

ТЕХНОЛОШКО-МЕТАЛУРШКИ
ФАКУЛТЕТ
35/326
(Број захтева)

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

24.06. 2016.
(Датум)

ЗАХТЕВ

за давање сагласности на предлог теме докторске дисертације

Молимо да, сходно члану 46. ст. 5. тач. 3. Статута Универзитета у Београду („Гласник Универзитета“, број 131/06), дате сагласност на предлог теме докторске дисертације:

**„Моделовање кисеоничних параметара квалитета површинских вода
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:

АЛЕКСАНДРА (Небојша) ШИЉИЋ ТОМИЋ, дипл. инж.

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

3. Година дипломирања: 2010.

4. Назив факултета на коме је магистарска теза одбрањена: /

Година одбране магистарске тезе: /

Студент је уписан на докторске академске студије шк. 2010/2011. године.

Обавештавамо Вас да је Наставно-научно веће,
(назив надлежног тела Факултета)

на седници одржаној 23.06.2016. године размотрило предложену тему и закључило да је тема подобна за израду докторске дисертације.

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА

Проф. др Ђорђе Јанаћковић

ДП

На основу чл. 30. став 3. Закона о високом образовању, чл. 40. Статута ТМФ-а и чл. 32. Правилника о докторским студијама ТМФ, на седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета од 23.06.2016. 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 АЛЕКСАНДРЕ ШИЉИЋ ТОМИЋ, дипл. инж., под називом: „Моделовање кисеоничних параметара квалитета површинских вода применом вештачких неуронских мрежа“.

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

За ментора се одређује др Виктор Поцајт, ванредни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет

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

Д Е К А Н

Проф. др Ђорђе Јанаћковић

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ

за кандидата Александру Шиљић Томић

Име и презиме ментора: Виктор Поцајт

Звање: ванредни професор

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. *D. Z. Antanasijević, V. V. Pocajt, M. Đ. Ristić, A. A. Perić-Grujić, Modeling of energy consumption and related GHG (greenhouse gas) intensity and emissions in Europe using general regression neural networks, Energy, 84 (2015) 816-824. ISSN 0360-5442, IF(2014)=4,844*
2. *D. Z. Antanasijević, M. Đ. Ristić, A. A. Perić-Grujić, V. V. Pocajt, Forecasting GHG emissions using optimized artificial neural network model based on correlation and principal component analysis, International Journal of Greenhouse Gas Control, 20 (2014) 244-253. ISSN 1750-5836, IF(2014)=3,946*
3. *L. J. Stamenković, D. Z. Antanasijević, M. Đ. Ristić, A. A. Perić-Grujić, V. V. Pocajt, Modeling of ammonia emission in the United States and EU countries using artificial neural networks approach, Environmental Science and Pollution Research, 22 (2015) 18849–18858. ISSN 0944-1344, IF(2014)=2,828*
4. *L. J. Stamenković, D. Z. Antanasijević, M. Đ. Ristić, A. A. Perić-Grujić, V. V. Pocajt, Modeling of CH₄ emissions using artificial neural network approach, Journal of the Serbian Chemical Society, 80 (2015) 421-433. ISSN 0352-5139, IF(2014)=0,889*
5. *D. Antanasijević, V. Pocajt, D. Povrenović, M. Ristić, A. Perić-Grujić, PM₁₀ Emission Forecasting Using Artificial Neural Networks and Genetic Algorithm Input Variables Optimization, Science of The Total Environment, 443 (2013) 511-519. ISSN 0048-9697, IF(2014)=4,099*

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

А) У случају менторства дисертације на докторским студијама у групацији техникотехнолошких, 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: 13.06.2016.

М.П.

Проф. др Ђорђе Јанаћковић

NASTAVNO-NAUČNOM VEĆU

Predmet: Podobnost teme i kandidata Aleksandre Šiljić Tomić za izradu doktorske disertacije

Odlukom Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu br. 35/268 od 26.05.2016. godine, imenovani smo za članove Komisije za ocenu podobnosti teme i kandidata Aleksandre Šiljić Tomić za izradu doktorske disertacije i naučne zasnovanosti teme „Modelovanje kiseoničnih parametara kvaliteta površinskih voda primenom veštačkih neuronskih mreža“.

Na osnovu materijala priloženog uz Zahtev kandidata, Komisija podnosi sledeći

R E F E R A T

1. Podaci o kandidatu

1.1. Biografski podaci

Aleksandra (Nebojša) Šiljić Tomić rođena je 18.11.1986. godine u Beogradu, gde je 2005. godine završila Petu beogradsku gimnaziju na prirodno-matematičkom smeru. Iste godine upisala je Tehnološko-metalurški fakultet Univerziteta u Beogradu, smer Inženjerstvo zaštite životne sredine. Fakultet je završila 2010. godine sa prosečnom ocenom 8,79, a završni rad „Optimizacija metode pripreme uzorka za simultanu detekciju ostataka pesticida i lekova u vodi“ odbranila je sa ocenom 10,00. Stručnu praksu obavila je na *Institut für Energieverfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen, Fakultät für Maschinenbau, Verfahrens- und Energietechnik, Technische Universität Bergakademie Freiberg, Deutschland* (Institutu za energetske procesne tehnike i hemijsko inženjerstvo, Fakulteta za mašinstvo, procesno i energetske inženjerstvo, Tehničkog Univerziteta za resurse u Frajbergu, Nemačka) uz podršku IAESTE programa studentske razmene u periodu februar-mart 2010. godine, a zatim i u *Abteilung für Internationale Beziehungen, Umweltbundesamt, Wien, Österreich* (Odeljenju za međunarodne odnose, Agencije za životnu sredinu u Beču, Austrija) uz podršku Fondacije dr Zoran Đinđić u periodu septembar-decembar 2010. godine.

Školske 2010/2011. godine upisala je doktorske studije na Tehnološko-metalurškom fakultetu Univerziteta u Beogradu, na studijskom programu Inženjerstvo zaštite životne sredine. Od februara do aprila 2011. godine bila je angažovana u Inovacionom centru Tehnološko-metalurškog fakulteta. 2011. godine angažovana je u međunarodnoj nevladinoj organizaciji *Zoë Environment Network* sa sedištem u Ženevi, gde je radila na razvoju indikatora u oblasti životne sredine za zemlje Zapadnog Balkana, po ugledu na indikatore Evropske agencije za životnu sredinu. Imala je prilike da učestvuje u brojnim studijskim posetama i na regionalnim i međunarodnim radionicama. U periodu 2012.-2014. godine bila je angažovana kao predavač na obukama predstavnika civilnog društva i lokalnih samouprava organizovanih od strane OEBS-a u regionalnim Arhus centrima sa

ciljem unapređenja komunikacije i pristupa informacijama od značaja u oblasti zaštite životne sredine.

Od februara 2015. godine radi za Program Ujedinjenih nacija za životnu sredinu (UNEP) na poziciji konsultanta za pripremu i implementaciju projekata finansiranih iz Svetskog fonda za životnu sredinu i drugih inicijativa u Republici Srbiji.

Kandidat se u svom radu koristi osnovnim i naprednim softverskim paketima. Tečno govori engleski jezik, služi se francuskim i nemačkim jezikom.

1.2. Stečeno naučnoistraživačko iskustvo

Aleksandra Šiljić Tomić je u okviru doktorskih studija položila sve ispite (12) predviđene studijskim programom, sa prosečnom ocenom 9,67. Završni ispit (pristupni rad za izradu doktorske disertacije) pod nazivom „*Razvoj modela za predviđanje kiseoničnih parametara kvaliteta površinskih voda primenom veštačkih neuronskih mreža*“ je odbranila u septembru 2014. godine sa ocenom 10 pred komisijom u sastavu: dr Viktor Pocajt, van. prof., dr Mirjana Ristić, red. prof. i dr Aleksandra Perić-Grujić, red. prof. Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu.

Položeni ispiti i ostvareni bodovi u okviru doktorskih studija

Redni broj	Naziv predmeta	ESPB
1.	Industrijska ekologija	5
2.	Hemijska kinetika	5
3.	Odabrana poglavlja instrumentalne analize	7
4.	Modelovanje atmosferske disperzije	5
5.	Matematička obrada eksperimentalnih podataka	5
6.	Industrijske vode	4
7.	Ekonomija životne sredine i održivi razvoj	4
8.	Analiza tragova specifičnih zagađujućih materija	4
9.	Viši kurs termodinamike	5
10.	Ambalaža za specijalne namene	4
11.	Odabrana poglavlja tehnologije građevinskih materijala	4
12.	Završni ispit – pristupni rad za izradu doktorske disertacije	30
Ukupno		82

Aleksandra Šiljić Tomić, dipl. inž. tehnologije, od decembra 2011. godine bila je uključena u rad Laboratorije za tečnu hromatografiju - masenu spektrometriju (LC-MS) na Tehnološko-metalurškom fakultetu, a od februara do aprila 2011. godine bila je angažovana na Projektu „*Razvoj i primena metoda i materijala za monitoring novih zagađujućih i toksičnih organskih materija i teških metala*“ Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije (broj projekta 172007).

Oblast naučnoistraživačkog rada Aleksandre Šiljić Tomić obuhvata primenu neuronskih mreža za predviđanje kiseoničnih parametara kvaliteta površinskih voda, tj. njihovih godišnjih vrednosti u rekama na nacionalnom nivou, koristeći indikatore održivog razvoja, ekonomske i industrijske indikatore, kao i predviđanje kiseoničnih parametara za pojedinačnu reku ili deo njenog toka, koristeći dostupne merljive parametre kvaliteta vode.

Iz oblasti istraživanja kojoj pripada predložena tema doktorske disertacije, Aleksandra Šiljić Tomić je koautor dva rada objavljena u časopisima međunarodnog značaja (oznaka grupe **M20**: vrsta rezultata **M21** - 1 rad, **M22** - 1 rad) i dva saopštenja prikazana na skupovima nacionalnog značaja (oznaka grupe **M60**: vrsta rezultata **M64** - 2 saopštenja). Pored navedenog, kandidat je koautor jednog rada objavljenog u časopisu nacionalnog značaja i jednog saopštenja sa skupa nacionalnog značaja.

Spisak objavljenih radova i saopštenja:

Radovi objavljeni u naučnim časopisima međunarodnog značaja (M20)

- Rad u vrhunskom međunarodnom časopisu (M21)

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, 2015, pp. 4230-4241 (IF (2014) = 2,828) (ISSN 0944-1344)

- Rad u istaknutom časopisu međunarodnog značaja (M22)

1. **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, 2016, pp. 300 (1-12) (IF (2014) = 1.679) (ISSN 0167-6369)

Radovi objavljeni u časopisima nacionalnog značaja (M50)

- Rad u časopisu nacionalnog značaja (M52)

1. **Šiljić A.**, Ružić J., Knežević M., Maksimović A., Ristić M.: *Očuvanje prirodnih resursa reciklažom materijala iz komunalnog otpada*, Ecologica, br. 54, 2009., str. 169-172 (YU ISSN 0354 - 3285)

Zbornici skupova nacionalnog značaja (M60)

- Saopštenje sa skupa nacionalnog značaja štampano u celini (M63)

1. Ružić J., Rokvić M., **Šiljić A.**: *Primena analize materijalnih tokova na sistem upravljanja otpadom u gradu Čačku*, Zbornik radova sa 6. Simpozijuma „Reciklažne tehnologije i održivi razvoj“, Soko Banja, Srbija, 18.-21. septembar, 2011., str. 210-215 (ISBN 978-86-80987-86-6)

- Saopštenje sa skupa nacionalnog značaja štampano u izvodu (M64)

1. **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, 2014, p. 58. (ISBN 978-86-7132-054-2)
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*

1.3. Ocena podobnosti kandidata za rad na predloženoj temi

Na osnovu dosadašnjeg rada i ostvarenih rezultata tokom doktorskih studija, Aleksandra Šiljić Tomić je pokazala izuzetnu sklonost i sposobnost za bavljenje naučnoistraživačkim radom. Do sada je objavila dva rada u međunarodnim časopisima, jedan rad u časopisu nacionalnog značaja, kao i tri saopštenja na domaćim skupovima. Iz oblasti istraživanja kojoj pripada predložena tema doktorske disertacije, kandidat je koautor dva naučna rada objavljena u časopisima međunarodnog značaja i dva saopštenja prikazana na domaćim skupovima. Shodno navedenom, Komisija smatra da kandidat ispunjava uslove za rad na predloženoj temi doktorske disertacije.

2. Predmet i cilj istraživanja

Prikaz predmeta istraživanja i hipotetičkih stavova o problemu koji se istražuje

Kvalitet površinske vode je bitan segment integrisanog upravljanja vodnim resursima, ali takođe i jedna od ključnih tema održivog razvoja. Među indikatorima održivog razvoja nalazi se i biološka potrošnja kiseonika slatkovodnih resursa, dok je biološka potrošnja kiseonika u vodama rečnih slivova jedini indikator kvaliteta voda koji je svaka članica EU u obavezi da prati i izveštava. Poznato je da kvalitet vodotoka u blizini naseljenih i/ili industrijskih i poljoprivrednih zona opada sa njenim tokom, intenzitetom koji zavisi od industrijskih, poljoprivrednih i drugih antropogenih aktivnosti u slivu.

Među brojnim parametrima koji se ispituju pri analizi kvaliteta vode ali i utvrđivanju izvora zagađenja, kiseonični parametri zauzimaju najznačajniju ulogu. Biološka potrošnja kiseonika (BPK) se odnosi na količinu kiseonika koja je potrebna za biološku oksidaciju (razgradnju) organskog zagađenja u vodi, dok je hemijska potrošnja kiseonika (HPK) mera prisustva oksidabilnih supstanci, nezavisno od toga da li su organskog ili neogranskog porekla. Razlika između ova dva kiseonična parametra ukazuje na prisustvo supstanci koje nisu podložne biorazgradnji. Treći kiseonični parametar – koncentracija rastvorenog kiseonika u vodi je obrnuto srazmerna nivou BPK, pa tako visoke vrednosti BPK ukazuju na nisku koncentraciju rastvorenog kiseonika, odnosno viši stepen zagađenja, tj. nižu klasu ekološkog statusa vodotoka. Metode za određivanje pomenutih kiseoničnih parametara su vremenski zahtevne, iziskuju dodatne troškove, kao i kvalifikovano osoblje, a uslovi za njihovo laboratorijsko određivanje se obično razlikuju od onih u akvatičnoj sredini. Pored toga, pouzdanost podataka zavisi, ne samo od preciznosti mernih instrumenata kojima se određuje vrednost parametara, ili usvojene analitičke metode za određivanje parametra, već i od načina uzorkovanja. Takođe, kiseonik utrošen za disanje algi, oksidaciju amonijaka, ili prisustvo toksičnih supstanci mogu uticati na mikrobološku aktivnost, a samim tim i na vrednost BPK koja će biti drugačija od očekivane za razgradnju organske materije.

Upravo problematika merenja i prikupljanja podataka radi izveštavanja dovela je poslednjih decenija do istraživanja u cilju pronalaženja modela za predviđanje parametara kvaliteta voda u okviru ocene stanja, koji bi bili niskobudžetni, pouzdani i davali rezultate u kratkom vremenskom periodu. U tom pogledu, matematički modeli danas predstavljaju važan alat u upravljanju vodnim resursima. Međutim, klasični modeli su dosta složeni i zahtevaju veliki broj informacija i podataka koji nisu lako dostupni. Takođe, veliki broj faktora koji utiču na kvalitet vode su u međusobnim kompleksnim nelinearnim zavisnostima koje se ne mogu jednostavno objasniti, niti matematički prikazati. Veštačke neuronske mreže (eng. Artificial Neural Networks, ANN) kojima su dobijeni

dobri rezultati u predviđanju kvaliteta voda, a u poslednje vreme i pojedinačnih parametara kvaliteta voda, izdvajaju se kao pogodna metoda u poređenju sa tradicionalnim tehnikama modelovanja.

Ciljevi istraživanja, naučno predviđanje ciljeva u funkciji nivoa naučnog saznanja

Ciljevi predloženog istraživanja su:

- razvoj i optimizacija modela neuronskih mreža za predviđanje kiseoničnih parametara na nacionalnom nivou uz primenu ekonomskih i industrijskih indikatora, kao i indikatora održivog razvoja kao ulaznih veličina modela;
- razvoj i optimizacija modela za predviđanje kiseoničnih parametara na lokalnom nivou, na osnovu prostorne raspodele mernih tačaka, vremenske raspodele dostupnih podataka i finalnog odabira ulaznih promenljivih, pojedinačno, a zatim i kroz simultanu (višekriterijumsku) optimizaciju modela.

Osvrt na relevantne bibliografske izvore i ostvarene rezultate na koje se nadovezuju predviđena istraživanja u predloženoj disertaciji

U poslednje vreme, veštačke neuronske mreže (ANN) su uspešno primenjivane u oblasti zaštite vodnih resursa, bilo da se radi o hidrološkim procesima, upravljanju vodnim resursima, problematici podzemnih voda, problematici kvaliteta voda, ili konkretno predviđanju pojedinačnih parametara (kao što je rastvoren kiseonik i u dosta manjoj meri BPK). ANN je softverski alat za nelinearno modelovanje koji se sastoji iz velikog broja procesnih jedinica, međusobno povezanih po ugledu na nervni sistem sastavljen od neurona povezanih sinapsama, tako da simuliraju proces učenja ljudskog mozga. [1] Po ugledu na biološke procese u nervnom sistemu, kod kojih jedinka uči na osnovu iskustva, neuronske mreže se obučavaju na osnovu primera, usvajajući funkcionalne zavisnosti među podacima u slučajevima kada su veze među njima nepoznate ili se teško mogu opisati. Stoga se ANN smatraju višepromenljivom, nelinearnom, neparametarskom statističkom metodom [2].

Za primenu ANN je neophodno imati veći broj podataka (vremenskih serija) za obučavanje i testiranje mreže, kako bi se postigli dobri rezultati [3]. Primena ANN u oblasti procene kvaliteta voda zasniva se na modelovanju i predviđanju parametara, uz adekvatnu optimizaciju mreže, i opciono korelaciju i procenu značaja među promenljivama. Proces modelovanja veštačkim neuronskim mrežama započinje metodom odabira ulaznih promenljivih, sakupljanjem potrebnih podataka, kreiranjem skupa podataka za obučavanje, zatim sledi predprocesiranje podataka, kreiranje mreže (izbor algoritma za učenje, arhitekture), treniranje i testiranje modela sa odabranim ulaznim promenljivama, predikcija sa nepoznatim vrednostima i na kraju optimizacija modela i ispitivanje performansi. Model koji pokazuje zadovoljavajuće performanse se preporučuje za dalju primenu u predviđanju parametara u realnom vremenu, u situacijama očekivanog visokog rizika kada je potrebna brza procena stanja, za popunjavanje praznina prilikom redovnog izveštavanja ili istorijskih vremenskih serija podataka, i u druge svrhe.

Iako je u literaturi najčešće korišćena arhitektura neuronske mreže sa propagacijom greške unazad (eng. Back Propagation Neural Network, BPNN) [4-14], dobri rezultati u modelovanju u oblasti zaštite životne sredine dobijeni su i korišćenjem neuronske mreže sa opštom regresijom (eng. General Regression Neural Network, GRNN) [15]. GRNN se takođe pokazala kao efikasnija alternativa u odnosu na BPNN, uzevši u obzir grešku predviđanja tokom obučavanja i naročito validacije, ali i celokupno vreme obrade podataka [16].

Analizom literature, utvrđen je nedostatak istraživanja koja se bave predviđanjem nivoa BPK i koncentracije rastvorenog kiseonika na nacionalnom nivou, kao i nedovoljna posvećenost

predviđanju nivoa BPK uopšte. Sprovedena istraživanja su lokalnog karaktera, a primećena je i homogenost u izboru arhitekture mreže (BPNN).

Literatura:

- [1] Balas, C. E., Koç, M. L., Tür, R.: *Artificial neural networks based on principal component analysis, fuzzy systems and fuzzy neural networks for preliminary design of rubble mound breakwaters*, Applied Ocean Research, Vol 4, No 322010, pp. 425–433. doi:10.1016/j.apor.2010.09.005
- [2] Zhang, G., Patuwo, B. E., Hu, M. Y.: *Forecasting with artificial neural networks : The state of the art*, International Journal of Forecasting, No 14, 1998, pp. 35–62.
- [3] Melesse, A. M., Ahmad, S., McClain, M. E., Wang, X., Lim, Y. H.: *Suspended sediment load prediction of river systems: An artificial neural network approach*, Agricultural Water Management, Vol 5, No 98, 2011, pp. 855–866. doi:10.1016/j.agwat.2010.12.012
- [4] Zhao, Y., Nan, J., Cui, F., Guo, L.: *Water quality forecast through application of BP neural network at Yuqiao reservoir*, Journal of Zhejiang University SCIENCE A, Vol 9, No 8, 2007, pp. 1482–1487. doi:10.1631/jzus.2007.A1482
- [5] Şengörur, B., Dogan, E., Koklu, R., Samandar, A.: *Dissolved oxygen estimation using artificial neural network for water quality control*, Fresenius Environmental Bulletin, Vol 9, No 15, 2006, pp. 1064–1067
- [6] Elhatip, H., Kömür, M. A.: *Evaluation of water quality parameters for the Mamasin dam in Aksaray City in the central Anatolian part of Turkey by means of artificial neural networks*, Environmental Geology, Vol 6, No 53, 2008, pp. 1157–1164. doi:10.1007/s00254-007-0705-y
- [7] Antanasijević, D., Pocajt, V., Povrenović, D., Perić-Grujić, A., Ristić, M.: *Modelling of dissolved oxygen content using artificial neural networks: Danube River, North Serbia, case study*. Environmental Science and Pollution Research International, Vol 12, No 20, 2013, pp. 9006–13. doi:10.1007/s11356-013-1876-6
- [8] Ömer Faruk, D.: *A hybrid neural network and ARIMA model for water quality time series prediction*, Engineering Applications of Artificial Intelligence, Vol 4, No 23, 2010, pp. 586–594. doi:10.1016/j.engappai.2009.09.015
- [9] Soyupak, S., Karaer, F., Gürbüz, H., Kivrak, E., Sentürk, E., Yazici, A.: *A neural network-based approach for calculating dissolved oxygen profiles in reservoirs*, Neural Computing & Applications, Vol 3-4, No 12, 2003, pp. 166–172. doi:10.1007/s00521-003-0378-8
- [10] Wen, X., Fang, J., Diao, M., Zhang, C.: *Artificial neural network modeling of dissolved oxygen in the Heihe River, Northwestern China*, Environmental Monitoring and Assessment, Vol 5, No 185, 2012, pp. 4361–71. doi:10.1007/s10661-012-2874-8
- [11] Kuo, J.-T., Hsieh, M.-H., Lung, W.-S., She, N.: *Using artificial neural network for reservoir eutrophication prediction*. Ecological Modelling, Vol 1-2, No 200, 2007, pp. 171–177. doi:10.1016/j.ecolmodel.2006.06.018
- [12] Singh, K. P., Basant, A., Malik, A., Jain, G.: *Artificial neural network modeling of the river water quality—A case study*, Ecological Modelling, Vol 6, No 220, 2009, pp. 888–895. doi:10.1016/j.ecolmodel.2009.01.004
- [13] Basant, N., Gupta, S., Malik, A., Singh, K. P.: *Linear and nonlinear modeling for simultaneous prediction of dissolved oxygen and biochemical oxygen demand of the surface water — A case study*, Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems, Vol 2, No 104, 2010, pp. 172–180. doi:10.1016/j.chemolab.2010.08.005

- [14] Rene, E. R., Saidutta, M. B.: *Prediction of Water Quality Indices by Regression Analysis and Artificial Neural Networks*, International Journal of Environmental Research, Vol 2, No 2, 2008, pp. 183–188.
- [15] Palani, S., Liong, S.-Y., Tkalic, P.: *An ANN application for water quality forecasting*, Marine Pollution Bulletin, Vol 9, No 56, 2008, pp. 1586–97. doi:10.1016/j.marpolbul.2008.05.021
- [16] Antanasijević, D., Pocajt, V., Perić-Grujić A., Ristić, M.: *Modelling of dissolved oxygen in the Danube River using artificial neural networks and Monte Carlo Simulation uncertainty analysis*, Journal of Hydrology, No 519, 2014, pp. 1895-1907.

3. Polazne hipoteze

Osnovne hipoteze na kojima se bazira izrada predložene disertacije su:

- matematička povezanost kiseoničnih parametara kvaliteta voda (kao zavisnih promenljivih) i ekonomskih i industrijskih indikatora i indikatora održivog razvoja (kao nezavisnih promenljivih) je nelinearna;
- matematička povezanost kiseoničnih parametara kvaliteta voda (kao zavisnih promenljivih) i ostalih parametara kvaliteta voda (kao nezavisnih promenljivih) je nelinearna;
- neuronskim mrežama je moguće vršiti predviđanje kiseoničnih parametara kvaliteta voda na nacionalnom nivou, uz odgovarajući odabir ekonomskih, industrijskih i indikatora održivog razvoja kao nezavisnih promenljivih;
- neuronskim mrežama je moguće vršiti predviđanje kiseoničnih parametara kvaliteta voda na lokalnom nivou, uz odgovarajući odabir ostalih parametara kvaliteta voda kao nezavisnih promenljivih;
- kako su veze između predloženih zavisnih i nezavisnih promenljivih nelinearne, primenom neuronskih mreža moguće je dobiti bolje rezultate u poređenju sa konvencionalnim (linearnim) modelima;
- optimalan ANN model moguće je dobiti primenom metode za simultanu (višekriterijumsku) optimizaciju.

4. Naučne metode istraživanja

Kako bi se potvrdile postavljene hipoteze, biće korišćene opšte i posebne naučne metode istraživanja. Od opštih naučnih metoda istraživanja biće primenjene: induktivno i deduktivno zaključivanje, komparacija, analiza i sinteza, apstrakcija i konkretizacija, generalizacija i specijalizacija. Na osnovu podataka dobijenih iz različitih relevantnih izvora, vršiće se modelovanje koncentracije kiseoničnih parametara u površinskim vodama/tekucima, uz odabir ulaznih promenljivih korišćenjem odgovarajućih hemometrijskih metoda (tehnika Monte Karlo simulacija, korelaciona analiza).

Performanse modela biće ispitane testiranjem razvijenih modela kroz:

- a) uporednu analizu modelovanih i izmerenih vrednosti koncentracija kiseoničnih parametara kvaliteta voda,
- b) poređenje rezultata ANN i konvencionalnih modela, korišćenjem statističkih indikatora performansi modela.

5. Očekivani naučni doprinos

Očekuje se da će rezultati istraživanja u okviru ove doktorske disertacije:

- omogućiti tačnije, brže i jednostavnije predviđanje koncentracija kiseoničnih parametara koji se koriste kao indikatori kvaliteta površinskih voda, naročito u slučajevima kada ne postoje uslovi za primenu konvencionalnih matematičkih modela,
- doprineti saznanjima o međusobnom uticaju i povezanosti pojedinih parametara kvaliteta voda,
- doprineti saznanjima o primeni neuronskih mreža u oblasti zaštite životne sredine i održivog razvoja.

Takođe se očekuje da bi razvijeni modeli na bazi veštačkih neuronskih mreža omogućili proaktivno i efikasno vođenje politike zaštite životne sredine kroz analizu učinka strategija i mera koje se donose na nacionalnom nivou u cilju poboljšanja kvaliteta životne sredine.

6. Plan istraživanja i struktura rada

Predmet rada ove doktorske disertacije je modelovanje kiseoničnih parametara kvaliteta površinskih voda veštačkim neuronskim mrežama. Kao ulazni podaci biće korišćeni pokazatelji o ekonomskom, industrijskom i održivom razvoju za odabrane evropske zemlje, kao i podaci o parametrima kvaliteta voda koji se redovno prate na mernim stanicama duž toka reke Dunav. Osnovne arhitekture mreža koje će biti korišćene su neuronska mreža sa opštom regresijom (GRNN), kao i neuronska mreža sa propagacijom greške unazad (BPNN).

U prvom delu istraživanja planirano je da se najpre modeluje biološka potrošnja kiseonika (BPK) na nacionalnom nivou, korišćenjem ANN uz odabir ulaznih promenljivih iz grupe ekonomskih i industrijskih indikatora kao i indikatora održivog razvoja. Za dalji odabir i procenu značajnosti primarno odabranih ulaznih promenljivih biće korišćena tehnika Monte Karlo simulacija, kako bi se razvio model sa minimalnim brojem ulaznih promenljivih uz poboljšanje performansi samog modela.

U drugom delu istraživanja planiran je razvoj modela za predviđanje vrednosti BPK u reci Dunav, prateći tok reke kroz Republiku Srbiju. Za razvoj modela biće korišćeno 18 ulaznih parametara koji opisuju kvalitet vode dostupnih sa mernih stanica Agencije za zaštitu životne sredine. Optimizacija modela vršiće se kroz tri koraka: 1) na osnovu prostorne raspodele mernih tačaka, 2) vremenske raspodele dostupnih podataka, i 3) finalnog odabira ulaznih promenljivih.

U trećem delu istraživanja planiran je razvoj modela za predviđanje vrednosti BPK u reci Dunav kroz jedinstven korak optimizacije modela uz pomoć eksperimentalnog dizajna.

Analiza performansi modela vršiće se testiranjem razvijenih modela poređenjem modelovanih i izmerenih vrednosti kiseoničnih parametara kvaliteta površinskih voda. ANN modeli koji budu dali najbolje rezultate takođe će biti upoređeni sa konvencionalnim modelima korišćenjem statističkih indikatora performansi modela. Za ispitivanje performansi modela biće primenjeni sledeći statistički indikatori: indeks slaganja (eng. Index of agreement, *IA*) ili unapređen indeks performanse (eng. The refined index of model performance, *dr*) procenat rezultata u okviru faktora 1,25 i 1,1 (*FA1.25* i *FA1.1*), srednja apsolutna greška (eng. The mean absolute error, *MAE*), koren srednje kvadratne greške (eng. The root mean squared error, *RMSE*), srednja apsolutna greška u procentima (eng. The mean absolute percentage error, *MAPE*) i procenat precenjenosti, tj. potcenjenosti predviđanja (eng. The percent of bias, *PBIAS*).

7. Zaključak i predlog

Na osnovu iznetih podataka o dosadašnjem radu i postignutim rezultatima može se zaključiti da kandidat Aleksandra Šiljić Tomić ispunjava sve potrebne uslove za rad na predloženoj temi doktorske disertacije. Takođe na osnovu iznetih podataka, Komisija smatra da je tema predložene doktorske disertacije Aleksandre Šiljić Tomić pod naslovom „**Modelovanje kiseoničnih parametara kvaliteta površinskih voda primenom veštačkih neuronskih mreža**“, naučno zasnovana, i predlaže Nastavno-naučnom veću Tehnološko-metalurškog fakulteta da je prihvati. Istraživanja u okviru ove doktorske disertacije pripadaju naučnoj oblasti Inženjerstvo zaštite životne sredine, za koju je matičan Tehnološko-metalurški fakultet Univerziteta u Beogradu. Za mentora se predlaže dr Viktor Pocajt, van. prof. Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu.

Beograd, 06.06.2016. godine

ČLANOVI KOMISIJE:

Prof. dr Viktor Pocajt
Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet

Prof. dr Mirjana Ristić
Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet

Prof. dr Aleksandra Perić-Grujić
Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet

Dr Davor Antanasijević
Naučni saradnik, Inovacioni Centar TMF