

# Usporedba tri algoritma strojnog učenja za klasifikaciju izvora zagađenja zraka korištenjem dva senzora

---

**Đokić, Kristian**

*Source / Izvornik:* **Zbornik radova četvrte konferencije o slavonskom modelu zbrinjavanja komunalnog otpada-SLAMKO2023, 2023, 137 - 145**

**Conference paper / Rad u zborniku**

*Publication status / Verzija rada:* **Published version / Objavljena verzija rada (izdavačev PDF)**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:277:077732>

*Rights / Prava:* [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

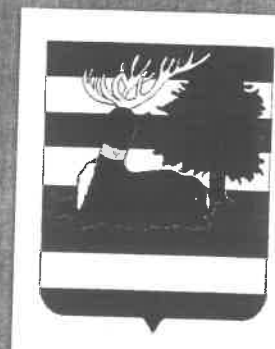
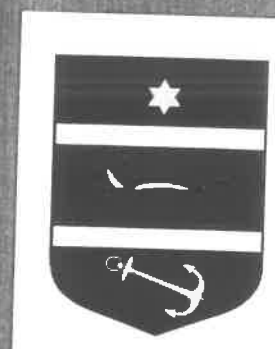
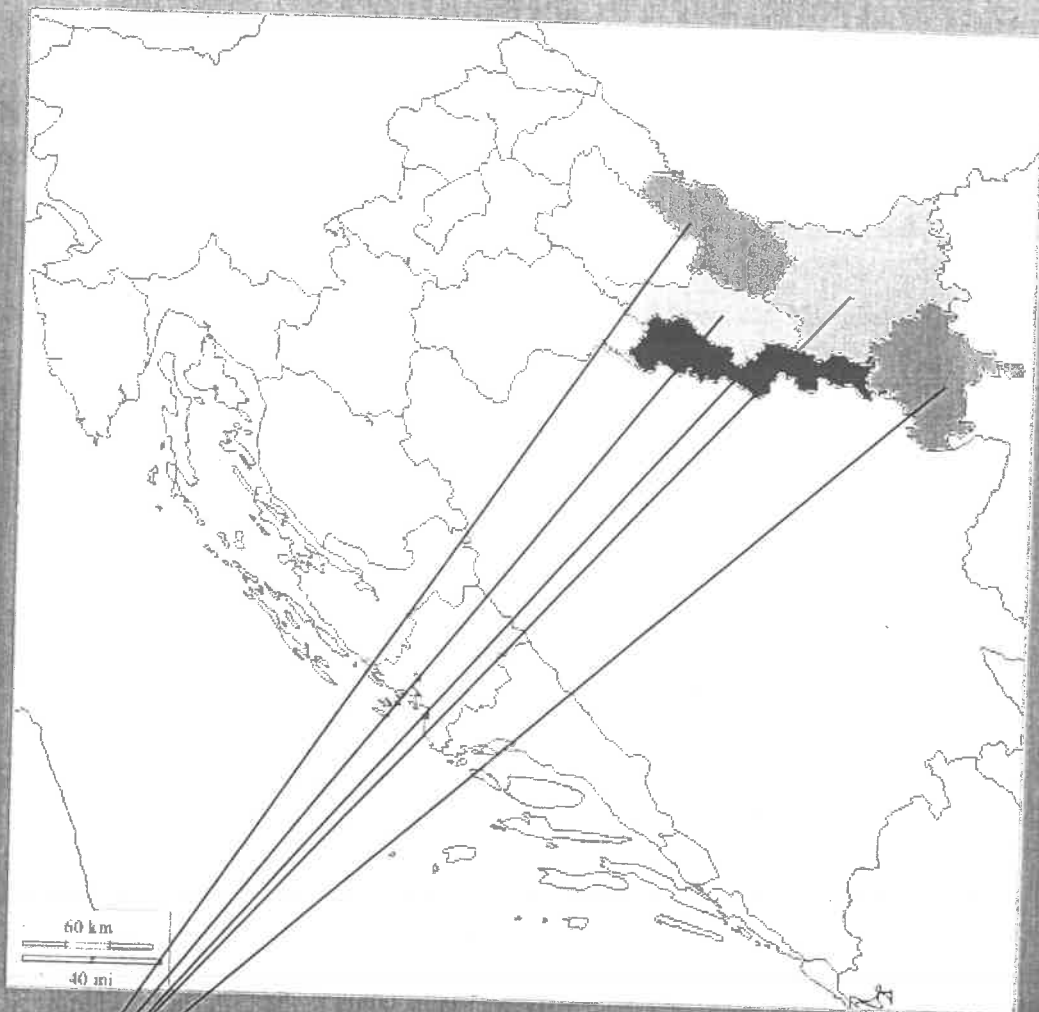
*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-14**



*Repository / Repozitorij:*

[FTRR Repository - Repository of Faculty Tourism and Rural Development Požega](#)





IV. znanstveno-stručna konferencija  
**SLAVONSKI MODEL**  
**ZBRINJAVANJA**  
**KOMUNALNOG OTPADA**

Kaptol, 21.11. 2023.

Panon – Institut za strateške studije - Osijek  
Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija - Osijek  
Fakultet turizma i ruralnog razvoja u Požegi  
Građevinski i arhitektonski fakultet – Osijek  
Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu  
Veleučilište "Lavoslav Ružička" u Vukovaru  
Veleučilište u Virovitici

**Četvrta konferencija o slavonskom modelu  
zbrinjavanja komunalnog otpada - SLAMKO 2023.  
Zbornik radova**

***Fourth Conference on the Slavonian Model of Municipal  
Waste Disposal - SLAMKO 2022  
Conference Proceedings***

Kaptol, 2023.

Izdavači / *Publishers*

Panon – Institut za strateške studije, Osijek / *Panon Think tank for strategic studies, Osijek*  
<https://www.panon.eu>

Alberta - Osijek/ *Alberta publishing Osijek*  
<http://www.alberta-naklada.com/>

Partner konferencije / *Conference partner*

Općina Kaptol

<https://www.o-jankovci.hr/>

Datum i mjesto održavanja konferencije / *Venue and date of the conference*

21.11. 2023. – Vijećnica Općine Kaptol

Organizacijski odbor / *Organizing Board*

(Prema abecednom redu prezimena / *List in alphabetical order*)

mr. sc. Franjo Ambroš, Panon Osijek - predsjednik

Ivan Belaj, mag. iur. - Veleučilište Vukovar

prof. dr. sc. Zlatko Lacković - Panon Osijek

mr. sc. Tatjana Mijušković-Svetinović, GRAFOS

dr. sc. Antun Marinac - FTRR Požega

Mile Pavičić, ing. – Općina Kaptol

Uredništvo Zbornika / *Editorial Bord*

(Prema abecednom redu prezimena / *List in alphabetical order*)

doc. dr. sc. Berislav Andrić - FTRR Požega

izv. prof. dr .sc. Josip Cumin - SF Sveučilište S.Brod

prof. dr .sc. Hrvoje Glavaš – FERIT, glavni urednik

izv. prof. dr. sc. Silva Lozančić – GRAFOS Osijek

IT podrška

Ružica Kljajić, mag. ing. el. – FERIT

Službeni jezici konferencije: hrvatski i engleski.

*The official languages of the conference - Croatian and English*

Grafička oprema / *Design and layout*

Alberta naklada - Osijek

Tisak / *Printed by*

Infos - Osijek

ISSN 2706 - 4131

Kontakt / *Contact e-mail:*

[panon.institut@gmail.com](mailto:panon.institut@gmail.com)

-----  
Zbornik radova sadrži radove koji su prošli dvije neovisne recenzije. Organizator konferencije nije ulazio u načine (jezike) izražavanja te oni predstavljaju stavove i stil autora.

*Each paper in the conference proceedings was reviewed by independent reviewers. The content of the conference proceedings does not reflect the official opinion of the conference organizers. Res-ponsibility for the information and views expressed in the papers lies entirely with the respective author(s).*

**Programski odbor / Programme Committee**

(Prema abecednom redu prezimena / List in alphabetical order)

dr. sc. Ivan Ambroš, Centar kompetencija - Vinkovci  
doc. dr. sc. Sanja Gongeta, Veleučilište Vukovar  
prof. dr. sc. Mirko Karakašić, SF Sveučilište – Sl. Brod  
prof. dr. sc. Hrvoje Krstić, GRAFOS, Osijek  
doc. dr. sc. Krešimir Lacković - predsjednik  
prof. dr. sc. Tomislav Matić, FERIT, Osijek  
doc. dr. sc. Katarina Štavljić, FTRR Požega

**Znanstveni odbor / Scientific Committee**

(Prema abecednom redu prezimena / List in alphabetical order)

dr. sc. Dragan Dokić – Općina Erdut - Dalj  
dr. sc. Milan Ivanović - Panon Osijek - predsjednik  
izv. prof. dr. sc. Tomislav Keser – FERIT Osijek  
prof. dr.sc. Borislav Miličević - FTRR Požega  
doc. dr. sc. Željko Sudarić - Veleučilište Vukovar  
doc. dr. sc. Dejan Tubić - Veleučilište Virovitica



*Sudionici konferencije SLAMKO u Kaptolu (21.11.2023.)*

## S a d r Ź a j

Predgovor	9
<b>PRIKUPLJANJE I RECIKLIRANJE KOMUNALNOG OTPADA</b>	
1. Zbrinjavanje komunalnog otpada na području Slavonije u 2022. godini Milan Ivanović	13
2. Zbrinjavanje komunalnog otpada na području općine Kaptol Mile Pavičić	21
3. Mogući modeli smanjivanja količine komunalnog otpada na kućnom pragu - primjer Općine Erdut Dragan Dokić, Vera Popović, Vesna Gantner	33
4. Održivo gospodarenje komunalnim otpadom čimbenik razvoja Općine Antunovac Zvonimir Filipović, Marko Eljuga, Željko Jurkić	41
5. Komunalni otpad, europski standardi i lokalna samouprava; stanje na izlazu iz brdskih visoko posjećenih izletišta Đorđe Balić	51
6. Svjetski i europski trendovi zbrinjavanja, recikliranja i ponovne uporabe GFRP (polimeri ojačani staklenim vlaknima) Aleksandar Jurić, Krešimir Pavelić	57
7. Lokalno zbrinjavanje otpada - od sigurnosne mjere do organske poljoprivrede i negativne emisije stakleničkih plinova Darko Mrkonjić	65
8. Zeleno poduzetništvo u funkciji održivog gospodarenja otpadom Katarina Štavlić	73
9. Od strategije do operativnih politika gospodarenja komunalnim otpadom Siniša Bilić, Zvonimir Filipović, Ivica Opačak	81
10. Uređaji za sprečavanje nastanka bio otpada Robert Sedlar	87
11. Primjena CSC mobilnog spremnika Danijel Koprivanac, Enes Ciriković, Borna Đurđević	99
12. Robotizacija zbrinjavanja komunalnog otpada Andrej Bošnjak, Petra Pejić	107
13. Zbrinjavanje komunalnog otpada i umjetna inteligencija Zlatko Lacković	113
14. Uloga blockchaina u digitalizaciji odlagališta otpada Miljenko Švarcmajer, Mirko Köhler, Ivica Lukić	115
15. Pregled konstrukcijskih rješenja crpnih stanica za odvodnju fekalnih voda Mirko Karakašić	125
16. Primjena senzora za kontrolu kvalitete zraka na odlagalištima otpada Kristian Đokić	137

17. Primjena infracrvene termografije u nadzoru odlagališta otpada 147  
Hrvoje Glavaš, Mirko Karakašić, Eleonora Desnica, Tomislav Barić
18. Važnost protupožarne prevencije kod odlaganja i prerade komunalnog otpada 157  
Boris Banjan

#### **RURALNI RAZVOJ I TURIZAM U EKOLOŠKIM OKVIRIMA**

19. Razvoj ruralnog turizma na području Općine Kaptol 167  
Antun Marinac
20. Poticanje održivog seoskog turizma: smanjenje emisija CO<sub>2</sub> tehnologijom i praksama ekoloških putovanja 175  
Berislav Andrić, Vladimir Ristanović, Rodrigo Franco Gonçalves
21. Ekološki održivi turizam u Slavoniji 183  
Tomislav Korov
22. Povezanost broja turista i količine otpada po županijama u Republici Hrvatskoj 191  
Mijana Radman Funarić, Patricija Velečki, Katarina Štavlić

## C o n t e n t s

Foreword	9
<b>COLLECTION AND RECYCLING OF MUNICIPAL WASTE</b>	
1. Municipal Waste Disposal in Slavonia in 2022 Milan Ivanović	13 21
2. Disposal of municipal waste in the area of Kaptol municipality Mile Pavičić	21
3. Possible Models for Reducing the Quantity of Municipal Waste at the Doorstep - Example of the Erdut municipality Dragan Dokić, Vera Popović, Vesna Gantner	33
4. Sustainable Municipal Waste Management a Factor in the Development of the Antunovac Municipality Zvonimir Filipović, Marko Eljuga, Željko Jurkić	41
5. Municipal Waste, European Standards, Local Government, Situation at the Exit from Highly Visitated Mountain Resorts Đorđe Balić	51
6. World and European Trends of Disposal, Recycling and Reuse of GFRP (Glass Fiber Reinforced Polymers) Aleksandar Jurić, Krešimir Pavelić	57
7. Local Waste Disposal - from Safety Measures to Organic Agriculture and Negative Greenhouse Gas Emissions Darko Mrkonjić	65
8. Green Entrepreneurship in the Function of Waste Management Katarina Štavlić	73
9. From Strategy to Operational Policies of Municipal Waste Management Siniša Bilić Zvonimir Filipović Ivica Opačak	81
10. Devices for Preventing the Generation of Bio-Waste Robert Sedlar	87
11. Application of the CSC Container Danijel Koprivanac, Enes Ciriković, Borna Đurđević	99
12. Robotization of Municipal Waste Disposal Andrej Bošnjak, Petra Pejić	107
13. Artificial Intelligence in Waste Disposal Processes Zlatko Lacković	113
14. The Role of Blockchain in the Digitization of Landfills Miljenko Švarcmajer, Mirko Köhler, Ivica Lukić	115
15. Overview of Design Solutions of Pumping Stations for Sewage Drainage Mirko Karakašić	125



16. Comparison of Three Machine Learning Algorithms for Air Pollution Source Classification Using Two Sensors	135
Kristian Đokić	
17. Application of Infrared Thermography in the Monitoring of Waste Landfill	147
Hrvoje Glavaš, Mirko Karakašić, Eleonora Desnica, Tomislav Barić	
18. Fire Protection of Plants for Recycling Plastic	157
Boris Banjan	
<b>RURAL DEVELOPMENT AND TOURISM IN ECOLOGICAL FRAMEWORKS</b>	
19. Development of Rural Tourism in Kaptol Municipality	167
Antun Marinac	
20. Fostering Sustainable Rural Tourism: Mitigating CO <sub>2</sub> Emissions Through Technology and Eco-Friendly Travel Practices	175
Berislav Andrić, Vladimir Ristanović, Rodrigo Franco Gonçalves	
21. Environmentally Sustainable Tourism In Slavonia: The Key Role of Municipal Waste Disposal	183
Tomislav Korov	
22. Analysis of the relationship between the number of tourists and the amount of waste by county in the Republic of Croatia	191
Mirjana Radman Funarić, Patricija Velečki, Katarina Štavlić	

# USPOREDBA TRI ALGORITMA STROJNOG UČENJA ZA KLASIFIKACIJU IZVORA ZAGAĐENJA ZRAKA KORIŠTENJEM DVA SENZORA

Prethodno priopćenje

Kristian Đokić \*

Fakultet turizma i ruralnog razvoja, Požega, Hrvatska

## Sažetak

Otvorena odlagališta otpada su opasnost zbog mogućeg zagađenja okoliša. Zagađenje zraka je jedna od tih opasnosti, a da bi tu opasnost sveli na najmanju moguću mjeru treba je detektirati na vrijeme. Za detekciju zagađenja zraka koristimo različite senzore, a s obzirom da se na odlagalištu otpada mogu pojaviti različiti zagađivači, senzore treba pažljivo izabrati. U ovom radu prikazana je ovisnost izmjerenih vrijednosti sa dva različita senzora u kontroliranim uvjetima i uz pet različitih zagađivača (organski otpad, polietilen, polipropilen, umjetna guma i polistiren) izloženih zagrijavanju. Na grijaču je u periodu od 120 sekundi svaka od testiranih usitnjenih tvari mase 5g bila izložena količini topline od 240 kJ. Nakon tog perioda mjerene su vrijednosti PM10, PM2,5 i VOC u periodu od 5 minuta. Iz podataka su korištenjem klasifikatora logističke regresije, SVM i slučajnih šuma kreirani modeli čija točnost u prepoznavanju zagađivača iznosi 78%, 72% i 90%. Predloženi pristup nije direktno primjenjiv u praksi, ali ukazuje na mogući smjer razvoja detektora izvora zagađenja u slučaju požara na otvorenim odlagalištima uz korištenje dodatnih senzora (termalna kamera, termometar).

**Ključne riječi:** navesti do 5 ključnih riječi (abecednim redom)

## *Comparison of Three Machine Learning Algorithms for Air Pollution Source Classification Using Two Sensors*

### Abstract

Open waste disposal sites are a danger due to possible environmental pollution. Air pollution is one of those dangers, and to reduce this danger to the smallest possible extent, it should be detected in time. We use different sensors to detect air pollution, and since different pollutants can appear at the landfill, the sensors should be chosen carefully. This paper shows the dependence of the measured values with two different sensors under controlled conditions and with five different pollutants (organic waste, polyethylene, polypropylene, artificial rubber, and polystyrene) exposed to heating. On the heater, in a period of 120 seconds, each of the tested shredded substances weighing 5g was exposed to an amount of heat of 240 kJ. After that period, the values of PM10, PM2.5, and VOC were measured in a period of 5 minutes. Models were created from the data using logistic regression classifiers, SVM, and random forests, whose accuracy in pollutant recognition is 78%, 72%, and 90%. The proposed approach is not directly applicable in practice, but it indicates a possible direction of development of pollution source detectors in case of fire at open landfills with the use of additional sensors (thermal camera, thermometer).

**Ključne riječi:** navesti do 5 ključnih riječi (abecednim redom) na engleskom

---

\* E-pošta: kdokic@ftrr.hr

## 1. UVOD

Budući da onečišćenje zraka negativno utječe na ljudsko zdravlje, kao i na opstanak i aktivnosti drugih živih bića, ono predstavlja javnozdravstveni problem, osobito u urbanim područjima. Zagađivači zraka su sve kemijske, biološke ili fizičke tvari koje mijenjaju inherentna svojstva atmosfere. Uzrok mogu biti prirodni procesi (vulkanska aktivnost, aktivnost oceana, šumska aktivnost, itd.), ali i procesi koje uzrokuje čovjek (izgaranje fosilnih goriva, promet, emisije iz elektrana ili emisije iz drugih industrijskih procesa) pri čemu dolazi do onečišćenja zraka. Postoje dvije kategorije onečišćivača zraka: primarni i sekundarni. Primarni zagađivači su materijali koji nastaju izravno procesom; primjeri za to su ugljični monoksid iz ispušnih plinova vozila i vulkanski pepeo. U nižim slojevima atmosfere, toplina i sunčevo zračenje imaju moć pretvaranja primarnih zagađivača u sekundarne zagađivače poput ozona ( $O_3$ ) i drugih fotokemijskih zagađivača [1].

Većina onečišćenja zraka u gradovima uzrokovana je ljudskim djelovanjem. Ti se izvori mogu podijeliti u dvije kategorije: točkasti izvori (poput industrija i termo-elektrana) i mobilni izvori (poput automobila, kamiona, zrakoplova i brodskih motora). Trenutno je glavni uzrok onečišćenja zraka u velikim gradovima razvijenih zemalja promet vozila. Nepotpuno sagorijevanje goriva na bazi ugljika kao što su ugljen, loživo ulje, drvo i prirodni plin dovodi do proizvodnje ugljikovodika i ugljikovog monoksida (CO).  $NO_x$  nastaje kada se dušik i kisik iz zraka spoje tijekom visoko temperaturnog izgaranja fosilnih goriva koja se nalaze u motornom gorivu [1].

Broj zagađivača u atmosferi je prevelik da bi ih se sve pratilo. Određeni zagađivači su pod promatranjem zbog svojih karakteristika (npr. proizvode ih automobili ili industrijska postrojenja) i jer se vjeruje ili je potvrđeno da imaju štetne utjecaje na okoliš i/ili ljudsko zdravlje. Ove kontaminante nazivamo "indikatorima onečišćenja zraka". Glavni pokazatelji koji se prate u Europi uključuju:

- Ozon ( $O_3$ )
- Hlapljivi organski spojevi (VOC)
- Čestice (PM10, PM2.5)
- Sumporov dioksid ( $SO_2$ )
- Ugljični monoksid (CO)
- Dušikovi oksidi ( $NO_x$ )
- Metali, poput kadmija, arsena, olova, nikla i žive [1].

U ovom radu analizirat će se mogućnost korištenja strojnog učenja s ciljem otkrivanja izvora onečišćenja na osnovu vrijednosti senzora dva indikatora onečišćenja. Indikatori onečišćenja koji se mjere su hlapljivi organski spojevi (VOC) i čestice (PM10 i PM2,5). Analizirani algoritmi strojnog učenja su logistička regresija, stroj potpunih vektora i slučajne šume, a onečišćenje će se generirati u kontroliranim uvjetima, te će predstavljati otvoreno odlagalište otpada, što je točkasti izvor onečišćenja.

Rad se sastoji od uvodnog dijela, nakon čega je u drugom poglavlju dan pregled literature. Slijedi opis senzora za detekciju zagađenja koji su korišteni u radu u poglavlju 3, a poglavlje 4 opisuje način mjerenja i izrade modela za klasifikaciju na osnovu prikupljenih podataka. U poglavlju 5 su rasprava i zaključak.

## 2. Pregled literature

Stvaranje krutog komunalnog otpada velikih razmjera jedan je od problema s kojima se svakodnevno suočavamo. Razvoj i rast Europe uključuju rastuću potražnju potrošača, povećanu urbanizaciju i stanovništvo [2] [3]. Pokazalo se da postrojenja za gospodarenje krutom komunalnim otpadom imaju potencijalno štetne učinke na okoliš. To uključuje buku, vibracije, smeće, štetočine, prašinu, dimove, mirise, štetu na poljoprivrednom i rekreacijskom zemljištu i povijesnim krajolicima. Oni također uključuju emisije plinova i metala u zrak, vodu i tlo od razgradnje i obrade otpada i povezanih aktivnosti postrojenja i vozila [4] [5] [6].

Kao što je prethodno navedeno postoji lista indikatora onečišćenja zraka, mada autori predlažu i alternativne indikatore. Conte i suradnici su analizirali koncentraciju PM10, policikličkih aromatskih ugljikovodika (PAH), poliklorana (PCDD/F i PCB), hlapljivih organski spojevi (VOC), benzena, toluena i ksilena (BTX) na tri odlagališta komunalnog otpada u Italiji [7]. Kanhai i suradnici se fokusiraju na PM2,5 koji koriste kao izlaznu varijablu u modelu sa različitim scenarijima zagađenja ovisno o pristupu lokalnih vlasti u rješavanju problema spaljivanja otpada na otvorenom [8].

Algoritmi strojnog učenja se koriste za izradu različitih modela vezanih uz zagađenje zraka, pa tako Pant i suradnici koriste podatke o zagađivačima (PM10, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>) i logističku regresiju da bi kreirali model kojima postižu točnost od 98.70% u kategorizaciji kvalitete zraka u tri indijske pokrajine [9].

Ali i suradnici su predstavili novi pristup predviđanju kvalitete zraka koji se temelji na algoritmu multivarijatne logističke regresije. Autori su postigli točnost od 85% u kategorizaciji kvalitete zraka sa podacima iz New Yorka koje su prikupljali jedan tjedan. Koristili su indeks kvalitete zraka koji se izražava kvantitativno između 0 i 500, a rezultat se može prikazati i kvalitativno u 6 kategorija ovisno o štetnosti za čovjeka [10].

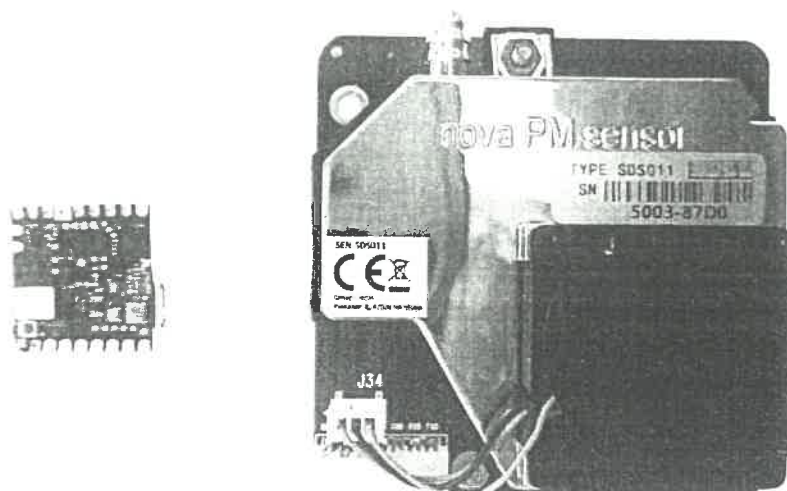
Bucur i suradnici koristili su binarnu logističku regresiju i pri čemu su pratili parametre kvalitete zraka (NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> i PM2.5) i mikroklimatskih parametara (temperatura, vlažnost) iz studije slučaja provedene unutar izložbenih i skladišnih prostora Rumunjskog nacionalnog muzeja zrakoplovstva u Bukureštu. Analiza binarne logističke regresije ukazivala je da, od šest ispitanih čimbenika, njih četiri značajno utječu na ekspanate i to sljedećim redoslijedom: O<sub>3</sub>>PM2.5>NO<sub>2</sub>>vlažnost, pri čemu SO<sub>2</sub> i temperatura imaju znatno manji utjecaj. Preko 95% kumulativnog utjecaja uvjeta okoline na ekspanate točno je predviđeno modelom logističke regresije korištenom u istraživanju [11].

Shakerkhatibi i suradnici su također u svom radu koristili logističku regresiju, ali i neuronske mreže za modeliranje povezanost između prijema u bolnicu zbog kardiovaskularnih i respiratornih bolesti i zagađivača zraka, kao što su dušikovi oksidi (NO, NO<sub>2</sub>, NOX), sumporov dioksid (SO<sub>2</sub>), ugljikov monoksid (CO), ozon (O<sub>3</sub>), i čestice s srednjim aerometrijskim promjerom manjim od 10 μm (PM10). Podaci su pokazali jaku korelaciju između prijema u bolnicu zbog kardiovaskularnih bolesti i plinovitih zagađivača zraka, kao što su NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> i NO. Prijemi u bolnicu zbog kronične opstruktivne plućne bolesti povezani su s plinovitim zagađivačima zraka kao što su NO<sub>2</sub>, NO i CO, dok su hospitalizacije zbog respiratornih infekcija povezane s PM10. O<sub>3</sub> i PM10 također su bili povezani s prijemom u bolnicu zbog astme. Ispitivani zdravstveni ishodi i SO<sub>2</sub> nisu značajno korelirali. Usporedbom rezultata logističkih regresija i ANN-ova, utvrđeno je da su ANN-ovi bili najučinkovitiji u identificiranju najboljih prediktora prijema u bolnicu uzrokovanih onečišćenjem zraka [12].

### 3. Senzori za detekciju zagađenja

U ovom radu korištena su dva senzora koji služe za mjerenje dva indikatora zagađenja i to hlapljivi organske spojeve (VOC) i čestice (PM10, PM2.5). Za mjerenje hlapljivih organskih spojeva (VOC) korišten je senzor BME688, a za čestice je korišten SDS011.

Plinski senzor BME688 s umjetnom inteligencijom i integriranim senzorom tlaka, vlage i temperature visoke linearnosti i visoke točnosti; senzor tlaka BMP390; i magnetometarski senzor BMM150 četiri su integrirana senzora koja dolaze s mikroupravljačem Nicla Sense ME, koji je Arduino razvio u rujnu 2021. Sama mikroupravljač vidljiv je na slici broj 2 i to sa lijeve strane.



*Slika 1. Senzori za detekciju zagađenja*

Plinski senzor BME688 prvi je koji kombinira senzore tlaka, vlažnosti i temperature visoke linearnosti/preciznosti s umjetnom inteligencijom. Neke prednosti uključuju kompaktnu veličinu i nisku potrošnju energije. Senzor može otkriti VOC, VSC i druge plinove uključujući vodik i ugljični monoksid unutar raspona dijelova na milijardu (ppb). Ovaj senzor bi mogao biti koristan za mjerenje kvalitete zraka unutar i na otvorenom, otkrivanje čudnih plinova i aroma, poput onih od curenja ili požara, i otkrivanje razvoja klica. BSEC koristi sofisticirane algoritme za pružanje raznih korisnih rezultata, uključujući nalaze skeniranja plina (%) i indeks kvalitete zraka (IAQ), koji se kreće od 0 (čist zrak) do 500 (visoko zagađeni zrak) [13].

Drugi senzor korišten u radu, SDS011, je senzor prašine i čestica (PM) koji detektira čestice u zraku veličine između 0,3 i 10  $\mu\text{m}$  koristeći tehniku laserskog raspršivanja. Nova Fitness je tvrtka koja ga je dizajnirala i koja ga proizvodi. Vrijeme reakcije je manje od 10 sekundi od trenutka uključivanja senzora. Senzor ima jednostavan UART izlaz i integrirani ventilator. Princip rada sastoji se u prisilnom tjeranju zraka koji prolazi kroz osvijetljeno područje pri čemu čestice raspršuju svjetlost koja se zatim pretvara u električne signale. Ovaj senzor ima visokokvalitetnu lasersku diodu s radnim vijekom od 8000 sati. Zadana učestalost mjerenja je 1 Hz, ako postoji potreba za kontinuiranim mjerenjem podataka. Pristup diskontinuiranog rada je alternativni način kojim se produžuje životni vijek senzora. Svakih deset minuta, na primjer, može se postaviti da senzor radi trideset sekundi [14].

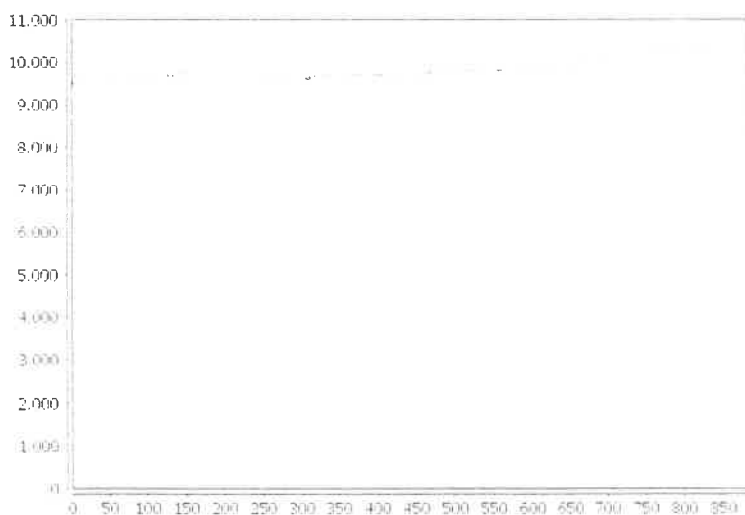
#### **4. Mjerenje i izrada modela**

Kao što je prethodno navedeno u ovom radu analizira se ovisnost izmjerenih vrijednosti indikatora onečišćenja zraka sa dva različita senzora u kontroliranim uvjetima i uz pet različitih zagađivača (organski otpad, polietilen, polipropilen, umjetna guma i polistiren) izloženih zagrijavanju. Na grijaču je u periodu od 120 sekundi svaka od testiranih usitnjenih tvari mase 5g bila izložena količini topline od 240 kJ. Nakon tog perioda mjerene su vrijednosti PM10, PM2,5 i VOC u periodu od 5 minuta. Na slici broj 2 je prikazana korištena oprema koja se sastoji od drvene kutije u kojoj je grijač, a sama kutija je obujma 0,1  $\text{m}^3$ . Za vrijeme mjerenja kutija je bila zatvorena, a senzori u kutiji.



*Slika 2. Oprema za mjerenje*

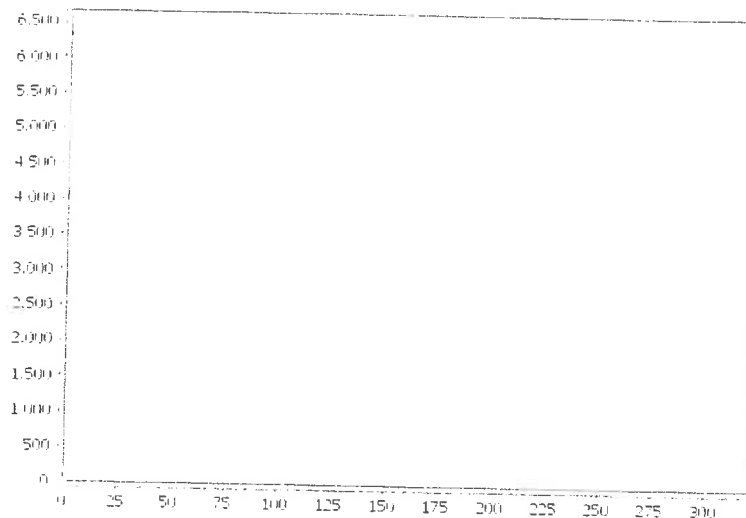
Prikupljeni podaci su analizirani, te je uočena razlika u vrijednostima koja se najbolje vidi na grafičkim prikazima. Na slici 3 je graf koji prikazuje vrijednosti PM10, PM2,5 i VOC u periodu od 850 sekundi bez zagađivača na grijaču.



*Slika 3. Grafički prikaz vrijednosti indikatorima onečišćenja zraka bez zagađivača na grijaču (Izvor: Autor)*

Zelenom bojom na grafu je označena vrijednost VOC koja je iznosila oko 10000, dok su vrijednosti PM10 i PM2,5 bile praktički zanemarive što se moglo i očekivati jer na grijaču nije bilo nikakvog zagađivača.

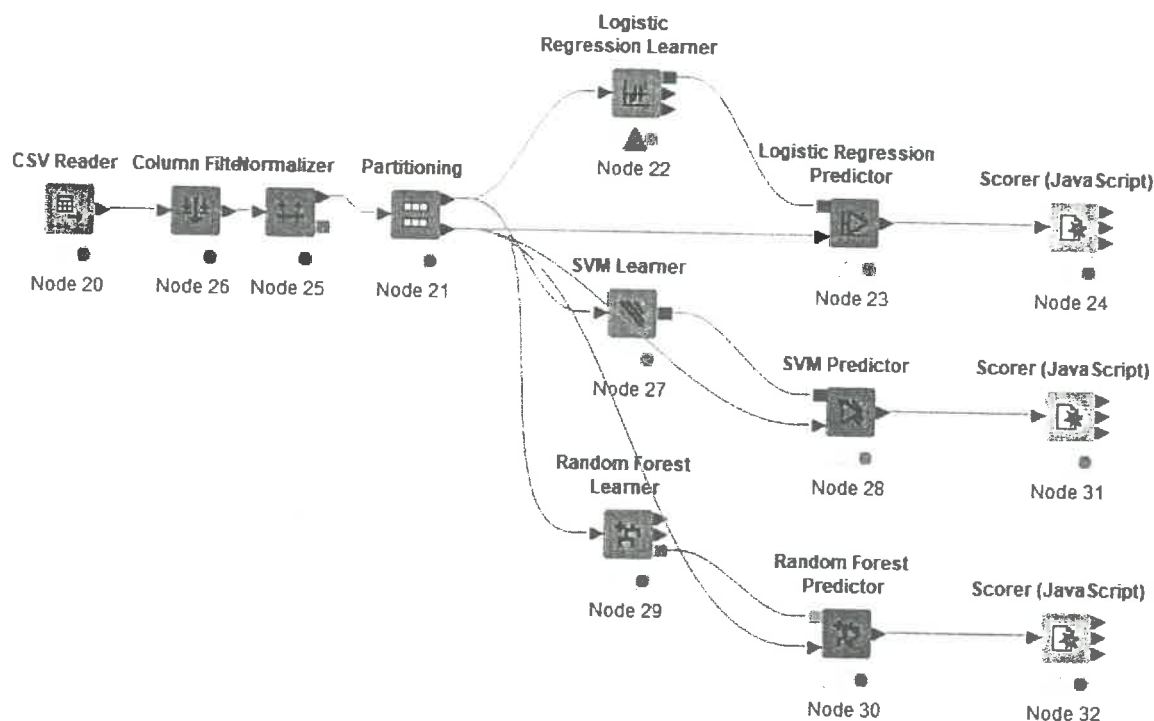
Na slici 4 je graf koji prikazuje vrijednosti PM10, PM2,5 i VOC u periodu od 300 sekundi, ali je na grijaču bila umjetna guma.



Slika 4. Grafički prikaz vrijednosti indikatorima onečišćenja zraka sa umjetnom gumom na grijaču (Izvor: Autor)

Zelenom bojom na grafu je označena vrijednost VOC čija je vrijednost zagrijavanjem zagađivača počela iznenada padati, dok su vrijednosti PM10 i PM2,5 bile na maksimalnim vrijednostima koliko senzor može mjeriti. To je 1999,9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  za PM10 i 999,9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  za PM2,5.

Nakon analize pojedinačnih grafova podaci su spojeni i označeni s obzirom na zagađivač koji je bio na grijaču dok su prikupljeni podaci. Korišten je alat KNIME Analytics Platform 5.2 za dodatnu obradu podataka pri čemu su neki stupci koji očigledno nisu doprinikli točnosti modela – uklonjeni. To su stupci sa temperaturom i vlažnošću zraka. To je realizirano sa čvorom *Column Filter*, a sa čvorom *Normalizer* su podaci normalizirani, tako da im su nakon obrade vrijednosti aritmetičkih sredina svih stupaca 0, a standardna devijacija 1. Čvorom *Partitioning* podaci su podijeljeni na skup za treniranje i skup za testiranje, pri čemu je skup za treniranje iznosio 80% kompletnih podataka. Čvorovi su vidljivi na slici 4.



Slika 4. Grafički prikaz modela u KNIME-u (Izvor: Autor)

Korištena su tri algoritma strojnog učenja i to logistička regresija, stroj potpornih vektora i slučajne šume. Sva tri algoritma sastoje se od po tri čvora pri čemu prvi služi za generiranje

modela, drugi za predikciju uz korištenje testnih podataka, a treći za prikaz matrice konfuzije. U nastavku su date sve tri matrice konfuzije.

Tablica 1. Matrica konfuzije za logističku regresiju

	AIR (Predicted)	BRE (Predicted)	GUM (Predict...)	PAP (Predicted)	PP (Predicted)	PS (Predicted)	
AIR (Actual)	250	0	0	0	0	0	100.00%
BRE (Actual)	0	78	0	14	0	3	82.11%
GUM (Actual)	0	0	61	0	35	0	63.54%
PAP (Actual)	0	36	0	50	0	13	50.51%
PP (Actual)	0	0	41	0	56	0	57.73%
PS (Actual)	0	0	0	17	0	68	80.00%
	100.00%	68.42%	59.80%	61.73%	61.54%	80.95%	

Overall Statistics

Overall Accuracy	Overall Error	Cohen's kappa ( $\kappa$ )	Correctly Classified	Incorrectly Classified
77.98%	22.02%	0.723	563	159

Izvor: Autor

Tablica 2. Matrica konfuzije za stroj potpornih vektora

	AIR (Predicted)	BRE (Predicted)	GUM (Predict...)	PAP (Predicted)	PP (Predicted)	PS (Predicted)	
AIR (Actual)	250	0	0	0	0	0	100.00%
BRE (Actual)	3	85	0	3	0	4	89.47%
GUM (Actual)	0	0	96	0	0	0	100.00%
PAP (Actual)	0	52	0	0	0	47	0.00%
PP (Actual)	0	0	76	0	21	0	21.65%
PS (Actual)	0	11	0	4	0	70	82.35%
	98.81%	57.43%	55.81%	0.00%	100.00%	57.85%	

Overall Statistics

Overall Accuracy	Overall Error	Cohen's kappa ( $\kappa$ )	Correctly Classified	Incorrectly Classified
72.30%	27.70%	0.652	522	200

Izvor: Autor

Tablica 3. Matrica konfuzije za slučajne šume

	AIR (Predicted)	BRE (Predicted)	GUM (Predict...)	PAP (Predicted)	PP (Predicted)	PS (Predicted)	
AIR (Actual)	250	0	0	0	0	0	100.00%
BRE (Actual)	0	94	0	1	0	0	98.95%
GUM (Actual)	0	0	95	0	1	0	98.96%
PAP (Actual)	0	5	0	94	0	0	94.95%
PP (Actual)	0	0	64	0	33	0	34.02%
PS (Actual)	0	0	0	1	0	84	98.82%
	100.00%	94.95%	59.75%	97.92%	97.06%	100.00%	

Overall Statistics

Overall Accuracy	Overall Error	Cohen's kappa ( $\kappa$ )	Correctly Classified	Incorrectly Classified
90.03%	9.97%	0.874	650	72

Izvor: Autor



## 5. RASPRAVA I ZAKLJUČAK

Kombiniranjem senzora i korištenjem strojnog učenja moguće je kreirati model koji pomaže u otkrivanju zagađivača zraka na otvorenim odlagalištima pri zagrijavanju, odnosno požaru. Izbor algoritama strojnog učenja za analizu podataka koji su prikupljeni na prvi pogled nema smisla, jer se radi o procesu koji se odvija u vremenu te je logičnije koristiti algoritme koji uzimaju u obzir i vremensku komponentu pri izradi modela. U ovom slučaju vremenska komponenta je izostavljena. Razlog takvog izbora je u tome što u okruženju stvarnog odlagališta ionako ima niz parametara koji su nepoznati, pa i uključivanjem vremenske komponente ne dobivamo modele koji su primjenjivi u praksi.

Ipak, modeli ukazuju da postoji značajna razlika u vrijednostima indikatora onečišćenja zraka kada se zagađivači izlože istim uvjetima zagrijavanja. Time ukazujemo na dalje mogućnosti razvoja modela, pri čemu bi trebalo implementirati dodatne senzore kao što je termalna kamera koja bi i omogućila da se detektira izvor zagađenja koje nastaje gorenjem i u okruženju odlagališta.

Na kraju je potrebno prokomentirati i rezultate točnosti koje postižu modeli, pri čemu najveću točnost ima model baziran na algoritmu slučajne šume i to 90,03%. Slijedeći model po točnosti je baziran na algoritmu logističke regresije (77,98%), dok najmanju točnost ima model baziran na algoritmu stroja potpornih vektora (72,30%).

Izvori i literatura:

- [1] C. Pénard-Morand i I. Annesi-Maesano, »Air pollution: from sources of emissions to health effects,« *Breathe*, svez. 1, p. 108–119, 2004.
- [2] J. Bogner, R. Pipatti, S. Hashimoto, C. Diaz, K. Mareckova, L. Diaz, P. Kjeldsen, S. Monni, A. Faaij, Q. Gao i others, »Mitigation of global greenhouse gas emissions from waste: conclusions and strategies from the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Fourth Assessment Report. Working Group III (Mitigation),« *Waste Management & Research*, svez. 26, p. 11–32, 2008.
- [3] G. Tchobanoglous i F. Kreith, *Handbook of solid waste management*, McGraw-Hill Education, 2002.
- [4] M. El-Fadel, A. N. Findikakis i J. O. Leckie, »Environmental impacts of solid waste landfilling,« *Journal of environmental management*, svez. 50, p. 1–25, 1997.
- [5] D. J. Lisk, »Environmental effects of landfills,« *Science of the total environment*, svez. 100, p. 415–468, 1991.
- [6] A. Rabl, J. V. Spadaro i A. Zoughaib, »Environmental impacts and costs of solid waste: a comparison of landfill and incineration,« *Waste Management & Research*, svez. 26, p. 147–162, 2008.
- [7] M. Conte, V. Cagnazzo, A. Donateo, D. Cesari, F. M. Grasso i D. Contini, »A case study of municipal solid waste landfills impact on air pollution in south areas of Italy,« *The Open Atmospheric Science Journal*, svez. 12, 2018.
- [8] G. Kanhai, J. N. Fobil, B. A. Nartey, J. V. Spadaro i P. Mudu, »Urban Municipal Solid Waste management: Modeling air pollution scenarios and health impacts in the case of Accra, Ghana,« *Waste management*, svez. 123, p. 15–22, 2021.
- [9] A. Pant, S. Sharma i R. C. Joshi, »Air quality modeling for effective environmental management in Uttarakhand, India: A comparison of logistic regression and naive bayes,« *Journal of Air Pollution and Health*, 2022.
- [10] A. N. Ali, G. Nassreddine, J. Younis i others, »Air Quality prediction using Multinomial Logistic Regression,« *Journal of Computer Science and Technology Studies*, svez. 4, p. 71–78, 2022.

- [11] E. Bucur, A. F. Danet, C. B. Lehr, E. Lehr i M. Nita-Lazar, »Binary logistic regression—Instrument for assessing museum indoor air impact on exhibits,« *Journal of the Air & Waste Management Association*, svez. 67, p. 391–401, 2017.
- [12] M. Shakerkhatibi, I. Dianat, M. Asghari Jafarabadi, R. Azak i A. Kousha, »Air pollution and hospital admissions for cardiorespiratory diseases in Iran: artificial neural network versus conditional logistic regression,« *International journal of environmental science and technology*, svez. 12, p. 3433–3442, 2015.
- [13] Bosch Sensortec GmbH, »Gas Sensor BME688,« Bosch Sensortec GmbH, [Mrežno]. Available: <https://www.bosch-sensortec.com/products/environmental-sensors/gas-sensors/bme688/>. [Pokušaj pristupa 12 11 2023].
- [14] Nova sensor, »SDS011 Dust sensor,« Nova sensor, [Mrežno]. Available: [http://en.novasensor.cn/?list\\_13/55.html#product\\_content](http://en.novasensor.cn/?list_13/55.html#product_content). [Pokušaj pristupa 15 11 2023].