

Predviđanje parametara kvaliteta vazduha na teritoriji grada Vranja primenom VNM i ekonomskih i industrijskih indikatora

Prediction of air quality parameters on the territory of the city of Vranje using VNM and economic and industrial indicators

Lidija Stamenković^{1}, Stefana Todorović², Gordana Bogdanović³, Jelena Marković⁴, Tijana Milanović⁵*

¹⁻⁵Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija Niš, Odsek Vranje, Filipa Filipovića 20, Vranje, Srbija / Academy of Applied Technical and Preschool Studies, Section Vranje, Filipa Filipovića 20, Vranje, Serbia

*Autor za prepisku / Corresponding author

Rad primljen / Received: 11.04.2022, Rad prihvaćen / Accepted: 10.05.2022.

Sažetak: Predmet ovog rada je ispitivanje mogućnosti predviđanja koncentracije parametara kvaliteta vazduha (SO₂, NO₂ i čađ) na teritoriji Grada Vranja primenom veštačkih neuronskih mreža (VNM). Za razvoj modela kao ulazni podaci korišćene su srednje godišnje koncentracije parametara kvaliteta vazduha dobijenih manuelnim metodama u Zavodu za javno Zdravlje Vranje (ZZJZ) za period od 2016. do 2019. godine i ekonomski, industrijski i privredni parametri dobijeni iz baze podataka Republičkog zavoda za statistiku Republike Srbije. Podaci merne stanice škola "Svetozar Marković" su korišćeni za treniranje mreže, dok je testiranje mreže vršeno podacima sa merne stanice ZZJZ. Korelacionom analizom utvrđena je zavisnost između ekonomskih, industrijskih i privrednih parametara i koncentracije parametara kvaliteta vazduha na teritoriji grada Vranja. Rezultati korelacione analize su pokazali visoku korelaciju, što je ukazuje da su inicijalno odabrani ulazni parametri za razvoj VNM modela adekvatni. Rezultati razvijenog modela poređeni su sa aktuelnim vrednostima koncentracija ispitivanih zagađujućih materija i performanse kreiranog modela su iskazane vrednošću statističkog indikatora performansi modela, koeficijentom determinacije R². Dobijeni rezultati pokazuju da se najbolje predviđanje modela postiže u slučaju čađi dok za druga dva parametara kvaliteta vazduha, SO₂, NO₂, model pokazuje nešto slabije rezultate predviđanja, ali zadovoljavajuće.

Ključne reči: Kvalitet vazduha, veštačke neuronske mreže, parametri kvaliteta vazduha, SO₂, NO₂, čađ.

Abstract: The subject of this paper is the examination of the possibility of predicting the concentration of air quality parameters (SO₂, NO₂ and soot) on the territory of the City of Vranje using artificial neural networks. For the development of the model the average annual concentrations of air quality parameters obtained by manual methods in the Institute of Public Health Vranje for the period from 2016 to 2019 and economic and industrial parameters obtained from the database of the Republic Institute for Public Health were used as input data. The data from the measuring station of the "Svetozar Markovic" school were used to train the network, while the testing of the network was performed with data from the measuring station of the Institute for Public Health. Correlation analysis determined the correlation between economic and industrial parameters and the concentration of air quality parameters in the city of Vranje. The results of the correlation analysis showed a high correlation, which indicates that the initially selected input parameters for the development of the ANN model are adequate. The results of the developed model are compared with the actual values of the concentrations of the tested pollutants and the performance of the created model is expressed by the value of the statistical indicator of the performance model, by the coefficient of determination R². The obtained results show that the best prediction of the model is achieved in the case of soot, while for the other two parameters of air quality, SO₂, NO₂, the model shows slightly weaker prediction results but satisfactory.

Keywords: Air quality, artificial neural networks, air quality parameters, SO₂, NO₂, soot.

¹orcid.org/0000-0002-6402-3274, e-mail: lidija.stamenkovic@akademijanis.edu.rs

²e-mail: stefanatodorovic79@gmail.com

³orcid.org/0000-0002-4356-0038, e-mail: gordanabd@gmail.com

⁴orcid.org/0000-0003-2131-8606, e-mail: gogajjeka94@gmail.com

⁵orcid.org/0000-0001-5563-9571, e-mail: tijana.milanovic@akademijanis.edu.rs

UVOD / INTRODUCTION

Poslednjih godina usled sve većeg privrednog i industrijskog razvoja degradacija životne sredine, a posebno kvaliteta vazduha zauzima sve veći značaj kako na lokalnom tako i globalnom nivou. Značajan broj međunarodnih organizacija čini brojne napore kako bi se zagađenje vazduha pa samim tim i klimatske promene proistekle iz toga svele na razumnu meru. Tokom proteklih decenija značajan razvoj industrijskih aktivnosti, sagorevanje fosilnih goriva, kao i saobraćaj za posledicu imaju narušavanje kvaliteta vazduha. Negativne posledice proistekle usled degradacije kvaliteta vazduha ukazuju na neophodnost kontinuiranog praćenja njegovog kvaliteta. Održivi razvoj i ciljevi proistekli iz Agende za održivi razvoj do 2030. daju smernice koje obavezuju sve države u kom pravcu treba da definišu svoj razvoj kako bi bio usklađen sa prioritetom za očuvanje životne sredine pa samim tim i za očuvanje kvaliteta vazduha (Sustainable Development Goals, 2022). Pored Agende za održivi razvoj do 2030, koja kao jedan od ciljeva sadrži sprečavanje klimatskih promena, na globalnom nivou se brojnim konvencijama o zaštiti kvaliteta vazduha i protokolima proisteklim iz njih, države potpisnice obavezuju na poštovanje obaveza u pogledu podnošenja godišnjih izveštaja o stanju kvaliteta vazduha na nacionalnom nivou (Agencija za zaštitu životne sredine, 2022). To podrazumeva kontinuirani monitoring kvaliteta vazduha kako na lokalnom tako i nacionalnom nivou. Republika Srbija kao potpisnica međunarodnih obaveza koje se tiču kvaliteta vazduha koristeći pomenute smernice, svoju zakonsku regulativu usklađuje sa preuzetim obavezama. Podaci o stanju kvaliteta vazduha na teritoriji Republike Srbije se dobijaju preko državne i lokalnih mreža za monitoring kvaliteta vazduha (Agencija za zaštitu životne sredine, 2022). Da bi se dobili što tačniji i pouzdaniji podaci o stanju kvaliteta vazduha postojanje alternativnih modela za procenu koncentracije zagađujućih materija je od velike važnosti kako na nacionalnom tako i lokalnom nivou.

Na teritoriji Republike Srbije merenje aeropolutanata vrši Agencija za zaštitu životne sredine koja saraduje sa Evropskom Agencijom za životnu sredinu (European Environment Agency - EEA) i Evropskom mrežom za informacije i osmatranje (European Environment Information and Observation Network - EIONET). Prema ustanovljenom programu, državnu mrežu, pored automatskih mernih stanica Agencije za zaštitu životne sredine, čini i mreža mernih mesta zavoda za javno zdravlje. Kontrola kvaliteta vazduha na teritoriji Grada Vranja se vrši pored automatskih mernih stanica i na dva

merna mesta Zavoda za javno zdravlje Vranje (Zavod za javno zdravlje Vranje, 2022). Izbor mernih mesta je utvrđen na osnovu različitih parametara, gustine naseljenosti, meteoroloških uslova i specifičnosti terena. Jedno merno mesto se nalazi u Zavodu za javno zdravlje Vranje u Vranju, dok se drugo merno mesto nalazi u krugu Osnovne škole „Svetozar Marković“. Manuelnim metodama se određuju sledeći parametri kvaliteta vazduha: SO₂, NO₂ i čađ (Zavod za javno zdravlje Vranje, 2022).

Proteklih nekoliko godina raste interesovanje za primenu veštačkih neuronskih mreža (VNM) u predviđanju zagađenja ambijentalnog vazduha (Abdul-Wahab, Al-Alawi, 2002; Al-Alawi et al., 2008; Shakerkhatibi et al., 2015; Abderrahim et al., 2016; Stamenković et al., 2016, 2017; Antanasijević et al., 2018; Goulier et al., 2020; Deepthi et al., 2020). U proteklom periodu, veštačke neuronske mreže su uspešno implementirane u kratkoročnom i dugoročnom predviđanju kvaliteta vazduha. Brojna istraživanja pokazuju da je primena ANN za period od 2015. do 2019. za modelovanje kvaliteta vazduha porasla za oko 50%, što nedvosmisleno ukazuje na njihov značaj i dobre performanse u predviđanju (Cabaneros et al., 2019; Ye et al., 2020). Ovo je pogotovo značajno sa aspekta postojanja alternativnih modela, kakav je model zasnovan na neuronskim mrežama, pored već postojećih, kako bi se nivo zagađujućih materija u vazduhu što tačnije odredio, što dugoročno gledano može imati veoma veliki značaj na kreiranje razvojnih politika kako država i lokalnih zajednica tako i na globalnom nivou. VNM imaju mogućnost modelovanja kako linearnih tako i nelinearnih funkcija zavisnosti. Zbog postojanja kompleksne veze sa dostupnim parametrima na osnovu čijih vrednosti se određuju VNM se mogu koristiti za modelovanje zagađujućih materija u vazduhu (Antanasijević, 2014; Stamenković, 2016).

U ovom radu, cilj istraživanja je da se na osnovu veze industrijskih, ekonomskih i privrednih parametara sa koncentracijom zagađujućih materija u vazduhu kao ulaznih veličina, razvije model neuronskih mreža za predviđanje parametara kvaliteta vazduha na teritoriji Grada Vranja.

1. RAZVOJ MODELA VNM / DEVELOPMENT OF VNM MODEL

Brojna istraživanja su pokazala da se veza između industrijskog i ekonomskog razvoja i zagađenja vazduha može iskoristiti u primeni ovih parametara u modelovanju VNM. Rezultati istraživanja su pokazali veoma dobre performanse kreiranih modela koja su upravo koristila indikatore održivog

razvoja i neuronske mreže za modelovanje nivoa zagađujućih materija kako na lokalnom tako i nacionalnom nivou (Stamenkovic et al., 2015).

Da bi se ispitale mogućnosti VNM za predviđanje parametara kvaliteta vazduha na teritoriji Grada Vranja, kao ulazine promenljive za razvoj VNM modela korišćeni su podaci o kvalitetu vazduha (srednje godišnje koncentracije parametara) dobijeni manuelnim metodama u Zavodu za javno zdravlje Vranje za period 2016-2019. godine i ekonomski, industrijski i privredni parametri dobijeni iz baze podataka Republičkog zavoda za statistiku (Zavod za javno zdravlje Vranje, 2022; Republički zavod za statistiku Srbije, 2022). U tom smislu su pre razvoja modela najpre definisane izlazne veličine tj. zavisne promenljive čije predviđanje je vršeno a to su SO₂, NO₂ i čađ. Koncentracije ovih parametara su merene na mernoj stanici ZZJZ u Vranju i osnovnoj školi „Svetozar Marković“ u Vranju. Podaci su preuzeti sa sajta Zavoda za javno zdravlje i korišćeni su za treniranje i testiranje veštačkih neuronskih mreža.

Performanse kreiranog modela ocenjivane su vrednošću statističkog indikatora performansi modela - koeficijentom determinacije (R²). Rezultati razvijenog modela (C_p) su poređeni sa aktuelnim (merenim) vrednostima koncentracija ispitivanih zagađujućih materija (C_o).

Vrednosti koeficijenta determinacije se kreću od 0-1 i što je vrednost bliža jedinici to model daje bolja predviđanja tj. model daje tačnija predviđanja parametara kvaliteta vazduha (1).

$$R^2 = \frac{[\sum(c_p - \bar{c}_p)(c_o - \bar{c}_o)]}{\sum(c_o - \bar{c}_o)^2 \sum(c_p - \bar{c}_p)^2} \quad (1)$$

Nakon odabira izlaznih promenljivih, pristupilo se definisanju ulaznih veličina tj. nezavisnih promenljivih. Na osnovu ranijih istraživanja i na osnovu literaturnih podataka odabrani su oni parametri za koje se pretpostavlja da utiču na vrednost izlaznih promenljivih, u ovom slučaju na koncentraciju polutanata u vazduhu - oksida SO₂, NO₂ i čađi. U tom smislu odabrano je 8 parametara i to: procenjen broj stanovnika, struktura registrovane zaposlenosti - saobraćaj i skladištenje, struktura registrovane zaposlenosti - snabdevanje električnom energijom gasom i parom, struktura registrovane zaposlenosti - prerađivačka industrija, struktura registrovane zaposlenosti - rudarstvo, dužina puteva II reda, dužina puteva opštinskih i registrovana motorna i priključna vozila. Podaci su dobijeni sa sajta Republičkog zavoda za statistiku Srbije za grad Vranje. Odabrani ulazni parametri i veličine koje se modeluju prikazani su u Tabeli 1.

Tabela 1 - Ulazni i izlazni parametri / Table 1 - Input and output parameters

Procenjen broj stanovnika-BS
Struktura registrovane zaposlenosti - saobraćaj i skladištenje - SRZ/SS
Struktura registrovane zaposlenosti - snabdevanje električnom energijom gasom i parom - SRZ/SEE
Struktura registrovane zaposlenosti - Prerađivačka industrija- /PI
Struktura registrovane zaposlenosti - Rudarstvo - SRZ/R
Dužina puteva II reda - DP2R
Dužina puteva opštinskih - DP/O
Registrovana motorna i priključna vozila - RV
SO ₂ µg/m ³
NO ₂ µg/m ³
Čađ µg/m ³

Za razvoj modela potrebno je najpre odrediti arhitekturu mreže i parametre mreže (broj skrivenih slojeva, broj neurona u skrivenom sloju, aktivacione funkcije). U ovom radu korišćena je standardna tro-slojna mreža sa jednim skrivenim slojem neurona. Arhitektura mreže utvrđuje kompletnu strukturu i protok informacija kod ANN modela i ima veoma važnu ulogu u uočavanju veza među ulaznim i izlaznim veličinama. Model veštačkih neuronskih mre-

ža je kreiran u softveru IBM SPSS v19. Detalji kreiranog modela su prikazani u Tabeli 2.

Sledeća faza u razvoju modela VNM je treniranje tj. obučavanje mreže. Za treniranje mreže korišćeni su podaci iz merne stanice u Osnovnoj školi „Svetozar Maroković“ u Vranju, dok je testiranje mreže vršeno podacima sa merne stanice u Zavodu za javno zdravlje u Vranju.

Tabela 2 - Detalji kreiranog modela / Table 2 - Details of the created model

Arhitektura VNM	MLP-Multylayer perceptron - standardna troslojna neuronska mreža
Ulazni sloj neurona	8
Metoda skaliranja ulaznih veličina	Standardizovana ulazne veličine
Broj skrivenih slojeva neurona	1
Broj neurona u skrivenom sloju	7
Aktivaciona funkcija u skrivenom sloju	Hiperbolic tangent
Izlazni sloj neurona	3
Aktivaciona funkcija izlaznog sloja neurona	Identity

2. REZULTATI I DISKUSIJA / RESULTS AND DISCUSSION

Nakon odabira ulaznih promenljivih, a pre razvoja modela, pristupilo se korelacionoj analizi sa ciljem utvrđivanja veze između zavisnih i nezavisnih promenljivih, tj. između ekonomskih i industrijskih parametara i koncentracije ispitivanih zagađujućih materija. Na osnovu vrednosti koeficijenta korelacije koje su sve iznad 0,5 jasno se može uočiti da kore-

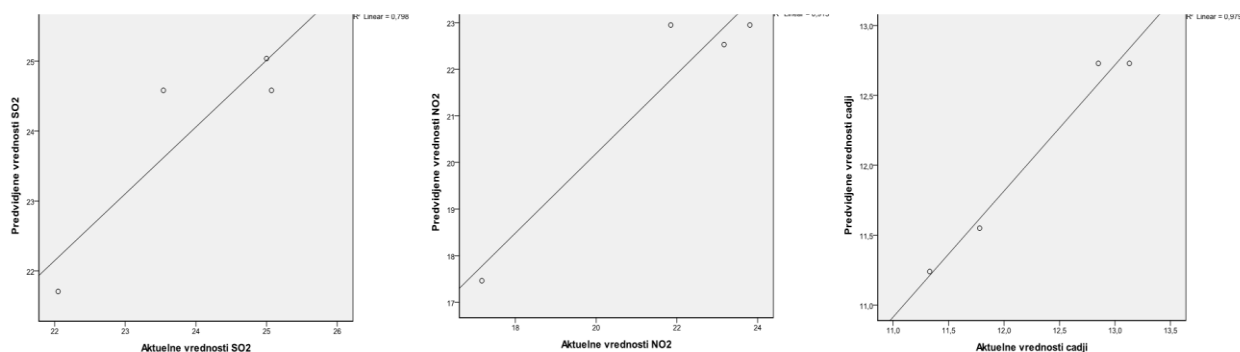
laciona analiza pokazuje da postoji značajna korelacija između ulaznih veličina i zagađujućih materija (boldovane vrednosti) (Tabela 3.). Ovo ukazuje da su inicijalno odabrani ulazni parametri pogodni za razvoj modela. Međutim, na osnovu korelacione analize se takođe može uočiti visoka korelacija između ulaznih parametara što može imati negativan uticaj prilikom razvoja modela VNM pa samim tim i uticati na performanse kreiranog modela.

Tabela 3 - Korelaciona analiza / Table 3 - Correlation analysis

BS	1							
SRZ/SS	-0,87383	1						
SRZ/SEE	-0,86546	0,999856	1					
SRZ/PI	-0,87614	0,999989	0,999764	1				
SRZ/R	-0,85782	0,999488	0,999887	0,999324	1			
DP2R	-0,85782	0,999488	0,999887	0,999324	1	1		
DP/O	-0,85703	0,999437	0,999862	0,999266	0,999999	0,999999	1	
RV	-0,83709	0,997475	0,998536	0,997125	0,999236	0,999236	0,999296	1
SO₂ µg/m³	0,54714	-0,8545	-0,86134	-0,85254	-0,86719	-0,86719	-0,86779	-0,88149
NO₂ µg/m³	-0,71272	0,540505	0,532044	0,542856	0,524409	0,524409	0,523617	0,504024
Čađ µg/m³	-0,97312	0,959528	0,954693	0,960837	0,950175	0,950175	0,949698	0,937435

Nakon treninga tj. obučavanja mreže podacima sa jednog mernog mesta (OŠ „Svetozar Marković“) dobijeni su rezultati prikazani na Slici 1. Kao što se može videti, vrednost koeficijenta determinacije R²

u slučaju predviđanja sve tri zagađujuće materije su veoma zadovoljavajuće 0,798 u slučaju SO₂, 0,913 u slučaju NO₂ i 0,979 u slučaju predviđanja nivoa čađi.

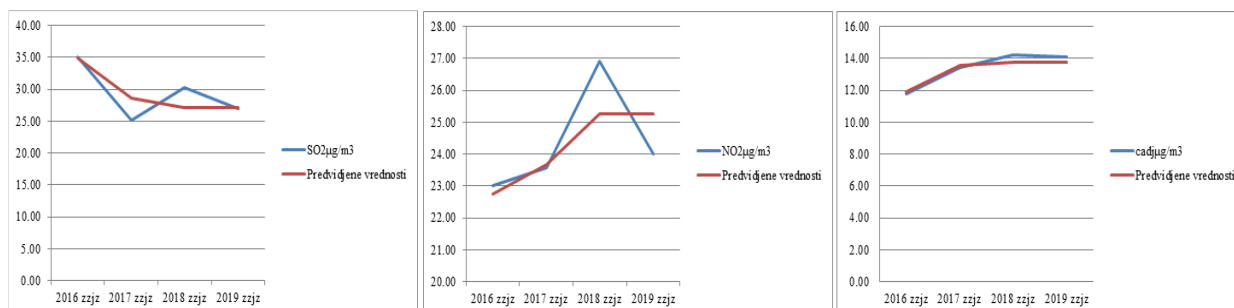


Slika 1 - Poređenje aktuelne i predviđene vrednosti / Figure 1 - Comparison of actual and predicted values

Nakon treninga mreže, pristupilo se testiranju mreže sa podacima koji mreži nisu prethodno prezentovani, odnosno to su podaci sa mernog mesta u Zavodu za javno zdravlje u Vranju. Rezultati su prikazani na Slici 2. Kao što se može videti najbolji rezultati predviđanja na potpuno novim podacima, sa drugog mernog mesta, pokazuju se u slučaju čađi, dok su nešto slabiji rezultati u slučaju SO_2 i NO_2 . Nešto slabiji rezultati u slučaju SO_2 i NO_2 ukazuju na to da je potrebno eventualno uključiti u razvoj modela i meteorološke parametre pored ekonomskih i industrijskih, čime bi se, pretpostavlja se, poboljšale performanse kreiranog modela za predviđanje sve tri zagađujuće materije. Pored toga, pretpostavlja se da je visoka korelacija između ulaznih veličina, u svim slučajevima veća od 0,9, uticala na smanjene performanse kreiranog modela. U tom smislu bi trebalo primeniti neku od metoda za

odabir ulaznih promenljivih kako bi se ovaj efekat smanjio i odabrale one ulazne promenljive koje imaju najveći uticaj na koncentraciju ispitivanih zagađujućih materija.

Primena VNM i ekonomskih i industrijskih indikatora u predviđanju emisije zagađujućih materija na nacionalnom nivou pokazala je veoma zadovoljavajuće rezultate sa vrednostima indikatora performansi modela koje ukazuju na veoma niske greške u predviđanju emisije različitih polutanata (oksida azota, NMVOC itd.) (Stamenkovic et al., 2015; Stamenković et al., 2016, 2017). U ovom radu model VNM, u kome su takođe korišćeni pomenuti ekonomski i industrijski indikatori kao ulazne veličine, pokazao je zadovoljavajuće performanse u predviđanju koncentracije zagađujućih materija u ovom slučaju na lokalnom nivou.



Slika 2 - Izmerene-predviđene vrednosti SO_2 , NO_2 i čađi na podacima za testiranje
Figure 2 - Measured-predicted values of SO_2 , NO_2 and soot on test dataset

ZAKLJUČAK / CONCLUSION

U ovom radu cilj je bio ispitivanje mogućnosti veštačkih neuronskih mreža za predviđanje parametara kvaliteta vazduha na teritoriji Grada Vranja. Za razvoj modela neuronskih mreža korišćene su izmerene vrednosti SO_2 , NO_2 i čađi u Zavodu za Javno Zdravlje u Vranju na dva merna mesta i ekonomski i industrijski parametri za Grad Vranje. Podaci sa jednog mernog mesta su korišćeni za obučavanje mreža, dok su podaci sa drugog mernog mesta korišćeni za validaciju modela. Dobijeni rezultati su pokazali da je predviđanje polutanata ovim pristupom dalo zadovoljavajuće rezultate. Najbolji rezultati su dobijeni u slučaju predviđanja nivoa čađi, dok su u slučaju SO_2 i NO_2 rezultati predviđanja nešto slabiji.

Na osnovu dobijenih rezultata može se zaključiti da se neuronske mreže mogu koristiti za predviđanje koncentracije zagađujućih materija u vazduhu na teritoriji Grada Vranja i da mogu poslužiti kao

alternativni model postojećem načinu merenja parametara kvaliteta vazduha.

Primena ekonomskih i industrijskih parametara kao ulaznih promenljivih za razvoj modela, od kojih zavisi koncentracija polutanata, može omogućiti da se stekne uvid na koji način promena ovih parametara može uticati na buduće koncentracije zagađujućih materija i na taj način planirati razvoj i kreirati razvojne politike Grada.

Budući da je model dao zadovoljavajuće rezultate, pravci daljeg istraživanja mogli bi biti poboljšanje performansi kreiranog modela. Pretpostavka je da bi uvođenje meteoroloških parametara u razvoj modela kao ulaznih parametara poboljšalo performanse postojećeg modela.

Zahvalnica / Acknowledgement

Autori se zahvaljuju Zavodu za javno zdravlje Vranje, Republičkom zavodu za statistiku Srbije i Agenciji za zaštitu životne sredine na dostupnosti podataka.

LITERATURA / REFERENCES

- [1] Abderrahim, H., Chellali, M.R., Hamou, A. (2016), Forecasting PM10 in Algiers: efficacy of multilayer perceptron networks, *Environmental Science and Pollution Research International*, 23(2), 1634-1641. doi:10.1007/s11356-015-5406-6.
- [2] Abdul-Wahab, S.A., Al-Alawi, S.M. (2002), Assessment and prediction of tropospheric ozone concentration levels using artificial neural networks, *Environmental Modelling & Software*, 17(3), 219-228. doi:10.1016/S1364-8152(01)00077-9.
- [3] Agencija za zaštitu životne sredine (2022), Ministarstvo zaštite životne sredine. Available at: <http://www.sepa.gov.rs/> (Accessed: 9 February 2022).
- [4] Al-Alawi, S.M., Abdul-Wahab, S.A., Bakheit, C.S. (2008), Combining principal component regression and artificial neural networks for more accurate predictions of ground-level ozone, *Environmental Modelling & Software*, 23(4), 396-403. doi:10.1016/j.envsoft.2006.08.007.
- [5] Antanasijević, D. (2014), *Modelovanje indikatora kvaliteta životne sredine primenom veštačkih neuronskih mreža*, Univerzitet u Beogradu [Preprint]. Available at: <https://nardus.mpn.gov.rs/handle/123456789/6517> (Accessed: 9 February 2022).
- [6] Antanasijević, D., Pocajt, V., Perić-Grujić, A., Ristić, M. (2018), Multiple-input-multiple-output general regression neural networks model for the simultaneous estimation of traffic-related air pollutant emissions, *Atmospheric Pollution Research*, 9(2), 388-397. doi:10.1016/j.apr.2017.10.011.
- [7] Cabaneros, S.M., Calautit, J.K., Hughes, B.R. (2019), A review of artificial neural network models for ambient air pollution prediction, *Environmental Modelling & Software*, 119, 285-304. doi:10.1016/j.envsoft.2019.06.014.
- [8] Deepthi, L.R., Amruta C.G., Devika Krishnan, Roshini S. Kumar, Sourav S. (2020), A novel approach for prediction of air pollutant concentration, *4th International Conference on Trends in Electronics and Informatics (ICOEI)*(48184), 217-223. doi:10.1109/ICOEI48184.2020.9142907.
- [9] Goulier, L., Paas, B., Ehrnsperger, L., Klemm, O. (2020), Modelling of urban air pollutant concentrations with artificial neural networks using novel input variables, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(6), 2025. doi:10.3390/ijerph17062025.
- [10] Shakerkhatibi, M., Mohammadi, N., Benis, K.Z., Sarand, A.B., Fatehifar, E., Hashemiet, A.A. (2015), Using ANN and EPR models to predict carbon monoxide concentrations in urban area of Tabriz, *Environmental Health Engineering And Management Journal*, 2(3), 117-122.
- [11] Republički zavod za statistiku Srbije (2022). Available at: <https://www.stat.gov.rs/> (Accessed: 8 February 2022).
- [12] Stamenkovic, L.J., Antanasijević, D.Z., Ristić, M.Đ., Perić-Grujić, A.A., Pocajt, V.V. (2015), Modeling of methane emissions using artificial neural network approach, *Journal of the Serbian Chemical Society*, 80(3), 421-433. doi:10.2298/JSC020414110S.
- [13] Stamenković, L.J., Antanasijević, D.Z., Ristić, M.Đ., Perić-Grujić, A.A., Pocajt, V.V. (2016), Estimation of NMVOC emissions using artificial neural networks and economical and sustainability indicators as inputs, *Environmental Science and Pollution Research International*, 23(11), 10753-10762. doi:10.1007/s11356-016-6279-z.
- [14] Stamenković, L.J. (2016), Predviđanje emisije gasovitih zagađujućih materija na nacionalnom nivou primenom modela zasnovanih na veštačkim neuronskim mrežama, Doktorska disertacija, Univerzitet u Beogradu. Available at: <https://nardus.mpn.gov.rs/handle/123456789/7650> (Accessed: 8 February 2022).
- [15] Stamenković, L.J., Antanasijević, D.Z., Ristić, M.Đ., Perić-Grujić, A.A., Pocajt, V.V. (2017), Prediction of nitrogen oxides emissions at the national level based on optimized artificial neural network model, *Air Quality, Atmosphere & Health*, 10(1), 15-23. doi:10.1007/s11869-016-0403-6.
- [16] Sustainable Development Goals (2022), United Nations Development Programme (UNDP). Available at: <https://www.undp.org/sustainable-development-goals> (Accessed: 9 February 2022).
- [17] Ye, Z., Yang, J., Zhong, N., Tu, X., Jia, J., Wang, J. (2020), Tackling environmental challenges in pollution controls using artificial intelligence: A review, *Science of The Total Environment*, 699, 134279. doi:10.1016/j.scitotenv.2019.134279.
- [18] Zavod za javno zdravlje Vranje (2022). Available at: <https://www.zjzvranje.org.rs/> (Accessed: 8 February 2022).