
**PREDICTION OF EMISSION OF POLLUTANTS FROM ROAD TRANSPORT USING
ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS APPROACH**

Lidija StamenkovićCollege of Applied Professional Studies, Vranje, Serbia lidija.stm@gmail.com**Jovana Džoljić**

College of Applied Professional Studies, Vranje, Serbia

Abstract: Rapid increase of the emission of pollutants, in the last decades, has a very large impact primarily on human health and then on the entire ecosystem. A significant percentage of this pollution originates from the transport sector. The ever-increasing use of fossil fuels in this area has caused significant emissions of suspended particles, nitrogen oxides, carbon dioxide and sulfur oxide. In order to evaluate more efficiently and better the emissions of polluting substances originating from this sector, the application of more precise models is necessary, with the aim of designing future development policies both at the national and global level in order to improve the air quality. The models used to estimate the emissions of polluting substances from the road transport sector are based mainly on emission factors and measures of activity. This means knowing a large number of specific information about emission factors that depend on the type of fuel used as well as other data. In accordance with the degree of knowledge of this data, the accuracy of the estimated emissions from this sector will depend. The more detailed the data is, the estimated emissions are more accurate. In many countries, especially those in development, there is a problem of lack of data on emission factors, which results in insufficiently accurate data on the estimated emissions. In this work, for prediction of emission of suspended particles (suspended particle diameters smaller than 2,5 i 10 μm) and sulfur oxides, an approach based on neural networks was applied. Artificial neural networks represent a new sophisticated modeling technique that has found significant application in the field of environmental protection in recent years. In this paper two types of neural networks, multilayer perceptron and radial basis function networks were applied. Indicators of sustainable development related to economic and economic development as well as indicators of sustainable development related to traffic were applied as input parameters for model creation. Four input parameters for model creation - gross domestic product, employment rate, transport energy consumption and number of registered vehicles - were selected. Data from 28 European countries for the period 2006-2015 were used. Data from 2006 to 2013 were applied to the development of the model, while the data for 2014 and 2015 were used to test the created models. In order to evaluate the performance of created models, certain statistical indicators are used in this paper. The obtained results showed a satisfactory prediction. In relation to the two types of applied networks, a better emission estimation showed a radial basis function network versus multilayer perceptron in the case of all three pollutants. The method developed in this paper can be applied as another option, in addition to existing models, for estimating of emission of pollutants from the road transport sector. The advantage of this methodology is based on the fact that very satisfactory results are obtained, and that a significantly smaller number of input parameters is used in the development of the model.

Keywords: road transport, artificial neural networks, air pollutants

**PREDVIĐANJE EMISIJE ZAGAĐUJUĆIH MATERIJIA IZ DRUMSKOG
SAOBRAĆAJA PRISTUPOM ZASNOVANOM NA VEŠTAČKIM NEURONSKIM
MREŽAMA****Lidija Stamenković**Visoka Škola Primenjenih Strukovnih Studija, Vranje, Srbija lidija.stm@gmail.com**Jovana Džoljić**

Visoka Škola Primenjenih Strukovnih Studija, Vranje, Srbija

Rezime: Značajan rast emisije zagađujućih materija, poslednjih decenija, uslovlila je veoma veliki uticaj pre svega na zdravlje čoveka kao i na ekosistem u celini. Značajan deo ove emisije potiče iz sektora saobraćaja. Primena fosilnih goriva u ovom sektoru za posledicu ima emisiju različitih zagađujućih materija, među kojima su suspendovane čestice, oksidi azota, sumpora, ugljen-dioksid. Radi što preciznije procene emisija ovih zagađujućih materija iz sektora drumskog saobraćaja, primena što preciznijih modela je neophodna, a sve sa ciljem kreiranja

budućih razvojnih politika, kako na nacionalnom tako i na globalnom nivou, radi poboljšanja kvaliteta vazduha. Prema postojećim modelima, procena emisije je zasnovana na emisionim faktorima i stopama aktivnosti. To znači, poznavanje velikog broja specifičnih informacija o emisionim faktorima koje zavise od tipa primenjenog goriva, kao i drugih podataka. U zavisnosti od nivoa detaljnosti poznavanja ovih podataka zavisice i preciznost procenjene emisije. Što je veće tj. detaljnije poznavanje podataka, tačnost procenjene emisije je veća. Nedostatak podataka, pogotovu u zemljama u razvoju, može predstavljati problem za procenu emisije iz sektora saobraćaja. U ovom radu za procenu emisije suspendovanih čestica (dijametra manjeg od 2,5 i 10 μm) i oksida sumpora primenjen je pristup zasnovan na veštačkim neuronskim mrežama. Veštačke neuronske mreže predstavljaju novu sofisticiranu tehniku modelovanja koja je našla značajnu primenu u oblasti zaštite životne sredine. U radu su korišćena dva tipa neuronskih mreža, višeslojni perceptron (troslojna mreža) i mreža sa radijalno zasnovanom funkcijom. Indikatori održivog razvoja koji se odnose na ekonomski i privredni razvoj, kao i indikatori održivog razvoja koji se odnose na saobraćaj su primenjeni kao ulazni parametri za razvoj modela. Odabrano je četiri parametra i to-bruto domaći proizvod, stopa zaposlenosti, potrošnja energije u saobraćaju i broj registrovanih vozila na godišnjem nivou. Primenjeni su podaci za 28 Evropskih država za period 2006-2015. Podaci od 2006 do 2013 su korišćeni za razvoj modela dok su podaci za 2014 i 2015 primenjeni za testiranje razvijenih modela. Za procenu performansi kreiranih modela primenjeni su različiti statistički indikatori. Dobijeni rezultati su pokazali zadovoljavajuće predviđanje. S tim, što je bolje performanse u odnosu na dva tipa primenjenih mreža, pokazala mreža sa radijalno zasnovanom funkcijom. Pristup primenjen u ovom radu može se primeniti kao još jedan model, pored već postojećih, za procenu emisije iz sektora drumskog saobraćaja. Prednost ovog pristupa je zasnovan i na činjenici da su dobijeni vrlo zadovoljavajući rezultati kao i da je za razvoj modela primenjen značajno manji broj ulaznih parametra.

Ključne reči: drumski saobraćaj, veštačke neuronske mreže, zagađujuće materije u vazduhu

1. UVOD

Sve veći industrijski i privredni razvoj kao i težnja ka poboljšanju uslova života i rada, uslovlila je sve veću emisiju zagađujućih materija iz svih sektora. Među značajnijim emiterima zagađujućih materija spada i sektor saobraćaja, budući da je jedan od osnovnih izvora energije u saobraćaju primena fosilnih goriva. Emisija suspendovanih čestica i oksida sumpora, koje su predmet istraživanja u ovom radu, imaju vrlo negativne efekte na zdravlje čoveka. Sastav suspendovanih čestica može biti različit i zavisi od procesa kojim čestice nastaju, a u sastav obično ulaze sulfati, nitrati, mineralna prašina i dr. Kada je reč o suspendovanim česticama dijametra manjeg od 2,5 i 10 μm , istraživanja su pokazala da dugotrajna izloženost ljudi ovim česticama za posledicu ima povećanje svih vrsta zdravstvenih rizika kao i povećanje rizika od raka pluća [1]. O tome koliko kvalitet vazduha utiče na zdravlje čoveka, govori i podatak Organizacije za Ekonomsku Saradnju i Razvoj (OECD) koja procenjuje da će do 2050. godine zagađenje vazduha biti najveći uzrok smrti povezanih sa uslovima u životnoj sredini [2]. U skladu sa mogućim posledicama, razvojne politike svih država kako na nacionalnom, tako i regionalnom i globalnom nivou, su usmerene ka smanjenju emisije svih zagađujućih materija u narednim decenijama. U tom smislu je u odnosu na 1990. godinu, napravljen pomak u pravcu smanjenja emisije iz sektora saobraćaja, budući da trend emisije pojedinih zagađivača opada, što je direktna posledica primene zakonske regulative iz te oblasti [3]. Iz pomenutih razloga je neophodno kontinuirano i precizno praćenje emisije zagađujućih materija iz sektora saobraćaja kako bi se predupredile dalje posledice koje zagađenje iz ovog sektora izaziva. Za procenu emisije suspendovanih čestica i oksida sumpora iz sektora saobraćaja u primeni su modeli koji su zasnovani na emisionim faktorima i stopama aktivnosti. Procene emisije ovim modelima iz sektora saobraćaja čini deo ukupne nacionalne emisije zagađujućih materija iz svih sektora tj. inventar emisije. Zato je potrebno da procenjena emisija bude što preciznija, budući da se na osnovu toga kreiraju razvojne politike, donose smernice u pogledu smanjenja zagađenja i drugih zakonskih regulativa. Model koji ima najveću primenu za procenu emisije iz sektora saobraćaja na nacionalnom nivou je COPERT [4].

Osnovni cilj istraživanja u okviru ovog rada je primena Veštačkih neuronskih mreža (*Artificial Neural Networks – ANN*) za procenu emisije oksida sumpora i suspendovanih čestica na nacionalnom nivou iz sektora saobraćaja. ANN predstavljaju jednu od novijih tehnika modelovanja u oblasti zaštite životne sredine. Modeli zasnovani na neuronskim mrežama predmet su brojnih istraživanja u oblasti kvaliteta vazduha i pokazali su veoma dobre performanse [5–8]. Zbog očigledne veze između ekonomskog razvoja, broja proizvedenih vozila kao i privrednog razvoja i nivoa zagađenja nastalog iz sektora saobraćaja, otvara se mogućnost primene indikatora održivog razvoja kao ulaznih parametra za kreiranje modela za predviđanje suspendovanih čestica dijametra ispod 2,5 i 10 μm i oksida sumpora na nacionalnom nivou iz sektora saobraćaja.

2. MATERIJALI I METODE

Ulazni i izlazni podaci - Za razvoj modela za predviđanje emisije suspendovanih čestica i oksida sumpora iz sektora drumskog saobraćaja na nacionalnom nivou u ovom radu su primenjeni indikatori održivog razvoja. Pri odabiru ulaznih parametara, pošlo se od pretpostavke da na emisiju zagađujućih materija iz sektora saobraćaja značajan uticaj ima ekonomski i privredni razvoj jedne države, stopa zaposlenosti, kao i indikatori koji se odnose na potrošnju energije i broj proizvedenih, odnosno registrovanih vozila. Na taj način su odabrana četiri ulazna parametra: bruto domaći proizvod (BDP), stopa zaposlenosti stanovništva (SZ), potrošnja energije u sektoru saobraćaja (PES) i broj registrovanih ili prodatih vozila (RV). Izlazni parametri su godišnje emisije zagađujućih materija na nacionalnom nivou iz sektora drumskog saobraćaja (PM 2.5 μ m, PM 10 μ m, i oksidi sumpora). Podaci za razvoj modela su preuzeti iz baze podataka Eurostata i OICA proizvodne statistike (*Internationale des Constructeurs d'Automobiles-OICA*) [9,10]. Korišćeni su podaci 28 Evropskih država za period od 2006. do 2015. godine, pri čemu su podaci od 2006. do 2013. primenjeni za obučavanje neuronskih mreža dok su podaci za 2014. i 2015. godinu primenjeni za testiranje kreiranih modela. Sa ciljem dobijanja što boljih rezultata razvijenih modela, ulazni i izlazni podaci su normalizovani po stanovniku, dok su podaci za promenljivu-stopu zaposlenosti, koji su izraženi u procentima, podeljeni sa 100.

Arhitekture neuronskih mreža – ANN predstavljaju matematičke modele kojima se na pojednostavljen način oponaša način funkcionisanja biološkog nervnog sistema. Naime, veštačke neuronske mreže uče, kao i čovek, na osnovu predstavljenog izvesnog broja primera problema koji se rešava i zatim su na osnovu stečenog „iskustva“ u mogućnosti da na potpuno novim podacima reše složene realne probleme. Atraktivnost primene ANN leži u njihovoj sposobnosti oponašanja biološkog nervnog sistema i njegovih izuzetnih karakteristika obrade podataka kao što su nelinearnost, robustnost, tolerancija greške, učenje, sposobnost generalizacije i dr.[11]. Tokom proteklih godina primena ANN mreža na različitim poljima istraživanja je u porastu. Značajan je i broj naučnih radova koji se bave primenom ANN u oblasti kvaliteta vazduha [12–14]. Sa porastom primene ANN u različitim oblastima, značajno su unapređene postojeće mreže, ali su takođe razvijeni i novi tipovi mreža sa ciljem poboljšanja performansi. U ovom radu su primenjena dva tipa neuronskih mreža: višeslojni perceptron-troslojna neuronska mreža (*Multi-Layer Perceptron* - MLP) i osnovna mreža sa radialno zasnovanom funkcijom (*Radial-basis function*-RBF). Primenjeni tipovi mreža u ovom radu pripadaju mrežama sa kretanjem signala napred (*feed-forward*), od ulaznog preko skrivenog sloja do izlaznog sloja u jednom pravcu. Osnovna razlika primenjenih tipova mreža zasnovana je u načinu interpretiranja učenja mreže kao i ulozi skrivenog sloja kod jednog i kod drugog tipa mreže. Detaljnije informacije o načinu funkcionisanja, ulozi pojedinih slojeva kao i principu učenja ova dva tipa neuronskih mreža mogu se naći u odgovarajućoj stručnoj literaturi [15–17]. Optimalni parametri kreiranih ANN modela prikazani su u Tabeli 1.

Tabela 1. Optimalni parametri kreiranih ANN modela

MLP	✓	Broj skrivenih slojeva-1
	✓	Broj neurona po slojevima-4-3-1
	✓	Aktivaciona funkcija u skrivenom sloju-Tangens hiperbolična
RBF	✓	Broj neurona po slojevima-4-10-1
	✓	Aktivaciona funkcija-Softmax

3. REZULTATI I DISKUSIJA

Kao što je već pomenuto u prethodnom odeljku, za razvoj ANN modela primenjeno je četiri indikatora održivog razvoja. Da bi se utvrdilo da li su i u kojoj meri odabrani indikatori korelisani sa izlaznim promenljivama, urađena je korelaciona analiza. Rezultati korelacione analize su prikazani u Tabeli 2. Rezultati su pokazali da su odabrani indikatori u zadovoljavajućoj korelaciji sa izlaznim promenljivama, osim u slučaju oksida sumpora koji su u nešto slabijoj korelaciji sa odabranim ulaznim promenljivama. To ukazuje da su inicijalno odabrane ulazne promenljive adekvatne za razvoj ANN modela.

Tabela 2. Korelaciona analiza

	BDP	SZ	PES	RV	PM 2.5 μ m	PM 10 μ m	Ok.sumpora
BDP	1						
SZ	0,507073	1					
PES	0,708985	0,161418	1				
RV	0,8107	0,338689	0,834412	1			
PM 2.5 μ m	0,45481	-0,06643	0,748908	0,579005	1		
PM 10 μ m	0,503587	0,071227	0,657624	0,539913	0,91697	1	
Ok.sumpora	-0,04888	-0,07094	0,068888	0,053992	0,099339	0,04809	1

Radi procene performansi kreiranih modela, u ovom radu su korišćeni određeni statistički indikatori performansi. Broj statističkih pokazatelja performansi modela koji se danas koriste u literaturi je različit, u tom smislu su ovom radu korišćeni sledeći kriterijumi za ocenjivanje kreiranih modela: d_r -indeks performansi modela, NSE - The Nash-Sutcliffe Efficiency, $RMSE$ - greška korena srednjeg kvadrata (*Root Mean Squared Error*), MAE - srednja vrednost apsolutnih grešaka (*Mean Absolute Error*) i R^2 -Koficijent determinacije, koji su formulisani u nastavku.

$$d_r = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |Y_{P_i} - Y_{O_i}|}{2 \sum_{i=1}^n |Y_{O_i} - \bar{Y}_O|}; \quad (1)$$

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y_{O_i} - Y_{P_i})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_{O_i} - \bar{Y}_O)^2}; \quad (2)$$

$$RMSE = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (Y_{P_i} - Y_{O_i})^2}{n} \right]^{1/2}; \quad (3)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Y_{P_i} - Y_{O_i}|; \quad (4)$$

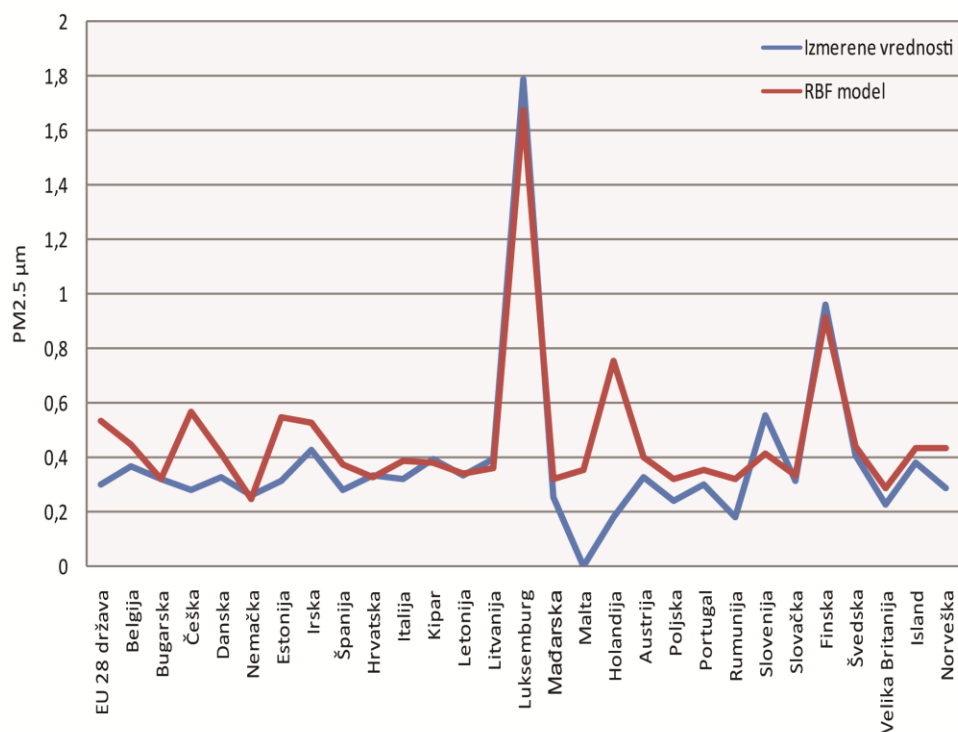
$$R^2 = \frac{\left[\sum (Y_p - \bar{Y}_p)(Y_o - \bar{Y}_o) \right]^2}{\sum (Y_o - \bar{Y}_o)^2 \sum (Y_p - \bar{Y}_p)^2} \quad (5)$$

gde Y_o predstavlja izmerene, tj.aktuelne vrednosti, dok Y_p predstavlja modelovane vrednosti. Vrednosti statističkih indikatora performansi kreiranih modela su prikazane u Tabeli 3. Kao što se može videti, rezultati predviđanja kreiranih ANN modela su veoma dobri. Najbolji rezultati su ostvareni u slučaju predikcije PM2.5 μm sa vrednostima d_r od 0,69 u slučaju MLP i 0,89 u slučaju RBF. S druge strane, najslabije rezultate predviđanja i jedan i drugi ANN model su pokazali u slučaju oksida sumpora, što se i moglo očekivati budući da je koraleciona analiza pokazala nešto slabiju korelaciju sa ulaznim promenljivama u odnosu na suspendovane čestice. Kada se uporede kreirani modeli, može se uočiti da bolje rezultate u odnosu na dva tipa primenjenih mreža daje RBF.

Tabela 3. Vrednosti statističkih pokazatelja performansi modela

ANN model	Izlazne promenljive	d_r	NSE	$RMSE$ [kg po st.]	MAE [kg po st.]
MLP	PM2.5 μm	0,69	0,28	0,34	0,18
	PM10 μm	0,67	-0,37	0,47	0,27
	Oksidi sumpora	0,50	-11,65	0,09	0,03
RBF	PM2.5 μm	0,89	0,84	0,19	0,12
	PM10 μm	0,70	0,34	0,39	0,25
	Oksidi sumpora	0,69	0,75	0,04	0,02

Poređenje izmerenih i RBF modelom predviđenih vrednosti za PM2.5 μm za svaku državu prikazane su na Slici 1. Kao što se može videti na dijagramu, rezultati predviđanja za svaku od država uključenih u ovom radu su veoma zadovoljavajući, tj.mogu se uočiti veoma dobra slaganja između izmerenih i RBF modelom predviđenih vrednosti, osim u slučaju Malte. U slučaju Malte ovo odstupanje se može objasniti značajnim porastom tj.oscilacijom indikatora PES u 2008.godini od 200 na 310 (1000 toe) u odnosu na ostali period, dok su slučaju emisije PM2.5 μm vrednosti u 2014. i 2015. godini jednake nuli. Ovakva odstupanja u podacima za trening mreže mogu biti razlog lošije procene koja je napravljena RBF modelom.



Slika 1. Poređenje izmerenih i RBF modelom predviđenih vrednosti PM2.5 µm

4. ZAKLJUČAK

Određivanje emisije zagađujućih materija koje potiču iz sektora saobraćaja je veoma kompleksno i zahteva poznavanje velikog broja specifičnih parametara. Procena emisije iz drumskog saobraćaja na evropskom nivou vrši se primenom COPERT IV modela koji je razvijen od strane Evropske agencije za zaštitu životne sredine. Procena emisije ovim modelom zasnovana je na emisionim faktorima i merama aktivnosti, i preciznost procenjene emisije zavisi od nivoa detaljnosti poznavanja podataka o pomenutim parametrima.

Modeli zasnovani na neuronskim mrežama primenjeni u ovom radu su pokazali veoma zadovoljavajuće rezultate predviđanja za sve tri zagađujuće materije. Prednost primene ovih modela ogleda se u primeni značajno manjeg broja ulaznih parametara, kao i mogućnost da se projekcijom trenda promene indikatora održivog razvoja, predvidi buduća emisija ovih zagađujućih materija. Takođe, modeli zasnovani na neuronskim mrežama mogu poslužiti kao jedan alternativni model za procenu emisije iz sektora saobraćaja, pored postojećeg, čime bi se dobili tačniji i precizniji podaci o emisijama na nacionalnom nivou. Budući da su precizni podaci osnov za kreiranje budućih razvojnih politika, a sve sa ciljem smanjenja zagađenja koje je posledica emisije iz sektora saobraćaja.

LITERATURA

- [1] Linares C, Díaz J, Tobías A. Are the limit values proposed by the new European Directive 2008/50 for PM2.5 safe for health? *Eur J Public Health* 2009;19:357–8.
- [2] OECD. ENVIRONMENTAL OUTLOOK TO 2050: The consequences of Inaction Key Findings on Health and Environment 2012. [http://www.oecd.org/general/searchresults/?q=deth cose air pollution&cx=012432601748511391518:zxeadub0b0a&cof=FORID:11&ie=UTF-8](http://www.oecd.org/general/searchresults/?q=deth+cose+air+pollution&cx=012432601748511391518:zxeadub0b0a&cof=FORID:11&ie=UTF-8) (accessed February 9, 2016).
- [3] EEA (European Environment Agency). Emissions of air pollutants from transport. Trend Emiss Air Pollut from Transp 2017. <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/transport-emissions-of-air-pollutants-8/transport-emissions-of-air-pollutants-4> (accessed November 11, 2017).
- [4] Ntziachristos L, Gkatzoflias D, Kouridis C, Samaras Z. COPERT: A European road transport emission inventory model. *Environ Sci Eng (Subseries Environ Sci)* 2009;491–504. doi:10.1007/978-3-540-88351-7-37.

- [5] Brunelli U, Piazza V, Pignato L, Sorbello F, Vitabile S. Two-days ahead prediction of daily maximum concentrations of SO₂, O₃, PM₁₀, NO₂, CO in the urban area of Palermo, Italy. *Atmos Environ* 2007;41:2967–95. doi:10.1016/j.atmosenv.2006.12.013.
- [6] Brunelli U, Piazza V, Pignato L, Sorbello F, Vitabile S. Three hours ahead prevision of SO₂ pollutant concentration using an Elman neural based forecaster. *Build Environ* 2008;43:304–14. doi:10.1016/j.buildenv.2006.05.011.
- [7] Singh KP, Gupta S, Kumar A, Shukla SP. Linear and nonlinear modeling approaches for urban air quality prediction. *Sci Total Environ* 2012;426:244–55. doi:10.1016/j.scitotenv.2012.03.076.
- [8] Stamenković LJ, Antanasijević DZ, Ristić M, Perić-Grujić AA, Pocajt V V. Modeling of ammonia emission in the USA and EU countries using an artificial neural network approach. *Environ Sci Pollut Res* 2015;22:18849–58. doi:10.1007/s11356-015-5075-5.
- [9] Eurostat. Database - Eurostat 2017. <http://ec.europa.eu/eurostat/data/database> (accessed March 10, 2016).
- [10] OICA. The International Organization of Motor Vehicle Manufacturers. *Prod Stat | OICA* 2015. <http://www.oica.net/category/production-statistics/> (accessed October 20, 2015).
- [11] Jain AK, Mao J. Artificial Neural Network: A Tutorial. *Communications* 1996;29:31–44. doi:10.1109/2.485891.
- [12] Stamenković LJ, Antanasijević DZ, Ristić MĐ, Perić-Grujić AA, Pocajt V V. Estimation of NMVOC emissions using artificial neural networks and economical and sustainability indicators as inputs. *Environ Sci Pollut Res* 2016. doi:10.1007/s11356-016-6279-z.
- [13] Antanasijević D, Pocajt V, Ristić M, Perić-Grujić A. Modeling of energy consumption and related GHG (greenhouse gas) intensity and emissions in Europe using general regression neural networks. *Energy* 2015;84:816–24. doi:10.1016/j.energy.2015.03.060.
- [14] Ul-Saufie AZ, Yahaya AS, Ramli NA, Rosaida N, Hamid HA. Future daily PM₁₀ concentrations prediction by combining regression models and feedforward backpropagation models with principle component analysis (PCA). *Atmos Environ* 2013;77:621–30. doi:10.1016/j.atmosenv.2013.05.017.
- [15] Kalani H, Sardarabadi M, Passandideh-Fard M. Using artificial neural network models and particle swarm optimization for manner prediction of a photovoltaic thermal nanofluid based collector. *Appl Therm Eng* 2017;113:1170–7. doi:10.1016/j.applthermaleng.2016.11.105.
- [16] Orr MJL, Others. Introduction to radial basis function networks. *Univ Edinbg* 1996:1–67.
- [17] Basheer IA, Hajmeer M. Artificial neural networks: Fundamentals, computing, design, and application. *J Microbiol Methods* 2000;43:3–31. doi:10.1016/S0167-7012(00)00201-3.