

ТЕХНОЛОШКО-МЕТАЛУРШКИ
ФАКУЛТЕТ
35/189
(Број захтева)

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
ВЕЋЕ НАУЧНИХ ОБЛАСТИ ТЕХНИЧКИХ НАУКА
(Назив већа научне области и коме се захтев упућује)

16.08.2019.
(Датум)

ЗАХТЕВ

за давање сагласности на предлог теме докторске дисертације

Молимо да, сходно члану 47. ст. 5. тач. 3. Статута Универзитета у Београду („Гласник Универзитета“, број 131/06), дате сагласност на предлог теме докторске дисертације:

„Предвиђање сепарационих карактеристика комплексирајуће-микрофилтрационог процеса применом вештачких неуронских мрежа“.
(пун назив предложене теме докторске дисертације)

НАУЧНА ОБЛАСТ: ИНЖЕЊЕРСТВО ЗАШТИТЕ ЖИВОТНЕ СРЕДИНЕ

ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ:

1. Име, име једног од родитеља и презиме кандидата:

БОРАН (Живко) СЕКУЛИЋ, дипломирани инжењер технологије

2. Назив и седиште факултета на коме је стекао основно образовање: Универзитет у Београду, Технолошко-металуршки факултет.

3. Година дипломирања: 2009.

Студент је уписан на докторске академске студије шк. 2012/2013. године.

На захтеве студента, а у складу са Статутом Универзитета у Београду и Статутом Факултета, декан је донео Решење бр. 20/157 28.09.2018. године о о продужењу рока за завршетак студија до истека троструког броја школских година потребних за реализацију уписаног студијског програма, односно до краја школске 2020/2021. године.

Обавештавамо Вас да је Наставно-научно веће, на седници одржаној 04.07.2019. године размотрило предложену тему и закључило да је тема подобна за израду докторске дисертације.

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА

Проф. др Петар Ускоковић

Прилог:

1. Предлог теме докторске дисертације са образложењем
2. Акт надлежног тела факултета о подобности теме за израду докторске дисертације
3. Подаци о ментору.

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ

за кандидата **Секулић Зоран**

Име и презиме ментора: **Др Катарина Тривунац**

Звање: **доцент**

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. Z. Sekulić, D. Atanasijević, S. Stevanović, **K. Trivunac**, The Prediction of Heavy Metal Permeate Flux in Complexation-Microfiltration Process: Polynomial Neural Network Approach, Water Air and Soil Pollution 230 (2019) 23 (ISSN 0049-6979, IF 1,769)
2. Z. Sekulić, D. Atanasijević, S. Stevanović, **K. Trivunac**, Application Of Artificial Neural Networks For Estimating Cd, Zn, Pb Removal Efficiency From Wastewater Using Complexation-Microfiltration Process, International Journal of Environmental Science And Technology 14 (2017) 1383-1396 (ISSN 1735-1472, IF 2,344)
3. **Katarina Trivunac**, Slavica Stevanovic, Removal of heavy metal ions from water by complexation-assisted ultrafiltration, Chemosphere 64 (2006) 486-491 (ISSN 0045-6535, IF 2,442)
4. **Katarina Trivunac**, Zoran Sekulic, Slavica Stevanovic, Zinc Removal From Wastewater By Complexation-Microfiltration Process, Journal of the Serbian Chemical Society 77 (2012) 1661-1670 (ISSN 0352-5139, IF 0,912)
5. **Katarina Trivunac**, Slavica Stevanovic, Effects of operating parameters on efficiency of cadmium and zinc removal by complexation-filtration process, Desalination 198 (2006) 282-287 (ISSN 0011-9164, IF 1,057)

Заокружити одговарајућу опцију (А, Б, В или Г):

А) У случају менторства дисертације на докторским студијама у групацији техничко-технолошких, природно-математичких и медицинских наука ментор треба да има најмање три рада са SCI, SSCI, AHCI или SCIE листе, као и Math-Net.Ru листе.

Б) У случају менторства дисертације на докторским студијама у групацији друштвено-хуманистичких наука ментор треба да има најмање три рада са релевантне листе научних часописа (Релевантна листа научних часописа обухвата SCI, SSCI, AHCI и SCIE листе, као и ERIH листу, листу часописа

које је Министарство за науку класификовало као M24 и додатну листу часописа коју ће, на предлог универзитета, донети Национални савет за високо образовање. Посебно се вреднују и монографије које Министарство науке класификује као M11, M12, M13, M14, M41 и M51.)

В) У случају израде докторске дисертације према ранијим прописима за кандидате који су стекли академски назив магистра наука ментор треба да има пет радова (референци) које га, по оцени Већа научних области, квалификују за ментора односне дисертације.

Г) У случају да у ужој научној области нема квалификованих наставника, приложити одлуку Већа докторских студија о именовању редовног професора за ментора.

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА

Датум: 14.06.2019.

М.П.

Проф. др Петар Ускоковић

ДП

На основу чл. 40. став 3. Закона о високом образовању, чл. 112. став 3. Статута Универзитета у Београду, чл. 88. став 3. Статута ТМФ-а и чл. 31. и 32. Правилника о докторским студијама ТМФ-а, на седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета од 04.07.2019. године, донета је

О Д Л У К А

о прихватању Реферата Комисије за оцену подобности теме и кандидата
за израду докторске дисертације

Прихвата се Реферат Комисије за оцену подобности теме и кандидата и одобрава израда докторске дисертације **Зорану Секулићу**, дипломираном инжењеру технологије, под називом: **„Предвиђање сепарационих карактеристика комплексирајуће-микрофилтрационог процеса применом вештачких неуронских мрежа“.**

Одлуку о давању сагласности на предлог теме докторске дисертације доноси Универзитет у Београду.

За ментора се одређује др Катарина Тривунац, доцент Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет.

Одлуку доставити: Универзитету у Београду, кандидату, ментору, Служби за наставно студентске послове и архиви Факултета.

Д Е К А Н

Проф. др Петар Ускоковић

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Подобност теме и кандидата Зорана Секулића за израду докторске дисертације

Одлуком Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду бр. 35/189 од 30.05.2019. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидата Зорана Ж. Секулића за израду докторске дисертације и научне заснованости теме „Предвиђање сепарационих карактеристика комплексирајуће-микрофилтрационог процеса применом вештачких неуронских мрежа“. На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

РЕФЕРАТ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Зоран Ж. Секулић, рођен је 2.7.1982. у Пакрацу, Република Хрватска. Средњу хемијску и прехрамбену школу завршио је у Београду. Уписао је Технолошко-металуршки факултет 2000. године, смер Неорганска хемијска технологија (контрола квалитета). Дипломирао је 2009. године код проф. др Славице Стевановић на Катедри за аналитичку хемију са радом „Примена полиакрилних мембрана за уклањање јона цинка комбинованом комплексирајуће – микрофилтрационом методом“.

Докторске студије уписао је у октобру 2012. године, студијски програм Инжењерство заштите животне средине. Положио је све испите предвиђене планом докторских студија и одбранио завршни испит под називом „Развој модела за предвиђање емисије киселих оксида у ваздуху применом вештачких неуронских мрежа“ оценом 10.

Запослен је у Градском заводу за јавно здравље Београд, као здравствени сарадник - аналитичар у екотоксиколошкој лабораторији и поред тога као заменик руководиоца за системе квалитета (9001/14001/17025). Поред стручних послова Зоран Секулић се бави научно-истраживачким радом у оквиру завода.

Говори, чита и пише енглески језик. Поседује напредно знање програмских пакета Microsoft Office (Word, Excel, Power Point), администрација и мрежни инжењеринг, Photoshop, Origin.

1.2. Стечено научноистраживачко искуство

Зоран Секулић је у оквиру докторских студија положио све испите (12) предвиђене студијским програмом, са просечном оценом 8,83. Завршни испит (приступни рад за израду докторске дисертације) под називом „Развој модела за предвиђање емисије киселих оксида у ваздуху применом вештачких неуронских мрежа“ је одбранио у септембру 2014. године са оценом 10 пред комисијом у саставу: др Виктор Поцајт, ван. проф., др Мирјана Ристић, ред. проф. и др Александра Перић-Грујић, ред. проф. Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду.

Положени испити и остварени бодови у оквиру докторских студија

Редни број	Назив предмета	ЕСПБ	Оцена
1.	Хемијска кинетика	5	8 (осам)
2.	Индустријска екологија	5	9 (девет)
3.	Економија животне средине и одрживи развој	4	9 (девет)
4.	Виши курс аналитичке хемије	5	8 (осам)
5.	Одабрана поглавља нумеричке анализе	5	7 (седам)
6.	Управљање чврстим и опасним отпадом	5	10 (десет)
7.	Органске загађујуће супстанце	4	10 (десет)
8.	Хемија пестицида	4	10 (десет)
9.	Структурна анализа органских молекула	6	10 (десет)
10.	Физика материјала	4	7 (седам)
11.	Моделовање атмосферске дисперзије	5	8 (осам)
12.	Завршни испит	30	10 (десет)
	Укупно	82	8,83

Област научноистраживачког рада Зорана Секулића је усмерена на проблеме заштите животне средине (ваздуха, воде, земљишта) као и начине праћења и предвиђања концентрације загађујућих материја. Посебан интерес обухвата примену мембранских филтрационих процеса за уклањање тешких метала из отпадне воде и примену неуронских мрежа за предвиђање флукса и коефицијента задржавања, што је предмет предложене теме докторске дисертације. Зоран Секулић је у оквиру свог досадашњег научноистраживачког и стручног рада објавио четири рада у часописима међународног значаја (M20: врста резултата M22 - 2 рада, M23 - 2 рада), девет саопштења на међународним скуповима штампаних у целини и у изводу (M33 и M34: врста резултата M33 - 1 саопштење, M34 - 8 саопштења), три саопштења на скуповима националног значаја штампаних у целини (M63: врста резултата M63 - 3 саопштења) и поглавље у књизи (M41: врста резултата M44 – 1 поглавље). Из резултата досадашњег научноистраживачког рада кандидата на предложеној теми докторске дисертације кандидат је аутор 2 (два) рада објављена у истакнутом међународном часопису (M22) и коаутор 1 (једног) научног рада штампаног у међународном часопису (M23).

Списак објављених радова и саопштења:

Радови објављени у истакнутом часопису међународног значаја (M22)

1. **Sekulić Z.**, Antanasijević D., Stevanović S., Trivunac K.: *Application of artificial neural networks for estimating Cd, Zn, Pb removal efficiency from wastewater using complexation-microfiltration process*, International Journal of Environmental Science and Technology, Vol 14, No 7, 2017, pp. 1383-1396 (ISSN 1735-1472, IF (2017) 2,037)
2. **Sekulić Z.**, Antanasijević D., Stevanović S., Trivunac K.: *The Prediction of Heavy Metal Permeate Flux in Complexation-Microfiltration Process: Polynomial Neural Network Approach*, Water, Air & Soil Pollution, Vol 230, 2019, pp. 23 (ISSN 0049-6979, IF (2018) 1,769)

Радови објављени у часопису међународног значаја (M23)

1. Trivunac K., **Sekulić Z.**, Stevanović S.: *Zinc Removal From Wastewater by Complexation-Microfiltration Process*, Journal of Serbian Chemical Society, Vol 77, No 11, 2012, pp. 1661-1670 (ISSN 0352-5139, IF (2012) 0,912)

2. Deljanin, I., Antanasijević, D., Aničić Urošević, M., **Sekulić Z.**, Perić-Grujić, A., Ristić, M.: *Selected trace element concentrations in ambient air and in horse chestnut leaves in Belgrade*, Chemical Industry and Chemical Engineering Quarterly, Vol 21, No 1-2, 2015, pp. 169-178 (ISSN 1451-9372, IF (2014) 0,892)

Саопштење са скупа међународног значаја штампано у целини (M33)

1. Sekulić Ž., Kragović M., **Sekulić Z.**, Mihailović M., Mihajlović S., Jovanović V.: *Investigation of the application of the natural and with lead ions contaminated zeolite as an addition in portland cement*, Proceedings of XXIII International Conference "Ecological Truth" Eco-Ist'15, Kopaonik, Serbia, 2015, pp. 293-300, ISBN 978-78-6305-032-7

Саопштење са скупа међународног значаја штампано у изводу (M34)

1. **Sekulić Z.**, Šoštarić A., Cvetković A.: *Seasonal oc/ec variation in Belgrade Metropoliten in 2010*, The Third International WeBIOPATR Workshop & Conference, Particulate Matter: Research and Management, WeBIOPATR2011, Abstracts of Keynote Invited Lectures and Contributed Papers, Belgrade, 2011, pp. 56, ISBN: 978-86-83069-36-1

2. **Sekulić Z.**, Šoštarić A., Tošović S., Slepčević V.: *Preliminary research of organic and elemental Carbon in suspended particles in the ambient air at the territory of Belgrade*, EUROanalys 16th European Conference on Analytical Chemistry, Book of abstract, Belgrade 2011, pp. 527, ISBN: 978-86-7132-047-4

3. Šoštarić A., **Sekulić Z.**, Tošović S., Slepčević V., Gržetić I.: *Spatial distribution and removal mechanisms of benzene, toluene, etilbenzene and xylenes concentrations in ambient air in Belgrade urban area*, EUROanalys 16th European Conference on Analytical Chemistry, Book of abstract, Belgrade 2011, pp. 535, ISBN: 978-86-7132-047-4

4. **Sekulić Z.**, Trivunac K., Šoštarić A., Slepčević V.: *Content of Heavy Metals, Ions, PAHs, and OCEC in the particulate mater PM10 in Belgrade area in 2012*, Air Protection 2012, 40th anniversary Symposium with international participation, Air Quality, legal regulations and sustainable development, Book of Abstracts, Palić 2012, pp.74 – 81 ISBN: 978-86-80809-71-7

5. Šoštarić A., Cvetković A., **Sekulić Z.**, Slepčević V.: *Air pollution episode in Belgrade urban area in february 2011*, Air Protection 2012, 40th anniversary Symposium with international participation, Air Quality, legal regulations and sustainable development, Book of Abstracts, Palić 2012, pp. 66 - 74 ISBN: 978-86-80809-71-7

6. Kostić B., **Sekulić Z.**, Crnković D.: *Field determination of heavy metals in soil with X-ray fluorescence spectrometry*, Conference Proceedings of International conference of waste waters, municipal solid wastes and hazardous wastes, Subotica 2013, ISBN: 9788682931577

7. Deljanin I., Antanasijević D., Aničić Urošević M., Tomašević M., **Sekulić Z.**, Perić-Grujić A., Ristić M.: *Traffic-related trace element concentrations in PM10 and in horse chestnut leaves*, Book of proceedings of the 4th International WeBIOPATR Workshop & Conference, Particulate Matter: Research and Management, Belgrade, WeBIOPATR2013, 2013, pp. 185-188 ISBN 978-86-83069-39-2

8. **Sekulić Z.**, Antanasijević D., Ristić M., Perić-Grujić A., Pocajt V.: *Modelling of national NOx emission using artificial neural networks*, 51st Meeting of the Serbian Chemical Society and 2nd Conference of the Young Chemists of Serbia, Book of Abstracts, Niš 2014, pp. 56, ISBN 978-86-7132-054-2

Поглавље у књизи (M44)

1. Dinko Knežević, Dragana Nišić, Aleksandar Cvjetić, Dragana Randelović, **Zoran Sekulić**, *Monitoring u životnoj sredini - Odabrana poglavlja*, Monografija, Izdavač Univerzitet u Beogradu - Rudarsko-geološki fakultet, 2015, 160 ISBN 978-86-7352-288-3

Саопштења са скупа националног значаја штампано у целини (M63)

1. Sekulić Ž., Jovanović V., Daković A., **Sekulić Z.**: *Okrupnjavanje ugljene prašine u cilju valorizacije i zaštite životne sredine*, Zbornik radova, Rudarstvo 2011, Vrnjačka Banja 2011, pp. 658-662 ISBN 978-86-80809-61-8
2. Šarčević S., **Sekulić Z.**, Budimirović D., Malešić N.: *Dezinfekcioni nusproizvodi nastali primenom različitih dezinfekcionih sredstava*, 47. Konferencija o aktuelnim temama korišćenja zaštite voda VODA 2018, Zbornik radova, Sokobanja 2018, pp. 447-454, ISBN: 978-86-916753-6-3
3. Šarčević S., **Sekulić Z.**, Budimirović D., Malešić N.: *Ujednačavanje toka i neutralizacija pri prečišćavanju industrijskih otpadnih voda*, 47. Konferencija o aktuelnim temama korišćenja zaštite voda VODA 2018, Zbornik radova, Sokobanja 2018, pp. 407-414, ISBN: 978-86-916753-6-3

1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

На основу досадашњег рада и остварених резултата током докторских студија, Зоран Секулић је показао способност за бављење научноистраживачким радом. До сада је објавио четири рада у међународним часописима, као и једанаест саопштења (8 на међународним и 3 на домаћим скуповима). Из области истраживања којој припада предложена тема докторске дисертације, кандидат је аутор два рада објављена у истакнутим часописима међународног значаја и коаутор једног научног рада објављеног у часопису међународног значаја. Сходно наведеном, Комисија сматра да кандидат испуњава услове за рад на предложеној теми докторске дисертације.

2. Предмет и циљ истраживања

Тешки метали су главни еколошки проблем широм света; међу њима цинк, кадмијум и олово имају различит утицај на животну средину и јавно здравље. Дуготрајна изложеност било којем од ових тешких метала може изазвати хроничне здравствене проблеме; цинк може изазвати гастроинтестиналне поремећаје и конвулзије, кадмијум и олово могу изазвати оштећење бубрега и озбиљно утицати на неуролошки систем [1]. Повећана концентрација тешких метала у комуналним и индустријским отпадним водама је посебно забрињавајућа с обзиром да се метали не могу разградити у природи. Последње деценије истражују се методе које су једноставне, ефикасне и еколошки, енергетски и економски исплативе. Различити сепарациони процеси као што су адсорпција, таложeње, флокулација користе се за третман отпадних вода [2]. Технике мембранске филтрације се издвајају међу методама за третман отпадних вода и потпуно одговарају захтевима концепта зелене хемије и производње. Ультрафилтрација и микрофилтрација успешно се користе за третирање воде и фракционисање једињења велике молекулске масе (велике честице, бактерије, протеини и макромолекуле). Овим методама се не могу уклонити једињења и честице мање масе као што су јони метала. Међутим, интензивно се истражује могућност везивања јона метала на разне полимере (макромолекуле) чиме се формирају једињења величине веће од пора мембране. На овај начин омогућава се задржавање и уклањање јона метала из водених раствора. Значај и актуелност процеса ПЕ-УФ [3, 4] и комплексирајуће микрофилтрације [5, 6] у уклањању јона тешких метала из воде и отпадних вода огледа се у повећању броја научних радова у последњој деценији. Испитују се најбољи комплексирајући агенси, различити метали, осетљивост, селективност, антифоулинг, пропусност и разни типови мембрана. Ограничавајући фактор за већу примену ових комбинованих метода је феномен онечишћења и поларизационе концентрације, што резултује формирањем слоја честица као гела на површини мембране и смањењем тока пермеата. Главни захтев за комерцијалну примену мембранских процеса је да се постигне висок коефицијент задржавања са високим вредностима флукса. Стога би било корисно моћи предвидети

ове сепарационе карактеристике у систему. Модели вештачке неуронске мреже (АНН) привлаче све више пажње као нова апликација за одређивање софистицираних односа између улазних и излазних варијабли. АНН користе процес учења путем тренинга уместо класичног програмирања који се обично користи у моделовању. Њима није потребан прецизан физички однос улазних вредности; могу израчунати нелинеарне везе између варијабли у сложеним системима [7]. Због тога су погодни за употребу у ситуацијама када математички линеарни модели нису применљиви. Постоји неколико карактеристичних АНН архитектура међу којима су најчешће коришћене неуронске мреже са пропагацијом грешке уназад (BPNN), док је општа регресиона неуронска мрежа (GRNN) посебно корисна ако је доступан релативно мали скуп података [8]. Главни циљеви истраживања предложене докторске тезе су:

- одређивање зависности коефицијента задржавања и флукса пречишћене воде од притиска, температуре, рН воденог раствора, концентрације јона метала, концентрације комплексирајућег средства, врсте мембране, врсте пратећег ањона,
- унапређење и оптимизација комбиноване комплексирајуће-микрофилтрационе методе за сепарацију јона метала као што су Cd, Zn и Pb,
- развој и оптимизација методе засноване на вештачким неуронским мрежама за предвиђање коефицијента задржавања јона тешких метала и
- развој и оптимизација методе засноване на вештачким неуронским мрежама за предвиђање флукса, пада флукса и фоулинга (онечишћења мембране).

Све је веће интересовање за развој модела за предвиђање ефикасности процеса мембранске филтрације. Тренутно постоје бројна истраживања за предвиђање флукса, онечишћења и коефицијента задржавања тешких метала из отпадних вода користећи различите типове модела у комбинацији са микрофилтрацијом унакрсног протока [9] или „деад енд“ микрофилтрацијом [10, 11]. Aidiner и сарадници [12] су користили вештачку неуронску мрежу (АНН) и Колтуниевицз-ову методу (КМ) за предвиђање вредности флукса у микрофилтрацији унакрсног протока смеше која садржи фосфат и летећи пепео. Систем микрофилтрације (MF) за третман воде је евалуиран са АНН моделима користећи пет улазних варијабли. Liu и сарадници [13] закључили су да је одабир базе података за обуку важан за тачност АНН модела. Експериментални подаци флукса током сепарације емулзија уља у води коришћењем јефтиних керамичких мембрана су обрађени коришћењем конвенционалних модела за блокирање пора и модела вештачке неуронске мреже (BPNN) са пропагацијом грешке уназад. Nandi и сарадници [14] су утврдили да АНН модел ради боље од модела филтрације колача. Вишеслојне перцептронске (MLP) и радијалне базне функције (RBF) вештачке неуронске мреже примењене су за моделовање секвенцијског шаржног реактора који третира комуналне отпадне воде [15]. За прецизнији модел доказано је да је MLP ANN модел. Прегледом литературе о примени АНН у микрофилтрацији и ултрафилтрацији отпадних вода уочено је да се врло мали број истраживања бави смањењем флукса у "dead end" филтрацији као и ПЕ-УФ и комплексирајуће-микрофилтрационим процесима [10-18]. Како су оба процеса широко коришћена у лабораторијским истраживањима уклањања загађујућих материја из отпадних вода, значајно је моделовати ове процесе и предвидети њихове перформансе. Ови подаци могу бити од суштинског значаја за екстраполацију третмана до индустријског обима.

Релевантни библиографски извори

1. Cabral M., Toure A., Garçon G., Diop C., Bouhsina S., Dewaele D., Cazier F., Courcot D., Tall-Dia A., Shirali P., Diouf A., Fall M., Verdin A.: *Effects of environmental cadmium and lead exposure on adults neighboring a discharge: evidences of adverse health effects*, Environ. Pollut. Vol 206, 2015, pp. 247–255. doi:10.1016/j.envpol.2015.06.032

2. Carolin C.F., Kumar P.S., Saravanan A., Joshiba G.J., Naushad M.: *Efficient techniques for the removal of toxic heavy metals from aquatic environment: A review*, J. Environ. Chem. Eng. Vol 5, No 3, 2017, pp. 2782–2799.
3. Lam B., Déon S., Morin-Crini N., Crini G., Fievet P.: *Polymer-enhanced ultrafiltration for heavy metal removal: Influence of chitosan and carboxymethyl cellulose on filtration performances*, J. Clean. Prod. Vol 171, 2018, pp. 927–933.
4. Huang Y., Wu D., Wang X., Huang W., Lawless D., Feng X.: *Removal of heavy metals from water using polyvinylamine by polymer-enhanced ultrafiltration and flocculation*, Sep. Purif. Technol. Vol 158, 2016, pp. 124–136. doi:10.1016/j.seppur.2015.12.008
5. Trivunac K., Sekulić Z., Stevanović S.: *Zinc removal from wastewater by a complexation-microfiltration process*, J. Serbian Chem. Soc. Vol 77, No 11, 2012, pp. 1661–70.
6. Shao J., Qin S., Davidson J., Li W., He Y., Zhou H.S.: *Recovery of nickel from aqueous solutions by complexation-ultrafiltration process with sodium polyacrylate and polyethylenimine*, J. Hazard. Mater. Vol 244–245, 2013, pp. 472–477. doi:10.1016/j.jhazmat.2012.10.070
7. Sing K.P., Basant A., Malik A., Jain G.: *Artificial neural network modeling of the river water quality - a case study*, Ecol. Model. Vol 220, 2009, pp. 888–895. doi:10.1016/j.ecolmodel.2009.01.004
8. Antanasijevic D., Pocajt V., Peric-Grujic A., Ristic M.: *Modelling of dissolved oxygen in the danube river using artificial neural networks and Monte carlo simulation uncertainty analysis*, J. Hydrol. Vol 519, 2014, pp. 1895–1907. doi:10.1016/j.jhydrol.2014.10.009
9. Madaeni S.S., Hasankiadeh N.T., Kurdian A.R., Rahimpour A.: *Modeling and optimization of membrane fabrication using artificial neural network and genetic algorithm*, Sep. Purif. Technol. Vol 76, 2010, pp.33–43. doi:10.1016/j.seppur.2010.09.017
10. Choi Y.J., Oh H., Lee S., Nam S.H., Hwang T.M.: *Investigation of the filtration characteristics of pilot-scale hollow fiber submerged MF system using cake formation model and artificial neural networks model*, Desalination Vol 297, 2012, pp. 20–29. doi:10.1016/j.desal.2012.04.013
11. Xi X., Cui Y., Wang Z., Qian J., Wang J., Yang L.: *Study of dead-end microfiltration features in sequencing batch reactor (SBR) by optimized neural networks*, Desalination Vol 272, 2011, pp. 27–35. doi:10.1016/j.desal.2010.12.049
12. Aydinler C., Demir I., Yildiz E.: *Modeling of flux decline in crossflow microfiltration using neural networks: the case of phosphate removal*, J. Membr. Sci. Vol 248, 2005, pp. 53–62. doi:10.1016/j.memsci.2004.07.036
13. Liu Q.-F., Kim S.-H., Lee S.: *Prediction of microfiltration membrane fouling using artificial neural network models*, Sep. Purif. Technol. Vol 70, 2009, pp. 96–102. doi:10.1016/j.seppur.2009.08.017
14. Nandi B.K., Moparthy A., Uppaluri R., Purkait M.K.: *Treatment of oily wastewater using low cost ceramic membrane: comparative assessment of pore blocking and artificial neural network models*, Chem. Eng. Res. Design Vol 88, 2010, pp. 881–892. doi:10.1016/j.cherd.2009.12.005
15. Bagheri M., Mirbagheri S.A., Ehteshami M., Bagheri Z.: *Modeling of a sequencing batch reactor treating municipal wastewater using multi-layer perceptron and radial basis function artificial neural networks*, Process Saf. Environ. Prot. Vol 93, 2015, pp. 111–123. doi:10.1016/j.psep.2014.04.006
16. Badrnezhad R., Mirza B.: *Modeling and optimization of cross-flow ultrafiltration using hybrid neural network-genetic algorithm approach*, J. Ind. Eng. Chem. Vol 20, No 2, 2014, pp. 528–43. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jiec.2013.05.012>
17. Chew C.M., Aroua M.K., Hussain M.A.: *A practical hybrid modelling approach for the prediction of potential fouling parameters in ultrafiltration membrane water treatment*

plant, J. Ind. Eng. Chem. Vol 45, 2017, pp. 145–55.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jiec.2016.09.017>

18. Soleimani R., Shoushtari N.A., Mirza B., Salahi A.: *Experimental investigation, modeling and optimization of membrane separation using artificial neural network and multi-objective optimization using genetic algorithm*, Chem. Eng. Res. Des. Vol 91, No 5, 2013, pp. 883–903. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cherd.2012.08.004>

3. Полазне хипотезе

Мембрански процеси заузимају све значајније место у припреми и преради воде, индустрији (прехрамбеној, фармацеутској, петрохемијској), заштити животне средине и др. Ефикасност, поузданост и релативно ниски трошкови сепарација утицали су на све масовнију примену мембранских система. Јони метала успешно се могу уклонити из воде применом реверсне осмозе и нанофилтрације. Као резултат добија се ултрачиста вода уз ограничену вредност флукса односно протока. Због тога се истраживања усмеравају на усавршавање технике која даје веома велики флукс, а мали коефицијент задржавања малих молекула и јона као што је микрофилтрација. Уколико се јони метала вежу са макромолекулима великих молекулских маса, овако комбинованом комплексирајуће-микрофилтрационом методом може се постићи висок флукс и проток пречишћене воде и висок коефицијент задржавања јона метала. Избором селективног комплексирајућег средства могуће је остварити селективно раздвајање више јонских врста. Успешност комплексирања као и спречавање онечишћења мембране и пада флукса зависи од услова процеса и различитих радних параметара. Међусобне везе у систему јон метала – макромолекул – мембрана су нелинеарне и недовољно дефинисане, па је применом неуронских мрежа могуће добити боље резултате у поређењу са конвенционалним моделима. Предвиђањем сепарационих карактеристика у систему могуће је смањити број експеримената и добити добру базу за комерцијалну примену оваквих процеса у области пречишћавања отпадне воде.

4. Научне методе истраживања

У раду ће се применити стандардне експерименталне методе испитивања зависности ефикасности сепарационог процеса од наведених радних параметара. Концентрација јона метала у воденом раствору ће се одређивати методом атомске апсорпционе спектrophотометрије (AAS) и индуктивно купловане плазме (ICP). Концентрације органских једињења пратиће се мерењем укупног органског угљеника (TOC). Резултати ће бити искоришћени за моделовање сепарационог система и предвиђање коефицијента задржавања и смањења флукса током процеса.

На основу добијених експерименталних података, вршиће се моделовање сепарационих карактеристика комплексирајуће микрофилтрационог процеса. Тестирањем развијених модела испитаће се перформансе модела:

- упоредном анализом моделованих и измерених вредности концентрације тешких метала у пермеату,
- поређењем резултата АНН и конвенционалних модела, коришћењем статистичких индикатора перформанси модела.

5. Очекивани научни допринос

Резултати истраживања у оквиру ове дисертације омогућиће проширење научног и практичног знања из области заштите животне средине и контроле квалитета:

- биће утврђена селективност и ефикасност примене целулозе и њених деривата у комбинованој комплексирајуће-микрофилтрационој методи за сепарацију јона метала, концентрисање и добијање појединих ретких метала, као и за уклањање тешких метала из воде,

- развојем модела биће могуће да се за испитивање процеса користи мањи број експеримената,
- моделовањем комплексирајуће-микрофилтрационих процеса и предвиђањем њихових сепарационих карактеристика добиће се подаци који могу бити од суштинског значаја за екстраполацију третмана до индустријског обима.

Резултати истраживања у оквиру ове дисертације би требало да покажу високу ефикасност примене целулозе и њених деривата у комбинованој комплексирајуће-микрофилтрационој методи за уклањање тешких метала из воде као и ефикасно и економично концентрисање. Развијени модели могу да допринесу унапређењу процеса пречишћавања отпадних вода у циљу побољшања квалитета животне средине и очувања природних ресурса.

6. План истраживања и структура рада

Предмет рада ове докторске дисертације је моделовање комплексирајуће-микрофилтрационог процеса уклањања тешких метала из воде и предвиђање сепарационих карактеристика вештачким неуронским мрежама. У првој делу истраживања експериментално ће се одредити коефицијенти задржавања јона тешких метала и вредност флукса у процесу комплексирајуће-микрофилтрације, при различитим радним условима као што су рН вредност раствора, радни притисак, концентрација тешких метала, концентрација комплексирајућег агенса, тип комплексног агенса и контра јони у раствору. У другом делу експериментални резултати ће се користити као улазни подаци за АНН и предвиђање коефицијента задржавања и пада флукса. Планирано је да се за моделовање коефицијента задржавања користе две различите архитектуре вештачких неуронских мрежа, неуронска мрежа са општом регресијом (GRNN) и неуронска мрежа са пропагацијом грешке уназад (BPNN). Примениће се два приступа припреме улазних података: сва три метала ће се моделовати симултано и подаци за два метала ће се применити за предвиђање коефицијента задржавања трећег метала. За моделовање експерименталних резултата АНН и предвиђање флукса пермеата користиће се полиномна неуронска мрежа (PNN) заснована на алгоритму групне обраде података (GMDH). Ова мрежа је изабрана као погодан нефизички модел који може имати већу тачност од одговарајућег физичког модела примењеног на систем комплексних улазно-излазних односа и не захтева избор репрезентативног валидационог скупа који је потребан за друге АНН архитектуре, што је само по себи сложен проблем за мале скупове података. Анализа перформанси изабраних модела вршиће се тестирањем развијених модела поређењем моделованих и експериментално одређених вредности коефицијента задржавања и флукса пермеата. АНН модели који буду дали најбоље резултате биће упоређени са конвенционалним моделима коришћењем статистичких индикатора перформанси модела. За испитивање перформанси модела биће примењени следећи статистички индикатори: унапређен индекс перформансе (енг. The refined index of model performance, dr), средња апсолутна грешка (енг. The mean absolute error, MAE), корен средње квадратне грешке (енг. The root mean squared error, RMSE), средња апсолутна грешка у процентима (енг. The mean absolute percentage error, MAPE) и проценат прецењености, тј. потцењености предвиђања (енг. The percent of bias, PBIAS). Предвиђено је да докторска дисертација има следећа поглавља: Увод, Теоријски део, Експериментални део, Резултати и дискусија, Закључак, Литература. У поглављу Увод биће дефинисани главни циљеви дисертације, предмет истраживања и допринос дисертације. Теоријски део обухватиће приказ актуелних истраживања на тему уклањања јона тешких метала процесима ПЕ-УФ и комплексирајуће микрофилтрације, теоријске основе неуронских мрежа, као и примене АНН модела за моделовање процеса мембранске филтрације за пречишћавање отпадне воде. У оквиру поглавља Експериментални део описаће се поступак извођења комплексирајуће-

микрофилтрационе сепарације јона тешких метала, одабир релевантних улазних и излазних променљивих за развој модела, формирање скупова података. Такође, биће описане изабране архитектуре неуронске мреже, тренирање и тестирање модела са одабраним улазним променљивама, предвиђање са непознатим вредностима и на крају оптимизација модела и испитивање перформанси. У поглављу Резултати и дискусија биће приказана анализа резултата добијених спроведеним експериментима, као и дискусија добијених резултата помоћу АНН модела. У поглављу Закључак, на основу извршених експеримената биће сумирани сви добијени резултати. Поглавље Литература ће обухватити наводе цитиране у дисертацији обухватајући и радове настале у току израде докторске дисертације.

7. Закључак и предлог

На основу изнетих података о досадашњем раду и постигнутим резултатима може се закључити да кандидат Зоран Секулић испуњава све потребне услове за рад на предложеној теми докторске дисертације. Такође на основу изнетих података, Комисија сматра да је тема предложене докторске дисертације Зорана Секулића под насловом „Предвиђање сепарационих карактеристика комплексирајуће-микрофилтрационог процеса применом вештачких неуронских мрежа“, научно заснована, и предлаже Наставно-научном већу Технолошко-металуршког факултета да је прихвати. Истраживања у оквиру ове докторске дисертације припадају научној области Инжењерство заштите животне средине, за коју је матичан Технолошко-металуршки факултет Универзитета у Београду. За ментора се предлаже др Катарина Тривунац, доцент Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду.

Београд, 24.06.2019. године

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ:

Др Катарина Тривунац, доцент, Универзитет у
Београду, Технолошко-металуршки факултет

Др Славка Станковић, редовни професор, Универзитет
у Београду, Технолошко-металуршки факултет

Др Антоније Оџија, ванредни професор, Универзитет у
Београду, Технолошко-металуршки факултет

Др Владимир Павићевић, доцент, Универзитет у
Београду, Технолошко-металуршки факултет

Др Тијана Урошевић, доцент, Универзитет у Београду,
Пољопривредни факултет