

## НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

**Предмет:** Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата Милице Ђековић-Шевић, дипл. инж. технологије.

Одлуком бр. 35/476 од 30.11.2017. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Милице Ђековић Шевић, дипл. инж. технологије под насловом:

**„Апсорпција озона у води и воденим растворима у барботажној колони са двофлуидном млазницом“.**

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

10.09.2013. Кандидат Милица Ђековић Шевић, дипл. инж. технологије пријавила је тему докторске дисертације под називом „Апсорпција озона у води и воденим растворима у барботажној колони са двофлуидном млазницом“. Наставно-научно веће Технолошко-металуршког факултета, Универзитета у Београду је дана 26.09.2013. усвојило састав Комисије за оцену научне заснованости предложене теме.

30.10.2014. на седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета, на основу извештаја Комисије, донета је Одлука о прихватању предлога теме докторске дисертације Милице Ђековић-Шевић, дипл. инж. технологије, под насловом „Апсорпција озона у води и воденим растворима у барботажној колони са двофлуидном млазницом“. За ментора ове докторске дисертације именован је др Срђан Пејановић, ванредни професор Технолошко металуршког факултета

24.11.2014. на седници Већа научних области техничких наука Универзитета у Београду дата је сагласност на предлог теме докторске дисертације Милице Ђековић Шевић, дипл. инж. технологије, под називом „Апсорпција озона у води и воденим растворима у барботажној колони са двофлуидном млазницом“.

30.11.2017. на седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета, донета је одлука о именовању чланова Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације **Милице Ђековић Шевић**, дипл. инж. технологије, под називом „Апсорпција озона у води и воденим растворима у барботажној колони са двофлуидном млазницом“.

## 1.2. Научна област дисертације

Истраживања у оквиру ове докторске дисертације припадају научној области Хемија и хемијска технологија за коју је Технолошко-металуршки факултет Универзитета у Београду матична установа.

Ментор ове докторске дисертације, код пријаве теме био је др Срђан Пејановић, ванредни професор Технолошко-металуршког факултета. Због истека две године од његовог пензионисања, за новог ментора именована је др Невенка Бошковић Враголовић, редовни професор Технолошко металуршког факултета.

## 1.3. Биографски подаци о кандидату

Милица Ђековић Шевић је рођена 1981. године у Новој Вароши. Основну школу и гимназију природно-математичког смера је завршила у Новој Вароши са просечном оценом 5.00. Технолошко-металуршки факултет Универзитета у Београду је уписала 2000/01. школске године, а дипломирала 2006. године на катедри за Хемијско инжењерство са просечном оценом 8.75 у току студија и оценом 10 на дипломском раду. На истом факултету 2006. године је уписала докторске студије на Катедри за хемијско инжењерство.

Од 01.10.2007. године, Милица Ђековић Шевић је запослена у Високој технолошкој школи струковних студија – Аранђеловац у Аранђеловцу, прво у звању сарадника у настави а затим у звању асистента до данашњег дана на предметима: Дифузионе операције, Физичка хемија, Хемијска технологија, Хемијско инжењерска термодинамика, Механика флуида, Хемија, Органска хемија, Аналитичка хемија, Технологија глазура, енгоба и декорисања и Технологија рестаурације камена.

Део резултата истраживања објавила је у часописима међународног значаја (један рад - М23 и један рад – М22) и водећем часопису националног значаја (један рад – М51). Саопштила је на научним скуповима међународног значаја један рад штампан у изводу и два рада штампана у целини и на скупу националног значаја три рада штампана у целини. Учествује у реализацији једног пројекта. Члан је Српско хемијског друштва.

## 2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

### 2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација кандидата Милице Ђековић Шевић, дипл. инж. Технологије: „**Апсорпција озона у води и воденим растворима у барботажној колони са двофлуидном млазницом**“ написана је на 155 страна и укључује: 31 табелу, 48 слика, као и 199 литературна навода. Докторска дисертација садржи следећа поглавља: *Увод, 1. Теоријски део; 2. Експериментални део; 3. Резултати и дискусија; 4. Закључак, Списак симбола, Литература, Прилог.*

У докторској дисертацији Милице Ђековић Шевић урађена је детаљна анализа барботажних система који се често користе у поступцима третмана воде за пиће и отпадних вода, као и анализа употребе озона у ту сврху. У основи ових поступака је пренос масе тј. апсорпција озона у води чије је познавање неопходно да би се овакви системи пројектовали. У циљу добијања потребних параметара за одређивање коефицијената преноса масе озона у води коришћена су два експериментална система: барботажна колона са двофлуидном млазницом и са фритом као расподељивачима гасне фазе. Урађени су експерименти чисте апсорпције и апсорпције праћене брзом хемијском реакцијом. У дисертацији су приказани добијени резултати у виду зависности коефицијената преноса од процесних параметара у различитим системима, а уједно је направљено детаљно поређење добијених резултата са

литературним подацима. Посебан акценат је стављен на одређивање фактора увећања преноса масе у систему са хемијском реакцијом који је важан за пројектовање система за третмане отпадних вода.

## **2.2. Кратак приказ појединачних поглавља**

Увод ове докторске дисертације даје приказ анализиране проблематике, објашњава предмет рада, као и основне циљеве рада. У овом делу наведена је релевантна литература коришћена касније за поређење добијених резултата.

У првом поглављу *Теоријски део* дата је теоријска основа рада која садржи основне информације о карактеристикама озона, начинима добијања озона, реакцијама озона у води и воденим растворима, као и примени озона у поступку припреме воде и третмана отпадних вода. У овом поглављу дат је део који се односи на основне појмове преноса масе са посебним акценатом на запремински коефицијент преноса масе и пренос масе са хемијском реакцијом.

У другом поглављу *Експериментални део* приказани су у првом реду експериментални системи: барботажна колона са двофлуидном млазницом и барботажна колона са фритом. Приказане су све мерне технике и методе коришћене у овом раду.

У трећем поглављу *Резултати и дискусија* дати су резултати испитивања добијени у два експериментална система. У оба случаја акценат је стављен на анализу добијеног запреминског коефицијента преноса масе физичке апсорпције озона у води у барботажној колони са двофлуидном млазницом и са фритом као расподељивачем гаса, као и запреминског коефицијента преноса масе са присутном брзом хемијском реакцијом у колони са фритом. Релевантни резултати који прате анализу коефицијента преноса масе су Саутером средњи пречник мехура и они су такође приказани у овом поглављу. У систему са хемијском реакцијом одређен је и фактор увећања коефицијента преноса и добијени подаци су приказани у овом поглављу. Заједно са приказаним резултатима направљена је детаљно поређење експерименталних и литературних података.

У *Закључку* овог рада сумирани су сви резултати добијени у овој докторској дисертацији.

На крају рада дат је *Прилог* са примером детаљног прорачуна запреминског коефицијента преноса масе.

## **3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ**

### **3.1. Савременост и оригиналност**

Збор растућег проблема постојања све већих количина отпадних вода и неопходности њиховог третмана, развој и интензификација система за пречишћавање отпадних вода има велики значај. Озон, као врло ефикасно оксидационо и дезинфекционо средство, успешно се користи у поступку добијања пијаће воде и при третману отпадних вода. Најчешће коришћени системи су класичне барботажне колоне са фритом као расподељивачем гаса или колоне са механичким мешањем. Проблем првенствено у сфери третмана отпадних вода настаје када због присутних примеса долази до честог запушавања пора фрите. Барботажна колона са двофлуидном млазницом дизајнирана је са циљем да се за дисперговање гасних мехурова не користе фрите, а ни механичко мешање, већ да се у ту сврху искористи кинетичка енергија двофазног млаза. Коришћењем двофлуидне млазнице се управо избегава могућност зачепљења пора суспендованим честицама. Друга предност система са

двофлуидном млазницом је и смањење падова притиска, јер се гас уводи кроз само један, релативно широк отвор.

Предмет овог рада је испитивање апсорпције озона у води без и са хемијском реакцијом у колонама са двофлуидном млазницом и са фритом. Као резултат истраживања добијене су вредности запреминских коефицијената преноса масе у оба система, чиме је омогућено успешније пројектовање колона за третмане пијаће и отпадних вода. Посебно је у систему са хемијском реакцијом утврђена вредност интензификације преноса, што се може применити у случајевима када вода садржи супстанце које реагују са озоном.

Савременост и оригиналност истраживања приказаних у овој докторској дисертацији потврђени су публикавањем два рада из тезе у међународним часописима.

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

Током израде докторске дисертације кандидат је извршио преглед научне и стручне литературе која је била у функцији испуњења циљева овог рада. Коришћена литература дала је информације о: карактеристикама озона и његовим апсорпционим могућностима, преносу масе која се остварује између гасова и течности у барботажним колонама. Коришћена литература се већим делом састојала од научних радова публикованих углавном у водећим међународним часописима. Тиме је кандидат стекао широк увид у проблематику овог рада чиме је добио основу за касније планирање и постављање експеримената, као и могућност да упореди добијене резултате са објављеним у литератури.

У овој докторској дисертацији укупно је наведено 199 референци, од којих су наважније оне које анализирају преносе масе у условима барботирања гасне фазе, што представља и основну тему ове докторске дисертације. Поред тога, коришћена литература припада и широј области хемијског инжењерства од значаја за испитиване процесе.

### **3.3. Опис и адекватност примењених научних метода**

За извођење експерименталног дела истраживања у овој докторској дисертацији коришћена су два експериментална система чији је кључни део била барботажна колона и то:

- Барботажна колона са двофлуидном млазницом као расподељивачем флуида;
- Барботажна колона са фритом као расподељивачем гаса.

Као гасна фаза коришћен је кисеоник у коме је генерисан озон помоћу лабораторијског уређаја.

За одређивање Саутеровог средњег пречника коришћена је фотографска метода и анализа слике.

Концентрација раствореног (апсорбованог) озона одређивана је колориметријском индиго методом, а иста метода је коришћена и за одређивање преосталог калијум индиготрисулфоната у воденом раствору после реакције са озоном.

Температура и проток су мерени класичним уређајима.

Сва мерења су као резултат дала потребне параметре за одређивање запреминског коефицијента преноса масе и коефицијента преноса масе при апсорпцији озона без и са присутном хемијском реакцијом.

У овом раду је први пут урађена напреднија анализа слике барботажног система коришћењем програмског пакета „Sigma Scan Pro 5”. Исти програмски пакет је такође први пут коришћен и у анализирању тока реакције апсорбованог озона са обојеном супстанцом (калијум индиготрисулфонат) у испитивањима преноса масе са присутном хемијском реакцијом.

### **3.4. Применљивост остварених резултата**

Резултати ове докторске дисертације представљају значајно проширење фундаменталних знања о апсорпцији гасова у течностима са и без хемијске реакције, у системима у којима је пренос лимитиран великим отпором у течној фази, чиме је постављена добра основа да се могу успешније пројектовати барботажни системи. Сам начин одређивања важних параметара ових система приказан у овој тези, као што је у првом реду Саутеров пречник мехурова, подразумева примену адекватног програмског пакета је потпуно иновативан и у многоме олакшава дефинисање барботажног система.

Познато је да се озон користи у поступцима третмана вода, било за добијање воде за пиће, било за третман отпадних вода, тако да би добијени резултати ове докторске дисертације били у првом реду применљиви у овим областима.

Показана је велика предност двофлуидне млазнице као расподељивача гаса посебно за примену у третману отпадних вода где не долази до потенцијалног запушавања пора фрите за расподелу гаса која се најчешће користи.

Посебан значај имају резултати испитивања која су урађена као апсорпција праћена хемијском реакцијом. У зависности од параметара утврђен је фактор увећања због присутне хемијске реакције чиме је постигнут велики допринос при одређивању потребне количине озона за третман отпадних вода. Потребан услов примене постигнутих резултата је позната концентрација загађивача и да је реакција загађивача са озоном тренутна, што најчешће и јесте случај.

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

Од 2007. године Милица Ђековић-Шевић је запослена у Високој технолошкој школи струковних студија – Аранђеловац, у Аранђеловцу, прво у звању сарадника у настави, а затим у звању асистента, где је активно укључена у све наставне и ненаставне активности.

У току израде докторске дисертације по називом „**Апсорпција озона у води и воденим растворима у барботажној колони са двофлуидном млазницом**“, кандидаткиња је исказала стручност и аналитичност у свим фазама израде тезе, пружајући значајан научни допринос у развоју система са барботажом са аспекта фундаменталног познавања преноса масе при физичкој апсорпцији и хемисорпцији.

На основу изнетог, Комисија је мишљења да је кандидат квалификован и да поседује све квалитете који су неопходни за самосталан научно истраживачки рад.

## **4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС**

### **4.1. Приказ остварених научних доприноса**

Докторска дисертација кандидата Милице Ђековић-Шевић, дипл.инж.технологије пружа значајан научни допринос на пољу фундаменталних и практичних знања у развоју барботажних система за третман вода из области апсорпције озона у води без и са хемијском реакцијом. Научни доприноси ове докторске дисертације су:

- Проширење фундаменталних знања о апсорпцији гасова у течностима у системима у којима је главни отпор преносу у течној фази;
- Приказана је нова метода за одређивање једног од основних параметара система са мехуровима – Саутеровог пречника мехура применом фотографске методе заједно са програмским пакетом “Sigma Scan Pro 5”;
- Показана могућност примене барботажне колоне са двофлуидном млазницом као типа уређаја за апсорпцију озона у води, са могућношћу примене у поступцима добијања воде за пиће и третману отпадних вода;

- Дефинисање запреминског коефицијента преноса масе у условима када постоји брза хемијска реакција озона и компоненте у воденој фази;
- Формулисана је метода одређивања фактора увећања који показује колико је већа брзина апсорпције праћена хемијском реакцијом од брзине чисте физичке апсорпције;
- Утврђени су кључни параметри који утичу на фактор увећања и на основу којих може да се утврде потребне концентрације озона у сврху практичног коришћења барботажних система у поступку третмана отпадних вода.

#### **4.2. Критичка анализа резултата истраживања**

При испитивању колоне са двофлуидном млазницом показало се и овде да се при довољно великим протоцима течности непосредно изнад млазнице формира зона интензивне турбуленције (зона прекидања мехурова), а изнад ње мирна зона са равномерном расподелом величине мехурова. У мирној зони одређени су релевантни параметри: Саутеров средњи пречник мехурова, удео мехурова, запремински коефицијент преноса масе, специфична површина, коефицијент преноса масе. Све ове величине су вариране у функцији оперативних параметара на основу чега се могу одредити оптимални услови рада барботажне колоне. Посебно је показан значај примене двофлуидне млазнице као расподељивача гаса која има велику предност у односу на системе са фритом као расподељивачем гаса. Због особина двофлуидне млазнице, односно због тога што не може да дође до њеног запушавања током рада овакве колоне се препоручују за третман отпадних вода.

Посебан допринос ове докторске дисертације су резултати испитивања апсорпције која је праћена хемијском реакцијом. Добијени резултати указују на вредности фактора увећања преноса и самих запреминских коефицијената преноса масе када озон реагује са супстанцом у течной фази у брзој хемијској реакцији. Овај резултат је такође од великог значаја код поступака третмана отпадних вода која садрже разне полутанте који могу да реагују са озоном. До које мере су увећани коефицијенти преноса масе у случају присутне хемијске реакције одговор дају испитивања урађена у овом раду и представљају добру основу пројектовања процеса као и дизајнирања барботажних колона које се могу користити код третмана отпадних воде и уопште у припреми вода за различите употребе.

#### **4.3. Верификација научних доприноса**

Кандидат Милица Ђековић Шевић је публиковала два рада из докторске дисертације и то: један рад у истакнутом међународном часопису (M22) и један рад у међународном часопису (M23), чиме је верификовала научни допринос своје докторске тезе.

##### **M22 Рад у истакнутом међународном часопису**

**Ђековић-Шевић, М.,** Bošković-Vragolović, N., Garić-Grulović, R., Pejanović, S., EKSPERIMENTAL STUDY ON THE OZONE ABSORPTION ACCOMPANIED BY INSTANTANEOUS CHEMICAL REACTION, *Chemical Engineering Communications*, DOI: 10.1080/00986445.2017.1399125, 2017.

##### **M23 – Рад у међународном часопису**

**Ђековић-Шевић, М.,** Bošković-Vragolović, N., Takić, Lj., Garić-Grulović, R., Pejanović, S., DETERMINATION OF THE OZONE VOLUMETRIC MASS TRANSFER COEFFICIENT IN THE BUBBLE COLUMN WITH TWO-FLUID NOZZLE GAS DISTRIBUTOR, *Chemical Industry*, 69 (5): 553-559, 2015.

## **5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ**

На основу претходно наведеног, мишљење Комисије је да докторска дисертација кандидата **Милице Ђековић Шевић**, дипл. инж. технологије, под називом „**Апсорпција озона у води и воденим растворима у барботажној колони са двофлуидном млазницом**“ представља оригиналан научни допринос предметне области истраживања. Оригиналност докторске дисертације кандидата је потврђена објављивањем радова у часописима међународног значаја. Постављени предмет и циљеви докторске дисертације у потпуности су остварени, на основу чега Комисија износи своје мишљење да докторска дисертација под називом „**Апсорпција озона у води и воденим растворима у барботажној колони са двофлуидном млазницом**“ у потпуности испуњава све захтеване критеријуме и предлаже Наставно-научном већу Технолошко-металуршког факултета, Универзитета у Београду, да прихвати овај Реферат, пружи на увид јавности поднету докторску дисертацију кандидата **Милице Ђековић Шевић**, дипл. инж. технологије у законом предвиђеном року, као и да Реферат упути Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду и да након завршетка процедуре позове кандидата на усмену одбрану дисертације пред Комисијом у истом саставу.

У Београду, 13.03.2018.

### **ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ**

---

др Невенка Бошковић-Враголовић, редовни професор  
Универзитет у Београду, Технолошко-металуршки факултет

---

др Рада Пјановић, ванредни професор  
Универзитет у Београду, Технолошко-металуршки факултет

---

др Радмила Гарић Груловић, научни саветник  
Универзитет у Београду, Институт за хемију, технологију и металургију