

ECOLOGICA, Vol. 30, No 111 (2023), 455-460

<https://doi.org/10.18485/ecologica.2023.30.111.16>

Originalni naučni rad

UDC: 631.861:546.171.1(430+44)“2014/2020“
351.777.6

Predviđanje emisije amonijaka iz poljoprivrednog sektora primenom MLR i ANN

Prediction of ammonia emissions from the agriculture using MLR and ANN

Lidija Stamenković^{1}, Vladanka Presburger Ulniković², Tijana Milanović³,
Gordana Bogdanović⁴, Damjan Stanojević⁵*

^{1,3,4,5}Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija Niš, Odsek Vranje, Vranje, Srbija /
Academy of Applied Technical and Preschool Studies, Section Vranje, Vranje, Serbia

²Univerzitet "Union - Nikola Tesla", Fakultet za ekologiju i zaštitu životne sredine, Beograd, Srbija /
University "Union - Nikola Tesla", Faculty of Ecology and Environmental Protection, Belgrade, Serbia

*Autor za prepisku / Corresponding author

Rad primljen / Received: 24.04.2023, Rad prihvaćen / Accepted: 09.08.2023.

Sažetak: Cilj ovog rada je ispitivanje mogućnosti predviđanja godišnje emisije amonijaka iz poljoprivrednog sektora za dve EU države sa razvijenom poljoprivrednom proizvodnjom, primenom višestruke linearne regresije i veštačkih neuronskih mreža. Za razvoj modela kao ulazni podaci korišćene su godišnje vrednosti emisije amonijaka za dve države EU i to Nemačke i Francuske za period od 2014. do 2020. godine i četiri poljoprivredna indikatora. Kao nezavisne promenljive modela korišćeni su sledeći poljoprivredni indikator: prodaja pesticida, potrošnja veštačkih đubriva, površina koja se koristi za proizvodnju useva i površina pod organskom proizvodnjom. Primenom korelacione analize utvrđena je zavisnost između poljoprivrednih indikatora i emisije amonijaka iz poljoprivrede. Rezultati korelacione analize nad odabranim promenljivama su pokazali značajnu korelaciju, što ukazuje na to da su inicijalno odabrane nezavisne promenljive za razvoj modela, zasnovanih na višestrukoj linearnoj regresiji (MLR) i veštačkim neuronskim mrežama (ANN), adekvatni. Rezultati oba razvijena modela, MLR i ANN, poređeni su sa izmerenim vrednostima emisije amonijaka koja potiče od poljoprivrede, i performanse kreiranih modela iskazane su vrednošću statističkog indikatora performansi modela, koeficijentom determinacije. Dobijeni rezultati su pokazali veoma dobro slaganje između predviđenih i izmerenih vrednosti kod oba modela. Međutim značajno bolje predviđanje je postignuto primenom ANN modela u odnosu na MLR model.

Ključne reči: emisija amonijaka, poljoprivreda proizvodnja, MLR, ANN.

Abstract: The aim of this paper is the examination of the possibility of forecasting the annual ammonia emissions as a result of the agricultural production for two EU countries with developed agricultural production, using multiple linear regression and artificial neural networks. For the development of the models, the annual values of ammonia emissions for two EU countries, Germany and France, for the period from 2014 to 2020 and four agricultural indicators were used as input data. The following agricultural indicators were used as independent variables of the model: sale of pesticides, consumption of artificial fertilizers, area used for crop production and area under organic production. Using correlation analysis, the dependence between agricultural indicators and ammonia emissions from agriculture was determined. The results of the correlation analysis on the selected variables showed a significant correlation, which indicates that the initially selected independent variables for model development, based on multiple linear regression (MLR) and artificial neural networks (ANN), are adequate. The results of both developed models, MLR and ANN, were compared with the measured values of ammonia emission as a result of the agricultural production, and the performance of the created models was expressed by the value of the statistical indicator of model performance, the coefficient of determination. The obtained results showed a very good agreement between the predicted and measured values for both models. However, a significantly better prediction was achieved using the ANN model compared to the MLR model.

Keywords: ammonia emissions, agricultural production, MLR, ANN.

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

²orcid.org/0000-0001-6144-3399, e-mail: vladankap@gmail.com

³orcid.org/0000-0001-5563-9571, e-mail: tijana.milanovic@akademijanis.edu.rs

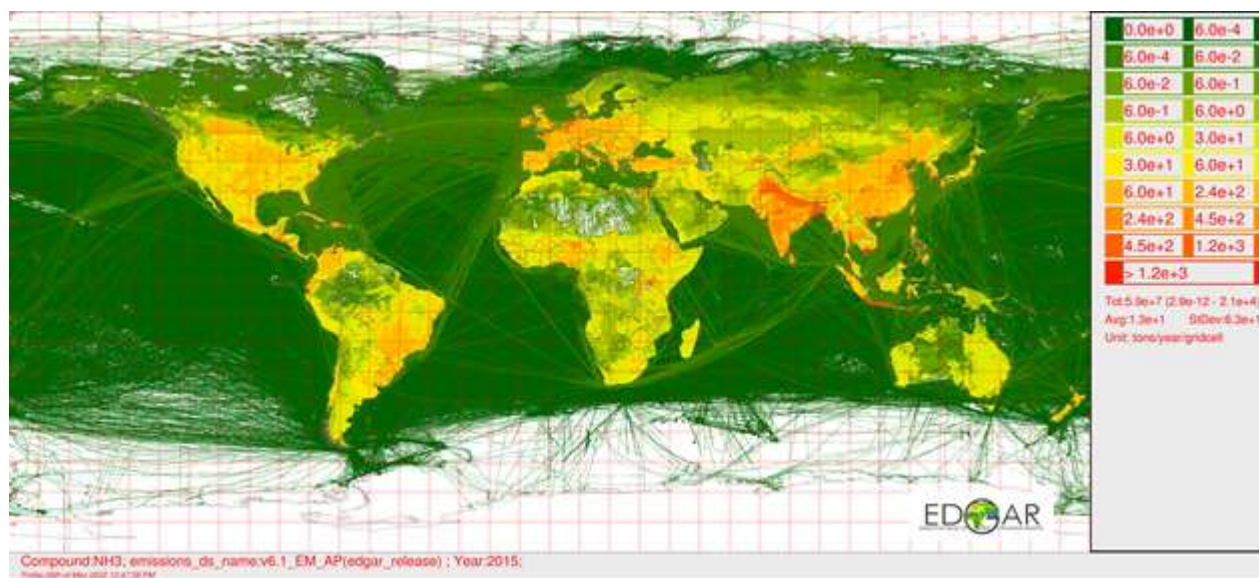
⁴orcid.org/0000-0002-4356-0038, e-mail: gordana.bogdanovic@akademijanis.edu.rs

⁵orcid.org/0009-0003-0241-1014, e-mail: damjan.stanojevic@akademijanis.edu.rs

UVOD / INTRODUCTION

Zagađenje vazduha predstavlja jedan od ključnih problema sa kojima se suočava društvo na globalnom nivou. Jedan od gasova koji imaju višestruke negativne efekte na životnu sredinu je i amonijak (NH_3). Kao jedan od dominantnih izvora emisije NH_3 u atmosferu proteklih godina, prema brojnim literaturnim podacima, je poljoprivredni sektor (Damme et al., 2021; Murawska & Prus, 2021). Pre-

ma podacima Emission Database for Global Atmospheric Research (EDGAR) za 2015. godinu ukupna količina emitovanog NH_3 na globalnom nivou iznosi 49.1t godišnje, pri čemu je najveći izvor poljoprivredni sektor sa udelom od 85.7% (EDGAR, 2015). Na Slici 1 prikazana je emisija NH_3 na globalnom nivou iz različitih izvora emisije. Na slici se oblasti obojene od narandžaste do crvene boje smatraju najvećim emiterima NH_3 .



Slika 1 - Prostorna distribucija emisije NH_3 na globalnom nivou (EDGAR, 2015)
 Figure 1 - Spatial distribution of global NH_3 emissions

Ekološki pritisak uslovljen povećanom koncentracijom amonijaka u atmosferi je višestruk. Naime, acidifikacija, eutrofikacija i negativni efekat na biodiverzitet samo su neke od posledica povećane emisije amonijaka u atmosferu. Prema godišnjem Izveštaju EEA (European Environmental Agency) "National Emission Ceilings (NEC) Directive reporting status 2019", emisije amonijaka porasle su za 0,4% širom EU, od 2016. do 2017. godine. Tokom perioda od 2014 do 2017 godine, ukupno povećanje emisije amonijaka u EU je bilo za oko 2.5% zbog nedostatka redukcije emisija u poljoprivrednom sektoru (EEA, 2019). Gothenburg Protocol, koji je deo konvencije o prekograničnom zagađenju vazduha na velikim udaljenostima (Long-Range Transboundary Air Pollution - LRTAP) i National Emissions Ceilings (NEC) Directive su zakonske obaveze koje su preuzele države Evrope sa ciljem smanjenja emisije amonijaka u atmosferu iz poljoprivrednog sektora (LRTAP, 1979; UNECE, 1999; NECD, 2016).

U Evropi emisije amonijaka iz poljoprivrednog sektora uglavnom nastaju kao rezultat isparenja sa farmi i isparenja NH_3 sa poljoprivrednih površina tretiranih azotnim đubrivom. Države EU sa najvećom

emisijom NH_3 su Nemačka i Francuska. Podaci EEA pokazuju da je u 2010. godini emisija amonijaka u Nemačkoj dostizala vrednosti od 537.3 Gg, što je udeo od 15.6% u ukupnoj emisiji amonijaka u EU, dok je u slučaju Francuske emisija iznosila 572.98 Gg, što je udeo od 16.6% u ukupnoj emisiji amonijaka u EU (EEA, 2023).

Kao jedan od indikatora ciljeva održivog razvoja (Sustainable Development Goals, SDG), emisija amonijaka iz sektora poljoprivrede prati napredak ka ostvarenju SDG2 - svet bez gladi. Emisija amonijaka se meri prema metodologiji koja prati smernice konvencije o prekograničnom zagađenju vazduha na velikim udaljenostima (Long-Range Transboundary Air Pollution-LRTAP) i National Emissions Ceilings (NEC) Directive. U okviru metodologije procenjuje se emisija amonijaka na osnovu podataka o korišćenoj površini poljoprivrednog zemljišta, upotrebljenim veštačkim đubrivom i podataka o broju farmi životinja.

Veštačke neuronske mreže (Artificial Neural Networks - ANN) i njihova primena u oblasti zaštite životne sredine, poslednjih godina predmet su

istraživanja u brojnim studijama (Stamenković et al., 2017; SOBRI ET AL., 2021; STAMENKOVIĆ, 2021; KIM, Lim & Cha, 2022). Rezultati pomenutih istraživanja pokazuju veoma dobre performanse kreiranih ANN modela u predviđanju brojnih indikatora životne sredine. Budući da zagađenje vazduha amonijakom iz poljoprivrednog sektora predstavlja jedan od značajnijih izvora zagađenja, postojanje alternativnih modela kakav je model zasnovan na veštačkim neuronskim mrežama je značajno kako bi se nivo emisije amonijaka iz ovog sektora što tačnije odredio i time uticalo na kreiranje razvojnih politika na nacionalnom nivou kako bi se smanjio ekološki pritisak koji je uslovljen emisijom ovog polutanta u atmosferu.

Predmet ovog rada je razvoj modela zasnovanog na ANN za predviđanje emisije amonijaka iz poljoprivrednog sektora na nacionalnom nivou. Radi komparacije performansi kreiranog ANN modela uporedo, sa istim podacima, razvijen je i model zasnovan na višestrukoj linearnoj regresiji (Multiple linear regression - MLR).

1. METODE ISTRAŽIVANJA / RESEARCH METHODS

Pre razvoja modela MLR i ANN najpre se pristupilo odabiru ulaznih-nezavisnih promenljivih. Ulazne promenljive za koje se smatralo da najviše doprinose emisiji amonijaka iz poljoprivrednog sektora odabrane su su na osnovu literaturnih podataka i ranijih istraživanja (Stamenković et al., 2015; Sigurdarson, Svane & Karring, 2018; 'Improved global agricultural crop- and animal-specific ammonia emissions during 1961-2018', 2023). Za razvoj modela odabrano je ukupno četiri nezavisnih promenljivih: prodaja pesticida (PP), potrošnja veštačkih đubriva (PVĐ), proizvodnja useva (PU), površina pod organskom proizvodnjom (POP) i izlazna promenljiva - emisija amonijaka iz sektora poljoprivrede. Odabrane nezavisne i zavisna promenljiva prikazane su u Tabeli 1. Svi podaci odabranih promenljivih preuzeti su sa sajta Eurostat-a, kancelarije EU zadužene za statistiku (EUROSTAT, 2023). Za razvoj modela korišćeni su podaci za dve države EU koje značajno doprinose emisiji amonijaka iz sektora poljoprivrede i to Nemačka i Francuska.

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

Prodaja pesticida
Potrošnja veštačkih đubriva
Proizvodnja useva
Površina pod organskom proizvodnjom
Emisija NH ₃

Za procenu performansi kreiranih modela korišćen je statistički indikator performansi modela, koeficijent determinacije (R²). Vrednosti koeficijenta determinacije kreću se u opsegu od 0 do 1 i što je vrednost koeficijenta determinacije veća, bliža jedinici, to kreirani model daje bolje rezultate. Vrednost ovog indikatora se određuje prema formuli 1, gde C_p predstavlja modelom predviđenu vrednost, dok C_o predstavlja izmerenu vrednost posmatrane promenljive.

$$R^2 = \frac{[\sum(C_p - C_o)(C_o - C_o)]}{\sum(C_o - C_o)^2 \sum(C_p - C_p)^2} \quad (1)$$

Prvi model razvijen u radu je MLR. MLR je skup statističkih tehnika koje su zasnovane na pronalazanju međusobne zavisnosti zavisne promenljive i skupa nezavisnih promenljivih. Postoje različite vrste regresije i koja će se primeniti zavisi od samog problema koji se rešava. U ovom radu je korišćena standardna-istovremena MLR, gde su sve nezavisne promenljive u jednačinu unete istovremeno.

Kod razvoja ANN modela potrebno je najpre odrediti parametre mreže. Protok informacija kod ANN modela je određen je arhitekturom mreže, u tom smislu je u radu korišćena Multilayer Perceptron (MLP)-standardna troslojna mreža sa jednim skrivenim slojem. Detalji kreiranog modela su prikazani u Tabeli 2.

Za razvoj MLR i ANN modela i sttističku obradu podataka u ovom radu korišćen je statistički softverski paket IBM SPSS 19.

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

Arhitektura VNM	MLP-Multylayer perceptron-standardna troslojna neuronska mreža
Ulazni sloj neurona	4
Metoda skaliranja ulaznih veličina	Standardizovane ulazne veličine
Broj skrivenih slojeva neurona	1
Broj neurona u skrivenom sloju	1
Aktivaciona funkcija u skrivenom sloju	Hiperbolic tangent
Izlazni sloj neurona	1
Aktivaciona funkcija izlaznog sloja neurona	Identity

2 . REZULTATI I DISKUSIJA / RESULTS AND DISCUSSION

Pre samog razvoja modela MLR i ANN pristupilo se statističkoj analizi podataka kako bi se utvrdilo da li se zadovoljavaju osnovne pretpostavke za razvoj pomenutih modela tj. da li se izabrane nezavisne promenljive nalaze u korelaciji sa odabranom zavisnom promenljivom. Vrednost međusobne korelacije je iskazana koeficijentom korelacije i što je ta vrednost bliža jedinici to su posmatrane promenljive u većoj korelaciji i pogodnije za razvoj modela. Korelacija posmatranih promenljivih prikazana je u Tabeli 3.

Tabela 3 - Korelaciona analiza
Table 3 - Correlation analysis

	PP	PVĐ	PU	POP	NH ₃
PP	1				
PVĐ	0.865171	1			
PU	0.867517	0.924062	1		
POP	-0.45044	-0.58237	-0.47125	1	
NH ₃	0.610004	0.841318	0.672013	-0.80685	1

Kao što se iz Tabele 3 može videti, sve inicijalno odabrane nezavisne promenljive su u dobroj korelaciji sa zavisnom promenljivom sa koeficijentom korelacije iznad 0.6. Sprovedena korelaciona analiza ukazuje da su odabrane nezavisne promenljive adekvatne za razvoj modela MLR i ANN. Pored toga, na osnovu korelacione analize se takođe može uočiti da su odabrane nezavisne promenljive u značajnoj korelaciji, što u konačnici može uticati na performanse kreiranih modela tj. smanjiti njihove predikcione sposobnosti.

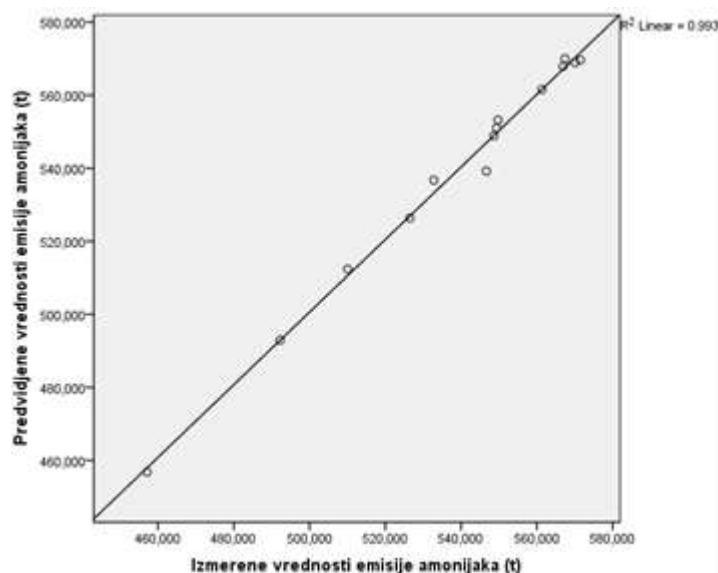
Nakon sprovedene korelacione analize pristupilo se najpre razvoju MLR modela. Za razvoj modela korišćeni su dostupni podaci za dve države EU, Nemačku i Francusku za period od 2014. do 2020. godine. Nakon razvoja modela dobijeni su MLR koeficijenti predstavljeni u Tabeli 4.

Tabela 3 – Koeficijenti regresione jednačine
Table 3 – Coefficients of the regression equation

Koeficijenti regresione jednačine	
Model	B
Konstanta	483826.412
PP	-0.001
PVĐ	0.118
PU	-8.506
POP	-9034.778
Zavisna promenljiva: Emisija amonijaka	

Rezultati MLR modela pokazuju dobro slaganje između izmerenih i MLR modelom predviđenih vrednosti emisije amonijaka sa vrednošću koeficijenta determinacije $R^2=0.914$.

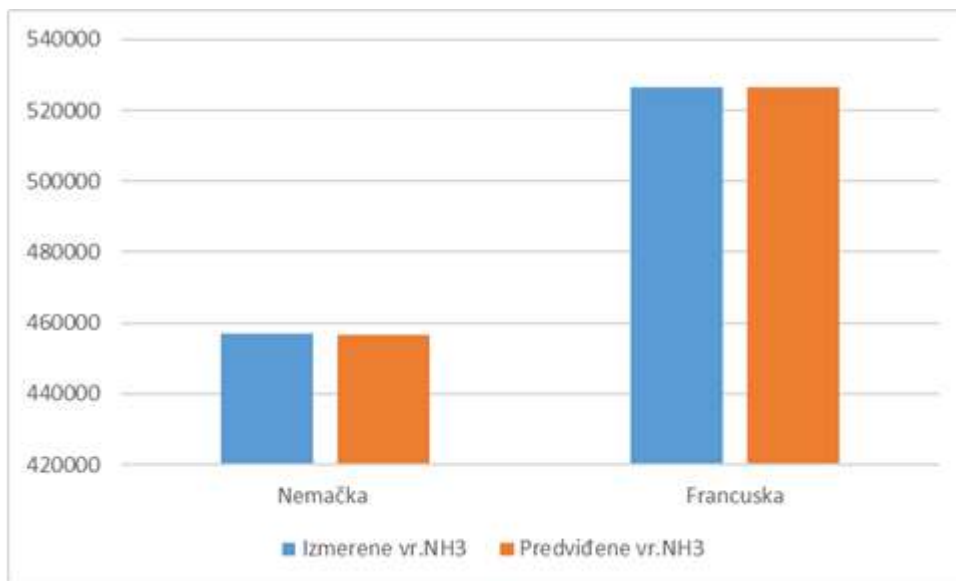
Posle razvoja MLR modela razvijen je model zasnovan na veštačkim neuronskim mrežama. Nakon treninga tj. obučavanja mreže sa podacima dve EU države dobijeni podaci prikazani su na Slici 2. Rezultati kreiranog ANN modela pokazali su veoma dobre rezultate predviđanja kreiranog modela sa koeficijentom determinacije $R^2=0.993$. Kada se pogledaju i uporede rezultati kreiranih MLR i ANN modela jasno se može uočiti da ANN model daje značajno bolje rezultate predviđanja u odnosu na MLR model. To se pre svega može pripisati postojanju visoke međusobne korelacije nezavisnih promenljivih.



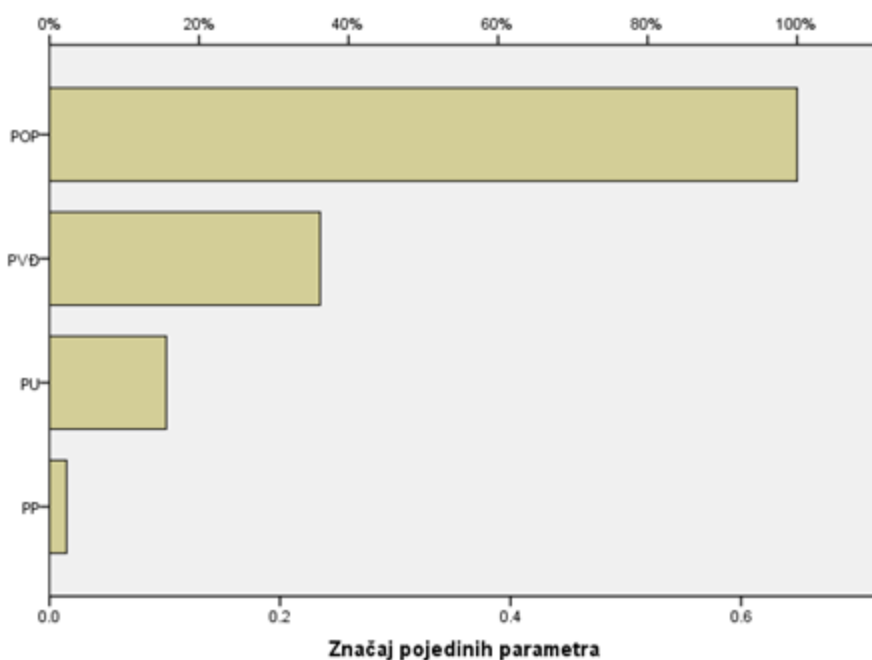
Slika 2 - Poređenje izmerene i predviđene vrednosti NH₃ emisije

Figure 2 - Comparison of measured and predicted values NH₃ emission

Nakon obučavanja mreže sa trening podacima, mreži su zatim prezentovani potpuno novi podaci kako bi se utvrdile stvarne mogućnosti kreiranog ANN modela. U tu svrhu su korišćeni podaci za 2020. godinu za obe države. Rezultati ANN modela za jednogodišnje predviđanje za 2020. godinu pokazuju veoma dobro slaganje sa izmerenim vrednostima (Slika 3). Prilikom razvoja modela postoji mogućnost procene važnosti pojedinih ulaznih promenljivih na emisiju amonijaka tj. zavisnu promenljivu. Rezultati procene važnosti pojedinih promenljivih na rezultate kreiranog modela prikazan je na Slici 4. Na slici se može videti da najveći značaj ima POP, a zatim slede i ostale tri varijable sa nešto nižim udelom značaja na emisiju amonijaka.



Slika 3 - Performanse ANN modela za svaku državu pojedinačno za 2020. godinu
 Figure 3 - ANN model performance for each country individually for 2020



Slika 4 - Značaj nezavisnih promenljivih za ANN model
 Figure 4 - Independent variable importance

ZAKLJUČAK / CONCLUSION

Emisija amonijaka iz poljoprivrednog sektora predstavlja jedan od značajnih ekoloških problema. Pritisak kojima je izložena životna sredina usled emisija amonijaka ima dalekosežne posledice i predmet je međunarodne brige i akcija koje se preduzimaju sa ciljem redukcije ovog polutanta. U tom smislu se na globalnom nivou čine brojni napori kako bi se ti negativni efekti proistekli iz emisije amonijaka iz poljoprivrednog sektora sveli na najmanju moguću meru i to donošenjem zakona i Direktiva koja će biti smernica i obaveza svih država da prate, izveštavaju i redukuju emisiju ovog polutanta u vazduh. U tu svrhu su veoma značajni kako postojeći tako i alternativni modeli za procenu ovog polutanta. U ovom radu je predstavljen razvoj modela zasnovanog na MLR i ANN za predviđanje emisije amonijaka iz poljoprivrednog sektora. Za

nijaka iz poljoprivrednog sektora sveli na najmanju moguću meru i to donošenjem zakona i Direktiva koja će biti smernica i obaveza svih država da prate, izveštavaju i redukuju emisiju ovog polutanta u vazduh. U tu svrhu su veoma značajni kako postojeći tako i alternativni modeli za procenu ovog polutanta. U ovom radu je predstavljen razvoj modela zasnovanog na MLR i ANN za predviđanje emisije amonijaka iz poljoprivrednog sektora. Za

razvoj modela su korišćeni dostupni podaci za period 2014-2020 godinu za dve članice EU, Nemačku i Francusku. Kao nezavisne promenljive korišćena su četiri poljoprivredna indikatora koji se prate u okviru indikatora održivog razvoja. Rezultati kreiranih modela su pokazali veoma dobro slaganje između izmerenih i modelima predviđenih vrednosti. Međutim, u poređenju ova dva modela, ANN model je pokazao mnogo bolje rezultate sa koeficijentom determinacije skoro jednakom jedinici ($R^2=0.993$). Na osnovu dobijenih rezultata može se zaključiti da se ANN model može koristiti kao alternativni model za predviđanje emisije amonijaka iz poljoprivrednog sektora. Buduća istraživanja mogli bi ići u pravcu odabira dodatnih ulaznih promenljivih za koje se može pretpostaviti da imaju efekte na emisiju amonijaka iz poljoprivrednog sektora.

LITERATURA / REFERENCES

- [1] Damme, M.V. et al. (2021). Global, regional and national trends of atmospheric ammonia derived from a decadal (2008-2018) satellite record, *Environmental Research Letters*, 16(5), 055017. DOI:10.1088/1748-9326/abd5e0.
- [2] EDGAR (2015). EDGAR - The Emissions Database for Global Atmospheric Research. Available at: https://edgar.jrc.ec.europa.eu/air_pollutants (Accessed: 13 March 2023).
- [3] EEA (2019). Ammonia emissions from agriculture continue to pose problems for Europe, European Environment Agency. Available at: <https://www.eea.europa.eu/highlights/ammonia-emissions-from-agriculture-continue> (Accessed: 13 March 2023).
- [4] EEA (2023). Air pollutant emissions data viewer (Gothenburg Protocol, LRTAP Convention) 1990-2020, European Environment Agency. Available at: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/dashboards/air-pollutant-emissions-data-viewer-4> (Accessed: 13 March 2023).
- [5] EUROSTAT (2023). Eurostat, home. Available at: <https://ec.europa.eu/eurostat/en/web/main/home> (Accessed: 17 March 2023).
- [6] Improved global agricultural crop- and animal-specific ammonia emissions during 1961-2018 (2023), *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 344, 108289. DOI:10.1016/j.agee.2022.108289.
- [7] Kim, B.-Y., Lim, Y.-K. & Cha, J.W. (2022). Short-term prediction of particulate matter (PM10 and PM2.5) in Seoul, South Korea using tree-based machine learning algorithms, *Atmospheric Pollution Research*, 13(10), 101547. DOI:10.1016/j.apr.2022.101547.
- [8] LRTAP (1979). EUR-Lex - I28162 - EN - EUR-Lex. Available at: <https://eur-lex.europa.eu/EN/legal-content/summary/geneva-convention-on-long-range-transboundary-air-pollution.html> (Accessed: 13 March 2023).
- [9] Murawska, A. & Prus, P. (2021). The Progress of Sustainable Management of Ammonia Emissions from Agriculture in European Union States Including Poland - Variation, Trends, and Economic Conditions, *Sustainability*, 13(3), 1035. DOI:10.3390/su13031035.
- [10] NECD (2016). National Emission reduction Commitments Directive, European Environment Agency. Available at: <https://www.eea.europa.eu/themes/air/air-pollution-sources-1/national-emission-ceilings> (Accessed: 13 March 2023).
- [11] Sigurdarson, J.J., Svane, S. & Karring, H. (2018). The molecular processes of urea hydrolysis in relation to ammonia emissions from agriculture, *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, 17(2), 241-258. DOI:10.1007/s11157-018-9466-1.
- [12] Sobri, N.M. et al. (2021). Predicting Particulate Matter (PM2.5) in Malaysia using Multiple Linear Regression and Artificial Neural Network, *Journal of Physics: Conference Series*, 2084(1), 012010. DOI:10.1088/1742-6596/2084/1/012010.
- [13] Stamenković, L.J. et al. (2015). Modeling of ammonia emission in the USA and EU countries using an artificial neural network approach, *Environmental Science and Pollution Research*, 22(23), 18849-18858. DOI:10.1007/s11356-015-5075-5.
- [14] Stamenković, L.J. et al. (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.
- [15] Stamenković, L.J. (2021). Application of ANN and SVM for prediction nutrients in rivers', *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 56(8), 867-873. DOI:10.1080/10934529.2021.1933325.
- [16] UNECE (1999). Gothenburg Protocol | UNECE. Available at: <https://unece.org/gothenburg-protocol> (Accessed: 13 March 2023).