

**NASTAVNO-NAUČNOM VEĆU**

**Predmet:** Referat o urađenoj doktorskoj disertaciji kandidata **Lidije Stamenković**

Odlukom br. 35/177 od 14.04.2016. godine, imenovani smo za članove Komisije za pregled, ocenu i odbranu doktorske disertacije kandidata **Lidije Stamenković**, dipl. hemičara, pod naslovom

**„Predviđanje emisije gasovitih zagađujućih materija na nacionalnom nivou primenom modela zasnovanih na veštačkim neuronskim mrežama“.**

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

- 20.09.2012. – Na sednici Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu doneta je Odluka o imenovanju Komisije za ocenu Završnog ispita na doktorskim studijama kandidata **Lidije Stamenković** (Odluka br. 35/291).
- 24.09.2012. - kandidat **Lidija Stamenković** je odbranila Završni ispit – pristupni rad za izradu doktorske disertacije, pod nazivom „*Razvoj modela za predviđanje emisije zagađujućih materija u vazduhu primenom neuronskih mreža*“ sa ocenom 10, pred komisijom u sastavu: dr Viktor Pocajt, van. prof., dr Mirjana Ristić, red. prof. i dr Aleksandra Perić-Grujić, red. prof.
- 11.09.2015. - kandidat **Lidija Stamenković** prijavila je temu doktorske disertacije, pod nazivom: „*Predviđanje emisije gasovitih zagađujućih materija na nacionalnom nivou primenom modela zasnovanih na veštačkim neuronskim mrežama*“.
- 17.09.2015. – Na sednici Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu doneta je Odluka o imenovanju Komisije za ocenu naučne zasnovanosti teme doktorske disertacije **Lidije Stamenković**, pod nazivom „*Predviđanje emisije gasovitih zagađujućih materija na nacionalnom nivou primenom modela zasnovanih na veštačkim neuronskim mrežama*“ (Odluka br. 35/382)
- 03.12.2015. – 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 **Lidije Stamenković**, pod nazivom „*Predviđanje emisije gasovitih zagađujućih materija na nacionalnom nivou primenom modela zasnovanih na veštačkim neuronskim mrežama*“ Za mentora je određen dr Viktor Pocajt, vanredni profesor TMF-a (Odluka br. 35/533).

- 21.12.2015. – Na sednici Veća naučnih oblasti tehničkih nauka data je saglasnost na predlog teme doktorske disertacije **Lidije Stamenković**, pod nazivom: „*Predviđanje emisije gasovitih zagađujućih materija na nacionalnom nivou primenom modela zasnovanih na veštačkim neuronskim mrežama*“ (Odluka br. 61206-5691/2-15).
- 14.04.2016. – Na sednici Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu doneta je Odluka o imenovanju Komisije za ocenu i odbranu doktorske disertacije **Lidije Stamenković**, pod nazivom „*Predviđanje emisije gasovitih zagađujućih materija na nacionalnom nivou primenom modela zasnovanih na veštačkim neuronskim mrežama*“ (Odluka br. 35/177).

Lidija Stamenković, dipl. hemičar, je upisala doktorske studije na Tehnološko-metalurškom fakultetu Univerziteta u Beogradu školske 2010/2011. 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 48 radova iz ove oblasti, od čega 22 u časopisima sa SCI liste, i bio je član komisije pet odbranijenih magistarskih teza i dve odbranjene doktorske disertacije, kao i mentor jedne doktorske disertacije. Na osnovu dosadašnjih rezultata, smatramo da je mentor bio kompetentan da rukovodi izradom ove doktorske disertacije.

### 1.3. Biografski podaci o kandidatu

Lidija (Jovica) Stamenković, dipl. hemičar, rođena je 17.11.1977. godine u Leskovcu, gde je 1996. godine završila srednju školu sa odličnim uspehom. Iste godine upisala je Prirodno – matematički fakultet u Nišu na odseku Hemija koji je završila 2006. godine. Diplomski rad pod nazivom „*Hemijsko-termički aktiviran treset kao adsorbens i filtraciono sredstvo u prečišćavanju fekalnih voda*“, odbranila je sa ocenom 10. Školske 2010/2011 godine upisala je doktorske studije na Tehnološko-metalurškom fakultetu Univerziteta u Beogradu, na studijskom programu Inženjerstvo zaštite životne sredine. Lidija Stamenković je u okviru doktorskih studija položila sve ispite (12) predviđene studijskim programom, sa prosečnom ocenom 9,42. Od 2009. do 2011. godine radila je kao saradnik u nastavi, a od novembra 2011. do jula 2015. godine radila je kao asistent na Fakultetu za ekologiju i zaštitu životne sredine, Univerziteta Union – Nikola Tesla u Beogradu.

Lidija Stamenković je član Srpskog hemijskog društva. Govori engleski jezik.

## 2. OPIS DISERTACIJE

### 2.1. Sadržaj disertacije

Doktorska disertacija kandidata Lidije Stamenković je napisana na 141 strani i sadrži 10 poglavlja, u okviru 5 celina: Uvod, Teorijski deo, Eksperimentalni deo, Rezultati i diskusija i Zaključak. Disertacija sadrži 31 sliku, 25 tabela i 222 literaturna navoda. Na početku disertacije dat je Rezime na srpskom i engleskom jeziku, kao i spiskovi skraćena 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 emisije zagađujućih materija u vazduh definisanih u okviru indikatora kvaliteta životne sredine i održivog razvoja. U okviru ovog poglavlja definisani su predmet, ciljevi i značaj predviđanja emisije zagađujućih materija u vazduh. Uz obrazloženje teme opisana je i struktura disertacije.

Teorijski deo se sastoji iz dva potpoglavlja: 1) Održivi razvoj i očuvanje kvaliteta vazduha; 2) Veštačke neuronske mreže (ANN).

U Teorijskom delu istaknut je značaj održivog razvoja i opisani su osnovni principi, sa posebnim ostvrtom na indikatore kvaliteta životne sredine. Nakon toga je dat prikaz odabranih indikatora iz kategorije kvaliteta vazduha, čije modelovanje je predmet ove disertacije: emisija amonijaka, emisija nemetanskih organskih isparljivih jedinjenja, emisija azotnih oksida i emisija metana, kao i pregled međunarodno zakonodavno – pravnih mehanizma za smanjenje zagađenja vazduha. Zatim je dat prikaz odabranih postojećih modela koji se koriste u praksi za predviđanje emisija gasovitih zagađujućih materija koje su bile predmet proučavanja u okviru ove disertacije. U okviru potpoglavlja Veštačke neuronske mreže, opisani su osnovni principi funkcionisanja veštačkih neuronskih mreža kao i proces izgradnje modela zasnovanih na veštačkim neuronskim mrežama.

Eksperimentalni deo, četvrto poglavlje, „Materijali i metode“, se sastoji iz pet potpoglavlja: 1) Prikupljanje ulaznih i izlaznih podataka; 2) Arhitekture mreža primenjene za razvoj modela; 3) Odabrane metode primenjene za selekciju ulaznih promenljivih 4) Regresioni modeli za komparaciju rezultata ANN modela 5) Statistički indikatori performansi modela. U eksperimentalnom delu, u svakom od potpoglavlja, detaljno su opisane arhitekture mreža primenjene pri razvoju modela zasnovanog na neuronskim mrežama, metode koje su korišćene pri selekciji najznačajnijih ulaznih promenljivih, konvencionalni regresioni modeli razvijeni radi komparacije rezultata ANN modela kao i statistički pokazatelji performansi modela koji su korišćeni prilikom evaluacije performansi modela razvijenih tokom izrade ove disertacije.

Rezultati i diskusija su prikazani od petog do devetog poglavlja: 5) Predviđanje emisije amonijaka u SAD i EU; 6) Predviđanje emisije nemetanskih isparljivih organskih jedinjenja u EU i Kini; 7) Predviđanje emisije metana u EU; 8) Predviđanje emisije azotnih oksida u EU, SAD, Kini, Indiji, Japanu i Rusiji; 9) Predviđanje emisije gasova staklene bašte u Srbiji.

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

U petom poglavlju, u kome je prikazana primena ANN metodologije za predviđanje emisije amonijaka na nacionalnom nivou u SAD i državama EU, najpre je data analiza sektora njihove emisije, kao i pretraživanje i priprema dostupnih indikatora održivog razvoja, potrebnih za adekvatno kvantifikovanje emisija amonijaka. Zatim je detaljno prikazan postupak optimizacije parametara arhitekture i obučavanja neuronske mreže višeslojnog perceptrona (*Multilayer perceptron - MLP*). Proces optimizacije, primenjen u ovom radu je zasnovan na principu proba-i-greška procedure, koja je sprovedena u tri koraka: 1) određivanje optimalnog broja neurona u skrivenom sloju; 2) određivanje aktivacione funkcije; 3) određivanje BP (*Backpropagation - BP*) algoritma koji daje najbolje performance modela. Optimizacijom je utvrđeno da je najbolje rezultate dao MLP model sa 19 neurona u skrivenom sloju, Gausovom komplementarnom aktivacionom funkcijom i *Vanilla* BP algoritmom. Da bi se dodatno poboljšale performanse kreiranog MLP modela primenjena je analiza glavnih komponenti na ulaznim promenljivama (*Principal component analysis - PCA*). Dobijeni rezultati su pokazali da je primena PCA doprinela poboljšanim performansama ANN modela. Poređenje rezultata PCA-MLP modela sa odgovarajućim modelom baziranim na regresiji glavnih komponenti (*Principal component regression - PCR*) pokazalo je da model zasnovan na neuronskoj mreži daje značajno bolje rezultate.

Primena ANN metodologije za predviđanje emisije nemetanskih isparljivih organskih jedinjenja (NMVOC) u EU i Kini prikazana je u šestom poglavlju. Sledeći prethodno razvijenu ANN metodologiju za predviđanje amonijaka na nacionalnom nivou, najpre je prikazana analiza glavnih izvora emisije NMVOC i indikatora održivog razvoja koji bi mogli da budu od značaja za njihovo modelovanje. Za razvoj ANN modela za predviđanje emisije NMVOC u Kini, korišćeni su dostupni podaci za devet EU država, koje su po stepenu emisije ovog polutanta najbliže Kini. Zatim je prikazan razvoj i rezultati MLP modela. U okviru ovog poglavlja, akcent je stavljen na metod optimizacije modela koji je zasnovan na primeni *forward* strategije za odabir najznačajnijih ulaznih promenljivih od inicijalno izabranih. Rezultati MLP modela, kreiranog navedenom metodom odabira ulaza, pokazali su slične performance u predviđanju, kako za EU države čiji su podaci korišćeni za razvoj modela, tako i za Kinu čija NMVOC emisija je bila predviđana. MLP model je kod provere imao srednju apsolutnu procentualnu grešku (*Mean Absolute Percentage Error - MAPE*) za EU države od 8%, dok je za Kinu ta vrednost iznosila 5%. Dobijeni rezultati predviđanja ANN modelom su poređeni sa vrednostima emisije NMVOC u Kini procenjenih inventarskim pristupom. Pokazalo se da je trend promene NMVOC u Kini dobijen ANN pristupom, za ispitivani period, sličan trendu promene emisije dobijenog inventarskim pristupom.

U sedmom poglavlju prikazana je primena ANN pristupa za predviđanje emisije metana u vazduhu na nacionalnom nivou u EU državama. U okviru ovog poglavlja, kao i u slučaju modelovanja emisije amonijaka i NMVOC, kroz prvo potpoglavlje prikazan je izbor i priprema relevantnih ulaznih promenljivih za razvoj ANN modela. U ovom slučaju je pored

troslojne MLP (*Backpropagation Neural Network - BPNN*) testirana je i primenjena arhitektura generalne regresione neuronske mreže (*General Regression Neural Network - GRNN*). Pored modela zasnovanih na neuronskim mrežama, razvijen je radi komparacije i konvencionalni regresioni model (*Multiple Linear Regression - MLR*). Poređenje navedenih modela pokazalo je da GRNN arhitektura ima bolju moć generalizacije u odnosu na drugu primenjenu arhitekturu BPNN i značajno bolje rezultate predviđanja u odnosu na MLR model. Dobijeni  $R^2$  za MLR iznosio je samo 0.68, dok je GRNN model dao predviđanja emisije koja su imala veoma dobro slaganje sa aktuelnim podacima ( $R^2= 0.91$ ). Kreirani GRNN model je postigao 75% predviđanja sa relativnom greškom manjom od 10%. Za države kod kojih su odstupanja između aktuelnih i modelom predviđenih vrednosti emisije sa relativnom greškom iznad 10%, zaključeno je da su odstupanja bila uslovljena kvalitetom ulaznih i izlaznih podataka korišćenih tokom razvoja modela.

U osmom poglavlju opisan je razvoj ANN modela za predviđanje emisije azotovih oksida u EU, SAD, Kini, Indiji, Japanu i Rusiji. Na početku ovog poglavlja, u okviru prvog potpoglavlja data je kratka analiza potencijalnih ulaznih promenljivih za kreiranje ANN modela za koje se, na osnovu podataka iz literature, smatralo da obuhvataju najznačajnije izvore emisije azotovih oksida (NO<sub>x</sub>). U drugom potpoglavlju opisan je razvoj i optimizacija ANN modela. U ovom slučaju je korišćena GRNN arhitektura koja je pokazala veoma dobre rezultate u modelovanju emisije metana. GRNN model je optimizovan, pri čemu je selekcija ulaznih promenljivih vršena korišćenjem korelacione analize - na osnovu međusobne povezanosti ulaznih promenljivih, kao i na osnovu njihovog uticaja na NO<sub>x</sub> emisiju i na osnovu *variance inflation factor* (VIF) analize. Od ukupno osam GRNN modela, kreiranih primenom različitih tehnika za selekciju ulaznih promenljivih, najbolje rezultate je pokazao GRNN model dobijen eliminisanjem 4 inicijalno odabranih ulaznih promenljivih na osnovu korelacije između ulaznih promenljivih. Kreirani optimizovani GRNN model je pokazao veoma dobro slaganje između aktuelnih i modelom predviđenih vrednosti ( $R^2=0.95$ ). Rezultati analize značajnosti pojedinih ulaznih promenljivih kreiranog GRNN modela su potvrdili pretpostavku da energetska i sektor transporta imaju najveći uticaj na emisiju azotovih oksida.

Deveto poglavlje opisuje razvoj i rezultate ANN modela za predviđanje emisije gasova staklene bašte (GHG) u Srbiji. U ovom slučaju je za razvoj modela korišćena rekurentna arhitektura neuronske mreže (RNN), tip Džordan-Elman. Kako su za modelovanje emisije zagađujućih materija u prethodnim slučajevima primenjeni indikatori održivog razvoja kao ulazne promenljive tako su korišćeni i u slučaju modelovanja gasova staklene bašte. Cilj je bio da se razvije model za predviđanje emisije GHG u Srbiji. Zbog nedostatka podataka za Republiku Srbiju, za kreiranje modela korišćeni su podaci za Republiku Bugarsku, koja je po stepenu ekonomskog i industrijskog razvoja slična Srbiji. U ovom slučaju su kao ulazne promenljive odabrana samo dva ekonomska indikatora koja opisuju aktivnosti u sektorima energetike i industrije koji najviše doprinosi emisiji GHG, a to su bruto domaći proizvod (BDP) i godišnja potrošnja energije (GPE). Primena razvijenog ANN modela na validacionom setu podataka za Bugarsku, pokazala je veoma zadovoljavajuće rezultate sa vrednošću srednje apsolutne procentualne greške (MAPE) od 16%. Primena kreiranog RNN modela na Srbiju i poređenje modelom predviđenih vrednosti sa dostupnim podacima za

procenjenu emisiju, dobijenih iz baze podataka Sekretarijata Ujedinjenih nacija za klimatske promene (UNFCCC) za 1998. godinu, pokazuje odstupanje od samo 3%. Takođe, trend promene emisije GHG tokom ispitivanog perioda, potvrđuje dobre performance razvijenog RNN modela, jer se mogu uočiti izvesne promene u emisiji GHG nastalih usled promena u industrijskom i energetsom sektoru a koje su posledica određenih društveno-ekonomskih okolnosti koje su se desile u Srbiji.

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, kao i reference kandidata Lidije Stamenković, proistekle iz ove disertacije, koje su objavljene u međunarodnim časopisima.

### **3. OCENA DISERTACIJE**

#### **3.1. Savremenost i originalnost**

Očuvanje, unapređenje i zaštita kvaliteta vazduha, uz održivi društveni i ekonomski razvoj, dominantni su problemi savremenog sveta. Radi postizanja zadatih ciljeva održivog razvoja koji se odnose na indikatore kvaliteta vazduha, kojima se kvantifikuje stanje kvaliteta vazduha, uspostavljeni su određeni međunarodni zakonodavno – pravni mehanizmi kojima se države u različitim delovima sveta obavezuju da kontinuirano prete i podnose godišnje izveštaje o emisijama zagađujućih materija u vazduh. Poznavanje vrednosti odgovarajućih indikatora kvaliteta vazduha, od suštinskog je značaja u okviru upravljanja životnom sredinom kako na nacionalnom tako i na globalnom nivou. Zbog svog značaja, indikatori koji se odnose na kvalitet vazduha su predmet istraživanja u mnogim studijama, a sve češće se za predviđanje njihovih vrednosti koristi pristup zasnovan na veštačkim neuronskim mrežama. Pristup primenjen u ovom radu kombinuje ANN modele sa dostupnim ekonomskim i industrijskim indikatorima i indikatorima održivog razvoja, pri čemu se dobijaju modeli koji omogućuju preciznije, brže i jednostavnije predviđanje emisije zagađujućih materija u vazduh na nacionalnom nivou. Da bi se dodatno poboljšali rezultati kreiranih ANN modela i smanjio broj neophodnih ulaznih promenljivih, primenjene su različite metode za ocenu značajnosti inicijalno odabranih ulaznih promenljivih.

#### **3.2. Osvrt na referentnu i korišćenu literaturu**

U toku izrade doktorske disertacija kandidat je pregledala literaturu vezanu za linearno i nelinearno modelovanje indikatora iz kategorije kvaliteta vazduha, kao i literaturu u kojoj su opisani razvoj i primena modela zasnovanih na neuronskim mrežama kako u oblasti atmosfernih nauka tako i u oblasti zaštite životne sredine. Pregledana je obimna literatura koja se odnosi na modelovanje emisije zagađujućih materija u vazduh, veštačke neuronske mreže i metoda za selekciju ulaznih promenljivih. Iz obrazloženja predložene teme doktorske disertacije i objavljenih radova kandidata Lidije Stamenković, kao i iz popisa korišćene literature pri istraživanju, uočava se adekvatno poznavanje predmetne oblasti istraživanja.

### 3.3 Opis i adekvatnost primenjenih naučnih metoda

Na osnovu podataka o ekonomskom, industrijskom i održivom razvoju, dobijenih korišćenjem odgovarajućih statističkih baza podataka za odabrane evropske i ne – evropske države, u eksperimentalnom delu razvijani su modeli za predviđanje emisija gasovitih zagađujućih materija koje se koriste kao indikatori kvaliteta vazduha, uz selekciju ulaznih promenljivih korišćenjem odgovarajućih statističkih metoda (analize glavnih komponenti, korelacione analize, *variance inflation factor* (VIF) analize). Razvijena je ANN metodologija za predviđanje emisije amonijaka, emisije nemetanskih isparljivih organskih jedinjenja, emisije metana, emisije azotovih oksida i emisije gasova staklene bašte, pri čemu su primenjene različite arhitekture neuronskih mreža: neuronska mreža višeslojnog perceptrona (*Multilayer perceptron* - MLP) - troslojna 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, poređenjem modelovanih i izmerenih vrednosti emisija zagađujućih materija. ANN modeli koji su dali najbolje rezultate takođe su upoređeni sa konvencionalnim linearnim modelima, korišćenjem sledećih statističkih indikatora performansi modela: indeks performansi modela (*dr*), Nash-Sutcliffe Efficiency (*NSE*), koren srednje kvadratne greške (*RMSE*), srednja apsolutna greška (*MAE*), srednja apsolutna greška u procentima (*MAPE*), procenat rezultata u okviru faktora 1.25 i 1.1 (*FA1.25*, *FA1.1*) i srednja kvadratna greška (*MSE*).

### 3.4 Primenljivost ostvarenih rezultata

U okviru izrade ove doktorske disertacije ispitana je mogućnost primene veštačkih neuronskih mreža za modelovanje odabranih indikatora kvaliteta životne sredine iz kategorije kvaliteta vazduha. Razvijeno je pet ANN modela za predviđanje emisije gasovitih zagađujućih materija u vazduh za različite države na nacionalnom nivou, uz primenu dostupnih ekonomskih, industrijskih i indikatora održivog razvoja, kao ulaznih promenljivih za razvoj modela. Poznavanje vrednosti emisija gasovitih zagađujućih materija od suštinskog je značaja za upravljanje i kontrolu kvaliteta vazduha kao i upravljanje životnom sredinom uopšte, jer predstavljaju osnovu za donošenje odgovarajućih zakonodavno – pravnih mera i strategija vezanih za poboljšanje stanja kvaliteta vazduha i životne sredine. Pored već navedene primene modela zasnovanih na neuronskim mrežama za predviđanje vrednosti emisije gasovitih zagađujućih materija, razvijeni ANN modeli mogu biti korišćeni i za simulaciju različitih scenarija emisija zagađujućih materija. Promenom vrednosti ulaznih promenljivih, koje su uslovljene izvesnim izmenama zakona, ili primenom odgovarajućih regulatornih mera za redukciju emisije, mogu se predvideti vrednosti emisija zagađujućih materija za određeni vremenski period. Na taj način se omogućuje ocena efikasnosti planiranih mera za redukciju emisije tj. mera za poboljšanje kvaliteta vazduha kroz procenu vrednosti potrebnih materijalnih ulaganja i efekata koji bi se postigli uvođenjem odgovarajuće mere.

### 3.5 Ocena dostignutih sposobnosti kandidata za samostalni naučni rad

Lidija Stamenković, dipl. hemičar, je tokom pripreme i realizacije eksperimenata, analize i obrade dobijenih rezultata, u okviru izrade doktorske disertacije, pokazala 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 predviđanje emisije odabranih indikatora koji se koriste za opisivanje kvaliteta vazduha;
- razvijeno je i primenjeno pet ANN modela za predviđanje emisije gasovitih zagađujućih materija na nacionalnom nivou za različite države;
- u cilju efikasnog odabira ulaznih promenljivih modela razvijeno je više procedura odabira ulaznih promenljivih sa različitim statističkim metodama;
- izvršena je detaljna analiza performansi razvijenih modela korišćenjem odgovarajućih statističkih pokazatelja;
- ANN modeli koji su pokazali najbolje rezultate su upoređeni sa odgovarajućim linearnim matematičkim modelima;
- ustanovljeno je da se razvijeni modeli mogu koristiti za predviđanje emisije gasovitih zagađujućih materija, 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 emisije gasovitih zagađujućih materija u vazduh. Prilikom izrade disertacije, delom je primenjena ANN metodologija zastupljena u literaturi kod modelovanja određenih indikatora kvaliteta životne sredine, dok su odgovarajuće faze u razvoju ANN modela prilagođene specifičnostima koje se odnose na indikatore kvaliteta vazduha, kao i specifičnostima država čije emisije su bile predmet ove teze. Performanse razvijenih ANN modela su poboljšane primenom različitih procedura za odabir ulaznih promenljivih modela. Razvoj ANN modela za predviđanje emisije odabranih gasovitih zagađujućih materija u vazduh je ispitan, a na osnovu rezultata istraživanja proistekli su odgovarajući zaključci, relevantni za eventualnu primenu razvijene metodologije za predviđanje emisije ostalih zagađujućih materija kao i modelovanje emisije iz određenih sektora. Pregledom dostupne literature iz ove oblasti istraživanja i rezultata istraživanja postignutih u okviru ovoga rada, može se konstatovati da je predložen pristup zasnovan na ANN za predviđanje vrednosti emisije zagađujućih materija značajno jednostavniji u odnosu na inventarski pristup, što predstavlja značajan naučni doprinos u oblasti modelovanja indikatora koji se odnose na kvalitet vazduha.

### 4.3 Verifikacija naučnih doprinosa

Na osnovu rezultata proisteklih iz ove disertacije publikovano je pet radova, dva rada u vrhunskim međunarodnim časopisima (M21), jedan rad u istaknutom međunarodnom

časopisu (M22), jedan rad u međunarodnom časopisu (M23) i jedan rad u vodećem časopisu nacionalnog značaja (M51). Takođe, jedan rad je saopšten na skupu međunarodnog značaja i štampan je u izvodu.

### **Radovi objavljeni u časopisima međunarodnog značaja - M20**

#### Kategorija M21 – Rad u vrhunskom međunarodnom časopisu

1. **Stamenković L.**, Antanasijević D., Ristić M., Perić-Grujić A., Pocajt V.: Modeling of ammonia emission in the USA and EU countries using an artificial neural network approach, - *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 22, no. 23, pp. 18849 – 18858, 2015 (**IF=2.828**) (ISSN: 0944-1344).
2. **Stamenković L.**, Antanasijević D., Ristić M., Perić-Grujić A., Pocajt V.: Estimation of NMVOC emissions using artificial neural networks and economical and sustainability indicators as inputs, - *Environmental Science and Pollution Research*, (DOI:10.1007/s11356-016-6279-z), 2016 (**IF=2.828**) (ISSN: 0944-1344).

#### Kategorija M22 – Rad u istaknutom međunarodnom časopisu

1. **Stamenković L.**, Antanasijević D., Ristić M., Perić-Grujić A., Pocajt V.: Prediction of nitrogen oxides emissions at the national level based on optimised artificial neural network model, - *Air Quality, Atmosphere and Health*, (DOI: 10.1007/s11869-016-0403-6), 2016 (**IF=1.804**) (ISSN: 1873-9318).

#### Kategorija M23 – Rad u međunarodnom časopisu

1. **Stamenković L.**, Antanasijević D., Ristić M., Perić-Grujić A., Pocajt V.: Modeling of methane emissions using artificial neural network approach, - *Journal of Serbian Chemical Society*, vol. 80, no. 3, pp. 421–433, 2015 (**IF=0.871**) (ISSN: 0352 – 5139).

### **Radovi objavljeni u časopisima nacionalnog značaja –M50**

#### Kategorija M51 – Rad u vodećem časopisu nacionalnog značaja

1. **Stamenković L.**, Antanasijević D., Ristić M., Perić-Grujić A., Pocajt V.: Predviđanje emisije gasova staklene bašte u Srbiji za period 1995 – 2013. godina primenom rekurentnih neuronskih mreža, - *Ecologica*, no. 79, pp. 488 – 492, 2015 (ISSN: 0354 – 3285).

### **Zbornici međunarodnih naučnih skupova – M30**

#### Kategorija M34 – Saopštenje sa međunarodnog skupa štampano u izvodu

1. **Stamenković L.**, Antanasijević D., Ristić M., Perić-Grujić A., Pocajt V.: Estimation of GHG emission in Serbia for period 1995-2013 using recurrent neural networks, - *International scientific conference on the environment and adaption of industry to climate change*, Beograd, Srbija, 2015, p. 155, ISBN 978-86-89061-07-9.

## 5. ZAKLJUČAK I PREDLOG

Na osnovu svega napred izloženog, Komisija smatra da doktorska disertacija Lidije Stamenković, pod nazivom „**Predviđanje emisije gasovitih zagađujućih materija na nacionalnom nivou primenom modela zasnovanih na veštačkim neuronskim mrežama**“ predstavlja značajan, originalni naučni doprinos u oblasti Inženjerstva zaštite životne sredine, što je potvrđeno, između ostalog, i objavljivanjem radova u relevantnim časopisima međunarodnog značaja. Ispitana je primena različitih arhitektura veštačkih neuronskih mreža (ANN) za predviđanje emisija gasovitih zagađujućih materija u vazduh za različite države, pri čemu su razvijeni ANN modeli za predviđanje vrednosti pet indikatora iz kategorije kvaliteta vazduha na nacionalnom 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 „**Predviđanje emisije gasovitih zagađujućih materija na nacionalnom nivou primenom modela zasnovanih na veštačkim neuronskim mrežama**“ kandidata **Lidije Stamenković**, dipl. hemičara, prihvati, izloži na uvid javnosti i uputi na konačno usvajanje Veću naučnih oblasti tehničkih nauka Univerziteta u Beogradu.

U Beogradu, 06. 06. 2016.

### ČLANOVI KOMISIJE:

---

Dr Viktor Pocajt, vanredni profesor  
Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet

---

Dr Mirjana Ristić, redovni profesor  
Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet

---

Dr Aleksandra Perić-Grujić, redovni profesor  
Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet

---

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