

NASTAVNO-NAUČNOM VEĆU

Predmet: Referat o urađenoj doktorskoj disertaciji kandidata **Davora Antanasijevića**

Odlukom br. 35/432 od 26.12.2013. godine, imenovani smo za članove Komisije za pregled, ocenu i odbranu doktorske disertacije kandidata **Davora Antanasijevića**, dipl. inž. tehnol., pod naslovom

„Modelovanje indikatora kvaliteta životne sredine primenom veštačkih neuronskih mreža“.

Posle pregleda dostavljene Disertacije i drugih pratećih materijala i razgovora sa Kandidatom, Komisija je sačinila sledeći

R E F E R A T

1. UVOD

1.1. Hronologija odobravanja i izrade disertacije

- 22.09.2011. – Na sednici Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu doneta je Odluka o imenovanju Komisije za ocenu Završnog ispita na doktorskim studijama **Davora Antanasijevića** (Odluka br. 35/290 od 26.09.2011.).
- 26.09.2011. kandidat **Davor Antanasijević** je odbranio Završni ispit – pristupni rad za izradu doktorske disertacije, pod nazivom „*Razvoj modela neuronskih mreža za modelovanje indikatora održivog razvoja*“ sa ocenom 10, pred komisijom u sastavu: dr Mirjana Ristić, van. prof., dr Aleksandra Perić-Grujić, van. prof. i dr Viktor Pocajt, docent.
- 07.12.2012. kandidat **Davor Antanasijević** prijavio je temu doktorske disertacije, pod nazivom: „*Modelovanje parametara kvaliteta životne sredine primenom veštačkih neuronskih mreža*“.
- 27.12.2012. – Na sednici Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu doneta je Odluka o imenovanju Komisije za ocenu naučne zasnovanosti teme doktorske disertacije **Davora Antanasijevića**, pod nazivom „*Modelovanje parametara kvaliteta životne sredine primenom veštačkih neuronskih mreža*“ (Odluka br. 35/430 od 28.12.2012.)

- 28.02.2013. – Na sednici Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu doneta je Odluka o prihvatanju Izveštaja Komisije za ocenu naučne zasnovanosti teme i odobrenju izrade doktorske disertacije **Davora Antanasijevića**, pod nazivom „Modelovanje indikatora kvaliteta životne sredine primenom veštačkih neuronskih mreža“ Za mentora je određen dr Viktor Pocajt, docent TMF-a (Odluka br. 35/44 od 06.03.2013.).
- 15.04.2013. – Na sednici Veća naučnih oblasti tehničkih nauka data je saglasnost na predlog teme doktorske disertacije **Davora Antanasijevića**, pod nazivom: „Modelovanje indikatora kvaliteta životne sredine primenom veštačkih neuronskih mreža“ (Odluka br. 1238/1 od 19.04.2013.).
- 26.12.2013. – Na sednici Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu doneta je Odluka o imenovanju Komisije za ocenu i odbranu doktorske disertacije **Davora Antanasijevića**, pod nazivom „Modelovanje indikatora kvaliteta životne sredine primenom veštačkih neuronskih mreža“ (Odluka br. 35/432 od 26.12.2013.).

Kandidat je upisao doktorske studije na Tehnološko-metalurškom fakultetu Univerziteta u Beogradu školske 2009/10 godine.

1.2. Naučna oblast disertacije

Istraživanja rađena u okviru ove doktorske disertacije pripadaju naučnoj oblasti Inženjerstvo zaštite životne sredine, za koju je matičan Tehnološko-metalurški fakultet Univerziteta u Beogradu. Mentor, dr Viktor Pocajt, vanredni profesor Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu, je do sada publikovao 18 radova iz ove oblasti i bio je član komisije pet odbranijenih magistarskih teza i dve odbranjene doktorske disertacije. Na osnovu dosadašnjih rezultata, smatramo da je mentor bio kompetentan da rukovodi izradom ove doktorske disertacije.

1.3. Biografski podaci o kandidatu

Kandidat Davor (Zoran) Antanasijević rođen je 26.03.1986. godine u Pirotu, gde je 2005. godine završio gimnaziju prirodno-matematičkog smera. Iste godine upisao je Tehnološko-metalurški fakultet u Beogradu, studijski program Hemijska tehnologija, studijsko područje Inženjerstvo zaštite životne sredine, koji je završio 2009. godine sa prosečnom ocenom 8,89. Završni rad „*Određivanje izotopa olova masenom spektrometrijom sa indukovano sprengnutom plazmom*“ odbranio je sa ocenom 10. Nagrađen je za visok prosek u trećoj i završnoj godini studija nagradom fonda „*Panta S. Tutundžić*“. Školske 2009/2010 godine upisao je doktorske studije na Tehnološko-metalurškom fakultetu Univerziteta u Beogradu, na studijskom programu Inženjerstvo zaštite životne sredine. Rešenjem Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu br. 20/10 od 09.02.2010. godine, Davor Antanasijević je izabran u zvanje istraživač pripravnik. Rešenjima Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu, br. 20/7 od 04.02.2011. godine i br. 20/62 od 05.12.2013. godine, Davor Antanasijević je izabran, i reizabran, u zvanje istraživač saradnik.

Davor Antanasijević, dipl. inž. tehnol., je od septembra 2009. godine uključen u rad Laboratorije za masenu spektrometriju sa indukovano spregnutom plazmom (ICP-MS) na TMF-u, a od novembra 2009. do kraja 2010. godine angažovan je na Projektu 142002, „Razvoj metoda za separaciju, predkoncentrisanje, određivanje i uklanjanje zagađivača okoline“. Od januara 2011. godine do danas angažovan je na projektu osnovnih istraživanja iz hemije: „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).

Kao član Organizacionog odbora učestvovao je u organizaciji „Prve konferencije mladih hemičara Srbije“, koja je održana 19. i 20. oktobra 2012. godine na Tehnološko-metalurškom fakultetu u Beogradu. Takođe je bio angažovan na izradi projekta „Lokalni registar izvora zagađivanja životne sredine na teritoriji Beograda“ (2010-2013) koji su realizovali Sekretarijat za zaštitu životne sredine Grada Beograda i Tehnološko-metalurški fakultet Univerziteta u Beogradu.

Kandidat u svom radu koristi osnovne i napredne softverske pakete. Govori engleski jezik. Član je Srpskog hemijskog društva.

2. OPIS DISERTACIJE

2.1. Sadržaj disertacije

Doktorska disertacija Davora Antanasijevića je napisana na 154 strane i sadrži 7 poglavlja, u okviru 5 celina: Uvod, Teorijski deo, Eksperimentalni deo, Rezultati i diskusija i Zaključak. Disertacija sadrži 40 slika, 41 tabelu i 186 literaturna navoda. Na početku disertacije dat je Rezime na srpskom i engleskom jeziku, kao i spiskovi skraćenica i simbola, slika i tabela, dok su Literatura i biografija autora dati na kraju disertacije.

2.2. Kratak prikaz pojedinačnih poglavlja

Uvodni deo sadrži kratak opis značaja poznavanja indikatora kvaliteta životne sredine i održivog razvoja. U okviru ovog poglavlja definisani su predmet, ciljevi i značaj modelovanja indikatora kvaliteta životne sredine. Uz obrazloženje teme opisana je i struktura disertacije.

Teorijski deo se sastoji iz tri podpoglavlja: 1) Održivi razvoj i modelovanje indikatora održivog razvoja i kvaliteta životne sredine; 2) Veštačke neuronske mreže (ANN); 3) Hemometrijske metode primenjene za odabir ulaznih promenljivih modela.

U Teorijskom delu istaknut je značaj održivog razvoja i opisani su osnovni principi, sa posebnim ostvrtom na indikatore održivog razvoja i kvaliteta životne sredine. Nakon toga je dat prikaz odabranih indikatora održivog razvoja i kvaliteta životne sredine, čije modelovanje je predmet ove disertacije: emisija gasova staklene bašte i suspendovanih čestica na nacionalnom nivou, koncentracija suspendovanih čestica u vazduhu na nacionalnom nivou, količina generisanog komunalnog čvrstog otpada na nacionalnom nivou i sadržaj rastvorenog kiseonika u površinskim vodama na lokalnom nivou. Zatim je dat prikaz modela koji se koriste u praksi za predviđanje emisija i koncentracija zagađujućih materija, koje su bile

predmet proučavanja u okviru ove disertacije. Veštačke neuronske mreže, kao i različite arhitekture neuronskih mreža, i obučavanje svake od korišćenih arhitektura, takođe su detaljno opisani. Na kraju teorijskog dela su opisane i različite hemometrijske metode primenjene za odabir ulaznih promenljivih modela razvijenih tokom izrade ove disertacije.

Eksperimentalni deo, peto poglavlje, „Metodologija razvoja modela zasnovanog na neuronskim mrežama“, se sastoji iz tri podpoglavlja: 1) Proces razvoja modela zasnovanog na neuronskim mrežama; 2) Prikupljanje relevantnih ulaznih promenljivih modela; 3) Statistički pokazatelji performansi modela. U eksperimentalnom delu detaljno je opisana metodologija razvoja modela zasnovanog na neuronskim mrežama, kao i statistički pokazatelji performansi modela korišćeni prilikom evaluacije performansi modela razvijenih tokom izrade ove disertacije.

Rezultati i diskusija su prikazani u šestom poglavlju „Modelovanje indikatora kvaliteta životne sredine“, koje se sastoji iz pet podpoglavlja: 1) Modelovanje emisije gasova staklene bašte; 2) Modelovanje emisije PM₁₀ čestica; 3) Modelovanje koncentracije PM₁₀ čestica; 4) Modelovanje količine generisanog komunalnog čvrstog otpada; 5) Modelovanje sadržaja rastvorenog kiseonika u površinskim vodama.

U svakom od podpoglavlja, u okviru Rezultata i diskusije, detaljno je prikazana metodologija razvoja ANN modela: odabir ulaznih promenljivih i priprema podataka, razvoj i optimizacija neuronske mreže, primena hemometrijskih metoda za odabir ulaznih promenljivih, kao i analiza značajnosti pojedinih ulaznih promenljivih i analiza performansi razvijenih modela.

U prvom podpoglavlju, u kome je prikazana primena ANN metodologije za modelovanje emisije gasova staklene bašte na nacionalnom nivou, najpre je data analiza sektora njihove emisije, kao i pretraživanje i priprema dostupnih indikatora održivog razvoja, potrebnih za adekvatno kvantifikovanje emisija gasova staklene bašte. Zatim je detaljno prikazan postupak optimizacije parametara arhitekture i obučavanja neuronske mreže sa opštom regresijom (*General regression neural network* – GRNN). Optimizacijom je utvrđeno da se najbolji rezultati dobijaju korišćenjem nasumično odabranih validacionih podataka uz njihovo linearno skaliranje, pri čemu se za merenje rastojanja između podataka koristi euklidska metoda, a genetskim algoritmom se određuje faktor ujednačavanja GRNN modela. Zatim su rezultati optimizovanog GRNN modela upoređeni sa rezultatima modela sa višestrukom linearnom regresijom (*Multiple linear regresion* – MLR). Kako su GRNN modelom znatno tačniji rezultati, u sledećem delu eksperimentalnog rada vršen je odabir ulaznih promenljivih/indikatora korelacionom analizom, kako bi se performanse dodatno poboljšale. Na kraju su odabrane ulazne promenljive dodatno transformisane korišćenjem analiza glavnih komponenti (*Principal component analysis* – PCA). Poređenje rezultata PCA-GRNN modela sa odgovarajućim modelom baziranim na regresiji glavnih komponenti (*Principal component regresion* – PCR) pokazalo je da model zasnovan na neuronskoj mreži daje značajno bolje rezultate. Analizom značajnosti utvrđeno je da na rezultate modela najviše utiče indikator bruto potrošnja energije. Razvijenim GRNN modelom vršena je i simulacija predviđanja GHG emisije u 2011. godini. Poređenje predviđenih i vrednosti emisija koje je objavila Evropska agencija za zaštitu životne sredine je pokazalo da GRNN predviđanja imaju srednju relativnu grešku od svega 3,6 %.

Primena ANN metodologije za modelovanje emisije suspendovanih čestica u vazduhu na nacionalnom nivou prikazana je u drugom podpoglavlju u okviru Rezultata i diskusije. Sledeći prethodno razvijenu ANN metodologiju, najpre je prikazana analiza glavnih izvora emisije PM₁₀ čestica i indikatora održivog razvoja koji bi mogli da budu od značaja za njihovo modelovanje. Zatim je prikazan razvoj i optimizacija odabranog GRNN modela. Kako je optimalna kombinacija parametara neuronske mreže već prikazana u prethodnom podpoglavlju, akcenat je stavljen na nov metod odabira ulaznih promenljivih, zasnovanog na primeni genetskih algoritama. Rezultati dobijeni primenom GRNN modela, kreiranih navedenim metodom odabira ulaza, upoređeni su sa odgovarajućim linearnim MLR i PCR modelima. GRNN model je kod provere imao srednju relativnu grešku manju od 10 %, dok je najbolji PCR model imao srednju relativnu grešku od 33 %. Analiza grešaka GRNN modela, u slučajevima kada je model napravio relativnu grešku veću od 10 %, je pokazala da je do velikih odstupanja došlo zbog nesigurnosti ulaznih podataka. Analiza značajnosti je pokazala da se ulazne promenljive mogu podeliti u tri grupe, pri čemu se u prvoj grupi kao najznačajniji nalaze bruto domaći proizvod i pojedini indikatori koji govore o industrijskoj emisiji PM₁₀ čestica.

U trećem podpoglavlju prikazana je primena ANN metodologije za modelovanje koncentracije suspendovanih čestica u vazduhu na nacionalnom nivou. Kako su za modelovanje koncentracije suspendovanih čestica primenjeni indikatori održivog razvoja koji su bili korišćeni i kod modelovanja njihove emisije, na početku ovog poglavlja je data samo analiza nove izlazne promenljive, indikatora održivog razvoja. GRNN model je takođe optimizovan, pri čemu je odabir ulaznih promenljivih vršen korišćenjem korelacione analize, na osnovu međusobne povezanosti ulaznih promenljivih, kao i njihovog uticaja na PM₁₀ koncentraciju. Najbolji GRNN model je dobijen eliminisanjem 5 primarno odabranih ulaznih promenljivih: proizvodnja uglja, bakra, aluminijuma, gvožđa i NPK đubriva. Poređenje dobijenog GRNN modela vršeno je sa odgovarajućim PCR modelom. Dobijeni R^2 za PCR predviđanja iznosio je samo 0,23, dok je GRNN model dao predviđanja koja su imala odlično slaganje sa Eurostat-ovim podacima ($R^2=0,99$). Relativna greška prilikom testiranja GRNN modela na nivou Evropske unije je bila manja od 13 %.

U četvrtom podpoglavlju prikazano je modelovanje količine generisanog čvrstog otpada na nacionalnom nivou, neuronskim mrežama, uz korišćenje svega 3 ulazna indikatora održivog razvoja: bruto domaći proizvod, domaća potrošnja materijala i produktivnost resursa. U ovom slučaju, pored korišćenja GRNN arhitekture, testirana je i primena arhitekture sa propagacijom greške unazad (*Backpropagation neural network* - BPNN). Poređenje navedene dve arhitekture pokazalo je da GRNN ima znatno bolju moć generalizacije u odnosu na BPNN. Posebno detaljno su analizirani slučajevi kod kojih je GRNN model dao predviđanja koja znatno odstupaju od Eurostatovih vrednosti količina generisanog otpada. U najvećem broju slučajeva je zaključeno da su odstupanja bila uslovljena primenom nestandardne metodologije pri obračunu količina generisanog otpada ili tačnošću ulaznih podataka. Primena razvijenog GRNN modela na Srbiju i poređenje modelom predviđenih vrednosti sa količinama generisanog otpada koje je procenila Agencija za zaštitu životne sredine, odgovarajućom metodologijom, pokazala je dobro slaganje, sa relativnom greškom do 12 %.

U petom podpoglavlju prikazana je primena razvijene ANN metodologije kod modelovanja sadržaja rastvorenog kiseonika, koji predstavlja parametar kvaliteta površinskih voda, odnosno životne sredine na lokalnom nivou. Najpre je prikazan odabir ulaznih promenljivih na osnovu literaturnih podataka, pa su tako odabrani sledeći nespecifični parametri kvaliteta voda koji se mere redovnim monitoringom površinskih voda: pH, temperatura, električna provodnost i protok. Odabirom nespecifičnih ulaznih promenljivih omogućena je široka primena razvijenog modela za: predviđanje vrednosti rastvorenog kiseonika u slučajevima kada rastvoreni kiseonik iz nekog razloga nije bio određen, predviđanja sadržaja rastvorenog kiseonika na monitoring stanicama na kojima se određivanje sadržaja rastvorenog kiseonika ne vrši, brzo predviđanje ovog parametra u akcidentnim i vanrednim situacijama, posebno na manjim rekama na kojima se ne vrši kontinualni monitoring. Pored GRNN i BPNN mreže, testirana je i rekurentna neuronska mreža (*Recurrent Neural Network* - RNN) čije korišćenje se preporučuje kada se vrši predviđanje vremenskih serija. Poređenje rezultata dobijenih primenom tri navedene ANN arhitekture pokazalo je da je najtačnija predviđanja dao upravo RNN model, sa relativnom greškom manjom od 10 %. Preciznost RNN modela je potvrđena i poređenjem sa odgovarajućim MLR modelom, koji je kod testiranja samo u 55 % slučajeva dao predviđanja sa greškom manjom od 10 %.

U Zaključku su dati kratak pregled i analiza dobijenih rezultata istraživanja, koji odgovaraju postavljenim ciljevima disertacije, kao i predlog za dalja istraživanja u ovoj oblasti.

Na kraju disertacije navedena je Literatura, koja sadrži sve reference citirane u radu.

3. OCENA DISERTACIJE

3.1. Savremenost i originalnost

Očuvanje, unapređenje i zaštita životne sredine, uz održivi društveni i ekonomski razvoj, dominantni su problemi savremenog sveta. Efikasno upravljanje i kontrola navedenih kompleksnih pojava iziskuje njihovo konstantno praćenje, uz korišćenje adekvatnih indikatora kojima se kvantifikuje stanje životne sredine i održivog razvoja u različitim delovima sveta. Poznavanje vrednosti određenih indikatora kvaliteta životne sredine od suštinske je važnosti u okviru upravljanja životnom sredinom. Zbog svog značaja, indikatori kvaliteta životne sredine su predmet istraživanja u mnogim studijama, a sve češće se za predviđanje njihovih vrednosti koristi modelovanje, uz primenu veštačkih neuronskih mreža. Metodologija primenjena u ovom radu kombinuje ANN modele sa dostupnim ekonomskim i industrijskim indikatorima i indikatorima održivog razvoja, pri čemu se dobijaju modeli koji omogućuju tačnije, brže i jednostavnije predviđanje emitovanih količina ili koncentracija zagađujućih materija na nacionalnom nivou. Da bi se dodatno poboljšali rezultati ANN modela i smanjio broj neophodnih ulaznih promenljivih, primenjene su različite hemometrijske metode za ocenu značajnosti primarno odabranih ulaznih promenljivih.

3.2. Osvrt na referentnu i korišćenu literaturu

U toku izrade doktorske disertacije kandidat je pregledao literaturu vezanu za linearno i nelinearno modelovanje indikatora kvaliteta životne sredine i održivog razvoja, kao i

literaturu u kojoj su opisani razvoj i primena modela baziranih na neuronskim mrežama u oblasti zaštite životne sredine. Pregledana je obimna literatura koja se odnosi na indikatore održivog razvoja, veštačke neuronske mreže i hemometrijske metode.

Opis i adekvatnost primenjenih naučnih metoda

Na osnovu eksperimentalnih podataka, dobijenih različitim instrumentalnim i klasičnim tehnikama (atomsom apsorpcionom spektroskopijom - AAS, atomsom emisionom spektroskopijom - AES, jonskom hromatografijom - IC, ultra-ljubičastom i vidljivom spektrofotometrijom - UV-VIS, indukovano spregnutom plazmom sa atomsom emisionom spektroskopijom - ICP-OES, indukovano spregnutom plazmom sa masenom spektroskopijom - ICP-MS, volumetrija - Morov postupak, gasne analize –Vinklerov postupak), kao i podataka o ekonomskom, industrijskom i održivom razvoju za odabrane evropske zemlje, u eksperimentalnom delu vršeno je modelovanje emisija i koncentracija zagađujućih materija koje se koriste kao indikatori kvaliteta životne sredine, uz odabir ulaznih promenljivih korišćenjem odgovarajućih hemometrijskih metoda (korelacione analize, genetičkih algoritama, analize glavnih komponenti). Razvijena je ANN metodologija za modelovanje emisije gasova staklene bašte, emisije i koncentracije PM₁₀ čestica, količine komunalnog čvrstog otpada i koncentracije rastvorenog kiseonika u površinskim vodama, pri čemu su primenjene različite arhitekture neuronskih mreža: Neuronska mreža sa propagacijom greške unazad (*Backpropagation Neural Network - BPNN*), Rekurentna neuronska mreža (*Recurrent Neural Network - RNN*), Neuronska mreža sa opštom regresijom (*General Regression Neural Network - GRNN*). Analiza performansi modela vršena je testiranjem razvijenih modela kroz poređenje modelovanih i izmerenih vrednosti emisija i koncentracija indikatora kvaliteta životne sredine. ANN modeli su takođe upoređeni sa linearnim modelima korišćenjem statističkih indikatora performansi modela: indeks slaganja (*IA*), procenat rezultata u okviru faktora 1,25 i 1,1 (*FAI.25 i FAI.1*), srednja apsolutna greška (*MAE*), koren srednje kvadratne greške (*RMSE*) i srednja apsolutna greška u procentima (*MAPE*).

3.3. Primenljivost ostvarenih rezultata

U okviru izrade ove doktorske disertacije ispitana je mogućnost primene veštačkih neuronskih mreža za modelovanje odabranih indikatora kvaliteta životne sredine. Razvijeno je pet ANN modela za predviđanje vrednosti različitih indikatora kvaliteta životne sredine, koji opisuju stanje životne sredine na nacionalnom i lokalnom nivou, uz korišćenje dostupnih ekonomskih i industrijskih indikatora i indikatora održivog razvoja, kao ulaznih promenljivih modela. Poznavanje vrednosti navedenih indikatora kvaliteta životne sredine od suštinske je važnosti u okviru upravljanja životnom sredinom, jer su oni osnova za donošenje mera i strategija vezanih za poboljšanje stanja u životnoj sredini, ali su u isto vreme i mera ostvarenja zadatih ciljeva i sredstvo za uključivanje javnosti u donošenju odluka vezanih za pitanja zaštite i očuvanja kvaliteta životne sredine. Pored već navedene primene razvijenih ANN modela za predviđanje vrednosti indikatora kvaliteta životne sredine, razvijeni modeli mogu biti korišćeni i za simulaciju scenarija emisija ili koncentracija zagađujućih materija. Promenama vrednosti ulaznih indikatora, koje su uslovljene izmenama zakona ili donošenjem posebnih regulatornih mera, mogu se predvideti vrednosti emisija ili koncentracija zagađujućih materija. Na taj način se omogućuje efikasna provera delotvornosti predviđenih mera za

poboljšanje kvaliteta životne sredine, da bi se izbeglo donošenje mera za koje su potrebna velika materijalna ulaganja, a koje ne bi imale proporcionalno zadovoljavajući efekat tokom primene u praksi.

Ocena dostignutih sposobnosti kandidata za samostalni naučni rad

Kandidat Davor Antanasijević je tokom pripreme i realizacije eksperimenata, analize i modelovanja dobijenih rezultata, u okviru izrade doktorske disertacije, pokazao stručnost, kreativnost i sistematičnost. Komisija smatra da kandidat poseduje sve kvalitete koji su neophodni za samostalan naučni rad.

4. OSTVARENI NAUČNI DOPRINOS

4.1. Prikaz ostvarenih naučnih doprinosa

Rezultati istraživanja urađenih tokom izrade ove doktorske disertacije predstavljaju značajan naučni doprinos:

- razvijena je, testirana i primenjena ANN metodologija za modelovanje odabranih indikatora kvaliteta životne sredine;
- razvijeno je i primenjeno pet ANN modela za predviđanje odabranih indikatora kvaliteta životne sredine na nacionalnom i lokalnom nivou;
- u cilju efikasnog odabira ulaznih promenljivih modela razvijeno je više procedura odabira ulaznih promenljivih sa različitim hemometrijskim metodama;
- izvršena je detaljna analiza performansi razvijenih modela korišćenjem odgovarajućih statističkih pokazatelja;
- najbolji ANN modeli upoređeni su sa odgovarajućim linearnim matematičkim modelima;
- pokazano je da se modeli mogu koristiti za predviđanje vrednosti određenih indikatora kvaliteta životne sredine, uz primenu znatno manje ulaznih podataka u odnosu na pristup zasnovan na inventarima emisija zagađujućih materija.

4.2. Kritička analiza rezultata istraživanja

Istraživanja kojima se bavi ova doktorska disertacija su koncipirana na osnovu definisanih ciljeva i detaljne analize literature iz oblasti modelovanja indikatora kvaliteta životne sredine i održivog razvoja. U disertaciji je delom primenjena ANN metodologija zastupljena u literaturi, pri čemu su odgovarajuće faze u razvoju ANN modela prilagođene specifičnostima u oblasti zaštite životne sredine. Razvijene su odgovarajuće procedure za odabir ulaznih promenljivih modela, čime su poboljšane performanse razvijenih modela. Razvoj ANN modela za predviđanje pet različitih indikatora kvaliteta životne sredine detaljno je ispitan, a na osnovu rezultata istraživanja izvedeni su odgovarajući zaključci, relevantni za eventualnu primenu razvijene metodologije za modelovanje ostalih indikatora kvaliteta životne sredine. Odekvatnim izborom i primenom odgovarajućih hemometrijskih metoda kod odabira ulaznih promenljivih, poboljšana su predviđanja razvijenih ANN modela. Uvidom u dostupnu literaturu iz ove oblasti istraživanja i rezultate istraživanja dobijene u okviru ovoga rada, može se konstatovati da predložena ANN metodologija značajno pojednostavljuje predviđanje

vrednosti određenih indikatora kvaliteta životne sredine, u odnosu na pristup zasnovan na inventarima emisija zagađujućih materija, što predstavlja poseban naučni doprinos u oblasti modelovanja indikatora kvaliteta životne sredine i održivog razvoja.

4.3. Verifikacija naučnih doprinosa

Iz disertacije je publikovano pet radova, četiri u vrhunskim međunarodnim časopisima i jedan u istaknutom međunarodnom časopisu. Jedan rad je saopšten na skupu međunarodnog značaja i štampan u celini, a tri rada su saopštena na skupovima nacionalnog značaja i štampana u izvodu.

Radovi objavljeni u časopisima međunarodnog značaja - M20

Kategorija M21 – Rad u vrhunskom međunarodnom časopisu

1. **Antanasijević, D.**, Pocajt, V., Povrenović, D., Ristić, M., Perić-Grujić, A.: PM10 Emission Forecasting Using Artificial Neural Networks and Genetic Algorithm Input Variables Optimization, - *Science of The Total Environment*, vol. 443, pp. 511-519, 2013 (**IF: 3,258**) (ISSN 0048-9697)
2. **Antanasijević, D.**, Pocajt, V., Povrenović, D., Perić-Grujić, A., Ristić, M.: Modelling of dissolved oxygen using different ANN architectures: Danube River case study, - *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 20, pp. 9006-9013, 2013 (**IF: 2,618**) (ISSN 0304-3800)
3. **Antanasijević, D. Z.**, Ristić, M. Đ., Perić-Grujić, A. A., Pocajt, V. V.: Forecasting human exposure to PM10 at the national level using Artificial Neural Network approach, - *Journal of Chemometrics*, vol. 27, pp. 170-177, 2013 (**IF: 1,937**) (ISSN 0886-9383)
4. **Antanasijević, D. Z.**, Ristić, M. Đ., Perić-Grujić, A. A., Pocajt, V. V.: Forecasting GHG emissions using optimized artificial neural network model based on correlation and principal component analysis, - *International Journal of Greenhouse Gas Control*, vol. 20, pp. 244-253, 2014 (**IF: 3,944**) (ISSN 1750-5836)

Kategorija M22 – Rad u istaknutom međunarodnom časopisu

1. **Antanasijević, D.**, Pocajt, V., Popović, I., Redžić, N., Ristić, M.: The Forecasting of Municipal Waste Generation Using Artificial Neural Networks and Sustainability Indicators, - *Sustainability Science*, vol. 8, pp. 37-46, 2013 (**IF: 2,189**) (ISSN 1862-4065)

Zbornici međunarodnih naučnih skupova – M30

Kategorija M33 – Saopštenje sa međunarodnog skupa štampano u celini

1. **Antanasijević, D.**, Pocajt, V., Ristić, M., Perić-Grujić, A.: Modeling sustainability indicators using artificial neural networks: A PM10 case study, - *International Science Conference Reporting for Sustainability*, Bečići, Montenegro, 2013, pp. 197-202.

Zbornici skupova nacionalnog značaja – M60

Kategorija M64 – Saopštenje sa skupa nacionalnog značaja štampano u izvodu

1. **Antanasijević, D. Z.**, Minović, T. Z., Perić-Grujić, A. A., Ristić, M. Đ., Pocajt, V. V.: ANN emission modelling of some sustainable development parameters, - *49th Meeting of the Serbian Chemical Society*, Kragujevac, Serbia, 2011, Book of Abstracts, p.70.
2. **Antanasijević, D. Z.**, Perić-Grujić, A. A., Ristić, M. Đ., Pocajt, V. V.: PM10 country level concentration modelling using Artificial Neural Networks, - *50th Meeting of the Serbian Chemical Society*, Belgrade, Serbia, 2012, Book of Abstracts, p. 81.
3. **Antanasijević, D. Z.**, Ristić, M. Đ., Perić-Grujić, A. A., Pocajt, V.V.: Greenhouse gas emissions modeling using artificial neural networks approach, - *6th Symposium Chemistry and Environmental Protection EnviroChem 2013*, Vršac, Serbia, 2013, Book of Abstracts, pp. 210-211.

5. ZAKLJUČAK I PREDLOG

Na osnovu svega napred izloženog, Komisija smatra da doktorska disertacija Davora Antanasijevića, pod nazivom „**Modelovanje indikatora kvaliteta životne sredine primenom veštačkih neuronskih mreža**“ predstavlja značajan, originalni naučni doprinos u oblasti Inženjerstva zaštite životne sredine, što je potvrđeno, između ostalog, i objavljivanjem radova u relevantnim časopisima međunarodnog značaja, kao i prezentovanjem rezultata istraživanja na konferencijama. Ispitana je primena različitih arhitektura veštačkih neuronskih mreža (ANN) za modelovanje indikatora kvaliteta životne sredine i održivog razvoja, pri čemu su razvijeni ANN modeli za predviđanje vrednosti pet indikatora na nacionalnom i na lokalnom nivou. Kandidat je samostalno i sistematično uradio istraživanja i analizu dobijenih rezultata.

Komisija predlaže Nastavno-naučnom veću Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu da se doktorska disertacija pod nazivom „**Modelovanje indikatora kvaliteta životne sredine primenom veštačkih neuronskih mreža**“ kandidata **Davora Antanasijevića**, dipl. inž. tehnol., prihvati, izloži na uvid javnosti i uputi na konačno usvajanje Veću naučnih oblasti tehničkih nauka Univerziteta u Beogradu.

U Beogradu, 14. 02. 2014.

ČLANOVI KOMISIJE:

Dr Viktor Pocajt, van. prof.
Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet

Dr Mirjana Ristić, red. prof.
Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet

Dr Aleksandra Perić-Grujić, red. prof.
Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet

Dr Antonije Onjia, naučni savetnik
Univerzitet u Beogradu, Institut za nuklearne nauke „Vinča“