

PROSTORNA VARIJABILNOST SAOBRAĆAJNE BUKE U URBANIM SREDINAMA – PRIMER DELA MREŽE BEOGRADA

Milena Stamenković¹, Marjana Čubranić-Dobrodolac², Ana Trpković³

¹ Saobraćajni fakultet, Univerzitet u Beogradu, Vojvode Stepe 305, 11010 Beograd,

milenastamenkovic58@gmail.com

² Saobraćajni fakultet, Univerzitet u Beogradu, Vojvode Stepe 305, 11010 Beograd, marjana@sf.bg.ac.rs

³ Saobraćajni fakultet, Univerzitet u Beogradu, Vojvode Stepe 305, 11010 Beograd, a.trpkovic@sf.bg.ac.rs

Rezime: Saobraćajna buka predstavlja jedan od najizraženijih oblika zagađenja životne sredine u urbanim sredinama i značajan izazov za održivi razvoj gradova, naročito zbog negativnog uticaja na fizičko i psihološko zdravlje stanovništva. Ovaj rad analizira saobraćajnu buku kroz studiju slučaja odabranih delova saobraćajne mreže u gradu Beogradu. Cilj istraživanja je utvrđivanje intenziteta saobraćajne buke na više karakterističnih lokacija i identifikacija saobraćajnih faktora koji doprinose njenom nastanku.

Istraživanje obuhvata merenje nivoa buke na lokacijama različitih funkcionalnih i prostornih karakteristika, uz analizu uticaja kategorizacije saobraćajne mreže, intenziteta saobraćajnog toka, prisustva javnog prevoza i drugih relevantnih faktora. Poredbeno analiza dobijenih rezultata omogućava sagledavanje prostorne varijabilnosti nivoa saobraćajne buke u funkciji odabranih pokazatelja. Na osnovu rezultata istraživanja predlažu se mere za smanjenje negativnog uticaja saobraćajne buke, u skladu sa principima održivog razvoja, zaštite životne sredine i unapređenja kvaliteta urbanog života.

Ključne reči: saobraćajna buka, urbana sredina, prostorna analiza, saobraćajni faktori, održivi razvoj, mere prevencije

SPATIAL VARIABILITY OF TRAFFIC NOISE IN URBAN AREAS – A CASE STUDY OF A SEGMENT OF BELGRADE’S TRAFFIC NETWORK

Milena Stamenković¹, Marjana Čubranić-Dobrodolac², Ana Trpković³

¹ Faculty of transport and traffic engineering, University of Belgrade, Vojvode Stepe 305, 11010 Belgrade, milenastamenkovic58@gmail.com

² Faculty of transport and traffic engineering, University of Belgrade, Vojvode Stepe 305, 11010 Belgrade, marjana@sf.bg.ac.rs

³ Faculty of transport and traffic engineering, University of Belgrade, Vojvode Stepe 305, 11010 Belgrade, a.trpkovic@sf.bg.ac.rs

Abstract: Traffic noise represents one of the most prominent forms of environmental pollution in urban areas and poses a significant challenge for sustainable urban development, particularly due to its negative impact on the physical and psychological health of the population. This study analyzes traffic noise through a case study of selected sections of the traffic network in the city of Belgrade. The aim of the research is to determine the intensity of traffic noise at several characteristic locations and to identify traffic-related factors contributing to its occurrence.

The research encompasses noise measurements at locations with diverse functional and spatial characteristics, along with an analysis of the impact of road classification, traffic flow intensity, presence of public transport and other relevant factors. Comparative analysis of the obtained results allows for the assessment of the spatial variability of traffic noise in relation to the selected indicators. Based on the results of the research, measures are proposed to reduce the negative impact of traffic noise, in accordance with the principles of sustainable development, environmental protection and the improvement of urban life quality.

Keywords: traffic noise, urban environment, spatial analysis, traffic factors, sustainable development, mitigation measures

1. UVOD

Buka predstavlja specifičan oblik zagađenja u savremenom svetu. Kao problem javlja se zajedno sa počecima urbanizacije i stanovanja u gradovima, dok se kao ozbiljan ekološki problem, javlja sa pojavom industrije tek krajem 18., odnosno početkom 19. veka, kako navodi Roth (2001). Razvoj savremene tehnologije, urbanizacija, ubrzana industrijalizacija – naročito razvoj saobraćaja i automobilske industrije – dovodi do toga da je problem buke postao ozbiljan ekološki problem savremenog sveta, što ističu mnogi autori, među kojima su Li i saradnici (2002), Brainard i saradnici (2004), Li i Tao (2004), Allen i Adar (2011), kao i Ross i saradnici (2011).

Prema podacima Svetske zdravstvene organizacije (WHO), buka značajno utiče na psihofizičko zdravlje urbanog stanovništva. U proseku, više od 50% stanovnika u urbanim sredinama izloženo je neprekidnim nivoima buke koji premašuju 55 dB, dok je više od 15% populacije izloženo nivoima koji prelaze 65 dB. U Evropskoj uniji, oko 94 miliona ljudi u urbanim sredinama i oko 31 milion ljudi van urbanih sredina ugroženo je saobraćajnom bukom, od čega je približno 112 miliona ljudi izloženo povišenim nivoima buke izazvane dramskim saobraćajem, kako tvrde Hasan i saradnici (2025) zajedno sa Wong-om i saradnicima (2020). Direktiva o buci u životnoj sredini (Environmental Noise Directive, END, 2002) nalaže zemljama EU da redovno sprovedu mapiranje buke i planiranje akcija – pri čemu ne postavlja obavezujuće granične vrednosti, već samo pragove za izveštavanje – sa ciljem zaštite javnog zdravlja i očuvanja tihih zona (NOISE, Information System for Europe, 2025). Uprkos cilju smanjenja buke izazvane saobraćajem za 30% do 2030. godine u okviru Akcionog plana za nutlo zagađenje (Zero Pollution Action Plan), Evropska komisija i Evropska agencija za životnu sredinu upozoravaju da trenutni naponi mogu postići smanjenje od samo oko 19%, što dovodi cilj u opasnost ukoliko se ne usvoje jače mere. Srbija je u velikoj meri uskladila svoje nacionalne propise sa END-om primenjujući CNOSSOS-EU metodologiju (Common Noise Assessment Method) za razvoj strateških mapa buke i akcionih planova, uključujući transportne koridore i urbane aglomeracije, kako su opisali Praščević i saradnici (2024).

Cilj ovog rada jeste utvrđivanje i analiza intenziteta saobraćajne buke u urbanim sredinama kroz studiju slučaja odabranih delova saobraćajne mreže na području grada Beograda, kao i identifikacija ključnih saobraćajnih faktora koji doprinose njenom nastanku. U okviru istraživanja sprovedena su terenska merenja nivoa buke na lokacijama različitih funkcionalnih i prostornih karakteristika, uzimajući u obzir kategorizaciju saobraćajnica, procenu intenziteta saobraćajnog toka, prisustvo javnog prevoza i druge relevantne faktore koji oblikuju akustičko okruženje u urbanim zonama.

Dobijeni podaci obrađeni su tako da omoguće sagledavanje prostorne varijabilnosti saobraćajne buke, dok su prosečne vrednosti nivoa buke korišćene kao merodavan pokazatelj za poređenje između različitih lokacija. Rezultati istraživanja prikazani su grafički kako bi se vizuelno i analitički istakle razlike u nivou buke u zavisnosti od perioda u toku dana i karakteristika posmatranih područja. Na osnovu dobijenih rezultata, predlažu se pouzdane mere i preporuke za smanjenje negativnog uticaja saobraćajne buke, u skladu da principima održivog razvoja, zaštite životne sredine i unapređenja kvaliteta života u urbanim sredinama.

2. SAOBRAĆAJNA BUKA

Poznata je činjenica da je buka, pored svetlosti, najveći ne-fizički polutant planete. Buka je specifičan zagađivač, jer je njeno dejstvo trenutno – deluje samo dok traje emisija i ne manifestuje se kroz zakasnele reakcije, poput zagađivanja vode ili vazduha. Međutim, ona se prolazno ili trajno odražava na psihičko i fizičko stanje čoveka, u negativnom smislu, pri tom se negativni efekti javljaju i pri izloženosti buci manjeg intenziteta. U gradskim sredinama, saobraćaj je prepoznat kao glavni izvor buke, posebno u zonama visoke gustine stanovništva i saobraćajne frekvencije.

2.1. Psihološki aspekt saobraćajne buke

Neželjeni zvukovi u urbanim sredinama – pre svega saobraćajna buka – ne utiču samo na sluh, već imaju širok spektar psiholoških i fizioloških posledica. Dugotrajna i intenzivna izloženost saobraćajnoj buci može izazvati privremeni i trajni gubitak sluha, poremećaje sna i koncentracije, kao i povećanje stresa. Intenzitet, trajanje i frekvencijski karakter zvuka određuju stepen oštećenja, dok impulsna i promenljiva buka dodatno pojačava efekte na slušni sistem, kako je opisao i detaljno obradio profesor Milošević (2005) u okviru svoje knjige "Čovek i saobraćajna buka".

Psihološki i fiziološki uticaj buke ogledaju se kroz aktivaciju vegetativnog nervnog sistema i povišeno lučenje hormona stresa, što dovodi do povišenog krvnog pritiska, poremećaja srčanog ritma i opšteg osećaja napetosti. Izloženost buci negativno utiče na kognitivne funkcije poput pažnje, memorije, koncentracije, ometajući obradu informacija i smanjujući efikasnost u izvršavanju složenih zadataka. Ovi efekti su posebno izraženi kod dece, kod koje se manifestuju kroz slabije akademske rezultate usled čestog prekidanja pažnje, ali su prisutni i kod odraslih, gde buka povećava broj grešaka i produžava vreme reakcije. Pored toga, buka pojačava stres i anksioznost, što dodatno narušava izvrsne funkcije. U složenim zadacima, naročito verbalnim, buka utiče na strategije obrade informacija, usmeravajući ih ka nižim nivoima, pri čemu dolazi do kvalitativnih promena u pamćenju, posebno u fazi usvajanja i zadržavanja informacija. Spavanje je posebno osetljivo na zvučne smetnje, čak i pri niskim nivoima buke. Poremećaji dubokog i REM sna dovode do dnevne pospanosti,

smanjene koncentracije i povećanog psihološkog stresa (Milošević, 2005). Osim individualnih karakteristika poput uzrasne dobi i emocionalne osetljivosti, značajnu ulogu igra i percepcija kontrole nad bukom – ljudi koji je doživljavaju kao nametnutu reaguju intenzivnije (Welch i saradnici, 2023).

Socijalni aspekti buke odnose se na frustraciju i smanjenje zadovoljstva životom. Individualna tolerancija varira, a habituacija može smanjiti subjektivni osećaj stresa, dok fiziološki efekti i dalje ostaju prisutni (Milošević, 2005; Malenović-Nikolić i saradnici, 2025). Ovi podaci naglašavaju da psihološki uticaj saobraćajne buke nije samo pitanje percepcije, već i integrisanog pristupa zaštiti zdravlja i urbanom planiranju.

2.2. Projektanski aspekt saobraćajne buke

Saobraćajni inženjeri imaju ključnu ulogu u oblikovanju urbanih prostora koji kombinuju efikasnost saobraćaja i kvalitet života građana. Prvi korak u planiranju tišeg gradskog područja je precizna procena i praćenje nivoa buke. Saobraćajni inženjeri koriste različite metode za merenje i modeliranje buke i simulacione modele buke koji omogućavaju predviđanje nivoa buke na osnovu intenziteta saobraćaja, tipa vozila i karakteristike puta. Procena buke omogućava kategorizaciju urbanih područja prema stepenu izloženosti buci, što je osnova za dalja projektovanja.

Karakteristike buke jedne saobraćajnice moraju se razlikovati od karakteristika buke druge saobraćajnice. Razlika nastaje zato što na nivo buke utiče niz parametara kao što su saobraćaj, fizika puta, okruženje, temperatura i stanovništvo, pri čemu stoje Malenović-Nikolić i saradnici (2025). U cilju identifikacije ključnih uticaja razvijeni su različiti modeli za procenu i predviđanje nivoa buke. Soorizaarachchi je razmatrao izgradnju modela za predviđanje saobraćajne buke na osnovu brzine i udaljenosti različitih tipova vozila, dok je Golmohammadi (2009) uporedio više modela predviđanja u zavisnosti od urbanih uslova, uključuju infrastrukturne i saobraćajne parametre poput dimenzija puta, konfiguracije terena, visine objekata, obima i strukture saobraćajnog toka, brzine kretanja i udela teretnih vozila. Wedagama (2012) je primenom prostih i višestrukih regresionih modela potvrdio značajan uticaj intenziteta saobraćaja, brzine i udaljenosti merenja na nivo generisane buke.

Struktura saobraćajnog toka pokazuje se kao naročito značajan faktor, jer različite kategorije vozila imaju neujednačen doprinos ukupnom nivou buke. Agarwal (2010) je pokazao da laka motorna vozila mogu predstavljati dominantan izvor buke u urbanim sredinama uprkos manjem procentualnom učešću u saobraćaju. Lakawa i saradnici (2023) su utvrdili da teška vozila, iako znatno manje zastupljena, mogu imati izražen akustički uticaj, dok su Hustim, Anai i Fujimoto (2011) potvrdili statistički značaj u povezanost brzine kretanja motocikala i porasta nivoa buke.

Dosadašnja istraživanja pokazuju da nivo buke zavisi od više faktora: tipa i stanja kolovoza, brzine i intenziteta saobraćaja, vrste vozila, prisustva reflektujućih objekata, kao i topologije okoline (Ohiduzzaman i saradnici, 2016). Upravo zbog ovog kompleksnog i višefaktorskog karaktera problema, pojedinačne mere često nisu dovoljne, te je potreban integrisani pristup koji kombinuje tehnička, saobraćajna i ekološka rešenja. Tehnike smanjenja saobraćajne buke mogu se kategorizovati na sledeći način: inženjerske mere na kolovozu, saobraćajne i organizacione mere, akustičke barijere i primena zelenih površina kao ekoloških filtera buke. Inženjerske mere na kolovozu obuhvataju projektovanje, izvor i primenu specifičnih materijala, struktura i površinskih karakteristika kolovoza koje utiču na generisanja i širenja zvuka između pneumatika i površine puta. Primena ovih mera omogućava smanjenje buke na samom izvoru, čime se postiže dugoročno i održivo rešenje koje ne zahteva dodatne prostorne ili infrastrukturne intervencije, poput akustičkih barijera. One se mogu realizovati kroz izbor odgovarajućeg tipa kolovoza (niskobučni ili porozni asfalt), optimizaciju površinske teksture, upotrebu novih materijala, kao i kroz pravilno projektovanje debljine i slojeva konstrukcije kolovoza (Bendtsen i Andersen, 2005).

Pored inženjerskih intervencija na kolovozu, smanjenje saobraćajne buke u urbanim sredinama zahteva i primenu saobraćajnih i organizacionih mera koje deluju na tok, intenzitet i tip saobraćaja. Dok tehnička rešenja poput tiših tipova kolovoza i optimizacije teksture smanjuju nivo buke na njenom izvoru, organizacione strategije omogućavaju dodatnu kontrolu i optimizaciju saobraćajnih tokova, čime se direktno utiče na emisiju buke (Ohiduzzaman i saradnici, 2016). Saobraćajne i organizacione mere obuhvataju regulisanje brzine vozila, regulativno režimske i upravljačke mere, podsticanje alternativnih vidova prevoza, kao i primenu svetlosne signalizacije (vremensko razdvajanje tokova). Njihova primena omogućava ne samo smanjenje akustičkog opterećenja u urbanim sredinama, već i poboljšanje bezbednosti saobraćaja i kvaliteta života stanovnika. Ove mere su naročito važne u kombinaciji sa modernim informacionim i upravljačkim sistemima za saobraćaj (ITS – Intelligent Transport Systems), koji omogućavaju praćenje i optimizaciju saobraćajnih tokova u realnom

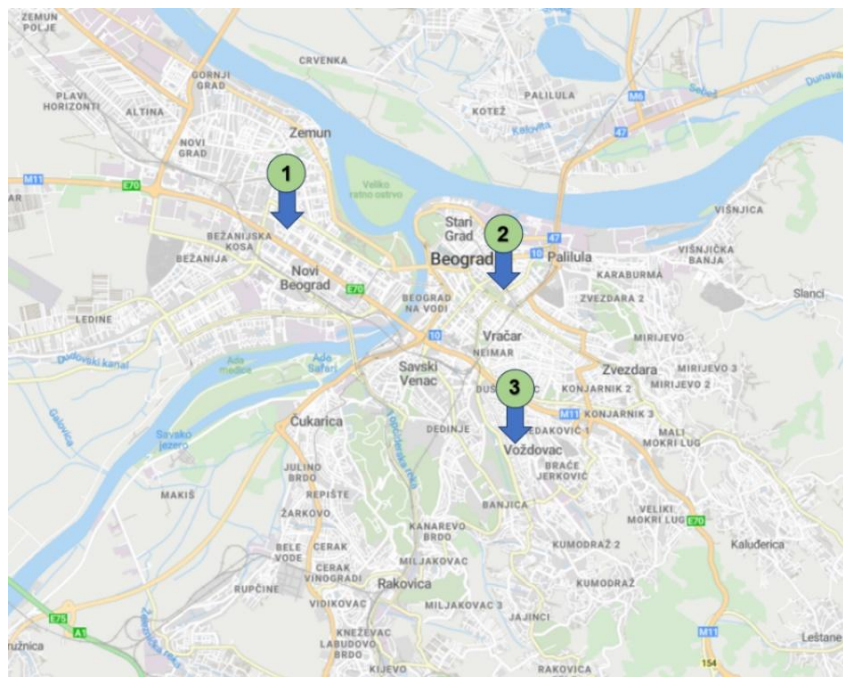
vremenu. Kroz integraciju tehničkih i organizacionih pristupa moguće je postići smanjenje saobraćajne buke na efikasan, održiv i dugoročan način (Zhou i saradnici, 2019).

Akustičke barijere predstavljaju jednu od najefikasnijih pasivnih mera za smanjenje saobraćajne buke, naročito u područjima gde je fizičko razdvajanje izvora i prijemnika zvuka moguće i opravdano. Njihova osnovna funkcija je prekid direktnog puta prostiranja zvučnih talasa između kolovoza i zaštićenog prostora – najčešće stambenih, školskih ili zdravstvenih objekata. Efikasnost barijere zavisi od visine, dužine, materijala, oblika i položaja u odnosu na izvor buke i zonu zaštite. Pravilno projektovana barijera može smanjiti nivo buke i do 10-15 dB, što predstavlja značajno poboljšanje akustičkog komfora stanovnika. Pored fizičkih karakteristika, akustičke barijere mogu imati i estetsku i ekološku funkciju, naročito kada se kombinuju sa vegetacijom, zelenim fasadama ili apsorpcionim materijalima koji doprinose održivosti i vizuelnom uklapanju u okolinu. One najčešće pronalaze svoju primenu duž autoputeva i puteva van područja grada, ali njihova upotreba postaje sve učestalija i u gradskim područjima, naročito u blizini bučnih saobraćajnih koridora. Ove konstrukcije čine ključnu komponentu sveobuhvatnih strategija za kontrolu i upravljanje saobraćajnom bukom, u kombinaciji sa inženjerskim i organizacionim merama.

Pored inženjerskih i organizacionih mera, zeleni elementi u urbanom prostoru predstavljaju efikasnu i ekološki održivu strategiju za smanjenje buke i poboljšanje životne sredine. Planiranje zelenih površina i njihov strateški raspored omogućavaju apsorpciju, difuziju i refleksiju zvučnih talasa, dok istovremeno doprinose estetici, mikroklimi i biološkoj raznovrsnosti urbanih prostora. Zelene površine su veoma važan faktor za smanjenje buke i mogu apsorbovati buku u rasponu od 5-10 dB (Wickramathilaka i saradnici, 2022). Integracijom svih prethodno navedenih mera moguće je značajno smanjiti nivo saobraćajne buke u urbanim sredinama, obezbeđujući dugoročno održiv akustički komfor i poboljšanje kvaliteta života stanovništva.

3. METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA

Metodologija istraživanja zasniva se na terenskom merenju nivoa buke, sprovedenom na tri odabrana područja različitih funkcionalnih i prostornih karakteristika u okviru grada Beograda, u cilju ispitivanja uticaja kategorizacije ulične mreže, procenjenog intenziteta saobraćajnog toka, prisustva javnog prevoza i drugih relevantnih faktora. Prvo područje definisano je delom opštine Novi Beograd (Blokovi 1, 3, 4, 33 i 34, Studentski grad). Isto karakterišu planski uređene stambene zone velikih gustina sa širokim saobraćajnicama i značajnim udelom zelenih površina. Područje odlikuje izraženim lokalnim i tranzitnim saobraćajem, ali i velikom koncentracijom studentske populacije, što dodatno utiče na dinamiku korišćenja prostora. Područje istraživanja 2 obuhvata užu centralnu zonu oko Vukovog spomenika, koja predstavlja jedan od najznačajnijih saobraćajnih i urbanih čvorova u gradu. Reč je o delu šireg centralnog gradskog područja sa izraženom atraktivnošću i mešovitom namenom površine, kao i intenzivnim saobraćajem sa izraženim javnim prevozom i velikim frekvencijama vozila i pešaka. Deo teritorije opštine Voždovac definiše područje 3, mešovite urbane strukture sa dominantnom stambenom namenom i prisustvom značajnih saobraćajnica koje generišu intenzivan saobraćaj. Prostorno pripada širem južnom delu Beograda i ima umereni nivo atraktivnosti, uz kombinaciju rezidencijalnih i uslužnih sadržaja. Na Slici 1 dat je prikaz makrolokacije istraživanja, pri čemu su područja obuhvaćena analizom numerički označena.

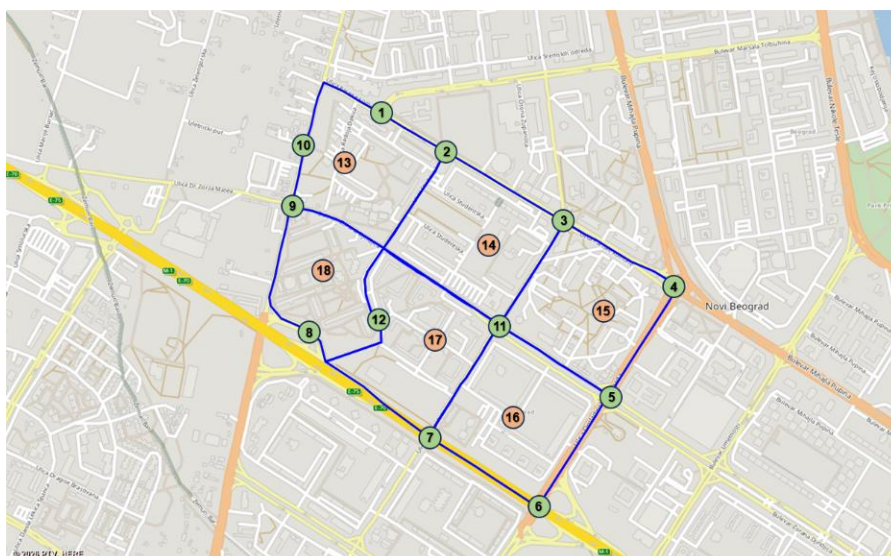


Slika 1. Makrolokacija istraživačkih područja u gradu

Izvor: planplus.rs [\[link1\]](#)

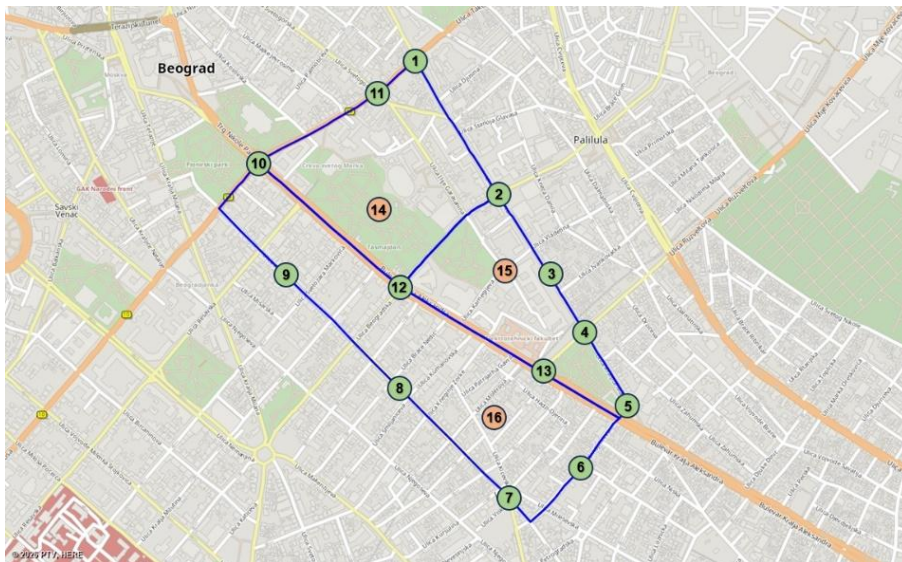
U sklopu istraživanja korišćena je aplikacija za merenje buke – Sound meter. Merenje je obavljeno upotrebom Apple sistema (iPhone 13 Pro) na svakoj tački merenja, pri čemu korišćena aplikacija prikazuje vrednosti buke u decibelima (dB) merenjem ambijentalne buke i rezultate prikazuje u različitim oblicima. Ova aplikacija omogućava ručnu kalibraciju radi veće tačnosti. Merenje je realizovano za tri perioda u toku dana – prepodnevni period (10-12h), poslepodnevni period (16-18h) i kasni večernji period (22-00h) – na tri lokacije u gradu: deo područja Novog Beograda (područje istraživanja 1), u širem centru grada (područje istraživanja 2) i na teritoriji opštine Voždovac (područje istraživanja 3). Istraživanje je sprovedeno u periodu od 10. do 12. marta 2026. godine (utorak, sreda i četvrtak).

Na svakoj mernoj tački sprovedena su tri uzastopna merenja nivoa buke u trajanju od po 15 sekundi. Obradom prikupljenih podataka, izvršenom uz pomoć Microsoft Excel softverskog paketa, određene su srednje vrednosti merenih nivoa (minimalan, prosečan i maksimalan nivo buke u decibelima). Za potrebe istraživanja definisan je različit broj karakterističnih mernih tačaka na svakoj od lokacija, pri čemu je na Slici 2 prikazana mikrolokacija područja istraživanja 1, a ujedno označene i numerisane tačke na kojima su sprovedena merenja nivoa buke. Na svakoj lokaciji istraživanja merenje je obavljeno većinski duž saobraćajnica, ali i unutar samih zona područja istraživanja radi procene širenja i uticaja saobraćajne buke unutar urbanih blokova.



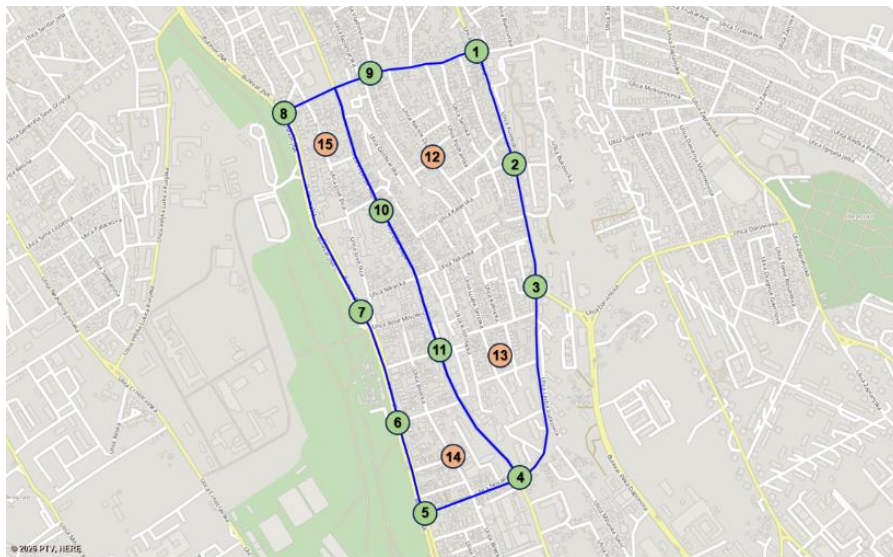
Slika 2. Mikrolokacija područja istraživanja 1 sa numerisanim tačkama merenja

Područje istraživanja 1 obuhvata Blokove 1, 3, 4, 33 i 34, kao i Studentski grad, pri čemu je merenje nivoa buke izvršeno duž saobraćajnica obuhvaćenim područjem (zeleni krugovi – 12 tačaka merenja) i unutar samih blokova (narandžasti krugovi – 6 tačaka merenja). Istom metodologijom izvršeno je merenje i na drugim lokacijama. Slika 3 prikazuje mikrolokaciju područja istraživanja 2 uz prateću numeraciju mernih tačaka. Ovo područje definiše uža zona oko Vukovog spomenika, pri čemu je za potrebe rada definisano 15 tačaka merenja nivoa buke (13 duž saobraćajnica i 3 unutarzonskih tačaka).



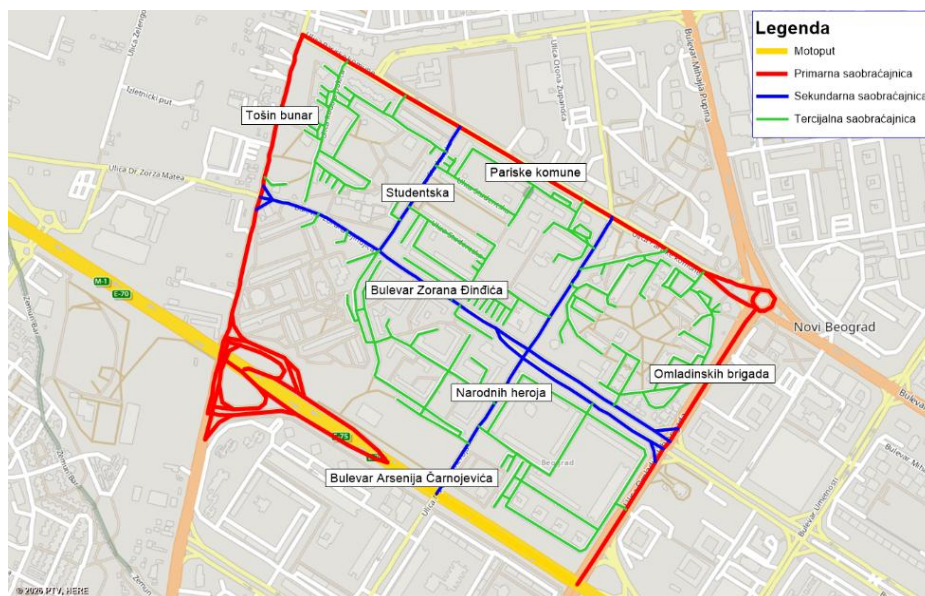
Slika 3. Mikrolokacija područja istraživanja 2 sa numerisanim tačkama merenja

Područje istraživanja 3 definisano je delom teritorije opštine Voždovac, kao što je i prikazano na Slici 4. U sklopu istog merenje je izvršeno uz pomoć 15 mernih tačaka (11 duž saobraćajnica i 4 unutar samog područja), raspoređenih na odabranim lokacijama kao što se sa dole prikazane Slike 4 može videti.



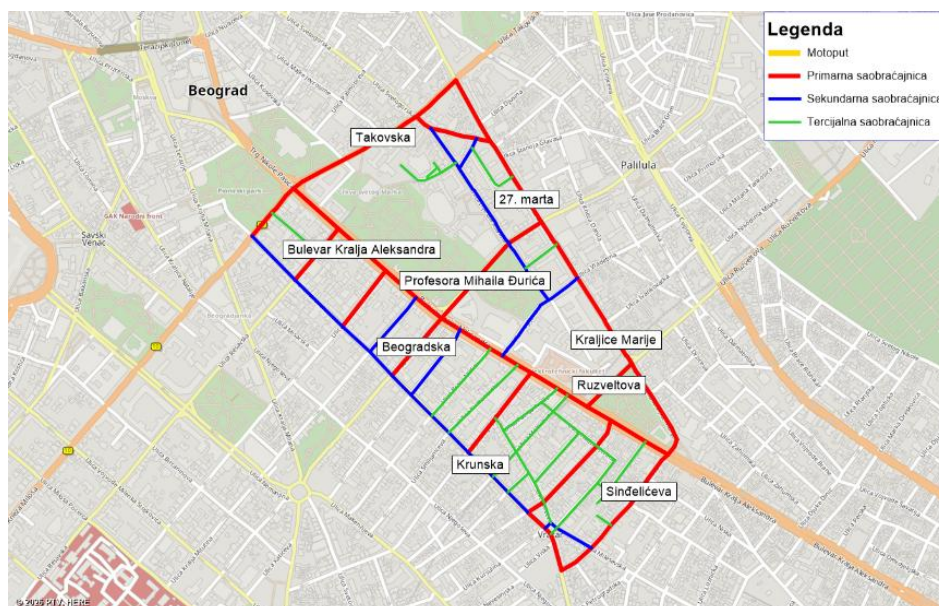
Slika 4. Mikrolokacija područja istraživanja 3 sa numerisanim tačkama merenja

Ulična mreža podrazumeva mrežu saobraćajnica unutar grada i za potrebe ovog rada ulična mreža obuhvaćena prostorom istraživanja kategorisana je na sledeći način: motoput, primarne saobraćajnice, sekundarne saobraćajnice i tercijalne saobraćajnice, u skladu sa standardima saobraćajne struke. U odnosu na kategorizaciju, Slike 5, 6 i 7 predstavljaju grafički prikaz ulične mreže na području istraživanja pri čemu su na istom dati i nazivi ključnih saobraćajnica. Žutom bojom je obeležen motoput, crvenom primarna mreža saobraćajnica, sekundarna mreža plavom bojom, a tercijalne saobraćajnice obeležene su zelenom bojom.



Slika 5. Kategorizacija ulične mreže na području istraživanja 1

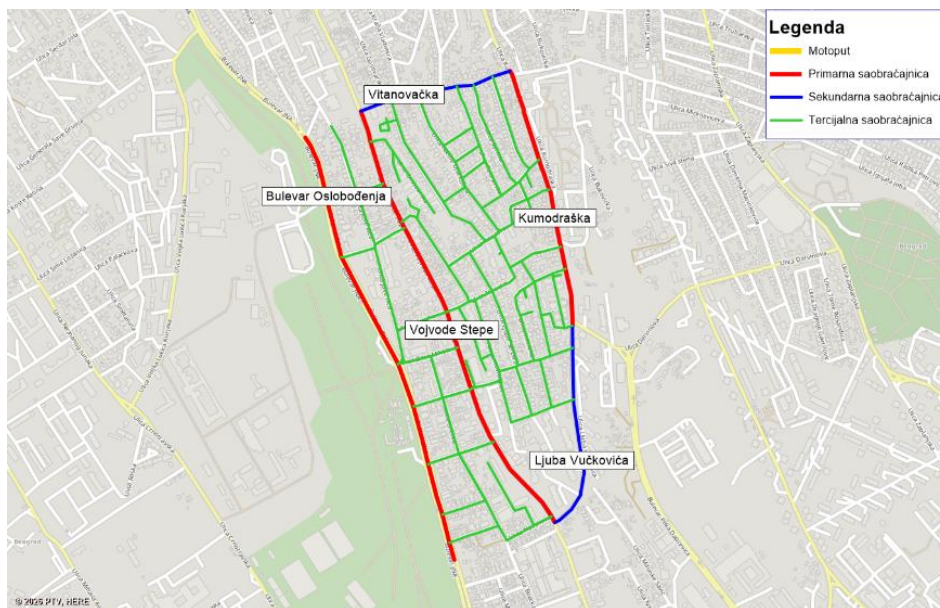
Prilikom istraživanja u dnevnim uslovima na području 1 uočen je visok intenzitet saobraćaja, pre svega zbog širokih saobraćajnica i značajnog broja tranzitnih kretanja, prvenstveno duž motoputa, dok noćni uslovi prate znatno niži intenzitet saobraćaja. Teren ovog područja je ravničarski, što je omogućilo razvoj pravilne blokovske strukture i široke ulične mreže. Kada je u pitanju struktura saobraćajnog toka, uočeno dominira putnički automobil (PA), dok značajan, ali znatno manji udeo pripada autobusima – vozilima javnog prevoza putnika (JGPP), koji predstavljaju osnovni vid kolektivnog prevoza putnika na posmatranim pravcima. Teretni saobraćaj prisutan je u umerenoj meri, dominantno duž motoputa, dok je na ostalom delu mreže vezan za snabdevanje stambeno-poslovnih objekata i servisne aktivnosti (laka teretna vozila). Na primarnim i sekundarnim saobraćajnicama prisutna je i biciklistička infrastruktura, koja je tokom istraživanja uočena kao nedovoljno iskorišćena, odnosno korišćena u znatno manjoj meri u odnosu na njen projektovani i potencijalni kapacitet, što ukazuje na nisku zastupljenost bicikla u ukupnoj strukturi saobraćajnog toka.



Slika 6. Kategorizacija ulične mreže na području istraživanja 2

U okviru područja oko Vukovog spomenika primećen je umeren intenzitet saobraćaja u oba dnevna perioda istraživanja, dok je u noćnim uslovima saobraćaj bio niskog intenziteta. Protoci su usklađeni sa pripadajućim rangom, kao i struktura saobraćajnog toka u kojoj dominira putnički automobil (PA), ali su prisutna i vozila javnog prevoza putnika (JGPP) – autobusi i tramvaji (duž primarne i sekundarne mreže saobraćajnica). S obzirom na poziciju područja, teretni saobraćaj nije prisutan, no приметно je prisustvo lakih teretnih vozila za

distribuciju robe i usluga. Sama zona predstavlja atraktivno područje i tačku presedanja za korisnike JGPP, te se može reći da je pešački saobraćaj veoma intenzivan tokom celog dana, što je evidentirano i tokom istraživanja.



Slika 7. Kategorizacija ulične mreže na području istraživanja 3

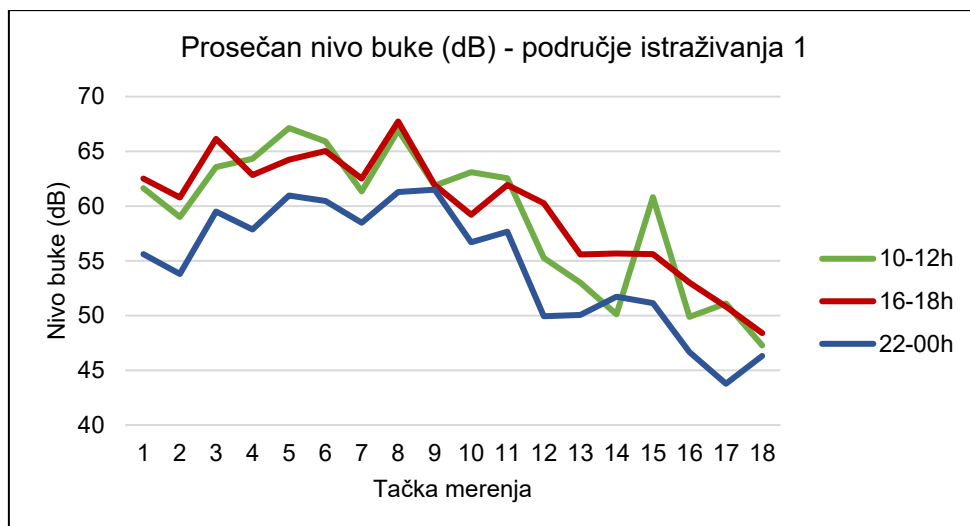
Na području istraživanja 3 u dnevnim uslovima uočen je umeren do visok intenzitet saobraćaja na glavnim pravcima, dok se u kasnim večernjim satima on značajno smanjuje. Teren je, kao i u slučaju područja 2, brdovit, sa izraženim visinskim razlikama koje utiču na formiranje ulične mreže i uslove odvijanja saobraćaja. Uočeno je da u strukturi toka dominira putnički automobil (PA), uz prisustvo vozila javnog prevoza putnika (JGPP) – autobusi (primarna i sekundarna mreža saobraćajnica) i tramvaji (ulica Vojvode Stepe), dok je teretni saobraćaj umeren i uglavnom vezan za lokalno snabdevanje. Biciklistička infrastruktura je prisutna, ali nedovoljno iskorišćena, što ukazuje na nisku zastupljenost ovog vida kretanja.

4. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

U okviru prikupljenih podataka za svaku od oblasti istraživanja evidentirani su minimalni, prosečni i maksimalni nivoi buke na svakoj mernoj tački. Iako si minimalne i maksimalne vrednosti relevantne za opis ukupnog raspona merenih nivoa, utvrđeno je da one nisu merodavne za dubinsku analizu i poređenje, jer su često pod uticajem pojedinačnih događaja i kratkotrajnih akustičkih vrhova koji ne odražavaju tipičnu akustičku izloženost u datim urbanim zonama. Zbog toga se u daljim analizama i interpretaciji rezultata poseban fokus stavlja na prosečne vrednosti nivoa buke, s obzirom da one najstabilnije prikazuju realnu izloženost saobraćajnoj buci na posmatranom području u posmatrano vreme.

Prosečne vrednosti buke prikazane su Dijagramima 1, 2 i 3, redom, za svako od analiziranih područja. Skala svakog od njih počinje od vrednosti 40 decibela (dB), kako bi se obezbedila relevantna i standardizovana interpretacija rezultata. Donja granica od 40 dB odabrana je u skladu sa preporukama Svetske zdravstvene organizacije (WHO), prema kojima se nivoi buke ispod ove vrednosti smatraju niskim i sa minimalnim rizikom po zdravlje stanovništva. Vrednosti niže od ovog praga imaju ograničen značaj u analizi saobraćajne buke u urbanim sredinama, jer ne predstavljaju tipično prosečno akustičko opterećenje karakteristično za gradska područja.

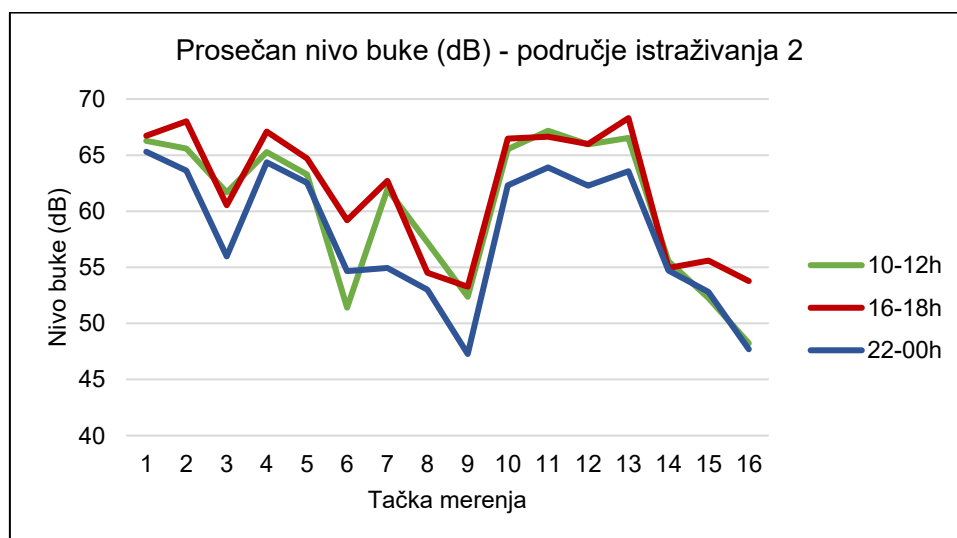
Polazeći od navedenog, donja granica dijagrama postavljena je na 40 dB kako bi prikaz bio usmeren na opseg vrednosti relevantan za procenu izloženosti stanovništva saobraćajnoj buci i poređenje intenziteta između posmatranih lokacija. Pored toga, gornja granica dijagrama postavljena je na 70 dB, imajući u vidu da utvrđene prosečne vrednosti nivoa buke ni na jednoj mernoj tački ne premašuju navedenu vrednost. Time je definisan odgovarajući raspon skale koji omogućava jasnu i preglednu vizuelnu interpretaciju rezultata.



Dijagram 1. Prosečne vrednosti nivoa buke (dB) na području istraživanja 1

Analizom Dijagrama 1, ali i Dijagrama 2 i 3, prvo što se može uočiti je vremenska pravilnost prema kojoj su nivoi buke u dnevnim periodima (prepodnevni i poslepodnevni period) približno ujednačeni, dok su u noćnim (kasnim večernjim) uslovima evidentirane znatno niže vrednosti prikazane u decibelima (dB). Podaci prikazani Dijagramom 1 u potpunosti opravdavaju prethodno iznete procene Svetske zdravstvene organizacije, pri čemu prosečne vrednosti nivoa buke premašuju 55 dB u dnevnim uslovima – prepodnevni i poslepodnevni period – na svakoj od mernih tačaka duž saobraćajnica na području istraživanja 1, dok prosečne vrednosti kod unutarzonskih tačaka merenja beleže i vrednosti manje od 55 dB (najniže prosečne vrednosti u dnevnim uslovima zabeležene su na tački merenja 18 – 47.27 dB (prepodnevni period) i 48.40 dB (poslepodnevni period)).

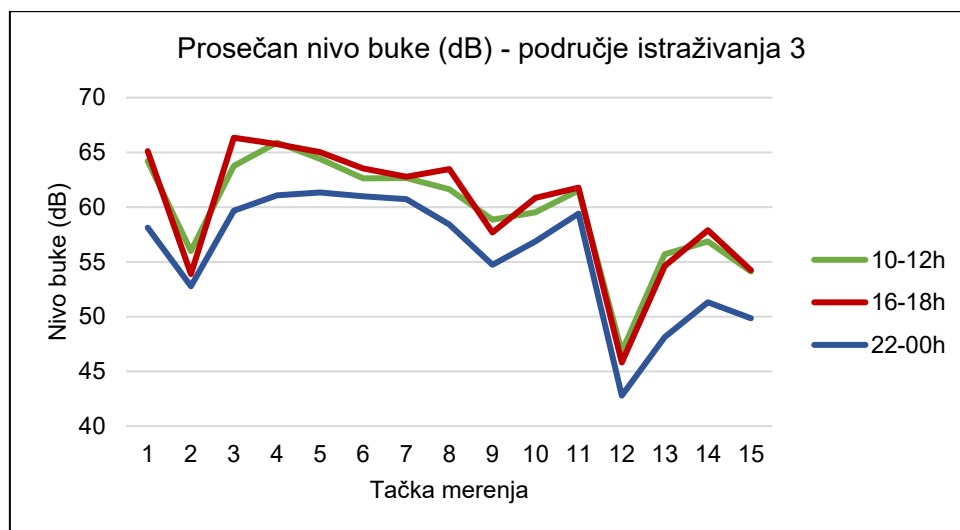
Najviše vrednosti prosečnog nivoa buke u toku dnevnih perioda zabeležene su na tačkama merenja 5 (67.13 dB – prepodnevni period, 64.23 dB – poslepodnevni period), 6 (65.90 dB – prepodnevni period, 65.03 dB – poslepodnevni period) i 8 (66.93 dB – prepodnevni period, 67.73 dB – poslepodnevni period), što potencijalno rezultira prisustvom najviših rangova saobraćajnica kao i velikog protoka saobraćaja u toku dana na posmatranom delu ulične mreže. Prosečne vrednosti nivoa buke tokom kasnog večernjeg perioda znatno odstupaju od vrednosti registrovanih u dnevnim uslovima, ali uprkos tom smanjenju i dalje beleže relativno visoke nivoe izražene u decibelima (dB). Takvi nivoi buke mogu u značajnoj meri uticati na kvalitet života stanovništva, posebno u pogledu odmora, kvaliteta sna i opšteg psihofizičkog stanja.



Dijagram 2. Prosečne vrednosti nivoa buke (dB) na području istraživanja 2

Sa Dijagrama 2 može se uočiti da su prosečne vrednosti nivoa buke na području istraživanja 2 veće nego u slučaju područja 1, pri čemu vrednosti od poslepodnevnog do kasnog večernjeg perioda srazmerno opadaju na većem broju mernih tačaka. Prosečne vrednosti nivoa buke u dnevnim uslovima premašuju 65 dB na 6 od

16 tačaka merenja na posmatranom području (tačke 1, 2, 4, 11, 12 i 13) pod uticajem prvenstveno procenjenog velikog protoka saobraćaja, ali i prisustva javnog prevoza (autobusi i tramvaji) i same kategorizacije mreže. Pri čemu na istim tačkama, vrednosti u kasnim večernjim satima opadaju za svega 1-4 dB. Najniže prosečne vrednosti su i na ovom području zabeležene van okvira saobraćajnica, tj. u stambenom delu područja istraživanja 2.



Dijagram 3. Prosečne vrednosti nivoa buke (dB) na području istraživanja 3

Komparativnom analizom Dijagrama 1, 2 i 3, došlo se do zaključka da deo teritorije opštine Voždovac, područje istraživanja 3, beleži najmanje minimalne i maksimalne prosečne vrednosti nivoa buke izražene u decibelima (dB). Najviši prosečan nivo buke u dnevnim uslovima zabeležen je na tačkama merenja 1 (64.20 dB – prepodnevni period, 65.12 dB – poslepodnevni period), 3 (63.77 dB – prepodnevni period, 66.34 dB – poslepodnevni period), 4 (65.90 dB – prepodnevni period, 65.75 dB – poslepodnevni period) i 5 (64.40 dB – prepodnevni period, 65.03 dB – poslepodnevni period). Prosečne vrednosti nivoa buke za vreme kasnog večernjeg perioda premašuju 50 dB na svim tačkama merenja, osim u tačkama 12 (42.78 dB), 13 (48.11 dB) i 15 (49.86 dB). Takođe se sa Dijagrama 3 može uočiti konstantnost, odnosno minimalno oscilovanje prosečne vrednosti nivoa buke u tački 2 i tački 11, što je pretpostavljeno rezultat same pozicije tačaka s obzirom da se u blizini istih ne nalazi neko veće ukrštanje saobraćajnica u sklopu područja istraživanja.

5. DISKUSIJA

Saobraćajna buka predstavlja jedan od naupečatljivijih pokazatelja narušene životne sredine u urbanim područjima. Njeno prisustvo nije samo akustički problem, već i kompleksan društveni, zdravstveni i prostorni izazov koji zahteva multidisciplinarni pristup. S tim u vezi, cilj ovog rada bio je da se praktičnim istraživanjem identifikuju ključni izvori i nivo zagađenja saobraćajnom bukom, kako bi se predložile određene pouzdane mere kojima se može uticati na smanjenje saobraćajne buke na razmatranim delovima grada Beograda, a ujedno i na teritoriji celog grada.

Samo istraživanje sprovedeno je terenskim merenjem nivoa buke u okviru tri prostorno i funkcionalno različita područja na teritoriji grada, pri čemu je korišćena mobilna aplikacija Sound Meter, koja daje vrednosti nivoa buke u decibelima (dB). Istraživanje je sprovedeno za tri perioda u toku dana (prepodnevni, poslepodnevni i kasni večernji) u vremenskom intervalu od 10. do 12. marta 2026. godine. Definisan je određeni broj mernih tačaka, a na svakoj od njih izvršena su tri uzastopna merenja u trajanju od po 15 sekundi, a obrada podataka obuhvatila je određivanje minimalnih, prosečnih i maksimalnih vrednosti nivoa buke. Merenja su dominantno vršena duž saobraćajnica, ali i unutar urbanih blokova radi procene prostornog širenja saobraćajne buke.

Rezultati istraživanja potvrđuju da saobraćajna buka predstavlja jedan od dominantnih ekoloških problema urbanih sredina i značajan faktor narušavanja kvaliteta života stanovništva. Dobijeni podaci ukazuju na povezanost između procenjenog intenziteta saobraćaja, ranga saobraćajnica i izmerenih nivoa buke, što je u skladu sa dosadašnjim istraživanjima u oblasti urbanog saobraćaja i zaštite životne sredine, pri čemu se naglašava potreba za daljim istraživanjima zasnovanim na detaljnim statističkim analizama i proširenom skupu podataka kako bi se ovi odnosi dodatno kvantifikovali i potvrdili. Očekivano su najviše prosečne vrednosti

nivoa buke na područjima istraživanja registrovane duž saobraćajnica višeg ranga sa izraženim protokom vozila i prisustvom javnog prevoza putnika, dok su znatno niže zabeležene unutar stambenih zona udaljenih od glavnih saobraćajnih tokova.

Vremenski faktor u pogledu saobraćajne buke od velikog je značaja. Uočene su određene razlike između potencijalnog vršnog (16-18h) i vanvršnog (10-12h) perioda, pri čemu je najveći nivo buke zabeležen u periodu od 16-18h. Međutim, iznenađujuće je što nisu uočene značajne razlike u odnosu na period 10-12h, koji pruža slične vrednosti nivoa buke prikazane u decibelima (dB), dok se u kasnim večernjim satima beleže znatno niže vrednosti. No, pored primetnog opadanja vrednosti pri noćnim uslovima, na pojedinim mernim tačkama nivo buke ostaje visok, što može negativno uticati na odmor, san i opšte psihofizičko stanje stanovništva.

Uporednom analizom razmatranih područja utvrđene su značajne prostorne razlike. Područje šireg centra grada prikazuje najnepovoljnije akustičke uslove što je, pretpostavlja se, posledično odraz gustine saobraćajne mreže, velike frekvencije vozila i zastupljenosti javnog prevoza (autobusi i tramvaji). Nasuprot tome, periferne zone beleže niže prosečne vrednosti, na šta jednim delom utiče i preovladajuća namena površina razmatranih područja.

Određeni faktori uočeni su kao ključ formiranja visokih nivoa saobraćajne buke na područjima istraživanja:

- Rang i funkcija saobraćajnica,
- Intenzitet i struktura saobraćajnog toka,
- Brzina vozila,
- Prisustvo javnog prevoza,
- Tehničke karakteristike, rad motora i starost vozila javnog prevoza,
- Infrastruktura i kvalitet puteva,
- Prostorna konfiguracija urbanih blokova.

Dobijeni rezultati inicirali su komparativnu analizu razmatranih lokacija prema definisanim pokazateljima, čime je obezbeđena polazna tačka za planiranje mera zaštite. Poseban značaj ogleda se u upotrebi prosečnih vrednosti nivoa buke kao reprezentativnog pokazatelja realne izloženosti stanovništva, čime su izbegnuta odstupanja izazvana kratkotrajnim akustičkim ekstremima.

6. ZAKLJUČCI

Na osnovu teorijskog osvrta i praktičnog merenja nivoa buke na definisanim područjima, predlažu se sledeće pouzdane mere koje bi mogle doprineti smanjenju nivoa buke na posmatranim područjima, ali i na teritoriji celog grada – kako individualno, tako i kombinacija više mera:

- Zamena postojećih kolovoznih slojeva tišim tipovima asfalta,
- Postavljanje zvučnih barijernih zidova na lokacijama gde je prigodno,
- Formiranje zelenih pojaseva i sadnja drvoreda,
- Uvođenje zona usporenog saobraćaja i zona sa ograničenom brzinom (30 km/h),
- Promovisanje alternativnih i održivih vidova transporta,
- Uvođenje inteligentnih sistema upravljanja saobraćajem (ITS).

Pored niza saobraćajnih mera koje bi pomogle da se smanji nivo buke na području istraživanja, predlaže se, kao bitna stavka i edukacija stanovništva o uticaju buke na zdravlje i kvalitet života kroz određene kampanje i volonterska predavanja. Takođe, poželjno je sprovoditi i redovno kontrolisanje nivoa saobraćajne buke u cilju smanjenja problema.

Istraživanje se suočilo i sa određenim brojem ograničenja. Merenja su sprovedena u ograničenom vremenskom periodu i tokom radnih dana, bez obuhvatanja sezonskih varijacija i vikend režima saobraćaja. Pored toga, korišćena je mobilna aplikacija, iako kalibrisana, ne može u potpunosti zameniti profesionalne instrumente visoke preciznosti namenjene merenju nivoa buke. Dodatno, analiza nije obuhvatila detaljno snimanje saobraćajnog toka – ni njegov intenzitet, ni strukturu, već samo procenu u odnosu na rang saobraćajnica.

Na osnovu definisanih mera, u budućnosti se može sprovesti istraživanje koje bi uključivalo analizu percepcije učesnika u saobraćaju u vezi sa promenama koje bi se primenile u cilju smanjenja buke. Istraživanje bi moglo obuhvatiti procenu prihvatljivosti mera, analizu psihološkog efekta mera, kao i empirijsko merenje nivoa buke pre i posle primene određenih rešenja. Pored toga, buduća istraživanja bi trebalo usmeriti ka sprovođenju

dugoročnih i kontinuiranih merenja nivoa saobraćajne buke radi pouzdanijeg sagledavanja vremenske dinamike akustičkog opterećenja u urbanim sredinama. Neophodno je uključiti analizu sezonskih varijacija i meteoroloških faktora, s obzirom na njihov značajan uticaj na propagaciju zvučnih talasa i merene vrednosti nivoa buke. Posebno se predlaže i brojanje saobraćaja u različitim vremenskim intervalima, kako bi se detaljnije kvantifikovao i uticaj gustine saobraćaja na nivo buke i efikasnost pojedinačnih mera. Takođe, može se upotrebiti i standardizovana profesionalna merna oprema, ali i drugi alati za merenje, kao što je primena strukturiranih upitnika (subjektivni doživljaj zdravstvenih tegoba prouzrokovanih dejstvom buke). Konačno, evaluacija predloženih mera ublažavanja buke kroz simulacione modele omogućila bi procenu njihove efikasnosti i opravdanosti pre implementacije u realnom urbanom okruženju.

Literatura

- [1] Roth, Lj. 2001. Razvoj urbanih sistema u svetu. Srpsko geografsko društvo, Beograd.
- [2] Li, B.; Tao, S.; Dawson, R.W. 2002. Evaluation and analysis of traffic noise from the main urban roads in Beijing. *Applied Acoustics* 63: 1137–1142.
- [3] Brainard, J.S.; Jones, A.P.; Bateman, I.J.; Lovett, A.A. 2004. Exposure to environmental urban noise pollution in Birmingham, UK. *Urban Studies* 41(13): 2581–2600.
- [4] Li, B.; Tao, S. 2004. Influence of expanding ring roads on traffic noise in Beijing City. *Applied Acoustics* 65(2): 43–249.
- [5] Allen, R.W.; Adar, S.D. 2011. Are both air pollution and noise driving adverse cardiovascular health effects from motor vehicles? *Environmental Research* 111: 184–185.
- [6] Ross, Z.; Kheirbek, I.; Clougherty, J.E.; Ito, K.; Matte, T.; Markowitz, S.; Eisl, H. 2011. Noise, air pollutants and traffic: Continuous measurement and correlation at a high-traffic location in New York City. *Environmental Research*, 111: 1054–1063.
- [7] World Health Organization. 2018. Environmental noise guidelines for the European region: Executive summary. WHO, Geneva.
- [8] Hasan, I.; Mulyadi, A. 2025. Comparative Study Of Vehicle Noise Levels at Different Times In An Urban Area: A Case Study. *Journal of Geoscience, Engineering, Environment, and Technology* 10(1): 113-118.
- [9] Wong, C. K.; Lee, Y. Y. 2020. The effects of signal system and traffic flow on the sound level. *Applied Sciences* 10(13): 4454.
- [10] European Commission. 2002. Directive 2002/49/EC of the European Parliament and of the Council relating to the assessment and management of environmental noise. *Official Journal of the European Communities* 189: 12-25.
- [11] European Environment Agency. Environmental noise and impacts on human health. (on-line) available at: <https://www.eea.europa.eu/en/europe-environment-2025/thematic-briefings/environment-and-human-health/environmental-noise-and-impacts-on-human-health> (15.3.2026.)
- [12] European Commission. Zero pollution action plan. (on-line) available at: https://environment.ec.europa.eu/strategy/zero-pollution-action-plan_en (15.3.2026.)
- [13] Mihajlov, D.; Prašćević, M.; Raos, M.; Iankov, R. 2024. Methodology for Uncertainty Estimation of Long-Term Environmental Noise Measurements. *Tehnički vjesnik* 31(5): 1780-1785.
- [14] Milošević, S. (2005). Čovek i saobraćajna buka. Saobraćajni fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd.
- [15] Welch, D.; Shepherd, D.; Dirks, K. N.; Reddy, R. 2023. Health effects of transport noise. *Transport Reviews*, 43(6): 1190-1210.
- [16] Malenović-Nikolić, J.; Zlatković, B.; Jovanović, U. 2025. Application of indicators in noise control. *Facta Universitatis, Series: Working and Living Environmental Protection*: 361-370.
- [17] Golmohammadi, R.; Abbaspour, M.; Nassiri, P.; Mahjub, H. 2009. A compact model for predicting road traffic noise. *Journal of Environmental Health Science & Engineering*, 6(3): 181-186.
- [18] Wedagama, D. P. 2012. The influence of local traffic on noise level (case study: bypass Ngurah Rai and Sunset Road, Bali). *Jurnal Bumi Lestari* 12(1): 24-31.
- [19] Agarwal, S.; Swami, B. L. 2010. Noise annoyance under interrupted traffic flow condition for Jaipur city.
- [20] Lakawa, I.; Ilham, V. A. 2023. Noise mapping due to motor vehicle activities in the by-pass ring road area of the city of Kendari. *Scientific Review Engineering and Environmental Sciences (SREES)* 32(4): 392-406.
- [21] Hustim, M.; Anai, K.; Fujimoto, K. 2011. Survey on road traffic noise in Makassar City, Indonesia. *INTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference Proceedings* 3: 4033-4040.
- [22] Ohiduzzaman, M. D.; Sirin, O.; Kassem, E.; Rochat, J. L. 2016. State-of-the-art review on sustainable design and construction of quieter pavements—Part 1: traffic noise measurement and abatement techniques. *Sustainability* 8(8): 742.

- [23] Bendtsen, H.; Andersen, B. 2005. Noise Reducing Pavements: State of the Art in Denmark.
- [24] Zhou, X.; Han, J.; Zhao, Y.; Wu, B.; Cheng, G.; Xu, S.; Jin, X. 2019. Characteristics of vibration and sound radiation of metro resilient wheel. Chinese Journal of Mechanical Engineering 32(1): 67.
- [25] Wickramathilaka, N.; Ujang, U.; Azri, S.; Choon, T. L. 2022. Influence of urban green spaces on road traffic noise levels: A review. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences 48: 195-201.
- [26] Sekretarijat za saobraćaj. Kategorizacija ulične mreže. (on-line) available at:
<https://www.bgsaobraćaj.rs/kampanja-manifestacija/52/kategorizaci%D1%98a-ulicne-mreze>
(16.3.2026.)