

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата **Александре Шиљић Томић**

Одлуком Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду бр. 35/160 од 26.04.2018. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата **Александре Шиљић Томић** (девојачко презиме Шиљић) под насловом

„Моделовање кисеоничних параметара квалитета површинских вода применом вештачких неуронских мрежа“.

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

- Школске 2010/2011. године кандидат Александра Шиљић Томић, дипл. инж. технологије, уписала је докторске студије на Технолошко-металуршком факултету Универзитета у Београду.
- 26.06.2014. – На седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду донета је Одлука о именовању Комисије за оцену Завршног испита на докторским студијама Александре Шиљић (удато презиме Шиљић Томић) (Одлука бр. 35/60 од 26.06.2014.).
- 25.09.2014. кандидат Александра Шиљић Томић је одбранила Завршни испит – приступни рад за израду докторске дисертације, под називом „Развој модела за предвиђање кисеоничних параметара квалитета површинских вода применом вештачких неуронских мрежа“ са оценом 10, пред комисијом у саставу: др Виктор Поцајт, ван. проф., др Мирјана Ристић, ред. проф., и др Александра Перић-Грујић, ред. проф.
- 13.05.2016. кандидат Александра Шиљић Томић пријавила је тему докторске дисертације, под називом: „Моделовање кисеоничних параметара квалитета површинских вода применом вештачких неуронских мрежа“.
- 26.05.2016. – На седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду донета је Одлука о именовању Комисије за оцену

- подобности теме и кандидата Александре Шиљић Томић за израду докторске дисертације и научне заснованости теме, под називом „Моделовање кисеоничних параметара квалитета површинских вода применом вештачких неуронских мрежа“ (Одлука бр. 35/268 од 26.05.2016.)
- 23.06.2016. – На седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду донета је Одлука о прихватању Извештаја Комисије за оцену научне заснованости теме и одобрењу израде докторске дисертације Александре Шиљић Томић, под називом „Моделовање кисеоничних параметара квалитета површинских вода применом вештачких неуронских мрежа“. За ментора је одређен др Виктор Поцајт, ван. проф. ТМФ-а (Одлука бр. 35/326 од 23.06.2016.).
 - 04.07.2016. – На седници Већа научних области техничких наука дата је сагласност на предлог теме докторске дисертације Александре Шиљић Томић, под називом: „Моделовање кисеоничних параметара квалитета површинских вода применом вештачких неуронских мрежа“ (Одлука бр. 1747/1 од 11.07.2016.).
 - 06.10.2016. – На седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду, кандидату Александри Шиљић Томић је Одлуком декана продужен рок за завршетак докторских студија за два семестра шк. 2016/2017. године у складу са Статутом Универзитета у Београду и Правилником о докторским студијама факултета (Одлука бр. 20/137 од 06.10.2016.).
 - 21.09.2017. – На седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду, кандидату Александри Шиљић Томић је Одлуком декана продужен рок за завршетак докторских студија за два семестра шк. 2017/2018. године у складу са Статутом Универзитета у Београду и Правилником о докторским студијама факултета (Одлука бр. 35/349 од 21.09.2017.).
 - 26.04.2018. – На седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду донета је Одлука о именовању Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације Александре Шиљић Томић, под називом „Моделовање кисеоничних параметара квалитета површинских вода применом вештачких неуронских мрежа“ (Одлука бр. 35/160 од 26.04.2018.).

1.2. Научна област дисертације

Истраживања рађена у оквиру ове докторске дисертације припадају научној области Инжењерство заштите животне средине, за коју је матичан Технолошко-металуршки факултет Универзитета у Београду. Ментор, др Виктор Поцајт, ванредни професор Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду, је до сада публиковао 25 радова из ове области, био је ментор две одбрањене докторске дисертације, као и члан комисије пет одбрањених магистарских теза и три одбрањене докторске дисертације. На основу досадашњих резултата, сматрамо да је ментор био компетентан да руководи израдом ове докторске дисертације.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Кандидат Александра (Небојша) Шиљић Томић рођена је 18.11.1986. године у Београду, где је 2005. године завршила Пету београдску гимназију на природно-математичком смеру. Исте године уписала је Технолошко-металуршки факултет Универзитета у Београду, студијски програм хемијска технологија, студијско подручје Инжењерство заштите животне средине.

Факултет је завршила 2010. године са просечном оценом 8,79, а завршни рад под називом „Оптимизација методе припреме узорка за симултану детекцију остатака пестицида и лекова у води“ одбранила је са оценом 10,00. Стручну праксу обавила је на Институту за енергетску процесну технику и хемијско инжењерство, Факултета за машинство, процесно и енергетско инжењерство, Техничког Универзитета за ресурсе у Фрајбергу, Немачка (нем. Institut für Energieverfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen, Fakultät für Maschinenbau, Verfahrens- und Energietechnik, Technische Universität Bergakademie Freiberg, Deutschland) уз подршку IAESTE програма студентске размене у периоду фебруар-март 2010. године, а затим и на Одељењу за међународне односе, Агенције за животну средину у Бечу, Аустрија (нем. Abteilung für Internationale Beziehungen, Umweltbundesamt, Wien, Österreich) уз подршку Фондације др Зоран Ђинђић у периоду септембар-децембар 2010. године.

Школске 2010/2011. године уписала је докторске студије на Технолошко-металуршком факултету Универзитета у Београду, на студијском програму Инжењерство заштите животне средине. На захтев кандидата, и уз сагласност ментора, Наставно-научно веће Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду је Одлукама декана бр. 20/137 од 06.10.2016. и бр. 35/349 од 21.09.2017. продужило рок за завршетак докторских студија до 01.10.2018. Од фебруара до априла 2011. године била је ангажована у Иновационом центру Технолошко-металуршког факултета. 2011. године ангажована је у међународној невладиној организацији *Zoë Environment Network* са седиштем у Женеви, где је радила на развоју индикатора у области животне средине за земље Западног Балкана, по угледу на индикаторе Европске агенције за животну средину. Имала је прилике да учествује у бројним студијским посетама и на регионалним и међународним радионицама. У периоду 2012-2014. године била је ангажована као предавач на обукама представника цивилног друштва и локалних самоуправа организованих од стране Организације за европску безбедност и сарадњу – ОЕБС (енгл. *Organization for Security and Co-operation in Europe, OSCE*) у регионалним Архус центрима, са циљем унапређења комуникације и приступа информацијама од значаја у области заштите животне средине.

Од фебруара 2015. године ради за Програм Уједињених нација за животну средину (енгл. *United Nations Environment Programme, UN Environment*) на позицији пројект-координатора за пројекте и иницијативе који се спроводе у Републици Србији на локалном и националном нивоу, а финансирају се из Светског фонда за животну средину и других извора.

Кандидат се у свом раду користи основним и напредним софтверским пакетима. Течно говори енглески језик, служи се француским и немачким језиком.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација Александре Шиљић Томић је написана на 181 страни и садржи 10 поглавља, у оквиру 5 целина: Увод, Теоријски део, Експериментални део, Резултати и дискусија и Закључак. Дисертација садржи 26 слика, 26 табела и 158 литературна навода. Додатно у Прилогу Дисертације дато је још 11 слика и 36 табела. На почетку дисертације дат је Резиме на српском и енглеском језику, као и спискови слика и табела, док су Литература и биографија аутора дати на крају дисертације.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У уводном поглављу изложен је кратак опис проблематике загађења површинских вода и указано је на неопходност доступности података о квалитету вода. У оквиру овог поглавља дефинисани су циљ и предмет и представљена је структура докторске дисертације.

У делу који се бави теоријским разматрањима детаљније је представљена проблематика квалитета површинских вода у контексту одрживог развоја, представљени су кисеонични параметри и мониторинг са граничним вредностима у Републици Србији. Такође, описани су класични модели за моделовање квалитета вода, вештачке неуронске мреже, као и конвенционални модел вишеструке линеарне регресије. На крају, представљене су коришћене технике за одабир улазних параметара и оптимизацију неуронске мреже.

У експерименталном делу описана је процедура развоја модела заснованог на вештачкој неуронској мрежи за предвиђање кисеоничних параметара, дат је опис терена на коме су вршена истраживања и изложен је процес прикупљања и анализе улазних података, као и преглед статистичких показатеља перформанси.

Резултати и дискусија представљени су кроз четири поглавља: у оквиру првог поглавља описано је предвиђање нивоа БПК на националном нивоу за 20 држава које су редовно извештавале према Европској канцеларији за статистику у периоду од 2000. до 2008. године; у оквиру другог поглавља представљено је моделовање нивоа БПК вредности на току реке Дунав кроз Републику Србију, коришћењем 18 параметара квалитета вода који се редовно прате на 17 станица за мониторинг у виду улазних променљивих. Вештачке неуронске мреже се често примењују за предвиђање нивоа раствореног кисеоника, али се такође често проверава само њихова способност за интерполацију. Из тог разлога, у оквиру трећег поглавља представљен је развој модела за предвиђање садржаја раствореног кисеоника у реци Дунав, на коме је, поред интерполације, испитана његова способност за екстраполацију, као и оцењена зависност између значаја улаза и грешке предвиђања приликом коришћења вредности које одступају из опсега обуке. На крају, у оквиру четвртог поглавља приказана је примена методе симултане оптимизације улазних фактора за одређивање садржаја раствореног кисеоника, тако што је модел заснован на вештачкој неуронској мрежи куплован са експерименталним дизајном и методологијом резултујућих површина.

На самом крају је у оквиру закључка дат кратак преглед истраживања са описом потенцијалне примене добијених модела за предвиђање концентрације БПК и раствореног кисеоника у површинској (речној) води.

На крају дисертације наведена је Литература, која садржи све референце цитиране у раду.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Одрживо коришћење и очување природних ресурса постало је императив модерног друштва. Бројни антропогени утицаји довели су до погоршања квалитета слатководних ресурса, а нарочито водотокова који представљају један од главних извора водоснабдевања. У последње време, често се примењују модели и одговарајуће симулационе технике које су способне да реше нелинеарне проблеме сложених система као што је предвиђање параметара квалитета вода. Вештачке неуронске мреже су широко применљиве и до данас примењене као ефикасан метод за предвиђање параметара квалитета вода, а нарочито су се dobrим показале за предвиђање кисеоничних параметара квалитета вода. Оне имају способност да

успешно предвиђају вредности излазног параметра који је нелинарно повезан са улазним параметрима. Методологија примењена у овом раду комбинује ANN моделе са доступним индикаторима одрживости, индустријским и економским индикаторима, као и бројним параметрима квалитета вода, при чему се добијају модели који омогућују тачније, брже и једноставније предвиђање вредности кисеоничних параметара у површинским водама на националном и субнационалном нивоу. Да би се додатно побољшали резултати ANN модела и смањио број неопходних улазних променљивих, примењене су различите хеометријске методе за оцену значајности примарно одабраних улазних променљивих.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

У току израде докторске дисертације кандидат је прегледао литературу везану за моделовање кисеоничних параметара квалитета вода, као и литературу у којој су описани развој и примена модела базираних на вештачким неуронским мрежама у области заштите животне средине. Прегледана је обимна литература која се односи на процену стања и квалитета површинских вода, одређивање кисеоничних параметара квалитета, вештачке неуронске мреже и хеометријске методе.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

На основу експерименталних података, добијених различитим инструменталним и класичним техникама, као и података о економском, индустријском и одрживом развоју за одабране европске земље, у експерименталном делу вршено је моделовање концентрација кисеоничних параметара које се користе као индикатори квалитета површинских вода, уз одабир улазних променљивих коришћењем одговарајућих хеометријских метода (корелационе анализе, технике Монте Карло симулација, експерименталног дизајна и методологије резултујућих површина). Развијена је ANN методологија за моделовање нивоа биолошке потрошње кисеоника у површинским водама (рекама) на националном нивоу за више Европских земаља, као и нивоа биолошке потрошње кисеоника и концентрације раствореног кисеоника у реци Дунав на његовом току кроз Републику Србију, при чему су примењене различите архитектуре неуронских мрежа: Неуронска мрежа са пропагацијом грешке уназад (енгл. *Backpropagation Neural Network - BPNN*), Неуронска мрежа са општом регресијом (енгл. *General Regression Neural Network - GRNN*) и Полиномална неуронска мрежа (енгл. *Polynomial Neural Network, PNN*). Анализа перформанси модела вршена је тестирањем развијених модела кроз поређење моделованих и измерених вредности концентрација кисеоничних параметара. ANN модели су такође упоређивани са линеарним моделима. У ове сврхе коришћени су статистички индикатори перформансе модела: индекс слагања (IA) и унапређени индекс слагања (d_r), проценат предвиђених вредности у оквиру фактора 1,25 ($FA_{1,25}$), средња апсолутна грешка (MAE), корен средње квадратне грешке ($RMSE$), средња апсолутна грешка у процентима ($MAPE$) и проценат пристрасности ($PBIAS$).

3.4. Применљивост остварених резултата

Повишене вредности кисеоничних параметара директно указују на степен загађености водних ресурса, те служе да информишу доносиоце одлука и наведу на правовремено реаговање у случају појаве загађења. У циљу што ефикаснијег и економичнијег долажења до информација о вредностима кисеоничних параметара квалитета површинских вода, у оквиру израде ове докторске дисертације развијено је шест модела заснованих на вештачким неуронским мрежама коришћењем широко доступних економских, индустријских и индикатора одрживог развоја, као и параметара квалитета вода који се редовно прате на мониторинг станицама у оквиру државне мреже за мониторинг Републике Србије. Оваквим

приступом је превазиђен проблем недостатака улазних података, који је у многим случајевима ограничавајући фактор за примену моделовања. Употребна вредност модела се заправо огледа у могућности предвиђања квалитета на основу тренутно доступних информација и података, што свакако доприноси контроли загађења, али и креирању политика у области животне средине у ширем смислу. Добијени модели се могу применити за предвиђање вредности кисеоничних параметара приликом попуњавања историјских празнина у извештајима о мониторингу, појаве случајног загађења реке узводно, затим за предвиђање њихових будућих вредности, па чак и за симулацију могућих последица регулаторних, инфраструктурних и индустријских промена на концентрацију ових параметара у рекама.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Кандидат Александра Шилић Томић је током припреме и реализације експеримената, анализе и моделовања добијених резултата, у оквиру израде докторске дисертације, показала стручност, креативност и систематичност. Комисија сматра да кандидат поседује све квалитете који су неопходни за самосталан научни рад.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

Резултати истраживања урађених током израде ове докторске дисертације представљају значајан научни допринос:

- развијена је, тестирана и примењена ANN методологија за моделовање одабраних кисеоничних параметара квалитета површинских вода;
- развијено је и примењено шест ANN модела за предвиђање одабраних кисеоничних параметара квалитета површинских вода на националном и локалном нивоу;
- у циљу ефикасног одабира улазних променљивих модела развијено је више процедура одабира улазних променљивих са различитим хеометријским методама, чиме се уједно дошло до сазнања о међусобном утицају и повезаности појединих параметара квалитета вода;
- извршена је детаљна анализа перформанси развијених модела коришћењем одговарајућих статистичких показатеља;
- најбољи ANN модели упоређени су са одговарајућим линеарним математичким моделима;
- показано је да се добијени модели могу користити за предвиђање вредности одређених кисеоничних параметара квалитета површинских вода, уз примену знатно мање улазних података у односу на почетне моделе.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Истраживања којима се бави ова докторска дисертација су конципирана на основу дефинисаних циљева и детаљне анализе литературе из области моделовања кисеоничних параметара квалитета површинских вода. У дисертацији је делом примењена ANN методологија заступљена у литератури, при чему су одговарајуће фазе у развоју ANN модела прилагођене специфичностима у области заштите животне средине. Развијене су и нове процедуре за одабир улазних променљивих модела, чиме су побољшане перформансе развијених модела. Развој ANN модела за предвиђање одабрана два кисеонична параметра квалитета површинских вода детаљно је испитан, а на основу резултата истраживања изведени су одговарајући закључци, релевантни за евентуалну примену развијене методологије за моделовање осталих параметара квалитета површинских вода. Адекватним

избором и применом одговарајућих хеометријских метода код одабира улазних променљивих, побољшана су предвиђања развијених ANN модела, а такође су добијена сазнања о међусобном утицају и повезаности појединих параметара квалитета вода. Увидом у доступну литературу из ове области истраживања и резултате истраживања добијене у оквиру овога рада, може се констатовати да предложена ANN методологија значајно поједностављује предвиђање вредности одређених кисеоничних параметара површинских вода, у односу на класичне методе лабораторијског испитивања, што представља посебан научни допринос у области испитивања квалитета површинских вода.

4.3. Верификација научних доприноса

Из дисертације је публиковано четири рада која су објављена у часописима међународног значаја (ознака групе M20: врста резултата M21a – 1 рад, M21 - 1 рад, M22 - 2 рада). Додатно, из дисертације су објављена три саопштења приказана на скуповима националног значаја (ознака групе M60: врста резултата M64 - 3 саопштења).

Списак објављених радова и саопштења:

Радови објављени у научним часописима међународног значаја (M20)

Категорија M21a - Рад у међународном часопису изузетних вредности:

1. **Šiljić Tomić A.**, Antanasijević D., Ristić M., Perić-Grujić A., Pocajt V.: A linear and non-linear polynomial neural network modeling of dissolved oxygen content in surface water: Inter- and extrapolation performance with inputs' significance analysis, *Science of the Total Environment*, vol 610–611, pp. 1038–1046, 2018. (**IF (2016) = 4.900**) (ISSN 0048-9697)

Категорија M21 - Рад у врхунском међународном часопису:

1. **Šiljić, A.**, Antanasijević, D., Perić-Grujić, A., Ristić, M., Pocajt, V.: Artificial neural network modelling of biological oxygen demand in rivers at the national level with input selection based on Monte Carlo simulations, *Environmental Science and Pollution Research*, vol 22, pp. 4230-4241, 2015 (**IF (2015) = 2,760**) (ISSN 0944-1344)

Категорија M22 - Рад у истакнутом часопису међународног значаја:

1. **Šiljić Tomić A.**, Antanasijević D., Ristić M., Perić-Grujić A., Pocajt V.: Application of experimental design for the optimization of artificial neural network-based water quality model: a case study of dissolved oxygen prediction, *Environmental Science and Pollution Research*, vol 25 (10), pp. 9360–9370, 2018. (**IF (2016) = 2.741**) (ISSN 0944-1344)
2. **Šiljić Tomić, A. N.**, Antanasijević, D. Z., Ristić, M. Đ., Perić-Grujić, A. A., Pocajt, V. V.: Modeling the BOD of Danube River in Serbia using spatial, temporal and input variable optimized artificial neural network models, *Environmental Monitoring and Assessment*, vol 188, pp. 300 (1-12), 2016 (**IF (2016) = 1.687**) (ISSN 0167-6369)

Категорија М64 - Саопштење са скупа националног значаја штампано у изводу:

1. **Šiljić Tomić A.**, Antanasijević D., Ristić M., Perić-Grujić A., Pocajt V.: Application of experimental design for the optimization of artificial neural network models, *Book of Abstracts of the 54th Meeting of the Serbian Chemical Society*, Belgrade, Serbia, September 29 and 30, p. 41, 2017. (ISBN 978-86-7132-067-2)
2. **Šiljić Tomić A. N.**, Antanasijević D.Z., Ristić M. Đ., Perić-Grujić A. A, Pocajt V. V.: Predicting BOD levels in the River Danube in Serbia using optimized Artificial Neural Network, *Book of Abstracts of the 52nd Meeting of the Serbian Chemical Society*, Novi Sad, Serbia, May 29 and 30, p. 76, 2015. (ISBN 978-86-7132-056-6)
3. **Šiljić A. N.**, Antanasijević D.Z., Perić-Grujić A. A, Ristić M. Đ., Pocajt V. V.: Prediction of national BOD level in rivers using Artificial Neural Networks and Monte Carlo Simulations, *Book of Abstracts of the 51st Meeting of the Serbian Chemical Society*, Niš, Serbia, June 5-7, p. 58, 2014. (ISBN 978-86-7132-054-2)

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу свега напред изложеног, Комисија сматра да докторска дисертација кандидата **Александре Шиљић Томић**, под називом „**Моделовање кисеоничних параметара квалитета површинских вода применом вештачких неуронских мрежа**“ представља значајан, оригиналан научни допринос у области Инжењерства заштите животне средине, што је потврђено, између осталог, и објављивањем радова у релевантним часописима међународног значаја, као и презентовањем резултата истраживања на релевантним скуповима. Испитана је примена различитих архитектура вештачких неуронских мрежа за моделовање квалитета површинских вода, при чему су развијени модели за предвиђање вредности два кисеонична параметра на националном и локалном нивоу. Кандидат је самостално и систематично урадио истраживања и анализу добијених резултата.

Комисија предлаже Наставно-научном већу Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду да се докторска дисертација под називом „**Моделовање кисеоничних параметара квалитета површинских вода применом вештачких неуронских мрежа**“ кандидата **Александре Шиљић Томић**, дипл. инж. технол., прихвати, изложи на увид јавности и упути на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

У Београду, 18. јуна 2018. године

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

.....
Проф. др Виктор Поцајт, ванредни професор
Универзитет у Београду,
Технолошко-металуршки факултет

.....
Проф. др Мирјана Ристић, редовни професор
Универзитет у Београду,
Технолошко-металуршки факултет

.....
Проф. др Александра Перић-Грујић, редовни професор
Универзитет у Београду,
Технолошко-металуршки факултет

.....
Др Давор Антанасијевић, научни сарадник,
Иновациони центар
Технолошко-металуршког факултета у Београду