

Prostorno modeliranje ambijentalne saobraćajne buke korišćenjem otvorenih podataka

SRĐAN D. POPOVIĆ, Univerzitet u Beogradu,
Građevinski fakultet, Beograd
ORCID: 0009-0008-2894-8764

Originalni naučni rad
UDC: 711.5:656.1]:004.738.5
534.836.2:656.1]:004.738.5
930.85(497.11:100)
DOI: 10.5937/tehnika2501031P

Usled činjenice da sve veći broj ljudi živi u urbanim sredinama, javlja se i potreba za merenjem, kvantifikacijom i prevencijom negativnih efekata po zdravlje stanovnika uzrokovanih saobraćajnom bukom. Kontinuirano praćenje i preveniranje štetnih uticaja omogućeno je definisanjem metodologije i standarda u ovoj oblasti na nivou Evropske unije (EU). Sve veća dostupnost otvorenih podataka i programskih paketa otvorenog koda kroz crowdsourcing platforme otvaraju mogućnost za modeliranje i analizu ovakvih pojava. Rad se bavi prikazom mogućnosti korišćenja otvorenih podataka za potrebe modeliranja saobraćajne buke i analizira intezitet modelirane buke i buke merene mobilnim uređajima kroz crowdsourcing platforme. Rezultati prostornog modeliranja buke za celo područje Beograda, koji predstavljaju ishod ovog istraživanja, publikovani su u GIS formatu i javno su dostupni. Kritične tačke su dodatno analizirane na specifičnim lokacijama.

KLjučne reči: saobraćaj, prostorno modeliranje ambijentalne buke, otvoreni podaci, crowdsourcing

1. UVOD

Život u urbanim sredinama sa sobom nosi i određene neželjene efekte po zdravlje ljudi. Jedan od efekata, prepoznat i od strane Svetske zdravstvene organizacije (SZO), je zagađenje životne sredine izazvano ambijentalnom saobraćajnom bukom. Izloženost ambijentalnoj buci, je problem koji je veoma rasprostranjen u Evropi, gde se procenjuje da je svaka peta osoba izložena nivou buke koji može imati štetan efekat na fizičko i mentalno zdravlje [1]. Takođe, dugoročna izloženost saobraćajnoj buci (uključujući drumski, železnički i vazdušni saobraćaj) uzrokuje 12.000 preranih smrti i doprinosi 48.000 novih slučajeva bolesti srca na teritoriji Evrope, godišnje. Osim toga, procenjuje se da oko 6.5 miliona ljudi pati od hroničnog poremećaja sna, a čak 22 miliona ljudi pati od hronične uznemirenosti uzrokovane bukom [1].

SZO opisuje buku uopšteno kao onu koja potiče od svih izvora, osim izvora buke kojima su ljudi izloženi na radnim mestima [2]. Sa druge strane, Evropska direktiva o buci u životnoj sredini (END) pruža preciz-

niju definiciju, posmatrajući ambijentalnu buku kao neželjeni ili štetni zvuk na otvorenom prostoru koji nastaje ljudskim aktivnostima, poput buke izazvane različitim vrstama saobraćaja - drumskog, železničkog, vazdušnog i industrijskim aktivnostima.

Činjenica je da je izloženost ambijentalnoj buci svakodnevna i da predstavlja stvarnu opasnost po zdravlje ljudi jer izaziva fizički i psihički stres [3], stoga potrebno je prevenirati njen uticaj. Jedno od vodećih načela SZO-a jeste smanjiti izloženost buci, uz očuvanje „tihih područja“ [2]. Stoga bi područja koja imaju dobre akustičke kvalitete, odnosno područja koja su tiha ili mirna, trebala biti očuvana. Sa druge strane, END i prateći akcioni planovi koji imaju za cilj da identifikuju i zaštite tiha područja unutar zona gde se vrši strateško kartiranje buke omogućuju nadležnim ustanovama da kontrolišu dalji razvoj zvučnog zagađenja. Međutim, END ne pruža jasnu definiciju tihih područja, ostavljajući pojedinim zemljama slobodu u njenom tumačenju [1].

U cilju određivanja ugroženih područja javlja se potreba za prostornim modeliranjem i kvantifikacijom ove pojave, a nakon čega se potencijalno mogu sprovoditi radovi na planiranju i smanjenju njenog uticaja kao i kontinuirano vremensko praćenje uticaja buke tokom vremena. Analizirajući dostupna istraživanja u ovoj oblasti, dolazi se do zaključka da crowdsourcing tehnika i mobilne aplikacije za prikupljanje podataka o

Adresa autora: Srđan Popović, Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet, Beograd, Bulevar kralja Aleksandra 73

e-mail: srpp011@gmail.com

Rad primljen: 24.01.2025.

Rad prihvaćen: 04.02.2025.

ambijentalnoj buci u urbanim sredinama daju značajan doprinos o značaju monitoringa ambijentalne buke. Korišćenjem geografskih informacionih sistema (GIS), moguće je kreiranje karata koje mogu pomoći u donošenju urbanističkih odluka u cilju smanjenja ambijentalne buke uzrokovane saobraćajem.

Istraživanje koje su sproveli Othman i drugi 2024, fokusira se na analizu nivoa buke i identifikaciju njenih izvora u urbanim sredinama korišćenjem crowdsourcing tehnika i GIS-a. Studija je sprovedena u dva grada: Aleksandriji (Egipat) i Zagrebu (Hrvatska). Korišćenjem mobilne aplikacije NoiseCapture, prikupljeni su podaci o buci, koji su zatim analizirani u GIS okruženju kako bi se generisale karte buke. U ovom slučaju kalibracija uređaja kojima se merila buka – mobilnih telefona, je sprovedena međusobnom kalibracijom između dva uređaja. Rezultati su dobijeni korišćenjem IDW interpolacije i pokazuju da većina izmerenih nivoa buke u oba grada premašuje dozvoljene granice, pri čemu su glavni izvori buke saobraćaj i komercijalne aktivnosti [8].

Istraživanje koje su sproveli Dubey i drugi 2020, sagledava mogućnosti korišćenja mobilnih aplikacija za kartiranje buke u urbanim sredinama, sa fokusom na grad Lucknow u Indiji. Takođe je korišćena aplikacija NoiseCapture za prikupljanje podataka o buci, a zatim su ti podaci kalibrisani i kartirani u GIS okruženju. U ovom slučaju kalibracija uređaja kojima se merila buka – mobilnih telefona je sprovedena uz pomoć standardnih uređaja za merenje nivoa buke. Rezultati su dobijeni korišćenjem IDW interpolacije i pokazuju da su predviđeni nivoi buke bili tačni unutar ± 4.5 dB u odnosu na standardne uređaje mere buke [9].

Autori Graziuso, G. i drugi 2020, predlažu metodologiju za analizu i kartiranje buke korišćenjem crowdsourcing podataka. Korišćena je aplikacija NoiseCapture za prikupljanje podataka o buci na univerzitetskom kampusu Fisciano u Italiji. Rezultati su dobijeni korišćenjem Kernel Density Estimation (KDE) algoritma u GIS okruženju i pokazuju da crowdsourcing pristup u prikupljanju podataka o ambijentalnoj buci kao efikasan alat za kreiranje prostorno-vremenskih karata buke [10].

Istraživanja u ovoj oblasti prostorima uglavnom su fokusirana na aspekt zdravstvenog uticaja ambijentalne buke na zdravlje stanovništva kao i analiziranjem direktnih merenja na određenim mikrolokacijama, ali ne i na prostornu vizuelizaciju fenomena ambijentalne buke. Cilj ovog rada je prostorno modeliranje i vizuelizacija ambijentalne buke, izazvane saobraćajem za područje grada Beograda, uz korišćenje otvorenih podataka, gde će rezultat biti predstavljen tematskom kartom. Rad je organizovan tako da sadrži sledeće celine:

- Materijali i metodologija obuhvataju pregled ulaznih i pomoćnih podataka, kao i opis korišćene metodologije i procesa obrade podataka;
- Rezultati na celom području Beograda i za specifične mikrolokacije;
- Diskusija i zaključak pružaju osvrt na postignute rezultate, uz analizu njihovog značaja i mogućnosti primene. Takođe, razmatraju se potencijalna unapređenja metodologije i pravci za buduća istraživanja.

2. MATERIJALI I METODOLOGIJA

Rad prikazuje prostorno kartiranje i modeliranje buke uzrokovane druskim saobraćajem i uporedno analizira modelirane podatke sa merenim vrednostima dostupnim kroz crowdsourcing platforme, za uže područje grada Beograda. Za potrebe modeliranja korišćeni su isključivo otvoreni podaci (javno dostupni - besplatni setovi podataka). Ulazni podaci o merenim vrednostima ambijentalne buke korišćeni za modeliranje preuzeti su sa *NoiseCapture Android* aplikacije i dostupni su putem baze podataka *DATABASE-Noise-CaptureRaw*¹. Podaci su dostupni u GeoJSON formatu i koriste EPSG 4326 kao referentni koordinatni sistem. Organizovani su u tri datoteke:

- *tracks.geojson* – sadrži informacije o pojedinačnim sesijama merenja (identifikator sesije, početak merenja, kalibracionu vrednost signala u dB – unesena od strane korisnika, nivo zvuka tokom sesije, subjektivnu procenu zvuka na skali od 0 do 100).
- *points.geojson* – sadrži pojedinačne tačke (lokacije) merenja buke uključujući informacije o vezi sa sesijom, vremenom merenja, nivou buke izmerene tokom jedne sekunde, pravac kretanja i tačnost određivanja lokacije u metrima.
- *areas.geojson* – predstavlja rezultat postprocesiranja podataka i sadrži agregirane informacije o nivou buke u geoheksagonalnim ćelijama radijusa 15 m.

Ulazni podaci ovog tipa omogućavaju detaljnu analizu prostorno-vremenskih karakteristika buke u urbanim i prirodnim sredinama. Za potrebe modeliranja dodatne informacije o prostoru su obezbeđene kroz pomoćne podatke preuzete iz base Open-Street-Map platforme (OSM) u .pbformatu i to:

- informacije o saobraćajnim koridorima (širina, ograničenja brzine, broj saobraćajnih traka).
- informacije o objektima – zgradama (2D osnova objekata, podaci o visini zgrada).

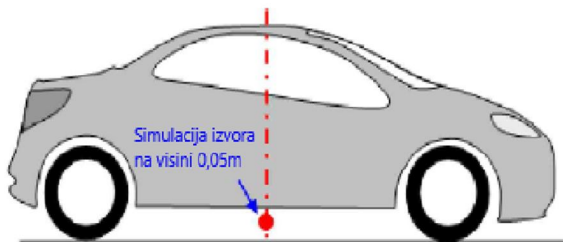
¹<https://data.noise-planet.org/noisecapture/>

- informacije o načinu korišćenja zemljišta (zelene površine, parkovi, industrijske i komercijalne zone i dr.).

Za potrebe modeliranja korišćeni su delovi softverskog alata otvorenog koda NoiseModelling – kao softverski paket koji je baziran na CNOSSOS-EU numeričkom modelu.

Istraživanje ima za cilj da se na osnovu otvorenih podataka modeluju očekivani nivoi buke koje proizvode pojedinačna vozila, uz pretpostavku da buka iz okruženja nema značajan uticaj na rezultate. Metodologija modeliranja bazira se na primeni Delaunay-jeve triangulacije za potrebe modeliranja prostora između prijemnika i definisanog numeričkog modela, CNOSSOS-EU metodologije u kombinaciji sa R-Tree prostornim algoritmom radi optimizacije pri definisanju pravca prostiranja buke u prostoru. Simulacija je zasnovana na tri seta podataka (generisanih iz otvorenih podataka), i to:

- Izvorima buke, materijalizovanih na osnovu gore navedenih saobraćajnih koridora i odgovarajućih atributa. Iako CNOSSOS-EU metodologija predviđa kategorizaciju vozila koja mogu imati udeo u uzrokovanju buke, a kako se u datom slučaju analizira gradsko jezgro u analizu su uključena vozila prve (laka motorna vozila²) i druge (srednje teška motorna vozila³) kategorije. Svako vozilo se reprezentuje jednom tačkom, koja ravnomerno emituje u opsegu 2π u prostor iznad tla. Tačkasti izvor buke se u simulaciji postavlja na visini od 0,05m iznad tla [4]. Termin 2π u prostor iznad tla odnosi se na način na koji se pretpostavlja da se buka širi od izvora zvuka, kao što je vozilo. Zvuk koji vozilo proizvodi širi se u obliku polukruga iznad tla, dok tlo blokira zvuk. Umesto da se buka računa kao da se širi u svim pravcima (kao u celokupnoj sferi od 4π), računa se samo širenje iznad tla - 2π prostoru.



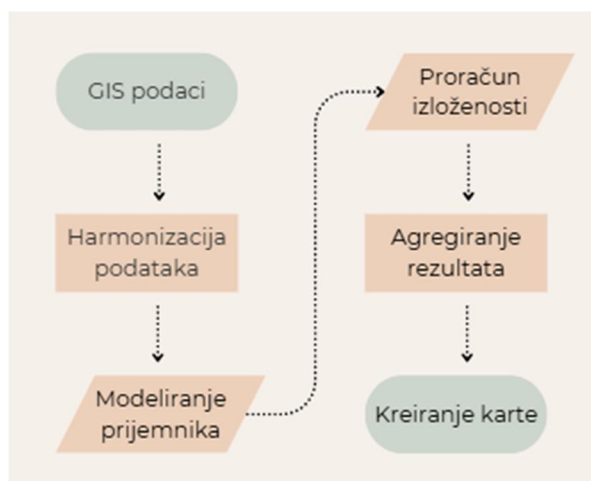
Slika 1 - Prikaz simulacije izvora

² Putnička vozila, dostavna vozila do 3,5 tone.

³ Srednje teška vozila, dostavna vozila preko 3,5 tone, autobusi, turistički autobusi itd. sa dve osovine i dvostrukom montažom pneumatika (duplim gumama) na zadnjoj osovini.

- Područjem od interesa (izabrano područje za koje se vrši modeliranje). Opisivanje područja kroz prostorne podatke zapravo je izvršeno prikupljanjem informacija o saobraćajnicama, objektima i zelenim površinama.
- Prijemnicima, materijalizovanim u vidu tačaka na kojima se o vrši modeliranje buke. U konkretnom slučaju, prijemnici su modelirani na osnovu geometrije objekata - zgrada (visina prijemnika je 4 m).

Dijagram na slici 2 daje prikaz toka modeliranja. Sve počinje od prikupljanja i obrade otvorenih podataka (GIS podaci) koji predstavljaju osnovu za dalje analize. Obzirom da se radi o podacima iz različitih izvora i različitih formata, kroz proces harmonizacije izvršeno je njihovo usklađivanje. Modeliranje prijemnika je proces koji je zahtevan u pogledu resursa, ali se takođe oslanja na ulazne podatke koji se odnose na zgrade. Rezultat tog procesa je novi set podataka kojim se prijemnici diskretno predstavljaju u vidu tačaka u 3D prostoru. Nakon modeliranja vrši se proračun izloženosti kroz simulaciju. Za potrebe modeliranja izvora buke korišćene su informacije o saobraćajnim koridorima kako bi se materijalizovao pravac kretanja vozila prema saobraćajnim trakama kao i ograničenja brzine. Tok saobraćaja se predstavlja linijskim izvorom. Pri modelovanju puta sa više traka, svaka traka se predstavlja linijskim izvorom postavljenim u centru trake.



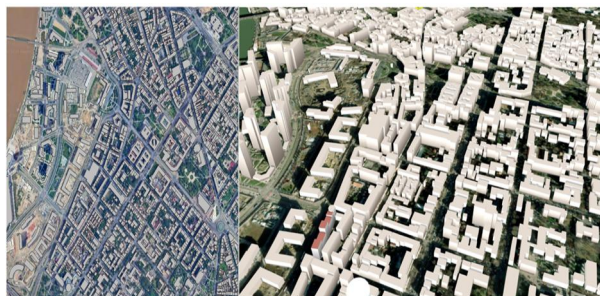
Slika 2 - Dijagram toka procesa modeliranja

U cilju kreiranja 3D modela zgrada vršena je aproksimacija visine objekata na osnovu dostupnih osnova sa OSM platforme, na više različitih načina:

- Ukoliko je informacija dostupna kroz tag/atribut visine zgrade (*building:height*), smatrano je da je to „tačno“ definisana visina zgrade;
- Ukoliko je informacija dostupna kroz tag/ atribut broja spratova (*building:levels*), visina je sračunata množenjem broja spratova sa 3 m;

- Ukoliko informacije o visini zgrade ili broju spratova nisu bile dostupne, visina zgrada je modelirana na osnovu susednih – uzimajući prosečnu vrednosti susednih zgrada.

3D objekti kreirani su korišćenjem *Python* programskog jezika „izdizanjem“ osnove objekta prema aproksimiranoj visini.



Slika 3 - Prikaz osnove (footprint) objekata i 3D modela objekata na osnovu visina

Slika 3 daje generalizovan prikaz 2D objekata, odnosno osnove objekata užeg gradskog jezgra, dok na desnoj polovini prikazuje generisane 3D modele zgrada na osnovu aproksimiranih podataka o visinama objekta. Značaj 3D modela objekata prilikom modeliranja ogleda se u tome što objekti predstavljaju barijere i reflektujuće površine u prostiranju buke kroz prostor.



Slika 4 - Prikaz 3D objekata i simuliranih senzora

Slika 4 prikazuje modelirane senzore u 2D prostoru, na način da senzori budu ravnomerno raspoređeni duž ivice objekta. Desna strana slike prikazuje modelirane senzore u 3D prostoru tako da se na svakih 4 m modelira sledeći visinski nivo senzora koji prati osnovu.

3. REZULTATI

Rezultat modeliranja i agregacije podataka je karta propagacije zona ambijentalne buke - klasifikovani rasterski fajl, tematska karta, prikazan na slici 5. Originalni proizvod dostupan je u GeoTIFF formatu, prostorne rezolucije 1m x 1m, tipa podataka Float32, na *Zenodo* platformi⁴. Kroz postupak modeliranja i klasifikacije, zone propagacije podeljene su u 10 kategorija/klasa koje su prikazane u tabeli 2:

⁴ <https://zenodo.org/records/14777788>

Tabela 1. Klasifikacija intenziteta buke

Nivo	intenzitet	Boja
0	< 35 dB	
1	35 – 40 dB	
2	40 – 45 dB	
3	45 – 50 dB	
4	50 – 55 dB	
5	55 – 60 dB	
6	60 – 65 dB	
7	65 – 70 dB	
8	70 – 75 dB	
9	75 – 80 dB	
10	> 80 dB	



Slika 5 - Rezultat modeliranja ambijentalne buke na području Beograda.

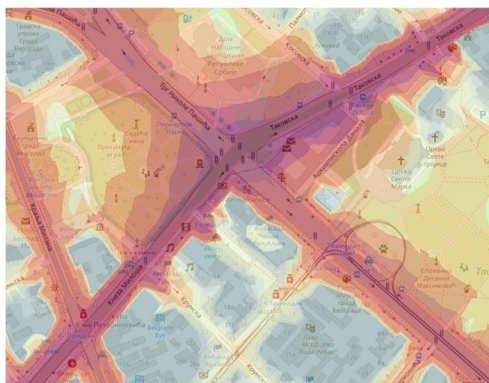
Za područje grada Beograda, merene vrednosti, dostupni su podaci za delove opština Novi Beograd, Savski Venac i Vračar. Mikrolokacije koje su analizirane predstavljaju saobraćajne raskrsnice, i to:

- Mikrolokacija 1: Raskrsnica ulice Nemanjina i ulice Kneza Miloša;
- Mikrolokacija 2: Raskrsnica ulice Kneza Miloša i ulice Bulevar kralja Aleksandra;
- Mikrolokacija 3: Raskrsnica ulice Bulevar kralja Aleksandra i ulice Knjeginje Zorke;
- Mikrolokacija 4: Raskrsnica ulice Krunska i ulice Molerova;
- Mikrolokacija 5: Raskrsnica ulice Bulevar Vudroa Vilsona i Nikolaja Kravcova;
- Mikrolokacija 6: ulica Dr. Ivana Ribara i Jurija Gagarina.

Tabela 2. Prikaz merenih i modeliranih vrednosti prema lokacijama

Mikrolokacija	Merena vrednost	Modelirana vrednost
1	90.7 dB	75 – 80 dB
2	86.0 dB	> 80 dB
3	77.9 dB	70 – 75 dB
4	67.1 dB	60 – 65 dB
5	71.9 dB	70 – 75 dB
6	57.8 dB	55 – 60 dB

Na slici 6 dat je prikaz modeliranih vrednosti i propagacije ambijentalne buke na mikrolokaciji 2 - Raskrsnica ulice Kneza Miloša i ulice Bulevar kralja Aleksandra. Slika 6 ilustruje intenzitet ambijentalne buke, pravac prostiranja u prostoru kao i jasan uticaj objekata – zgrada kao barijera u prostoru.

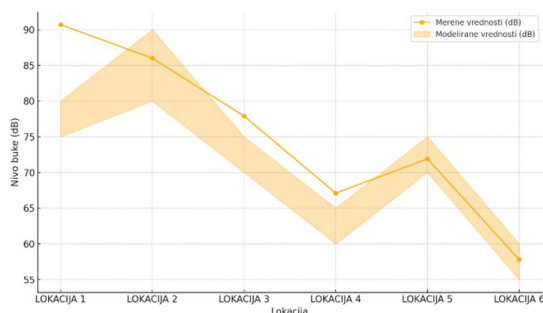


Slika 6 - Modelirane vrednosti na mikrolokaciji

U radu je, zbog kompaktnosti sadržaja, prikazana jedna mikrolokacija, zbog karakterističnih osobina lokaliteta. Na konkretnoj mikrolokaciji se jasno vidi efekat propagacije ambijentalne buke u prostoru preko zelenih površina, kao i način na koji objekti – zgrade utiču na propagaciju iste.

4. DISKUSIJA I ZAKLJUČAK

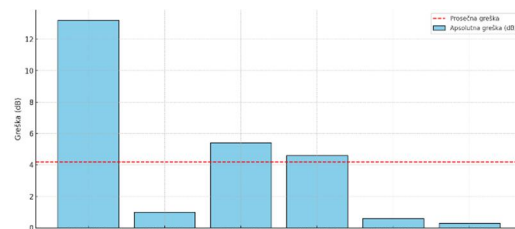
Modelirane vrednosti bazirane su na otvorenim podacima i predstavljaju rezultat modela na osnovu CNOSSOS-EU metodologije, merene vrednosti predstavljaju rezultat amaterskih merenja - javno dostupni podaci sa crowdsourcing platforme. Prosečna apsolutna greška između merenih i modeliranih vrednosti iznosi 4.18 dB, dok je procenjena tačnost modela izražena koeficijentom determinacije $R^2 = 94.44\%$. Grafički prikaz korelacije modeliranih i merenih vrednosti prikazan je na slici 7.



Slika 7 - Korelacija merenih i modeliranih vrednosti ambijentalne buke na mikrolokacijama

Razlika između modeliranih i merenih vrednosti je uglavnom negativna, što sugerise da model ima tendenciju da podceni stvarne nivoe buke na većini lokacija. Ova sistematska negativna odstupanja ukazuju na postojanje određenih faktora koji utiču na pri-

strasnost modela. Razlozi za takva odstupanja mogu biti uzrokovani malom količinom ili nedovoljno preciznim ulaznim podacima (npr. izostanak šinskih vozila i njihovih koridora prilikom modeliranja), na koje se model oslanja. Vremenski uslovi, kao što su brzina i pravac vetra, temperatura i vlažnost, imaju značajan uticaj na širenje zvuka. U konkretnom slučaju, model koristi generičke meteorološke podatke umesto podataka o vremenskim uslovima bliskim periodu kada su vršenja merenja, sa tim u vezi deo greške se može pripisati i meteo faktorima.



Slika 8 - Apsolutna greška po mikrolokacijama

Analizom apsolutnih grešaka (slika 8) za merene i modelirane vrednosti uočavaju se značajne razlike u preciznosti merenja ili predikcija između mikrolokacija, što dodatno potvrđuje već pomenute razloge kao uzročnike odstupanja.

Tendencija modela da podceni stvarne nivoe buke naglašava potrebu za kontinuiranim unapređivanjem metodologije. Precizniji modeli, dodatni izvori ulaznih podataka, unapređenje algoritama za propagaciju zvuka, kalibracija modela i eventualno poboljšanje procedura merenja imali bi pozitivan uticaj na prediktovane vrednosti. Potreba za unapređenjem modela i njegovom kalibracijom na nivou mikrolokacija je neophodna kako bi rezultati modeliranja bili bliskiji realnim uslovima. Uz validaciju i iterativno poboljšavanje modela kroz povećanje broja mernih tačaka, izvođenje merenja kroz epohe i kontinuiranu analizu odstupanja moguće je ostvariti veću pouzdanost u finalnim rezultatima. Upotrebom dinamičkih metoda modeliranja, kao što su algoritmi mašinskog učenja, potencijalno je moguće bolje prepoznavati saobraćajne obrasce i modeliranje prilagoditi stvarnim uslovima – što otvara prostor za buduća istraživanja.

Ovaj rad predstavlja osvrt na značaj i dostupnost otvorenih podataka, njihovu mogućnost primene za potrebe kreiranja dodatnih vrednosti i informacija za širu javnost. Cilj rada je bio da se kroz harmonizaciju otvorenih podataka, a uz pomoć predefinisanih numeričkih modela, modelira buka uzrokovana saobraćajem i da se modelirane vrednosti uporede sa rezultatima merenja dostupnim na crowdsourcing platformi. Modeliranje je izvršeno za užu gradsko jezgro grada Beograda, a komparacija je sprovedena na šest mikrolokacija. Analizirajući merene i modelovane vrednosti uočen je trend da korišćeni model ima tendenciju

podcenjivanja rezultata modeliranja. To bi značilo da potencijalno postoje mesta za unapređenje ulaznih podataka u pogledu informacija o saobraćajnim koridorima, ograničenjima brzine ali i u količini dostupnih merenih podataka na konkretnim mikrolokacijama. Osim greške uzrokovane ulaznim podacima, udeo u povećanju apsolutne greške ima uticaj propagacije zvuka. Postoji „neusklađenost“ između modeliranja emisije i propagacije u okviru CNOSSOS-a. Model emisije predstavlja izvor u slobodnom polju, dok model propagacije pretpostavlja da je izvor iznad površine tla i modelira prostor 2π . Ova neusklađenost može uticati na modelirane vrednosti do 3 dB [5], dok je u radu postignuto odstupanje – prosečna apsolutna greška od 4.18 dB. Takođe, ne može se zanemariti i činjenica da su merene vrednosti, zapravo rezultati amaterskog merenja – nastali upotrebom pametnih telefona. Iako pametni telefoni pružaju veliku fleksibilnost i mogućnost masovnog prikupljanja podataka, njihova tehnička ograničenja utiču na tačnost i pouzdanost rezultata. Problemi sa geolokacijom, zvučnim sensorima i varijacijama u korisničkom ponašanju predstavljaju izazove koji se mogu delimično rešiti naprednim algoritmima i standardizacijom procedura. Budući razvoj u oblasti analize senzorskih podataka i geolokacijskih tehnologija može doprineti smanjenju ovih ograničenja i poboljšanju preciznosti merenja pomoću pametnih telefona [11]. Dodatni potencijal za dalja istraživanja u ovoj oblasti postoji kroz mogućnost upotrebe drugih modela – statičkih ili dinamičkih, kao i mogućnostima primene mašinskog učenja u oblasti simulacije saobraćaja.

LITERATURA

- [1] Peris E. Environmental noise in Europe: 2020. *Eur. Environ. Agency*, 1, 104, 2020.
- [2] *Environmental noise guidelines for European Region*. WHO Regional Office for Europe, 2018.
- [3] Mošić M. R., Vidović N. D. & Đorić V. D. Uticaj barijere za zaštitu od buke na lokaciji Kliničkog centra u Beogradu. *Tehnika*, 74(2), 271-276. <https://doi.org/10.5937/tehnika1902271M>, 2019.
- [4] Kephelopoulou S, Paviotti M, Anfossio-Lédée F, Van Maercke D, Shilton S. & Jones N. Advances in the development of common noise assessment methods in Europe: The CNOSSOS-EU framework for strategic environmental noise mapping. *Science of the Total Environment*, 482, 400-410, 2014.
- [5] Khan J, Thysell E, Backalarz C, Finne P, Hertel O, & Jensen S. S. Performance Evaluation of Nord2000, RTN-96 and CNOSSOS-EU against Noise Measurements in Central Jutland, Denmark. In *Acoustics* (Vol. 5, No. 4, pp. 1099-1122). MDPI, November 2023.
- [6] Picaut J, Fortin N, Bocher E, Petit G, Aumond P. & Guillaume G. An open-science crowdsourcing approach for producing community noise maps using smartphones. *Building and Environment*, 148, 20-33, 2019.
- [7] Noise Planet, [Na mreži]. Available: <https://noise-planet.org/noisemodelling.html>. [Poslednji pristup 20 12 2024].
- [8] Othman E, Cibilić I, Poslončec-Petrić V. & Saadallah D. Investigating Noise Mapping in Cities to Associate Noise Levels with Sources of Noise Using Crowdsourcing Applications. *Urban Science*, 8(1), 13, 2024.
- [9] Dubey R, Bharadwaj S, Zafar M. I, Bhushan Sharma, V. & Biswas S. Collaborative noise mapping using smartphone. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 43, 253-260, 2020.
- [10] Graziuso G, Grimaldi, M, Mancini S, Quartieri J. & Guarnaccia C. Crowdsourcing data for the elaboration of noise maps: A methodological proposal. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1603, No. 1, p. 012030). IOP Publishing, September 2020.
- [11] Bocher E, Petit G, Picaut J, Fortin N. & Guillaume G. Collaborative noise data collected from smartphones. *Data in brief*, 14, 498, 2017.

SUMMARY

SPATIAL MODELING OF AMBIENT TRAFFIC NOISE USING OPEN DATA

Due to the growing number of people living in urban areas, there is an increasing need for measuring, quantifying, and preventing the negative health effects caused by traffic noise. Continuous monitoring and mitigation of harmful impacts have been enabled through the definition of methodologies and standards in this field at the European Union (EU) level. The increasing availability of open data and open-source software packages through crowdsourcing platforms provides opportunities for modeling and analyzing such phenomena. This paper explores the possibilities of using open-access data for traffic noise modeling and analyzes the intensity of modeled noise compared to noise measured by mobile devices through crowdsourcing platforms. The results of spatial noise modeling for the entire area of Belgrade, which constitute the outcome of this research, have been published in GIS format and are publicly available. Critical points have been further analyzed at specific locations.

Key Words: traffic, spatial modeling of ambient noise, open data, crowdsourcing