

Sistem za merenje buke u saobraćaju u pametnim gradovima

System for noise measurement in traffic in smart cities

Ivan Jezdović

Fakultet organizacionih nauka, Univerzitet u Beogradu, ivan@elab.rs

Snežana Popović

Računarski fakultet, spopovic@raf.edu.rs

Miloš Radenković

Fakultet organizacionih nauka, Univerzitet u Beogradu, milos@elab.rs

Aleksandra Labus

Fakultet organizacionih nauka, Univerzitet u Beogradu, aleksandra@elab.rs

Zorica Bogdanović

Fakultet organizacionih nauka, Univerzitet u Beogradu, zorica@elab.rs

Rezime: U ovom radu predstavljen je razvoj sistema za merenje buke u saobraćaju u pametnim gradovima. Smanjenje buke u ljudskom okruženju može doprineti povećanju kvaliteta života u velikim gradovima u kojima su gužve deo svakodnevnice. Cilj ovog rada je razvoj sistema za merenje buke u saobraćaju. Sistem za merenje buke dizajniran je, implementiran i testiran, a bazira se na Internetu inteligentnih uređaja i big data tehnologijama. Kao podrška sistemu razvijene su veb i mobilna aplikacija. Mobilna aplikacija omogućava brzo i efikasno prikupljanje velikih količina podataka o buci iz različitih delova grada. Analizirani podaci upoređuju se sa zakonski definisanim normama i ako norme nisu ispunjene, aplikacija upozorava nadležne gradske organe da je potrebno rešiti problem zagađenja bukom.

Ključne reči: pametni gradovi, merenje buke, Internet inteligentnih uređaja, big data

Abstract: This paper presents the development of system for noise measurement in traffic in smart cities. Noise reduction in human environment may contribute to improve the quality of life in the big cities in which the crowds are a part of everyday life. The aim of this paper is to develop a system for measuring noise in traffic. The noise measurement system is designed, implemented and tested, and it is based on the Internet of Things and big data technologies. Web and mobile applications have been developed to support the system. The mobile application enables fast and efficient collection of large amounts of noise data from different parts of the city. The analyzed data have been compared with legally defined norms and if the norms are not fulfilled, the application warns the competent city authorities that the problem of noise pollution needs to be solved.

Key words: Smart cities, Internet of Things, noise pollution, big data

1. Uvod

Veliki broj ljudi živi u gradovima, a trend daljeg priliva stanovništva iz ruralnih područja je u rastu, što dovodi do potrebe za efikasnijom gradskom infrastrukturom, upravom i servisima (Kourtit, Nijkamp i Arribas, 2012). Rešenje ovih potreba predstavljaju pametni gradovi. Pametni gradovi poboljšavaju kvalitet života stanovnika, koristeći informaciono-komunikacione tehnologije [1].

Gradovi koji koriste tehnologije Interneta inteligentnih uređaja (Internet of Things - IoT) i aplikacije za prikupljanje i obradu podataka u realnom vremenu, nude građanima efikasniju gradsku infrastrukturu, upravu i servise [2] [3].

Jedan od koraka ka efikasnijoj gradskoj infrastrukturi i servisima je implementacija inteligentnih sistema u saobraćaj [4]. Mreže brojača, NFC uređaja, senzora svetlosti, zvučnih senzora, senzora za

WiFi uređaje i mreže video kamera mogu se koristiti ne samo za praćenje transportnih obrazaca [5], već i za stvaranje inteligentnih saobraćajnih sistema [6]. Inteligentni saobraćajni sistemi pomažu u smanjenju zagušenja, povećanju sigurnosti i stvaranju ugodnijeg transportnog iskustva za putnike [7].

Buka je štetni proizvod funkcionisanja velikih gradova, koju uvećavaju i neefikasni saobraćajni sistemi. Buka je bilo koji previše glasan, neočekivan, nepoželjan i neprijatan zvuk. Može se definisati kao zvuk iz neposredne čovekove okoline, koji ne prija sluhu i šteti zdravlju [8]. Ona predstavlja bilo koji zvuk koji je previše glasan, neočekivan, nepoželjan i neprijatan. Buku proizvodi sve ono što se dešava u jednoj životnoj zajednici [9]. Štetan je proizvod funkcionisanja velikih gradova, koju uvećavaju i neefikasni saobraćajni sistemi.

Problem buke je ozbiljan problem, jer može predstavljati veliki rizik po čovekovo zdravlje i prilično uticati na smanjenje kvaliteta života. Negativni efekti, koje buka može izazvati kod čoveka, mogu biti: emocionalnog, fiziološkog i psihološkog aspekta (kao što je na primer anksioznost, poremećaj sna, ili oštećenje sluha) [10]. Zbog ovih efekata važno je posebnu pažnju posvetiti smanjenju buke na prostorima gde je ona znatno uvećana i gde je iznad granica normale. Buka u životnoj sredini predstavlja glavni uzrok poremećaja sna i drugih zdravstvenih poremećaja, kao što su povišen krvni pritisak i kardio-vaskularni problemi [11].

Cilj ovog istraživanja jeste razvoj sistema za merenje buke u saobraćaju u pametnim gradovima. Sistem treba da omogući prikupljanje, distribuciju prikupljenih podataka o buci, poveća dostupnost i vidljivost podataka uz niže troškove implementacije u odnosu na postojeća rešenja.

2. Pregled literature

2.1 Teorijski okvir merenja buke

Bitan element u postupku merenja buke su indikatori, koji se koriste za određivanje nivoa buke u okruženju, kako bi okvirno odredili i predvideli nivo buke i njen uticaj, izradu strateških mapa buke i planiranje mera zaštite od buke [12]. Indikatori buke su fizičke veličine, koje se koriste da se utvrde, procene i predvide nivoi buke i nivoi njenih štetnih efekata. Jedinica mere je decibel $-dB (A)$. Vrednost indikatora u okruženju određuje se primenom metoda merenja, predračuna ili procene. Po definiciji [12] indikatori buke su deskriptori, kojima se izražavaju granične vrednosti buke. Indikator se određuje merenjem, proračunom ili procenom i određen je propisom ili standardom. Indikatori, koji se koriste kao granična ili izmerena vrednost, moraju da budu usaglašeni [13].

Indikatori buke dele se na osnovne i dodatne [12]. Osnovni indikatori buke koriste se za izradu strateških karata buke i to su:

- indikator koji opisuje ometanje bukom za vremenski period od 24 časa, za dan-veče-noć L_{den} ,
- indikator koji opisuje ometanje bukom u toku dana L_{day} ,
- indikator koji opisuje ometanje bukom u toku večeri $L_{evening}$,
- indikator koji opisuje ometanje bukom u toku noći L_{night} ,

Dodatni indikatori buke koriste se za nadgledanje i pojedinačna merenja buke i to su:

- merodavni nivo buke L_{RAeqT} ,
- nivo izloženosti buci L_{AE} .

Pre početka procesa merenja, bitno je definisati ključne elemente i prikupiti sve neophodne informacije, potrebne da obezbede uspešno merenje i validne rezultate. Osoba, koja vrši merenje, pre početka mora da zna [14]:

- cilj merenja buke,
- usklađenost sa propisima,

- definisane izvore buke,
- definisane vremenske rasporede buke.

Merenje buke u toku kalendarskog dana, odnosno u periodu od 24 časa, podeljeno je na tri referentna vremenska intervala:

- dan traje 12 časova (od 6 do 18 časova),
- večer traje 4 časa (od 18 do 22 časa),
- noć traje 8 časova (od 22 do 6 časova).

Nivo buke za dan-veče-noć L_{den} , u decibelima dB(A) definiše se sledećom jednačinom (Slika 1):

(Slika 1. Nivo buke za dan-veče-noć L_{den})

gde su [15]:

- L_{day} - A-ponderisani dugovremenski prosečni nivo zvuka, koji se određuje za sve dnevne periode u toku jedne godine;
- $L_{evening}$ - A-ponderisani dugovremenski prosečni nivo zvuka, koji se određuje za sve večernje periode u toku jedne godine;
- L_{night} - A-ponderisani dugovremenski prosečni nivo zvuka, koji se određuje za sve noćne periode u toku jedne godine.

2.1.1 Sistemi za merenje buke

Merni instrumenti se mogu podeliti u tri grupe: analogni, digitalni i zasnovani na softverskom rešenju [16]. Korišćenjem softverskih rešenja olakšava se prikupljanje, skladištenje i centralizovanje velikih količina podataka, što omogućava efikasniju i efektivniju analizu. Prikupljanje podataka može se vršiti primenom crowdsensing-a. Crowdsensing omogućava da se senzorima inteligentnih uređaja prikupe geolokacijske i druge informacije, ideje, i/ili šalju, zainteresovanim korisnicima [17].

2.1.2 Sistemi za merenje buke korišćenjem crowdsensing tehnike

Specijalizovane aplikacije: EarPhone, NoiseSpy, WideNoise i NoiseTube [19, 20, 21], predstavljaju značajan tehnološki napredak na polju korišćenja crowdsensing-a za nadgledanje životne sredine. Tradicionalne tehnike za merenje buke u urbanim sredinama su skupe i retko se primenjuju, jer se oslanjaju na migracione i saobraćajne modele, a ne na stvarne podatke [18]. EarPhone aplikacija, zasnovana na korišćenju crowdsensing tehnike, omogućava jeftino kreiranje mapa buke i visok nivo preciznosti u realnom vremenu [19]. NoiseSpy softver, kao primer uspešnog rešenja za mapiranje nivoa buke, primenjen je u Kembridžu. Za implementaciju crowdsensing korišćeni kurirski bicikli. Da bi kreirao mapu nivoa zagađenja bukom, softver tokom vožnje povezuje nivo buke sa odgovarajućim GPS podacima [20]. NoiseTube, aplikacija za merenje buke, postigla je najveći uspeh u primeni crowdsensing tehnike. Omogućava građanima da izmere svoju izloženost buci, koristeći mobilne telefone opremljene GPS-om, kao senzore za merenje buke [21].

Dobijeni kvantitativni podaci iz merenja buke mogu se dodatno poboljšati kvalitativnim podacima: u obliku tagova; automatski generisanih ključnih reči na osnovu lokacije; vremena ili ručno upisanih od strane korisnika. Sistem omogućava korisnicima da razmenjuju podatke putem Interneta, što obezbeđuje kolektivno praćenje nivoa zagađenja. NoiseTube čine mobilna aplikacija, namenjena pametnim telefonima koji podržavaju Java platformu, i aplikacija na serverskoj strani, koja prikuplja i vizualizuje izmerene podatke [21].

2.1.3 Regulativa

Evropska unija je gusto naseljeno područje, koje prednjači na polju merenja buke [22]. Pojedine države članice mapiraju buku već dugi niz godina unazad, odakle su proistekle evropske odredbe, objedinjene u Direktivi Evropske unije 2002-49-EC [23]. Direktiva je podstakla napredak u metodama merenja buke i kreiranje popisa mapa buke velikih gradova u Evropi. Za razliku od Evrope, razvijenije zemlje poput Sjedinjenih Američkih Država i Japana imaju zakone koji datiraju još iz 70-ih godina, ali mapiranje buke nije obavezno. Zemlje u razvoju uglavnom nemaju zakonodavstvo za merenje, procenu i kontrolu buke [24].

European Noise Directive (END) 2007. godine uveo je zakon, da gradovi sa preko 250.000 stanovnika, moraju da dostave statističke podatke o broju građana koji su izloženi prosečnom godišnjem nivou buke od 55 do 75 decibela, u opsegu od 5 decibela i preko 75 decibela, i to 4 metra iznad zemlje, na najizloženijem delu mesta stanovanja [25].

Drugačiji zakoni važe za drumske, železničke i vazdušne saobraćajnice i za industrijske izvore buke. U okviru gradskih teritorija razmatraju se: samo glavni putevi (više od 6 miliona vozila godišnje), glavne železnice (više od 60.000 vozova godišnje) i glavni aerodromi (više od 50.000 poletanja godišnje). Ove statističke podatke trebalo je ažurirati svakih pet godina, a od 2012. godine uzeti su u obzir i manji gradovi (preko 100.000 stanovnika). Najvidljiviji deo implementacije ovog zakona je kreiranje strateških mapa buke, što je očigledno presudan korak ka određivanju statistike izloženosti građana.

Granične vrednosti nivoa zagađenja bukom u Republici Srbiji definisane su Uredbom o indikatorima buke, graničnim vrednostima, metodama za ocenjivanje indikatora buke, uznemiravanja i štetnih efekata buke u životnoj sredini. U tabeli broj 1. prikazane su granične vrednosti indikatora buke na otvorenom prostoru, raspoređene po različitim zonama [15].

Tabela 1. Granične vrednosti indikatora buke na otvorenom prostoru u Republici Srbiji

Zona	Namena prostora	Nivo buke u dB (A)	
		za dan i veče	za noć
1.	Područja za odmor i rekreaciju, bolničke zone i oporavilišta, kulturno-istorijski lokaliteti, veliki parkovi	50	40
2.	Turistička područja, kampovi i školske zone	50	45
3.	Čisto stambena područja	55	45
4.	Poslovno-stambena područja, trgovačko-stambena područja i dečja igrališta	60	50
5.	Gradski centar, zanatska, trgovačka, administrativno-upravna zona sa stanovima, zona duž autoputeva, magistralnih i gradskih saobraćajnica	65	55
6.	Industrijska, skladišna i servisna područja i transportni terminali bez stambenih zgrada	Na granici ove zone buka ne sme prelaziti graničnu vrednost u zoni sa kojom se graniči	

2.2 Analiza postojećih sistema merenja buke

U literaturi postoji dosta primera gde se koriste mobilne aplikacije za merenje i analizu buke u saobraćaju u pametnim gradovima. Na primer, u radu [19] autori su dizajnirali i implementirali sistem za mapiranje buke, koristeći crowdsensing tehniku. EarPhone sistem sastoji se od mobilne aplikacije i centralnog servera. Ovaj sistem obuhvata softver za obradu signala i za merenje buke na mobilnom telefonu, kao i softver za rekonstrukciju signala na centralnom serveru. Testiranje je obuhvatalo merenje buke na jednoj od glavnih saobraćajnica u Brisbejnu za vreme njene rekonstrukcije.

Eksperiment je trajao nedelju dana, a snimanja su vršena svakog dana u periodima od 8-9h i od 14-15h. U svakom satu izvršeno je 8 merenja, a učesnici u ovom eksperimentu prelazili su petominutnu putanju. Autori očekuju da će korišćenje ovog sistema znatno smanjiti troškove u odnosu na korišćenje tradicionalnih sistema za snimanje i mapiranje buke.

U radu [20] autori su opisali „NoiseSpy“ sistem za merenje buke, koji omogućava korisnicima da istražuju nepoznate delove grada, a da istovremeno sakupljaju i vizualizuju nivo buke u realnom vremenu. Ovaj sistem za merenje nivou buke koristi mikrofoni na mobilnom telefonu i GPS prijemnik za određivanje tačne lokacije na kojoj je merenje izvršeno.

Ellie D'Hondt and Matthias Stevens u svom radu [21] opisuju NoiseTube projekat, koji omogućava građanima da izmere svoju izloženost buci, koristeći mobilne telefone opremljene GPS-om kao senzore za buku. Za razliku od ostalih rešenja, ova aplikacija nudi mogućnost pridruživanja tagova pojedinačnim snimcima. Bitna prednost je mogućnost deljenja podataka direktno iz aplikacije i dostupnost aplikacije na različitim mobilnim platformama, kao što su Android i iOS [26]. NoiseTube projekat, pored mobilne aplikacije, uključuje i veb platformu, koja je deo softvera. Veb platforma funkcioniše na centralnom Veb serveru, prikupljajući i post-procesuirajući sva prikupljena merenja zagađenja bukom. Takođe, veb korisnicima omogućeni su: istraživanje, vizualizacija, analiziranje i pretraživanje podataka [27]. NoiseTube je jedina aplikacija koja vrši korekciju lokacije, sa ciljem da delimično smanji greške pozicioniranja. Primenjen je algoritam za usklađivanje mape, koji funkcioniše pod pretpostavkom da se sva merenja na otvorenom rade na ulicama i oslanjajući se na GIS bazu podataka, koja čuva digitalne karte. Algoritam u osnovi "povlači" sve tačke, koje ne leže na ulici, na najbližu poziciju u ulici [28].

Autori u radu [29] na inovativan način su animirali građane da prikupljaju i šalju podatke o buci. Koristeći sistem za merenje buke open-source projekta NoiseDroid, napravljena je Android aplikacija NoiseBattle koja zahteva da se korisnici kreću po gradu i vrše merenja buke. Grad je podeljen na blokove, koje korisnik "osvaja", vršeći više merenja od drugih saigrača. Pored broja merenja, algoritam uzima u obzir i kvalitet izmerene buke. Tokom igre, korisnici su nagrađeni na različite načine: dodeljivanjem blokova ili specijalnih nagrada. Krajnji cilj igre sa stanovišta korisnika je osvajanje grada.

Crowdsensing tehnika za prikupljanje podataka popularizovana je pojavom pametnih telefona. Međutim, ova tehnika je korišćena i na projektima u kojima mobilne tehnologije nisu bile prisutne [30]. Istraživači sa tehničkog univerziteta u Darmštatu napravili su aplikaciju NoiseMap, koja prikuplja podatke o nivou buke i šalje ih na veb platformu da_sense [31]. Platforma omogućava korisnicima prikaz i kontrolu njihovih podataka, generisanje grafika i mapa buke. U istraživanju, koje su sprovedeli 2012. godine, napravili su mapu buke za grad Frankfurt, uzimajući u obzir samo saobraćajnice na kojima prolazi više od 6 miliona vozila godišnje. Za razliku od drugih projekata, podaci su dostupni korišćenjem javnog veb servisa, ili JavaScript API-ja.

Na osnovu analize literature zaključili smo da se svi sistemi sastoje iz mobilne aplikacije i veb platforme. Mobilne aplikacije, u analiziranim radovima, koriste mikrofoni za prikupljanje nivoa buke i GPS prijemnik za lociranje. Jedna od prednosti sistema razvijenog u ovom radu, u odnosu na analizirane sisteme, je integracija različitih uređaja za merenje buke (fiksne, mobilne stanice i android uređaji) u jedinstveni sistem. Ovaj sistem je fleksibilan i otvoren i moguće je koristiti hardverska rešenja, koja su nezavisna od proizvođača. U analiziranim radovima ne postoje planovi za dugoročno čuvanje i skladištenje velikih količina podataka, što je, za razliku od njih bitnih prednost našeg predloženog sistema. Skladištenje podataka u nerelacionu bazu podataka predstavlja strategiju za dugoročno prikupljanje i analizu podataka.

3. Sistem za merenje buke u saobraćaju u pametnim gradovima

U ovom radu je predstavljen razvoj sistema za merenje buke u saobraćaju u pametnim gradovima, koji je zasnovan na primeni Interneta inteligentnih uređaja i mobilnih tehnologija. Građani imaju mogućnost da korišćenjem mobilne aplikacije prikupljaju i šalju podatke i na taj način direktno doprinose unapređenju rada sistema.

Sistem za merenje buke u pametnim gradovima prikazan je na Slici 2. i razvijen kao projekat Katedre za elektronsko poslovanje, na Fakultetu organizacionih nauka, Univerziteta u Beogradu.

(Slika 2. Sistem za merenje buke u saobraćaju u pametnim gradovima)

U fizičkom sloju prikupljaju se podaci iz različitih izvora. Analiza podataka vrši se na uređajima za snimanje odmah nakon merenja. Po završetku analize, podaci se putem veb servisa skladište u bazu u Cloud infrastrukturi. Logički sloj predstavlja spregu između fizičkog i prezentacionog. Komunikacija se vrši posredstvom veb servisa. U prezentacionom sloju nalaze se veb i mobilna aplikacija. Podaci se prikazuju u vidu tabela, mapa i grafikona.

Za realizaciju razvijenog sistema korišćeno je više različitih tehnologija. Sistem omogućava slanje agregiranih podataka putem veb tehnologija i skladištenje podataka u Cloud okruženju. Prikupljeni podaci se skladište, zatim analiziraju i na kraju porede sa propisanim normama. Ukoliko izmerene vrednosti nisu u okviru propisanih normi, obaveštavaju se nadležne službe, koje su dužne da dostupnim merama smanje nivo buke.

3.1 Implementacija sistema za merenje buke u pametnim gradovima

Za implementaciju prototipa sistema korišćeni su Raspberry Pi uređaj i mikrofonski uređaj za snimanje buke. Takođe, napravljena je i mobilna aplikacija za snimanje kratkih audio zapisa, koja beleži lokaciju detektovane buke (lokacija se mapira koristeći GPS uređaj). Prikupljeni podaci šalju se u Cloud okruženje na dalju obradu i analizu. Sva merenja, u formi grafikona na interaktivnoj mapi, prikazana su na pratećem, namenskom veb sajtu.

3.1.1 Hardverske komponente

Za merenje buke koriste se dve vrste stanica:

- Fiksne stanice - Raspberry Pi uređaj koristi se za snimanje buke na određenoj lokaciji.
- Prenosne/mobilne stanice - mobilni uređaji i aplikacije koriste se za snimanje buke na različitim lokacijama u gradu.

Kod oba tipa stanica, spoljna zvučna kartica i 3,5 mm mikrofonski uređaj povezani su na uređaj Raspberri Pi. Veb server napisan je u Python programskom jeziku, nalazi se na Raspberri Pi uređaju i omogućava bežičnu kontrolu sistema. Uređaj je moguće povezati na Internet kablom, ili Wi-Fi modulom, čime je omogućeno slanje podataka u realnom vremenu. Arhitektura fiksne stanice prikazana je na Slici 3.

(Slika 3. Arhitektura fiksne stanice)

Fiksnom stanicom upravlja se pomoću veb aplikacije, koja se nalazi na Raspberry Pi uređaju. Istovremeno, na stanicama se nalazi veb server napisan u Python programskom jeziku, koji omogućava upravljanje uređajem i veb aplikacijom. Dizajn aplikacije razvijen je korišćenjem HTML, CSS tehnologija i Bootstrap okvira, dok je logika zasnovana na JavaScript programskom jeziku.

3.1.2 Softverske komponente

Kao deo celokupnog sistema razvijene su Android i veb aplikacija. Android i veb aplikacija služe za komunikaciju između sistema i korisnika. Softverska arhitektura sistema prikazana je na Slici 4.

(Slika 4. Softverska arhitektura sistema)

Veb aplikacija omogućava korisnicima kompletan pregled, pretragu i sortiranje podataka. Za vizuelizaciju geolokacijskih podataka korišćene su Gugl mape, a za prikaz analize zvuka Gugl grafikoni. Glavnu komponentu sistema čini server, na kome se nalazi API koji komunicira sa svim elementima sistema: stanicama, mobilnom i veb aplikacijama. RESTful API kreiran je pomoću Flight okvira, dok su svi podaci smešteni u MongoDB nerelacionu bazu podataka. Veb aplikacija prikazana je na Slici 5.

(Slika 5. Prikaz veb aplikacije)

Na levoj strani slike nalazi se lista svih merenja buke, koje se mogu sortirati i pretraživati po različitim kriterijumima. Detaljnije informacije o merenjima nalaze se u modalima. Na desnoj strani nalazi se mapa sa postavljenim markerima na lokaciji snimanja. Svaki marker sadrži meta podatke o pojedinačnom merenju, kao što su: ime, geo lokacija, vreme snimanja i opis. Pored ovih podataka, dostupni su i kompletni audio snimci, mapa sa označenom lokacijom merenja i grafički prikaz vrednosti, dobijenih korišćenjem brze Furijeove transformacije (Fast Fourier transformation - FFT).

Mobilna aplikacija je napravljena za Android operativni sistem. Aplikacija ima mogućnost merenja nivoa buke, skladištenja podataka o buci i lokaciji na serverskoj aplikaciji, kao i prikaz mape nivoa buke na osnovu prikupljenih podataka. Mobilna aplikacija prikazana je na Slici 6. Na početku snimanja aplikacija automatski čuva geo lokacijske podatke, koji se kasnije šalju na glavni server i obrađuju zajedno sa podacima o buci.

(Slika 6. Prikaz mobilne aplikacije)

Na serveru se nalazi MongoDB nerelaciona baza podataka, u koju se smeštaju sledeći podaci: lokacije do kompletnih audio snimaka, podaci o lokaciji, maksimalna i prosečna jačina zvuka u dB(A), kao i kompletan rezultat FFT-a, odnosno niz frekvencija i njihovih amplituda. U MongoDB bazu skladište se podaci prosleđeni sa mobilne i veb aplikacije. Nerelaciona baza podataka implementirana je zbog velike količine podataka, koje je potrebno skladištiti. MongoDB predstavlja open-source sistem za upravljanje bazama podataka, zasnovan na dokumentima. Klasifikuje se kao NoSQL baza podataka, koja ne koristi strukturu relacionih baza, zasnovanu na tabelama i relacijama između tabela. Osnovnu strukturu čine JSON dokumenti sa dinamičkim šemama, ili BSON format (binary JSON).

4. Rezultati testiranja

Za merenje buke korišćene su mobilna aplikacija i fiksna stanica. Analizom izmerenih podataka dobili smo frekvencije i amplitude buke saobraćaja u Beogradu.

Prema Uredbi o indikatorima buke, graničnim vrednostima, metodama za ocenjivanje indikatora buke, uznemiravanja i štetnih efekata buke u životnoj sredini, dopušteni nivo komunalne buke u gradskom centru, zoni duž autoputeva, magistralnih i gradskih saobraćajnica iznosi 65 dB u toku dana.

Merenja su vršena od 18. januara do 11. februara, svakog dana u periodu od 6:00h do 18:00h. Za merenje su korišćeni pametni telefoni sa instaliranom Android aplikacijom, koja je razvijena za potrebe ovog projekta. Na Slici 7. prikazana je mapa Beograda sa izlistanim lokacijama merenja. Tamno sivi krugovi predstavljaju lokacije merenja na kojima je izmerena buka preko 60 dB, sivi krugovi označavaju nivo buke između 30 dB i 60 dB, a svetlo sivi nivo buke ispod 30 dB.

(Slika 7. Prikaz mape Beograda sa obeleženim lokacijama snimanja)

Merenja buke grupisali smo u četiri mikro lokacije, koje su prikazane u tabeli broj 2. Za svaku lokaciju prikazane su prosečna i maksimalna vrednost merenja.

Tabela 2. Prikaz lokacija merenja i izmerenih prosečnih i maksimalnih vrednosti

LOKACIJA	PROSEČNA VREDNOST	MAKSIMALNA VREDNOST
Autokomanda	51.17 dB	87 dB
Studentski grad	51.96 dB	118 dB
Fakultet organizacionih nauka	60.42 dB	77 dB
Bogoslovija	61.26 dB	94 dB

Na osnovu rezultata zaključujemo da je na izmerenim lokacijama nivo buke u Beogradu u granicama normale. Međutim, dobijeni rezultati predstavljaju prosek merenja u toku celog dana. Buka je merena u periodu od 6 do 18h. Na Autokomandi i u okolini Studentskog grada nivo buke je znatno manji, jer je buka merena na lokacijama koje nisu pretežno ugrožene saobraćajnim gužvama. Na preostale dve lokacije izmerene su veće vrednosti, jer je najveći broj merenja izvršen u okolini Fakulteta organizacionih nauka i u blizini kružnog toka na Bogosloviji, koje spadaju u najprometnije saobraćajnice u Beogradu.

Ukoliko uzmemo u obzir samo rezultate u vršnim saobraćajnim opterećenjima, nivo buke prelazi dozvoljenu vrednost od 65 dB.

5. Zaključak

U ovom radu prikazan je sistem za merenje buke u saobraćaju u pametnim gradovima. Sistem je razvijen na Katedri za Elektronsko poslovanje na Fakultetu organizacionih nauka, Univerziteta u Beogradu.

Prednosti ovog sistema su primena različitih tehnologija, kao što je Internet inteligentnih uređaja koje omogućuju slanje i obradu podataka u realnom vremenu. Korišćenjem ovog sistema građani doprinose poboljšanju životne sredine i kvalitetu života u gradovima.

Cilj ovog istraživanja jeste unapređenje sistema za merenje buke u saobraćaju u pametnim gradovima, kao i dalja distribucija prikupljenih podataka, koja će na efikasan način omogućiti dostupnost i vidljivost podataka, uz niže troškove implementacije u odnosu na postojeća rešenja.

Analiziranjem izmerenih podataka i na osnovu rezultata moguće je doneti zaključke, koji će uticati na smanjenje buke u neposrednoj gradskoj životnoj sredini. Smanjenje buke doprinosi povećanju zadovoljstva stanovnika u velikim gradovima i urbanim sredinama, u kojima su gužve u saobraćaju najčešće neizbežne. Buka ne može u potpunosti biti eliminisana, ali može biti smanjena uvođenjem određenim saobraćajnih pravila ili zakona, kao što su noćni režim saobraćaja, uvođenje vazdušnih koridora, ili izgradnja zvučnih barijera.

Budući pravci istraživanja odnoseće se na unapređenje razvijenog sistema primenu novih tehnologija, kao što su big data i mašinsko učenje. Veb aplikacija, kao deo sistema, može biti unapređena implementacijom filtera po određenim kriterijima, koji mogu unaprediti aktivnosti gradske uprave. Prikupljanjem i obradom veće količine podataka, dobijeni rezultati mogli bi biti precizniji i primenljivi za donošenje odluka vezanih za smanjenje buke u gradovima.

6. Literatura

- [1] Mohanty, S. P., Choppali, U., & Kougianos, E. (2016). Everything you wanted to know about smart cities: The internet of things is the backbone. *IEEE Consumer Electronics Magazine*, 5(3), 60-70.
- [2] Kourtiti, K., Nijkamp, P. and Arribas, D. (2012), Smart cities in perspective—a comparative European study by means of self-organizing maps. *Innovation: The European journal of social science research*, 25(2), pp.229-246.
- [3] Mohanty, S.P., Choppali, U. and Kougianos, E. (2016). Everything you wanted to know about smart cities: The Internet of things is the backbone. *IEEE Consumer Electronics Magazine*, 5(3), pp.60-70 National Center for Biotechnology Information, <http://www.ncbi.nlm.nih.gov>
- [4] Cardone, G., Foschini, L., Bellavista, P., Corradi, A., Borcea, C., Talasila, M. and Curtmola, R., 2013. Fostering participation in smart cities: a geo-social crowdsensing platform. *IEEE Communications Magazine*, 51(6), pp.112-119.
- [5] Barać, D., Labus, A., Bojović, Ž., 2017. Internet inteligentnih uređaja. Beograd: Fakultet organizacionih nauka. ISBN: 978-86-7680-339-2
- [6] I. Jezdovic, „Razvoj veb aplikacije za upravljanje pametnim taksi vozilima“, Fakultet organizacionih nauka, 2016.
- [7] Goodyear, S. (2012) This DIY Traffic Counter Could Change Everything About Transportation Planning. [Online]. 8 November 2012. CityLab. Preuzeto aprila 2018 sa: <http://www.theatlanticcities.com/commute/2012/11/diy-traffic-counter-could-change-everythingabout-transportation-planning/3846/>
- [8] Somasundaram, G., Sivalingam, R., Morellas, V. & Papanikolopoulos, N. (2013) Classification and Counting of Composite Objects in Traffic Scenes Using Global and Local Image Analysis. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*. [Online] 14 (1), 69–81. Available from: doi:10.1109/TITS.2012.2209877.
- [9] „The Effects of Environmental Noise on Health“, Preuzeto maja 2018. sa <http://sante.gouv.qc.ca/en/problemes-de-sante/effets-du-bruit-environnemental-sur-la-sante/>
- [10] „Noise Emissions“, Preuzeto maja 2018.: <http://www.envirocentre.ie/Content.aspx?ID=784CBA25-649F-4AF4-9366-4F45049207B3&PID=518ACCEA-EEC4-4CDF-B034-78CE58EACB4D>
- [11] „Noise Emission by Outdoor Equipment“, European Commission, Preuzeto maja 2018. sa http://ec.europa.eu/growth/sectors/mechanical-engineering/noise-emissions_en
- [12] Sl. glasnik RS, br. 36/2009 i 88/2010: Zakon o zaštiti od buke u životnoj sredini. Preuzeto maja 2018. sa http://www.paragraf.rs/propisi/zakon_o_zastiti_od_buke_u_zivotnoj_sredini.html
- [13] „Noise nuisance, Noise nuisance and the law“, Government of Netherlands, Preuzeto maja 2018. sa: <https://www.government.nl/topics/noise-nuisance/contents/noise-nuisance-and-the-law>
- [14] „Noise Measurement“, Canadian Centre for Occupational Health and Safety, Preuzeto maja 2018. sa https://www.ccohs.ca/oshanswers/phys_agents/noise_measurement.html
- [15] Uredba o indikatorima buke, graničnim vrednostima, metodama za ocenjivanje indikatora buke, uznemiravanja i štetnih efekata buke u životnoj sredini, Službeni glasnik Republike Srbije, br. 75/2010.
- [16] Cvetković D., Merenje i ocena buke, Fizički parametri radne i životne sredine, preuzeto aprila 2018: <http://www.znrfak.ni.ac.rs/serbian/010-studije/oas-3-2/PREDMETI/II%20GODINA/203-FIZICKI%20PARAMETRI%20RIZS/PREDAVANJA/Merenje%20i%20ocena%20buke%20DC.pdf>

- [17] L. Sanchez et al., „SmartSantander: IoT experimentation over a smart city testbed”, *Computer Networks*, vol. 61, pp. 217-238, 2014.
- [18] Postscapes Internet of things technologies. Preuzeto maja 2018. sa <http://postscapes.com/internet-of-things-technologies>
- [19] Rana, R. K., Chou, C. T., Kanhere, S. S., Bulusu, N., & Hu, W. (2010, April). Ear-phone: an end-to-end participatory urban noise mapping system. In *Proceedings of the 9th ACM/IEEE International Conference on Information Processing in Sensor Networks* (pp. 105-116). ACM.
- [20] Kanjo, E. (2010). Noisespy: A real-time mobile phone platform for urban noise monitoring and mapping. *Mobile Networks and Applications*, 15(4), 562-574.
- [21] D'Hondt, E., & Stevens, M. Empowering technologies for environmental participatory sensing.
- [22] „Noise nuisance, Noise nuisance and the law“, Government of Netherlands, Preuzeto maja 2018 sa <https://www.government.nl/topics/noise-nuisance/contents/noise-nuisance-and-the-law>
- [23] European Parliament and Council, Directive 2002/49/EC of 25 June 2002 relating to the assessment and management of environmental noise, *Official Journal of the European Communities* L 189 (2002) 12–26.
- [24] K. Kaliski, E. Duncan, J. Cowan, *Community and regional noise mapping in the united states*, Sound and Vibration (2007).
- [25] Murphy, E., & King, E. A. (2010). Strategic environmental noise mapping: Methodological issues concerning the implementation of the EU Environmental Noise Directive and their policy implications. *Environment international*, 36(3), 290-298.
- [26] Maisonneuve, N., Stevens, M., Niessen, M. E., & Steels, L. (2009). NoiseTube: Measuring and mapping noise pollution with mobile phones. In *Information technologies in environmental engineering* (pp. 215-228). Springer Berlin Heidelberg.
- [27] Maisonneuve, N., Stevens, M., Niessen, M. E., Hanappe, P., & Steels, L. (2009, May). Citizen noise pollution monitoring. In *Proceedings of the 10th Annual International Conference on Digital Government Research: Social Networks: Making Connections between Citizens, Data and Government* (pp. 96-103). Digital Government Society of North America.
- [28] Stevens, M., & D'Hondt, E. (2010, September). Crowdsourcing of pollution data using smartphones. In *Workshop on Ubiquitous Crowdsourcing*.
- [29] Martí, I. G., Rodríguez, L. E., Benedito, M., Trilles, S., Beltrán, A., Díaz, L., & Huerta, J. (2012, September). Mobile application for noise pollution monitoring through gamification techniques. In *International Conference on Entertainment Computing* (pp. 562-571). Springer, Berlin, Heidelberg.
- [30] Cinderby, S., Snell, C., & Forrester, J. (2008). Participatory GIS and its application in governance: the example of air quality and the implications for noise pollution. *Local environment*, 13(4), 309-320.
- [31] Schweizer, I., Bärtl, R., Schulz, A., Probst, F., & Mühläuser, M. (2011, November). NoiseMap-real-time participatory noise maps. In *Second International Workshop on Sensing Applications on Mobile Phones* (pp. 1-5).