевић, дипл. инж. технол., написана је на 141 страни и садржи 10 поглавља: Отпадна вода (2 стране), Биолошки третман отпадних вода (12 страна), Процеси уклањања азота из отпадних вода (18 страна), Биофилмови (10 страна), Врсте реактора за процес уклањања азота из отпадних вода (2 стране), Дисперзни системи (2 стране), Нитрификација у колони са пакованим слојем (6 страна), Фонтанско-флуидизовани слој са централном цеви (44 страна), Закључак (1 страна), Листа симбола (5 страна), Литература са 331 референцом (26 страна). Кандидаткиња је уз текст дисертације приложила и Биографију са списком објављених радова (4 стране), и додатке прописане правилима Универзитета о подношењу докторских теза на одобравање (3 стране).

На почетку дисертације дат је Резиме на српском и енглеском језику.

Дисертација садржи укупно 61 слику (15 слика је преузето из литературе, 46 слика је приказ оригиналаних резултата) и 7 табела (једна табела је преузета из литературе, 6 табела је приказ оригиналних резултата).

### 2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

Наслов докторске дисертације је јасно формулисан и указује на садржај обављених истраживања, док је у резимеу приказан кратак преглед остварених резултата, као и научни допринос резултата истраживања.

У оквиру првих 6 поглавља: 1. *Отпадна вода*, 2. *Биолошки третман отпадних вода*, 3. *Процеси уклањања азота из отпадних вода*, 4. *Биофилмови*, 5. *Типови реактора за процес уклањања азота из отпадних вода*, и 6. *Дисперзни системи*, дати су теоријски основи и литературни преглед резултата који се односе на проблематику дисертације.

Кандидаткиња је приказала шта су отпадне воде, како оне настају, каква су својстава загађујућих материја у отпадној води, као и начине третирања отпадних вода у зависности од степена загађења и потребног степена пречишћавања.

У даљем тексту описан је биолошки третман отпадних вода као и начин функционисања микробиолошке популације, преко њихове грађе, начина одигравања оксидо-редукционих реакција, потребних за обезбеђење енергије система и за синтезу бактеријских ћелија. Кинетика микробиолошког раста приказана је преко сета једначина за израчунавање кинетичких параметара микробног раста који одређују

начин и динамику коришћења супстрата за микробиолошки раст, чиме карактеришу биолошки процес пречишћавања отпадних вода.

Описани су традиционални поступци за уклањање азота из отпадних вода, процесима нитрификације и денитрификације, а поред тога описани су и остали неконвенционални и други поступци, који су још звек у фази развоја.

У даљем тексту дат је детаљан приказ начина формирања биофилмова као и објашњења утицаја различитих параметара на стварање биофилма.

Поред тога, дат је преглед различитих система који се користе у процесима уклањања азота из отпадних вода, као и приказ рада различитих дисперзних система. Назначене су и потенцијалне предности система са фонтанско-флуидизованим слојем и централном цеви за процес уклањања азота из отпадних вода.

Експериментална истраживања су реализована у колонама са пакованим слојем и у фонтанско-флуидизованом слоју са централном цеви, па је за сваки од ових система посебно био дефинисан Експериментални систем а потом су приказани Резултати и дискусија, појединачно за сваки испитиван систем.

У оквиру 7. поглавља Нитрификација у пакованом слоју са керамичком испуном, описан је експериментални систем, методе и поступци истраживања као и резултати и дискусија испитиваног система са пакованим слојем керамичких куглица. Експериментална истраживања су показала да у пакованом слоју керамичких носача са биофилмом долази до смањења ефикасности уклањања азота услед формирања дебљих биофилмова и нагомилавања ћелијских остатака који утичу на промену метаболизма микроба. Овим је указано на предности система са покретним слојем као и на већи утицај смицајних сила при већим брзинама флуида које утичу на образовање тањих и активнијих биофилмова.

У оквиру 8. поглавља Фонтанско-флуидизовани слој са централном цеви, дат је приказ испитиваног система, примењених метода и поступака који су примењени у истраживању преноса масе кисеоника из гасне у течну фазу у трофазном систему са фонтанско-флуидизованим слојем и централном цеви. Поред тога, приказани су резултати и дискусија, са посебним освртом на утицај протока флуида, циркулације честица и међусобни утицај фаза на запремински коефицијент преноса масе кисеоника. Такође, показано је да резултатна прострујавања течности у улазном региону директно зависи од оперативних параметара и да је могуће обезбедити услове при којима ануларна струја не улази у централну цев. Резултати истраживања су показали да циркулација честица кроз централну цев доприноси повећању запреминског коефицијента преноса масе. Сличан ефекат показују и повећање пречника честица, као и укупан проток ваздуха и воде у систему. Поред флуидо-механичких испитивања фонтанско-флуидизованог слоја са централном цеви испитивана је могућност уклањања азота из отпадне воде помоћу микроорганизама имобилисаних на инертним носачима. Резултати су показали да систем са фонтанско-флуидизованим слојем и централном цеви може бити употребљен за процес уклањања азота из отпадних вода уз велику ефикасност.

Да би се постигли жељени резултати потребно је обезбедити одговарајући проток воде кроз млазни и ануларни ток у зависности од геометрије система како би се интензивирао процес, а да се притом не наруши раст биомасе, уз достизање оптималне дебљине и структуре биофилма. Спроведена експериментална истраживања су показала да је флуидомеханика система један од кључних параметара у контроли микробиолошког процеса у третману отпадних вода. Паралелно са током експеримента у покретном слоју реализован је и експериментални систем са пакованим слојем истих инертних (полимерних) носача, који је послужио као систем за поређење. Поређењем добијених резултата у колони са пакованим носачима и резултата добијених у колони са фонтанско-флуидизованим слојем и централном цеви, уочава се утицај флуидомеханичких параметара на структуру биофилма у ова два испитивана система, као и на образовање различитих биофилмова са бактеријама које врше нитрификацију.

У поглављу *Закључак*, концизно су изнети постигнути 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**

Проблематика дисертације се односи на испитивање система са фонтанско-флуидизованим слојем и централном цеви у процесу уклањања азота из отпадних вода који до сада није употребљен у ову сврху. Прва истраживања дисперзног система ове врсте, тј. двофазног система са фонтанско-флуидизованим слојем и централном цеви, вршена су управо на Технолошко-металуршком факултету, па ова дисертација даје допринос очувању овог оригиналног приступа. У дисертацији је фонтанско-флуидизован слој са централном цеви по први пут примењен у трофазном систему у процесима који, према нашим сазнањима, нису до сада извођени на ова начин.

Досадашњи резултати истраживања и примене аеробних процеса пречишћавања отпадних вода помоћу биофилмова показују велику ефикасност у уклањању нутријената из отпадних вода, као и низ других предности у односу на системе са суспендованим микроорганизмима. У вези са овим, систем са фонтанско-флуидизованим слојем и централном цеви је показао предности у односу на конвенционалне системе. Дисертација на оригиналан начин то потврђује и доприноси развијању трофазног система са фонтанско-флуидизованим слојем и централном цеви који би могао да обезбеди жељену ефикасност у уклањању азота из отпадних вода као и органских загађујућих материја у знатно мањим габаритима уређаја.

### 3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Приликом израде дисертације коришћена је бројна литература коју чини 331 библиографских референци. Наведени литературни радови су коришћени како приликом планирања експерименталног рада, тако и у тумачењу и анализи резултата истраживања, дискусији и извођењу закључака. Број наведених референци указује на темељитост кандидаткиње у приступу и обради резултата. Из образложења предложене теме дисертације и објављених радова у пријави, коју је кандидаткиња Милена Кнежевић поднела, као и из навода литературе коју је користила у истраживању, уочава се да кандидаткиња добро познаје предметну област истраживања.

### 3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

При изради дисертације извршена је карактеризација инертних носача који су коришћени у флуидомеханичким испитивањима, као и у процесима преноса масе кисеоника у систему гас-течно. Коришћени су стандардни физичко-хемијски поступци и методе за одређивање квалитета полазне и пречишћене отпадне воде. Анализиран је микробиолошки састав биофилма и одређиване су врсте одговорне за процес нитрификације. Праћена је дебљина и морфологија биофилма на инертним носачима.

Следеће инструменталне методе коришћене су током израде Дисертације:

- Фотометријско мерење концентрација одређених хемијских врсти помоћу фотометра LOVIBOND MD 600.
- ФЕ скенирајућа електронска микроскопија (FE-SEM) ,TESCAN MIRA 3 XMU
- Одређивање храпавости и површинских сила носача помоћу микроскопа атомских сила (AFM)
- Детекција микробиолошких врста (PCR)

### 3.4. Примењивост остварених резултата

Оригинални резултати који су остварени при изради ове дисертације су патентабилни и пружају могућност за релативно брзу реализацију у пракси као *иновативне технологије* у биолошком третману отпадних вода.

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

Кандидаткиња Милена Кнежевић је током израде ове докторске дисертације показала самосталност у креирању и реализацији експеримента, као и анализи и обради резултата. Успешна примена савремених научних сазнања и метода, као и показана зрелост у приступу и реализацији истраживања указују да је кандидаткиња способна за даљи самосталан научноистраживачки рад.

## 4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

### 4.1. Приказ остварених научних доприноса

Истраживања у овој дисертацији имала су за циљ испитивање могућности примене фонтанско-флуидизованог слоја за аеробни процес уклањања азота из отпадних вода.

Научни допринос приказаних истраживања, пре свега, односи се на:

- Дефинисање утицаја протока флуида на запремински коефицијент преноса масе у трофазном систему са фонтанско-флуидизованим слојем и централном цеви;
- Резултате утицаја врсте чврсте фазе и циркулације честица на запремински коефицијент преноса масе у систему са фонтанско-флуидизованим слојем и централном цеви;
- Одређивање вредности запреминског коефицијента преноса масе кисеоника у систему са фонтанско-флуидизованим слојем и централном цеви;
- Дефинисање утицаја протока флуида на формирање биофилма у систему са фонтанско-флуидизованим слојем и централном цеви;
- Анализу ефикасности уклањању азота из отпадне воде у колони са пакованим слојем пластичних носача и колони са фонтанско-флуидизованим слојем пластичних носача и централном цеви;
- Добијање научних резултата у циљу практичне примене система са фонтанско-флуидизованим слојем и централном цеви за процес уклањања азота из отпадних вода који до сада на овај начин није био употребљен.

### 4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Сагледавањем циљева и постављених хипотеза у односу на добијене резултате, може се констатовати да приказана истраживања у потпуности задовољавају критеријуме једне докторске дисертације. Увидом у доступну литературу из ове области, као и у резултате који су добијени применом адекватне методологије, може се закључити да су коришћене методе у складу са савременим методама и да су резултати до којих је дошла кандидаткиња значајни не само са научног, већ и практичног аспекта.

#### 4.3. Верификација научних доприноса

Кандидаткиња Милена Кнежевић, дипл. инж. технол., до сада је, као аутор и коаутор, објавила и саопштила следеће радове који укључују и резултате произашле из рада на овој дисертацији:

##### **M21**

1. **Milena Knežević**, Dragan Povrenović, Influence of fluid-mechanical parameters on volumetric mass transfer coefficient in a spout-fluid bed with a draft tube, Chemical Engineering Science, 2015, DOI: 10.1016/j.ces.2015.04.030, IF (2014) 2,337

##### **M23**

1. **Milena Knežević**, Dragan Povrenović, Influence of fluid-mechanical characteristics of the system on the volumetric mass transfer coefficient and gas dispersion in three-phase system, Hemijska industrija , 2014 68(4):483-490, DOI:10.2298/HEMIND130629072K, IF(2013) 0,562
2. Slavica Tomić, **Milena Knežević**, Nevenka Rajić, Dragan Povrenović, Removal of magnesium in spring water using the natural zeolite in a continuous flow system, Hemijska industrija, 2014 68(4):475-482, DOI:10.2298/HEMIND130709073T, IF (2013) 0,562

##### **M51**

1. **Milena Knežević**, Marija Kicošević, Milena Stojičić, Jana Vidaković, Dragan Povrenović, *Uticaj karakteristika čestica i fluida na prenos mase kiseonika iz gasne u tečnu fazu i distribuciju mehurova u trofaznom sistemu*, Voda i sanitarna tehnika, 45-56, 4-5/ 2013. ISSN 0350-5049
2. **Milena Knežević**, Dragan Povrenović, *Efikasnost procesa nitrifikacije u reaktoru sa pakovanim slojem nosača biofilma*, Voda i sanitarna tehnika 23-32, 2015, UDK: 628.31:631.461.3. ISSN 0350-5049

##### **M63**

1. **Milena Knežević**, Slavica Tomić i Dragan Povrenović, *Primena prirodnog klinoptiolita u cilju smanjenja sadržaja Mg u vodi za piće i mogućnost njegove dalje upotrebe kao nosača fosfat-akumulirajućih bakterija*, 11. Međunarodna konferencija „Vodovodni i kanalizacioni sistemi, 25-27 maj, Jahorina 2011., 170-175.
2. **Milena Knežević**, Vladimir Pavićević, Dragan Povrenović, *Uklanjanje azotnih jedinjenja iz industrijskih otpadnih voda*, Kvalitet vode u sistemima vodovoda i vode u industriji, 125-132, 8-9 novembar, Beograd, 2012.



3. Vladimir Pavićević, Sonja Milićević, **Milena Knežević**, Dragan Povrenović, *Vrednovanje projekata prečišćavanja komunalnih i industrijskih otpadnih voda*, Kvalitet vode u sistemima vodovoda i vode u industriji, 115-124, 8-9 novembar, Beograd, 2012.
4. Dragan Povrenović, **Milena Knežević**, Vladimir Pavićević, *Karakteristike i tretman idustrijskih otpadnih voda*, Kvalitet vode u sistemima vodovoda i vode u industriji, 109-113, 8-9 novembar, Beograd, 2012.
5. **Milena Knežević**, Dragan Povrenović, *Disperzija vazduha u trofaznom fluidizovanom sloju*, Vodovodni i kanalizacioni sistemi, Jahorina, maj 2013., 267-272.
6. Dragan Povrenović, **Milena Knežević**, *Analiza stanja i projektovanje postrojenja za tretman otpadnih voda*, Vodovodni i kanalizacioni sistemi, Jahorina maj 2013.
7. **Milena Knežević**, Dragan Povrenović, *Prenos mase kiseonika u trofaznom fontansko-fluidizovanom sloju sa centralnom cevi*, Vodovodni i kanalizacioni sistemi, Jahorina maj 2014., 61-66.
8. **Milena Knežević**, Natalija Zdravković, Slavica Tomić, Dragan Povrenović, *Međusobni uticaj tokova fluida na ponašanje trofaznog fontansko-fluidizovanog sloja*, Vodovodni i kanalizacioni sistemi, Jahorina maj 2014., 67-73.
9. Slavica Tomić, **Milena Knežević**, Natalija Zdravković, Dragan Povrenović, *Prednosti u primeni PAC-a kao koagulanta u procesima prerade vode u PPV Kopaonik i Raška*, Vodovodni i kanalizacioni sistemi, Jahorina maj 2014., 74-77.
10. Natalija Zdravković, **Milena Knežević**, Slavica Tomić, Dragan Povrenović, *Anaerobni tretman otpadnih voda mlekarske industrije*, Vodovodni i kanalizacioni sistemi, Jahorina maj 2014., 353-358.

## 5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Предметна докторска дисертација представља значајан и оригиналан научни допринос, а што је потврђено публикавањем делова дисертације у виду једног рада у водећем међународном часопису, два рада у међународном часопису и више радова кроз саопштења на домаћим и међународним скуповима, штампаним у целини. Кандидат Милена Кнежевић је показала изражену самосталност и потребне вештине у изради докторске дисертације и поседује све неопходне способности за бављење научноистраживачким радом. Комисија предлаже Наставно-научном већу да се докторска дисертација под називом **Уклањање азота из отпадних вода у дисперзним системима** кандидата **Милене Кнежевић** прихвати, изложи на увид јавности и упути на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

### ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

.....  
Проф. др Драган Повреновић  
Универзитет у Београду,  
Технолошко-металуршки факултет

.....  
Проф. др Невенка Бошковић-Враголовић  
Универзитет у Београду,  
Технолошко-металуршки факултет

.....  
Проф. др Влада Вељковић  
Универзитет у Нишу,  
Технолошки факултет Лесковац