

Utjecaj kružnih raskrižja na razinu emisije buke cestovnog prometa

Francišković, Korina

Master's thesis / Diplomski rad

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Geotechnical Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:130:664678>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-13**



Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Geotechnical Engineering - Theses and Dissertations](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEOTEHNIČKI FAKULTET

KORINA FRANCIŠKOVIĆ

UTJECAJ KRUŽNIH RASKRIŽJA NA RAZINU EMISIJE BUKE
CESTOVNOG PROMETA

DIPLOMSKI RAD

VARAŽDIN, 2021.

Sazivam članove ispitnog povjerenstva
za 15. 07. 2021. u 9 sa

Obranu ovog rada kandidat će vršiti i pred
ispitnim povjerenstvom u Varaždinu

Varaždin, 01. 07. 2021.

Predsjednik
ispitnog povjerenstva

br. prof. dr. sc. Sanja Kovac

Članovi povjerenstva

- 1) Prof. dr. sc. Stjepan Strelac
- 2) Doc. dr. sc. Davor Stankov
- 3) Doc. dr. sc. Monja Gasdek

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEOTEHNIČKI FAKULTET

DIPLOMSKI RAD

UTJECAJ KRUŽNIH RASKRIŽJA NA RAZINU EMISIJE BUKE
CESTOVNOG PROMETA

KANDIDAT:

Korina Francišković

MENTOR:

Prof.dr.sc. Stjepan Strelec

KOMENTOR:

Doc.dr.sc. Davor Stanko

VARAŽDIN 2021.



Sveučilište u Zagrebu
Geotehnički fakultet



ZADATAK ZA DIPLOMSKI RAD

Pristupnica: KORINA FRANCIŠKOVIĆ
Matični broj: 277 - 2019./2020.
Smjer: UPRAVLJANJE OKOLIŠEM

NASLOV DIPLOMSKOG RADA:

UTJECAJ KRUŽNIH RASKRIŽJA NA RAZINU EMISIJE BUKE
CESTOVNOG PROMETA

Rad treba sadržati: 1. Uvod
2. Općenito o buci
3. Mjere zaštite od buke u urbanim sredinama
4. Mjerenje buke na rotorskim i klasičnim raskrižjima u gradu Varaždinu
5. Diskusija
6. Zaključak

Pristupnica je dužna predati mentoru jedan uvezen primjerak diplomskog rada sa sažetkom. Vrijeme izrade diplomskog rada je od 45 do 90 dana.


Zadatak zadan: 10.03.2021.

Rok predaje: 01.07.2021.

Mentor:


Prof.dr.sc. Stjepan Strelec

Drugi mentor/komentor:


Doc.dr.sc. Davor Stanko

Predsjednik Odbora za nastavu:


Izv.prof.dr.sc. Sanja Kovač



IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je diplomski rad pod naslovom:

Utjecaj kružnih raskrižja na razinu emisije buke cestovnog prometa

rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na istraživanjima te objavljenoj i citiranoj literaturi te je izrađen pod mentorstvom prof.dr.sc. Stjepana Streleca i doc.dr.sc. Davora Stanka.

Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

U Varaždinu, 28.6.2021.

Korina Francišković
(Ime i prezime)

Korina Francišković
(Vlastoručni potpis)

IZJAVA MENTORA O POSTOTKU SLIČNOSTI DIPLOMSKOG RADA S VEĆ OBJAVLJENIM RADOVIMA

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je diplomski rad pod naslovom:

Utjecaj kružnih raskrižja na razinu emisije buke cestovnog prometa

pregledan anti-plagijat programskim paketom PlagScan te da postotak sličnosti cjelovitog diplomskog rada, s već objavljenim radovima, ne prelazi 20%, kao i da pojedinačni postotak sličnosti diplomskog rada sa svakom literaturnom referencom pojedinačno ne prelazi 5%.

U Varaždinu, 28.06.2021.

Prof.dr.sc. Stjepan Strelec

(Mentor)



(Vlastoručni potpis)

SAŽETAK

Ime i prezime: Korina Francišković

Naslov rada: Utjecaj kružnih raskrižja na razinu emisije buke cestovnog prometa

Broj vozila je u konstantnom porastu te posljedično dolazi i do povećanja razine buke okoliša od cestovnog prometa. To može imati negativan utjecaj na ljude i prouzročiti oštećenje sluha, smetnje u koncentraciji, remećenje sna, stres, uznemirenost, umor i sl. Potrebno se više posvetiti mjerama za zaštitu od buke te je u ovom radu ideja bila prikazati rotorska raskrižja kao jednu od pogodnih mjera za smanjenje razine buke cestovnog prometa. Odrađeno je 12 mjerenja na 4 lokacije u gradu Varaždinu. Odabrane lokacije su bile 2 rotorska i 2 klasična semaforska raskrižja. Na svakoj lokaciji provodila su se mjerenja u 9 sati, 12 sati i 15 sati u trajanju od 30 minuta. Izbrojani su automobili, kamioni, autobusi i motori koji su prošli za vrijeme mjerenja kako bi se utvrdila gustoća prometa. Dobiveni rezultati mjerenja u radu pokazuju prednosti kružnih raskrižja u odnosu na standardna raskrižja sa stajališta razine emisije buke. Razlika u izmjerenim vrijednostima na Lokaciji 1 (rotor) i na Lokaciji 2 (semaforsko raskrižje) doseže i do 7.7 dB što je jako velika vrijednost s obzirom da su mjerenja provedena duž iste rute koja ima slične prometne tokove. Također je velika razlika u izmjerenim vrijednostima kad se usporede Lokacija 3 (raskrižje) i Lokacija 4 (rotor) te iznosi 4.8 dB. Ovim mjerenjima se ustanovilo da rotori mogu doprinijeti smanjenju razine buke u urbanim sredinama.

Ključne riječi: buka, mjerenje buke, rotorsko raskrižje, standardno raskrižje, promet, mjere zaštite od buke

ABSTRACT

Name and surname: Korina Francišković

Title: The effect of roundabouts on the emission level from road traffic noise

The number of vehicles is constantly increasing and, consequently, the level of environmental noise from road traffic is increasing. This can have a negative impact on people and cause problems with hearing and concentration, sleep disturbance, stress, anxiety, fatigue, etc. More attention should be paid to noise protection measures, and the aim of this paper is to present roundabout intersections as one of possible ways of reducing road traffic noise levels. 12 measurements were performed at 4 locations in the town of Varaždin. The selected locations were 2 roundabouts and 2 classic traffic light intersections. At each location 30-minute measurements were carried out at 9 a.m., 12 p.m. and 3 p.m. Cars, trucks, buses and motorbikes that passed during that time were counted to determine traffic density. The obtained measurement results show the advantages of roundabouts in comparison to standard intersections from the point of view of noise emission level. The difference between measured values at Location 1 (roundabout) and at Location 2 (traffic light intersection) reaches up to 7.7 dB, which is a huge difference considering that the measurements were carried out along the same route with similar traffic flows. There is also a big difference between the measured values when Location 3 (intersection) and Location 4 (roundabout) are compared and it is 4.8 dB. These measurements show that roundabouts can contribute to noise reduction in urban areas.

Keywords: noise, noise measurement, roundabout intersection, standard intersection, traffic, noise protection measures

Sadržaj

1.UVOD	1
2.OPĆENITO O BUCI	3
2.1.Izvori buke	3
2.2.Općenito o buci i zvuku	3
2.3.Zvučni tlak	4
2.4.Intenzitet zvuka	5
2.5.Frekvencijski spektar buke	7
2.6.Utjecaj buke na čovjeka	8
3.MJERE ZAŠTITE OD BUKE U URBANIM SREDINAMA	8
3.1.Mjere smanjenja rasprostiranja buke u urbanim sredinama	10
3.2.Prednosti kružnih raskrižja u odnosu na klasična semaforska raskrižja.....	15
4.MJERENJE BUKE NA ROTORSKIM I KLASIČNIM RASKRIŽJIMA U GRADU VARAŽDINU	16
4.1.Instrument za mjerenje buke	16
4.2.Lokacije mjerenja.....	18
4.3.Rezultati mjerenja.....	19
4.3.1.Lokacija 1 – rotor u Optujskoj ulici	19
4.3.2. Lokacija 2–semaforsko raskrižje u Optujskoj ulici	22
4.3.3. Lokacija 3–semaforsko raskrižje Zagrebačke ulice sa Ulicom Frana Supila i Miroslava Krleže.....	25
4.3.4. Lokacija 4 – rotor kod Ulice Zrinskih i Frankopana i Ulice Miroslava Krleže.....	28
5.DISKUSIJA.....	31
6.ZAKLJUČAK	39
Literatura	40
Popis slika	42
Popis tablica	44

1.UVOD

Buka je neželjeni zvuk koji se smatra glasnim, nelagodnim ili ometajućim za sluh i koji štetno djeluje na ljudsko zdravlje. Buka je, nakon zagađenja vode i zraka, treći po redu zagađivač životne sredine. Tek kada je postalo jasno da buka utječe na čovjekovo zdravlje i smanjuje mogućnost njegova rada, buka je postala ozbiljan predmet raznovrsnog ispitivanja. Nivo buke je u stalnom porastu u životnoj i radnoj sredini. Od početka prošlog stoljeća pa do danas, buka se povećala osmerostruko. Isto tako preko 40% odraslog stanovništva osjeća neku nelagodnost izazvanu bukom i vibracijom. Od svih uzroka buke, oko 80% buke je izazvano prometom, a od toga 50% je od cestovnog prometa što predstavlja ozbiljan društveni problem. Upravo zbog takvih činjenica je potrebno značajnije shvatiti negativan utjecaj buke.

S obzirom da se broj vozila iz godine u godinu povećava, samim time se i razina buke u urbanim sredinama povećava, kao i vrijeme izloženosti buci od 65 dB danju, odnosno 50 dB noću (NN, 145/2004.). Neophodno je posvetiti veću pažnju smanjenju razine emisije buke u cestovnom prometu kako bi se smanjio negativan utjecaj na ljude i okoliš. Emisija zvuka je ukupna razina zvuka kojeg neki izvor (u ovom slučaju cestovni promet) predaje u okolni prostor. Osnovna razina je razina buke okoline kada glavni izvor buke ne radi (npr. cestovni promet po noći u odnosu na radni dan). Imisija zvuka je ukupna razina zvuka na mjestu prijama (ljudi, okoliš) koju čini osnovna razina i razina određenih izvora.

Pregledom dosadašnjih istraživanja (Distefano & Leonardi, 2019), (Covaciu & sur., 2015) vidljivo je da su utvrđene niže razine buke rotorskih raskrižja u odnosu na standardna. Osim navedene prednosti navodi se i da su sigurnija, učinkovitija, jeftinija i estetski privlačnija od standardnih raskrižja. Zahvaljujući kružnim tokovima omogućuje se sigurnije spajanje u promet, smanjuju se konfliktne točke kao i sukobi lijevog skretanja. Vozila u rotorskim raskrižjima se kreću smanjenom brzinom te eventualne nesreće nisu ozbiljnog karaktera kao što znaju biti na semaforskim raskrižjima. Prednost rotora se može vidjeti i sa ekološkog stajališta s obzirom da su smanjeni zastoji i broj i trajanje zaustavljanja što pogodno utječe na kvalitetu zraka.

Cilj rada je istražiti utjecaj kružnih raskrižja na razinu emisije buke cestovnog prometa te utvrditi prednosti rotorskih u odnosu na standardna semaforska raskrižja sa stajališta razine buke. U radu je napravljeno mjerenje razine buke na 2 rotorska i 2 klasična semaforska raskrižja u gradu Varaždinu u različito doba dana (9, 12 i 15 sati) kako bi se utvrdio utjecaj kružnih raskrižja na smanjenje razine emisije buke cestovnog prometa. Također, rezultati mjerenja uspoređeni su s postojećom kartom buke grada Varaždina (Grad Varaždin GIS) kako bi se uvidjela razlika u razini emisije buke s obzirom na najnovija mjerenja (ovaj rad) te prethodna mjerenja (iz 2004.) (Štimac & sur, 2005). Svrha mjerenja buke je ocjenjivanje važnosti buke kao štetnog faktora u pojedinoj sredini, dobivanje podataka za kreiranje matematičkih modela pomoću kojih se prognozira buka, koji se mogu koristiti za planiranje prometnica i naselja te utvrđivanje nužnosti i potrebnog opsega mjera za zaštitu.

2.OPĆENITO O BUCI

2.1.Izvori buke

Buka može nastati od različitih strojeva, instalacija, uređaja, postrojenja, tehnoloških postupaka, sredstva za transport i rad, elektroakustičkih uređaja za emitiranje govora i glazbe, bučnih aktivnosti ljudi i životinja i ostalih radnji koje potiču širenja zvuka.

Pod izvore buke spadaju i cjeline kao pokretni i nepokretni objekti te zatvoreni i otvoreni prostori za šport, igru, rekreaciju, ples, koncerte, predstave, slušanje glazbe i slično.

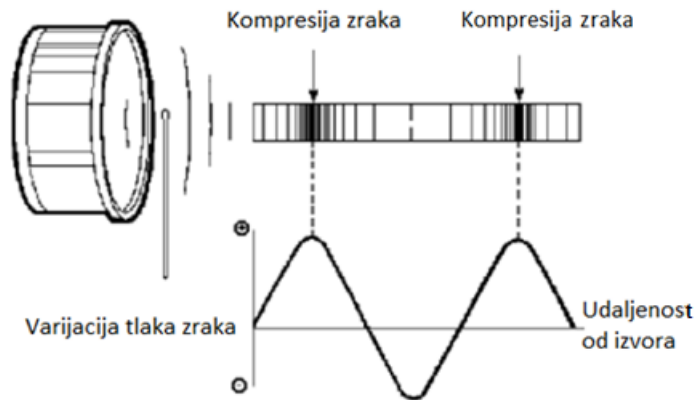
Promet, građevinski i javni radovi, industrija, sport i zabava predstavljaju najčešći i glavni izvor buke u vanjskom prostoru, a servisni uređaji, kućanski aparati, uređaji za emitiranje govora i glazbe su najčešći izvor buke u zatvorenom prostoru.

2.2.Općenito o buci i zvuku

Zvuk kao neželjen može biti kada (City of Cape Town, 2015.):

- Ometa govornu komunikaciju
- Ometa proces razmišljanja
- Ometa koncentraciju
- Ometa aktivnost
- Predstavlja zdravstveni rizik zbog oštećenja sluha.

Zvuk se stvara vibracijom i dolazi do ušiju slušatelja kao valovi u zraku ili drugim medijima. Kad objekt vibrira, uzrokuje blage promjene tlaka zraka. Te promjene tlaka zraka putuju kao valovi kroz zrak i proizvode zvuk. Na slici 1. se može vidjeti primjer stvaranja zvučnih valova udarom štapa po površini bubnja. Površina bubnja vibrira naprijed-natrag. Krećući se naprijed, gura zrak u dodiru s površinom. To stvara pozitivan (veći) tlak komprimiranjem zraka. Kad se površina kreće u suprotnom smjeru, dekompresijom zraka stvara negativni (niži) tlak. Dakle, dok površina bubnja vibrira, on stvara naizmjenična područja višeg i nižeg tlaka zraka. Te varijacije tlaka putuju zrakom u obliku zvučnih valova (CCOHS , 2019.).



Slika 1. Stvaranje zvučnih valova (CCOHS , 2019.)

Zvuk je rezultat promjene tlaka u zraku uzrokovanih vibracijama ili turbulencijama. "Glasnoća" ove promjene tlaka navedena je u smislu razine zvuka, a brzina pojave tih promjena je frekvencija zvukova. Razina zvuka izražava se u decibelima (dB). Decibel se definira kao veličina koja označava logaritam odnosa dvaju intenziteta. Zapravo, tako definirana veličina je bel, a prikladnija, deset puta manja jedinica zove se decibel (dB), $n = 10 \log \frac{I_1}{I_2}$ [dB]. Kako je zvučna jakost razmjerna kvadratu zvučnog tlaka, iz omjera zvučnih tlakova dobiva se broj decibela prema formuli: $n = 20 \log \frac{p_1}{p_2}$ [dB]. (Kraut, 2009)

Da bi se zvuk mogao čuti, promjene tlaka zraka moraju biti vrlo brze. Promjene moraju završiti ciklus najmanje 20 puta u sekundi i ne više od 20 000 puta u sekundi. Brzina kojom se ti ciklusi ponavljaju naziva se frekvencija zvuka i mjeri se u hertzima (Hz). Jedan Hz jednak je jednom ciklusu u sekundi. (City of Cape Town, 2015.)

2.3.Zvučni tlak

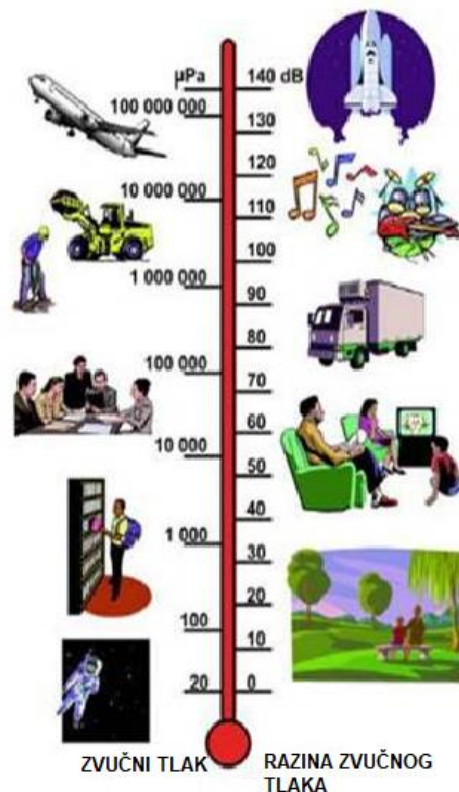
Zvučni tlak se definira kao izmjenični tlak superponiran atmosferskom tlaku (Jelaković, 1977.) Jedinica kojom se izražava atmosferski tlak, kao i zvučni tlak je *paskal* (Pa). Stara jedinica za tlak se zove bar, a paskal je 10 puta veći od mikrobara.

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$$

Atmosferski tlak ima oko 10^5 Pa ili 1 bar. Za bar postoji još naziv "atmosfera".

Najmanji zvučni tlak kojeg ljudsko uho može čuti kao zvuk je oko 2×10^{-5} Pa. Tu vrijednost je Internacionalna standardizacijska organizacija (ISO) izabrala kao referentnu veličinu – referentni zvučni tlak.

Najveći zvučni tlak kojeg ljudsko uho može podnijeti je 20 Pa i milijun puta veći od referentnog zvučnog tlaka (Slika 2.)



Slika 2. Zvučni tlak i razina zvučnog tlaka u različitim izvorima buke

2.4. Intenzitet zvuka

Zvučnim valom se prenosi mehanička energija. Količina te energije koja prostruji kroz plohu veličine 1 m^2 , okomito postavljenu na smjer širenja zvuka, u jednoj sekundi, naziva se intenzitet ili jakost zvuka. Ovako definirani, jakost i intenzitet postaju sinonimi.

Intenzitet zvuka se može izračunati kao umnožak zvučnog tlaka i titrajne brzine čestica (Kraut, 2009):

$$I = p \cdot v = \frac{p^2}{(\rho \cdot c)} [dB]$$

pri čemu je p zvučni tlak, v titrajna brzina čestica, ρ gustoća zvuka, a c brzina zvuka.

U tablici 1. prikazana je razlika brzine širenja zvuka u zraku (330 m/s) u odnosu na druge materijale. Najveću brzinu ima staklo (5500 m/s) a najmanju kisik (316 m/s).

Tablica 1. Približna brzina zvuka u zraku i drugim materijalima (RF Cafe, 2003.)

Materijal	Brzina zvuka (m/s)
Zrak	330
Drvo	3400
Voda	1400
Beton	3100
Željezo	5000
Staklo	5500
Vodik	1260
Cigla	3650
Kisik	316
Guma	1550
Aceton	1174

Razina zvučnog tlaka se često izražava u decibelima u odnosu na referentnu razinu zvučnog tlaka koja odgovara pragu čujnosti prosječnog čovjeka na 1 kHz.

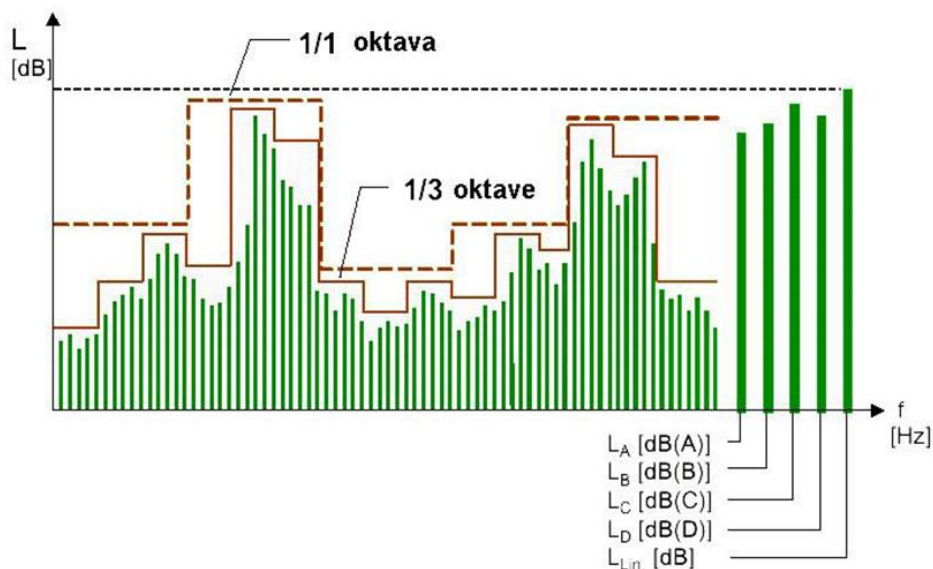
Izračunava se (Kraut, 2009):

$$L_p = 20 \log \frac{p}{p_0} [dB]$$

Razina zvučnog intenziteta L_I izražava se u odnosu prema njezinoj vrijednosti na pragu čujnosti pri frekvenciji 1000 Hz, $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$, te iznosi: $L_I = 10 \log \frac{I}{I_0} [dB]$

2.5. Frekvencijski spektar buke

Frekvencijski spektri se koriste u mnogim aplikacijama, pogotovo za prepoznavanje frekvencijskog sadržaja buke odnosno dominantnog izvora buke te za smanjenje i kontrolu buke kao što su: ispitivanje strojeva i proizvoda, izgradnja akustike, ispitivanje vjetroelektrana, zaštita sluha, prepoznavanje problematičnih frekvencijskih područja i sl. 1/1 spektar upotrebljava se za kontrolu buke preko mjerenja i ljudski sluh. Analiza spektra se često koristi za kontrolu buke, zaštitu sluha i povremeno za probleme buke u okolišu. 1/3 spektar upotrebljava se više za detaljniji frekvencijski odziv te se također koristi za kontrolu i mjerenje buke u okolišu (Slika 3.). Ekvivalentna razina buke je energetski prosjek buke odnosno prosječna vrijednost razine zvuka u nekom vremenskom periodu te se računa kao usrednjena razina buke svih izvora u toku mjerenja (automobili, kamioni, autobusi, motori, ljudi, okolne zgrade i sl).



Slika 3. Frekvencijski spektar buke (Petošić & sur, 2018)

2.6. Utjecaj buke na čovjeka

Buka na čovjeka utječe psihički, fizički i socijalno te tako može prouzročiti oštećenje sluha, smetnju pri komunikaciji, umor, uznemiravanje, slabiji rad, smanjenu koncentraciju i sl. Ukoliko je čovjek dulje vrijeme izložen buci može doći do trajnog i nepopravljivog oštećenja sluha, odnosno organa unutarnjeg uha. Rizik oštećenja sluha ovisi o vremenu provedenom u bučnoj prostoriji, o razini buke i o karakteristikama buke. Osjetljivost na buku je individualna, kod nekih ljudi do oštećenja sluha dođe nakon kratke izloženosti buci, a neki nisu osjetljivi na buku te mogu biti izloženi buci u dugom vremenskom periodu a da im se uopće ne dogodi oštećenje sluha. Buka izaziva stres, utječe na cirkulaciju krvi i druge psihološke probleme. Izravne posljedice na zdravlje koje buka ostavlja su naglušost, šumovi u uhu, gluhoća, razni poremećaji vezani za razumijevanje govora, smetnje u ravnoteži, zanošenje, nesigurnost u hodu. Neizravne posljedice su umor, razdražljivost, smanjena radna sposobnost, endokrinološki poremećaji, poremećaji metabolizma, hipertenzija i sl. Nakon izlaganja buci skraćuje se REM faza sna. Buka utječe i na razvijanje kardiovaskularnih bolesti, frekvencije pulsa, promjene krvnog tla i na povećanje agresivnosti.

3. MJERE ZAŠTITE OD BUKE U URBANIM SREDINAMA

Broj vozila se iz godine u godinu povećava te se samim tim i razina buke u urbanim sredinama povećava, kao i vrijeme izloženosti. Nekada je najbučnije bilo u vremenu od 8 do 18 sati, ali se u posljednjih nekoliko godina primjećuje da postaje bučnije i noćno razdoblje. Iz tog razloga potrebno je posvetiti veliku pažnju smanjenju razine buke u prometu jer postoji opasnost da će se razina buke u okolišu nastaviti povećavati ili da će ostati nezadovoljavajuća prema zakonskim normama (iznad 65 dB) (NN, 145/2004.)

Postoje mnogobrojni razlozi povećanja razine buke u prometu kao što su: vrsta pneumatika vozila, različite nepravilnosti na kotačima željezničkih vozila, karakteristike i nepravilnosti na kolniku ili tračnicama, motor vozila i sl. Pri malim brzinama najveći utjecaj na razinu buke ima konstrukcija vozila. Ukoliko je kretanje vozila veće od 30

km/h postaje značajan utjecaj pneumatika, odnosno njegovo kotrljanje po površini ceste, a kod brzina većih od 50 km/h utjecaj pneumatika na razinu buke postaje presudan. U urbanim sredinama, gdje se vozila kreću između 30 km/h i 50 km/h velik utjecaj ima rad motora, a na autocestama je ovaj izvor buke neznatan. (European Commission, 2002) Kako bi se smanjila razina buke u prometu potrebno je unaprijediti konstrukciju vozila koja podrazumijeva niz mjera kao što su smanjena buka motora, pneumatika vozila, prijenosnog mehanizma i sl.

Još 1970. je stupila na snagu Direktiva 70/157/EEC (Directive 70/157/EEC, 1970.) u kojoj su za motorna vozila (automobile, autobuse i kamione) propisane dozvoljene razine buke. Sva proizvedena vozila moraju zadovoljavati propisana ograničenja iz Direktive, stoga se pozornost sve više usmjerava na smanjenje buke od međudjelovanja pneumatika i površine kolnika. To se ostvaruje smanjenom brzinom kretanja vozila, održavanjem vozila i cesta, odabirom određene vrste vozne površine, uvođenjem zabrana, ponašanjem vozača, upravljanjem prometom i sl. Postavljanjem automatskog praćenja brzine utječe se na smanjenje brzine kretanja vozila, a samim tim se povećava sigurnost u prometu. Što se tiče vozne površine, najpogodnija bi bila ona sa poroznom i otvorenom teksturom te bi se time osigurala bolja prionjivost pneumatika i povećana sigurnost. Dobro održavanje prometnica dovodi do smanjenja dinamičkog utjecaja vozila na cestovnu konstrukciju i utječe na smanjenu razinu buke. Ceste koje se neadekvatno održavaju dovode do povećanja buke, najviše zbog interakcije površine kolnika i pneumatika. Osim cesta, neophodno je provoditi valjano održavanje vozila kako bi se buka smanjila. Razina emitiranja buke određenog vozila može se provjeriti na tehničkim pregledima. (Phillips & Kinsey, 2001)

Upravljanje prometom podrazumijeva smanjenje opterećenja u prometu usmjeravanjem dijela prometa ili određenih motornih vozila na druge prometnice. Ovo je opravdano samo ako se promet sa manjih prometnica preusmjeri na novije prometnice ili na one koje su namijenjene za teška vozila. To bi izazvalo minimalna povećanja buke na prometnicama na kojima je preusmjeren promet, a za manju prometnicu bi bila od velikog značaja navedena mjera. Osim toga postoje i ograničenja vremena u kojem se smije prometovati kao što je npr. zabrana prometa teških vozila noću. Također,

upravljanje prometom podrazumijeva i gašenje semafora u noćnim satima pa se time sprječava buka pri zaustavljanju i kretanju vozila. To često nije učinkovito jer gašenje semafora omogućava stanje slobodnog protoka što za posljedicu ima povećanje brzine vozila. Ponašanje vozača, odnosno stupanj prijenosa i način usporavanja i ubrzavanja također utječu na razinu buke (European Commission, 2002).

Poseban problem su motocikli koji mogu izazvati povećanje razine buke i do 20 dB zbog čega se uvode određene zabrane kao što je npr. zabrana vožnje noću ili zabrana vožnje bez ugrađenih posebnih prigušivača. Željeznička i tramvajska vozila također predstavljaju priličan izvor buke. Vozilo i kolosijek odnosno interakcija vozila, kotača i tračnica imaju najznačajniju ulogu u širenju vibracija i buke. Europska unija se uveliko bavi problematikom buke željezničkog prometa s obzirom da on vremenom sve više dobiva na važnosti jer se teretni promet sa cestovnih prometnica nastoji u što većoj mjeri preusmjeriti na željeznicu. To za posljedicu ima povećanje obima željezničkog prometa i primjenu vlakova većih duljina. Neophodno je primijeniti mjere zaštite od buke, s posebnom pažnjom na lokacije na kojima željeznička pruga prolazi kroz naseljena mjesta. Neke od mjera su odabir adekvatne vrste konstrukcije gornjeg ustroja i odgovarajuće vrste vozila odnosno vagona, smanjenje brzine kretanja tramvaja i vlakova, održavanje kotača vozila i tračnica i sl. (Commission, 1996)

3.1. Mjere smanjenja rasprostiranja buke u urbanim sredinama

U urbanim sredinama, smanjenjem buke na izvoru nije moguće ostvariti propisanu dopuštenu razinu, zbog čega se na mjestu emisije često upotrebljavaju mjere smanjenja rasprostiranja buke koje podrazumijevaju korištenje raznih barijera i planiranje i upravljanje prostorom. Ukoliko se planira u urbanom području izgradnja nove prometnice ili rekonstrukcija postojeće potrebno je posvetiti veliku pažnju zaštiti postojećih objekata. Kad se planira zahvat na prometnici koja se nalazi u gusto izgrađenom području mora se provesti urbanističko planiranje prometnica i gradskih zona u odnosu na stambene zgrade kao i utvrđivanje dopuštenih razina buke za određene zone. Planiranje i upravljanje prostorom s ciljem smanjenja rasprostiranja buke podrazumijeva osiguranje dovoljne udaljenosti izvora buke od stambenih zona i

smještanje pojedinih sadržaja na koje buka nema veliki učinak (npr. trgovački centri, parkirališta i sl.) na lokacije između izvora buke i stambenih zona koje su osjetljive na povećanu razinu buke.

Najčešći i najsigurniji način za smanjenje rasprostiranja buke je postavljanje barijera neposredno uz cestovne ili željezničke prometnice. Njihovom primjenom dovoljne duljine i visine, neposredno nakon postavljanja ostvaruje se smanjenje buke na projektom predviđenu razinu. Ukoliko su odabrane odgovarajuće barijere može se smanjiti razina buke i do 15 dB (European Commission, 2002). Barijere se mogu razlikovati prema materijalu od kojeg su izrađene, prema obliku i prema akustičnim svojstvima. Odluku o njihovom postavljanju i određivanje vrste barijere provode stručnjaci raznih profila kao što su akustičari, arhitekti i građevinari. Iako im to nije osnovna uloga, danas su najčešća verzija barijera postojeći objekti kao što su npr. zgrade, reklamni panoi, ograde, vegetacija npr. drvoredi i sl. koji se često nalaze uz same prometnice. Ovim načinom u nekim slučajevima razina buke se može smanjiti i do 12 dB.

Jedan od inovativnih primjera je ekološka, visoko apsorbirajuća barijera za zaštitu od buke pod nazivom Ruconbar, čiji se apsorbirajući sloj sastoji od reciklirane gume i betona (Slika 4.). U osnovi, to je proizvod od betona sastavljen od apsorbirajućeg i nosivog sloja. Apsorbirajući sloj se sastoji od 40% gumenih granula dobivenih recikliranjem starih automobilskih guma (Beton Lučko, 2012.).



Slika 4. Ruconbar (engl. Rubberised Concrete Noise Barriers) – ekološka barijera za zaštitu od buke (Beton Lučko, 2012.)

Još neke od mjera za smanjenje buke su izgradnja tunela (ukoliko se zahtijeva veliki stupanj smanjenja buke) i postavljanje prometnica u usjeke. Gradnja tunela je najdjelotvorniji način zaštite od buke ali se rijetko primjenjuje jer je visoka cijena građenja, rasvjete, održavanja te ventilacije. Zidovi tunela su često obloženi apsorbirajućim panelima koji mogu smanjiti razinu buke i do 10 dB (European Commission, 2002). Ovakvi paneli se sve češće mogu vidjeti i na ulazu i izlazu iz podvožnjaka, naročito u urbanim sredinama.

Ako se ne mogu primijeniti metode za smanjenje buke na izvoru i metode za sprječavanje rasprostiranja buke, potrebno je sprovesti mjere zaštite od buke na mjestu emisije. Navedeno podrazumijeva upotrebu zvučne izolacije i veću pažnju pri projektiranju objekta. Zvučna izolacija uključuje izolaciju zidova, vrata i prozora objekta. Problem postavljanja zvučne izolacije u objektima je visoka cijena, a otvoreni prostori objekta kao što su dvorišta, balkoni, vrtovi i dalje će imati povišenu razinu buke. Velika smanjenja mogu se postići pri adekvatnom projektiranju samog objekta. Najveći problem sa bukom imaju prostorije koje se nalaze neposredno uz prometnicu. Kako se ne bi morala uvoditi zvučna izolacija, u fazi projektiranja se mogu manje osjetljive prostorije poput kupaonice, kuhinje, ostave i sl. orijentirati prema prometnici, a ostale prostorije kao što su spavaća, radna i dnevna soba se projektiraju da budu sa tiše strane objekta.

Ekonomske mjere zaštite od buke skupa sa regulativom uključuju naknade za vozila koja proizvode razinu buke veću od propisane, poticaje kojima se stimulira smanjenje buke, uspostavljanje cijene goriva i sl.

Mjere za smanjenje razine buke u prometu prikazane su u Tablici 2. te podrazumijevaju smanjenje buke na izvoru, sprječavanje širenja buke, zaštita na mjestu izvora buke, regulativa i ekonomske mjere.

Tablica 2. Smanjenje buke u ovisnosti o odabiru mjere zaštite (Lakušić & sur, 2005.)

MJERA zaštite od buke	Efekt mjere [dB]
Smanjenje buke na izvoru Cestovni promet	
Rad motora vozila	(3-5)
Smanjenje brzine	(2-8)
Vozna površina	(2-5)
Upravljanje prometa	(2-4)
Preusmjeravanje prometa	(5-10)
Ponašanje vozača	(0-5)
Promet na tračnicama	
Smanjenje brzine	(3-7) (10)
Interakcija kotač/tračnica	(0-6)
Tip konstrukcije gornjeg ustroja	(0-5)
Smanjenje rasprostiranja buke Planiranje prostorom	
Dovoljna udaljenost od prometnica	(3-5)
Zaklanjanje prostora koji se štiti	
Promjena barijera	(0-15)
Smještanje prometnica u usjeke	(0-5)
Smještanje prometnica u tunele	(0-30)
Zaštita od buke na mjestu emisije	
Zvučna izolacija objekata	(3-10)
Raspored prostorija u objektu	(0-12)
Ekonomske mjere i regulativa	
Plaćanje naknada za "bučna" vozila	/
Formiranje cijene goriva (diesel/super)	/
Subvencija za novija "tiha" vozila	/

Iz tablice 2. se može vidjeti da bi najefikasnije rješenje bilo smještanje prometnica u tunele, no ova mjera zahtjeva visoku cijenu izrade i moguće ju je provesti samo na određenim lokacijama. Osim navedenog, učinkovite mjere bi bile i postavljanje zvučne izolacije, smanjenje brzine kretanja vozila i izgradnja barijera.

Na slici 5. prikazan stambeni kompleks koji se nalazi pokraj željezničke pruge i jedne od najprometnijih ulica u Beču. Zaštitu predstavljaju prozirni paneli koji su i kolektori za sakupljanje sunčeve energije.



Slika 5. Prozirna barijera za zaštitu od buke i za prikupljanje sunčeve energije u Beču (SYLVIE, 2002.)

Na slici 6. predstavljen je primjer zidova podvožnjaka koji su obloženi apsorbirajućim panelima s ciljem smanjenja širenja buke u okoliš izvan tunela ili podvožnjaka.



Slika 6. Obloženi zidovi podvožnjaka apsorbirajućim panelima (Noise protection, 2003.)

Kad glavna gradska prometnica prolazi kroz poslovno-stambenu zonu optimalna mjera je postavljanje prozirnih barijera (Slika 7.). Njihova prednost je u tome što nisu vizualna prepreka, ne ograničavaju doživljaj prostora te omogućuju prodiranje svjetla. Na takvim lokacijama je često problem nedovoljan prostor na kojem se trebaju smjestiti barijere.



Slika 7. Prozirna barijera za zaštitu od buke (Stanzel, 2000.)

Vlakovi uzrokuju značajno povećanje razine buke. Na slici 8. prikazan je primjer postavljene barijere uz željezničku prugu u blizini naseljenog mjesta.



Slika 8. Zaštitna barijera uz željezničku prugu (Noise protection, 2003.)

3.2.Prednosti kružnih raskrižja u odnosu na klasična semaforska raskrižja

Kružna raskrižja ili kružni tokovi su na brojne načine u prednosti u odnosu na semaforska raskrižja - sigurnija su, učinkovitija, jeftinija i estetski privlačnija od standardnih raskrižja koja su nadzirana i signalizirana. Kružni tokovi su često identificirani kao dokazano sigurniji iz razloga što se zahvaljujući kružnim tokovima smanjuju konfliktne točke kao i sukobi lijevog skretanja. Osim toga, smanjene su brzine vozila i samim tim i ukoliko dođe do nesreće ne bude ozbiljna kao što bi bila kod vozila

koja se kreću velikom brzinom. Također, kružni tokovi omogućuju sigurnije spajanje u promet i osiguravaju više vremena svim korisnicima da otkriju i isprave svoje pogreške ili pogreške drugih zbog manjih brzina vozila. S operativnog gledišta, prednosti kružnih tokova su u tome što mogu smanjiti kašnjenja i redove čekanja u odnosu na ostale oblike kontroliranih raskrižja, smanjuju broj i trajanje zaustavljanje te time pružaju i značajne ekološke koristi. Čak i u prometnim gužvama, vozila se nastavljaju kretati u redu umjesto da se potpuno zaustave. To može značajno smanjiti utjecaj buke i kvalitete zraka, kao i potrošnju goriva smanjenjem broja ciklusa ubrzanja/usporavanja i vremena stajanja (Distefano & sur, 2018).

Razlozi zbog kojih su mnoge uprave za tranzit i autoceste često odabrale kružne tokove umjesto standardnih raskrižja vezani su za smanjenje zastoja u prometu i poboljšanje sigurnosti (tj. smanjenje konfliktnih mjesta, smanjenje brzine prilaza itd.). Štoviše, kružni tokovi imaju pozitivne učinke, poput smanjenja onečišćenja zraka i akustičnih emisija. Konkretno, učinak kružnih tokova na buku u prometu uglavnom je posljedica promjena u brzini i načinu vožnje. Utjecaj geometrije kružnog toka na smanjenje buke manje je značajan, iako nije zanemariv. Geometrijske karakteristike postaju relevantne samo ako se uspoređuju kružni tokovi koji se znatno razlikuju po veličini i broju krakova: polumjer kružnog toka utječe na duljinu cirkulacijskog kolnika i, prema tome, na produženje dionica koje se prevoze u ubrzanju i kočenju koje su ključne točke iz akustičke perspektive. Štoviše, velik broj sukobljenih krakova mogao bi stvoriti zasićenost, a time i veću razinu buke (Distefano & sur, 2018).

4.MJERENJE BUKE NA ROTORSKIM I KLASIČNIM RASKRIŽJIMA U GRADU VARAŽDINU

4.1.Instrument za mjerenje buke

Instrument za mjerenje buke u ovom radu je Larson Davis (division of PCB Piezotronics, Inc.) model 831xt (Slika 9.) Dizajniran je za jednostavno rukovanje, potpuno je opremljen, prilagodljiv i kompaktan, a predstavlja petu generaciju Larson Davisovog

uređaja za mjerenje buke sa sve većom programskom platformom. Uređaj ima funkcije preciznog mjerača razine zvuka klase 1, dozimetra šuma, analizatora frekvencije i buke u okolišu u stvarnom vremenu (Larsondavis.com., 2017.).

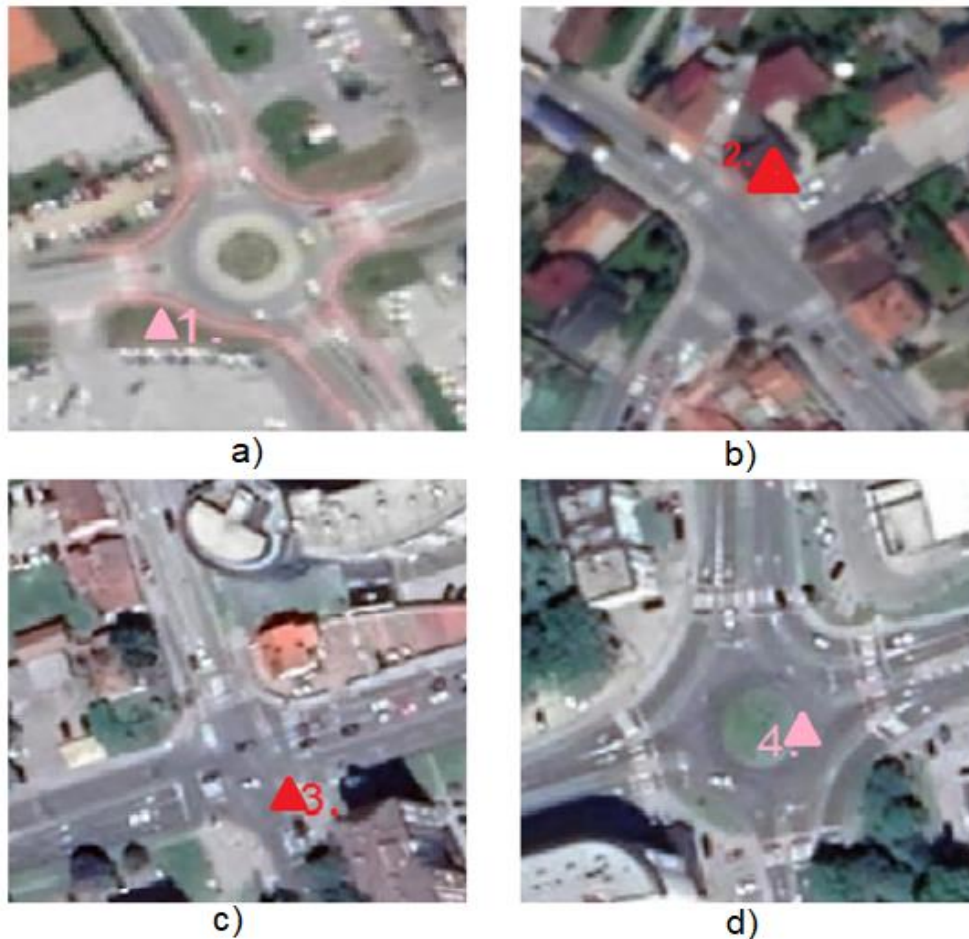
Uređaj čine sljedeći dijelovi: kućište s baterijama, ekran, tipkovnica, mikrofoni, zaštita mikrofona od utjecaja vjetrova, pretpojačalo za mikrofoni, razni kabeli, utori i CD koji sadrži programski paket SLM utility G3.



Slika 9. Uređaj za mjerenje buke (Larsondavis.com., 2017.)

4.2.Lokacije mjerenja

Odrađeno je 12 mjerenja na 4 lokacije. Odabrane lokacije su bile 2 rotorska i 2 klasična semaforska raskrižja. Na svakoj lokaciji se mjerilo u 9 sati, u 12 sati i u 15 sati. Svako mjerenje je trajalo 30 minuta. Bukomjer je postavljen u smjeru najprometnije ulice. Prva lokacija je bila rotor u Optujskoj ulici u blizini Lidla (Slika a), druga raskrižje Optujske ulice sa Ulicom Gustava Krkleca i Eugena Kumičića (Slika b), treća lokacija je raskrižje Zagrebačke ulice sa Ulicom Frana Supila i Miroslava Krleže (Slika c), a četvrta je rotor kod Ulice Zrinskih i Frankopana i Ulice Miroslava Krleže (Slika d). Izbrojani su automobili, kamioni, autobusi i motori koji su prošli za vrijeme mjerenja kao i koliko puta se upalilo crveno svjetlo.



Slika 10. a) Rotor u Optujskoj ulici, b) Raskrižje u Optujskoj ulici, c) Raskrižje kod Zagrebačke ulice, c) Rotor kod ulice M. Krleže

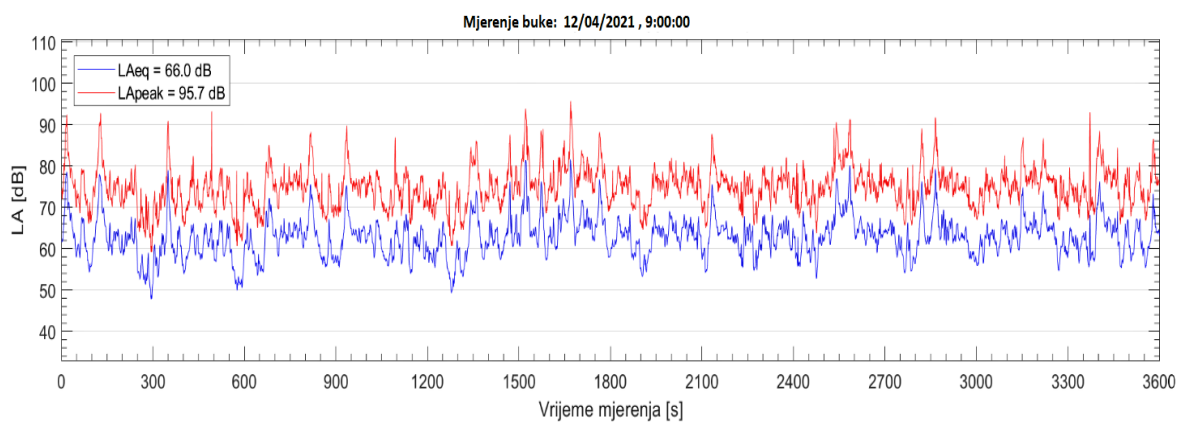
4.3.Rezultati mjerenja

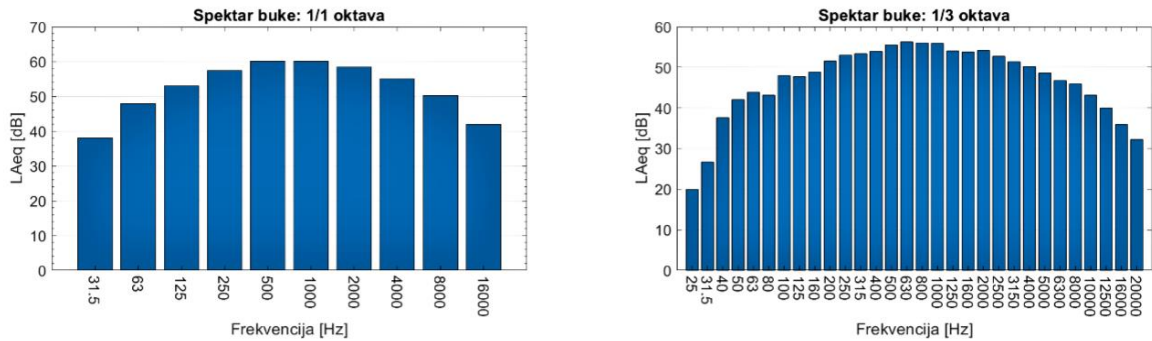
Svi rezultati mjerenja predstavljeni su na 4 slike:

- vremenski zapis ekvivalentne (prosječne) razine buke LAeq
- maksimalna zabilježena buka LApeak u toku mjerenja
- fotografija sa lokacije mjerenja
- frekvencijski 1/1 i 1/3 spektri buke.

4.3.1.Lokacija 1 – rotor u Optujskoj ulici

Prva lokacija je rotor u Optujskoj ulici. Mjerenja su izvršena od 9:00 do 9:30, od 12:00 do 12:20 i od 15:00 do 15.30. Prvo mjerenje prikazano je na Slici 11.

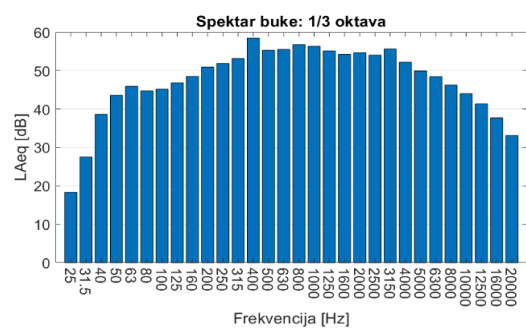
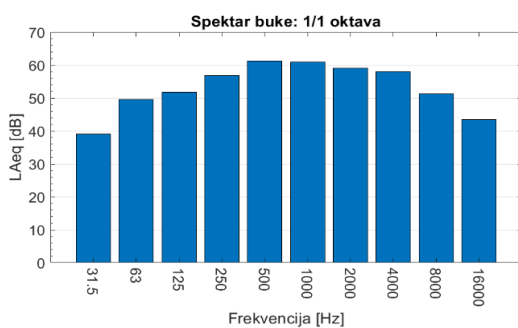
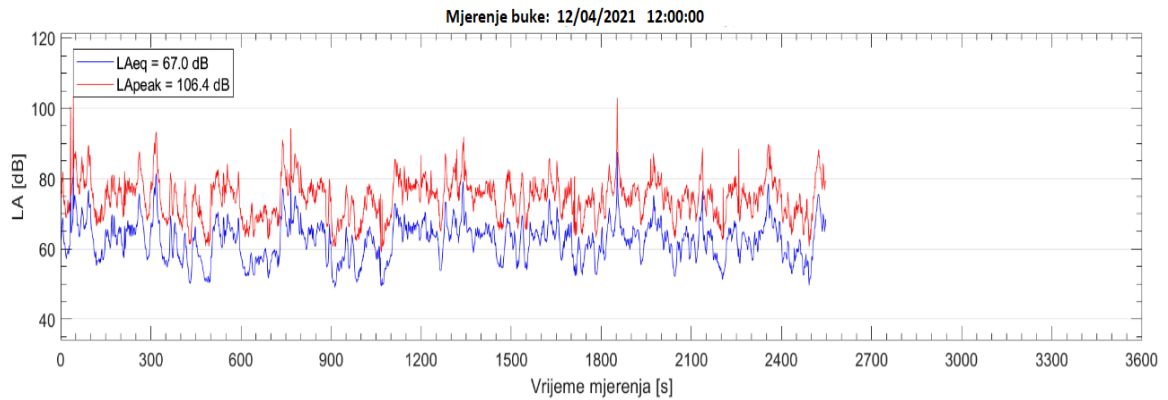




Slika 11. Prikaz mjerenja buke na rotoru u Optujskoj ulici u razdoblju od 9:00 do 9:30

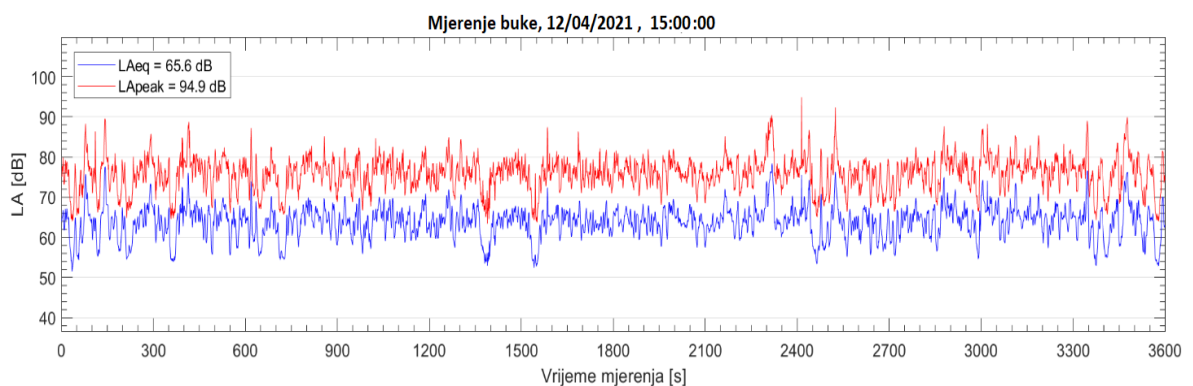
Slika 11. predstavlja mjerenje razine buke na rotoru u Optujskoj ulici u vremenu od 9:00 do 9:30 sati. U tom periodu prošlo je oko 520 automobila i oko 30 kamiona. Prosječna razina buke iznosi 66 dB i to je srednja vrijednost razine buke svih vozila u toku mjerenja. Maksimalna buka je 95.7 dB kao rezultat buke u određenom momentu, najvjerojatnije kao posljedica prolaska motora ili kamiona pokraj bukomjera ili sirene vozila. Spektri buke 1/1 i 1/3 oktave upućuju na to da je dominantna izmjerena razina buke u frekvencijskom rasponu od oko 500 Hz i 1000 Hz.

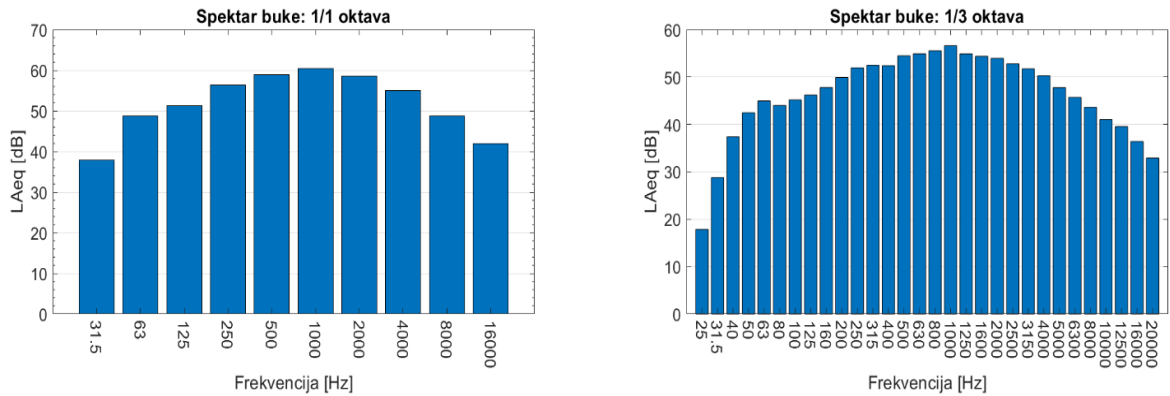
Drugo mjerenje (Slika 12.) se izvršilo na istoj lokaciji u Optujskoj ulici u razdoblju od 12:00 do 12:20 sati jer je došlo do prestanka rada uređaja zbog potrošnje baterije, ali je dovoljno vremena prošlo da se rezultat može smatrati reprezentativan. U tom periodu prošlo je oko 310 automobila i oko 25 kamiona. Prosječna razina buke je bila 67.0 dB, a maksimalna 106.4 dB. Frekvencijski spektar 1/1 i 1/3 upućuje da je dominantan izvor buke u rasponu od 400 do 800 Hz.



Slika 12. Prikaz mjerenja buke na rotoru u Optujskoj ulici u razdoblju od 12 do 12:20

Treće mjerenje (Slika 13.) se izvršilo u razdoblju od 15:00 do 15:30 sati na istoj lokaciji u Optujskoj ulici. U tom periodu prošlo je oko 620 automobila, oko 10 kamiona i 3 autobusa. Prosječna razina buke je bila 65.6 dB, a maksimalna 94.9 dB. Frekvencijski spektar 1/1 i 1/3 upućuje da je dominantan izvor buke u rasponu od 1000 Hz.



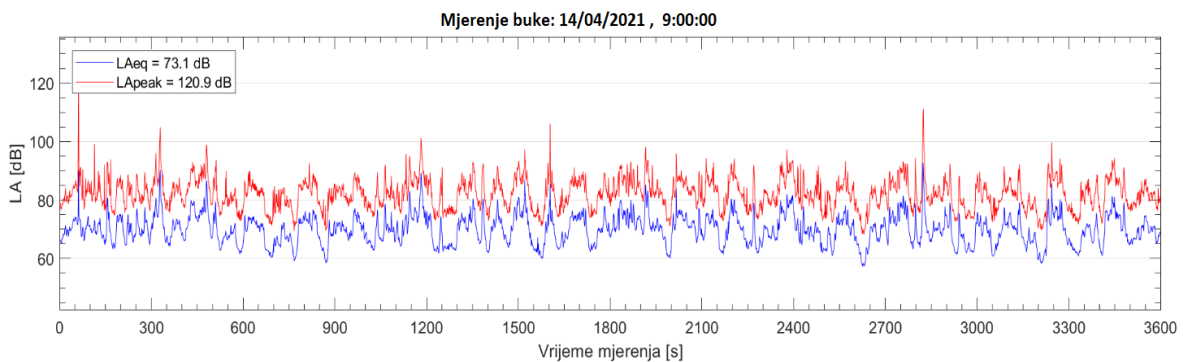


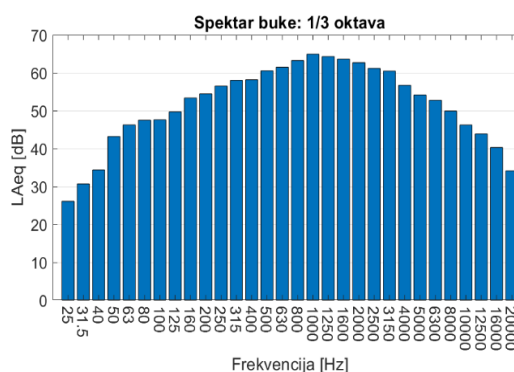
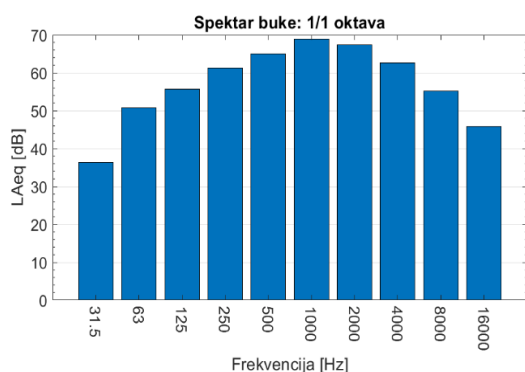
Slika 13. Prikaz mjerenja buke na rotoru u Optujskoj ulici u razdoblju od 15 do 15:30

Iz prethodno navedenih podataka se može vidjeti da je najviše vozila prošlo u periodu od 15:00 do 15:30, dok je najveća prosječna (67 dB) i maksimalna razina buke (106,4 dB) na lokaciji u Optujskoj ulici su zabilježena u periodu od 12:00 do 12:30.

4.3.2. Lokacija 2–semaforsko raskrižje u Optujskoj ulici

Druga lokacija je raskrižje Optujske ulice sa Ulicom Gustava Krkleca i Eugena Kumičića. Na slici 14. prikazano je mjerenje u periodu od 9 do 9:30.

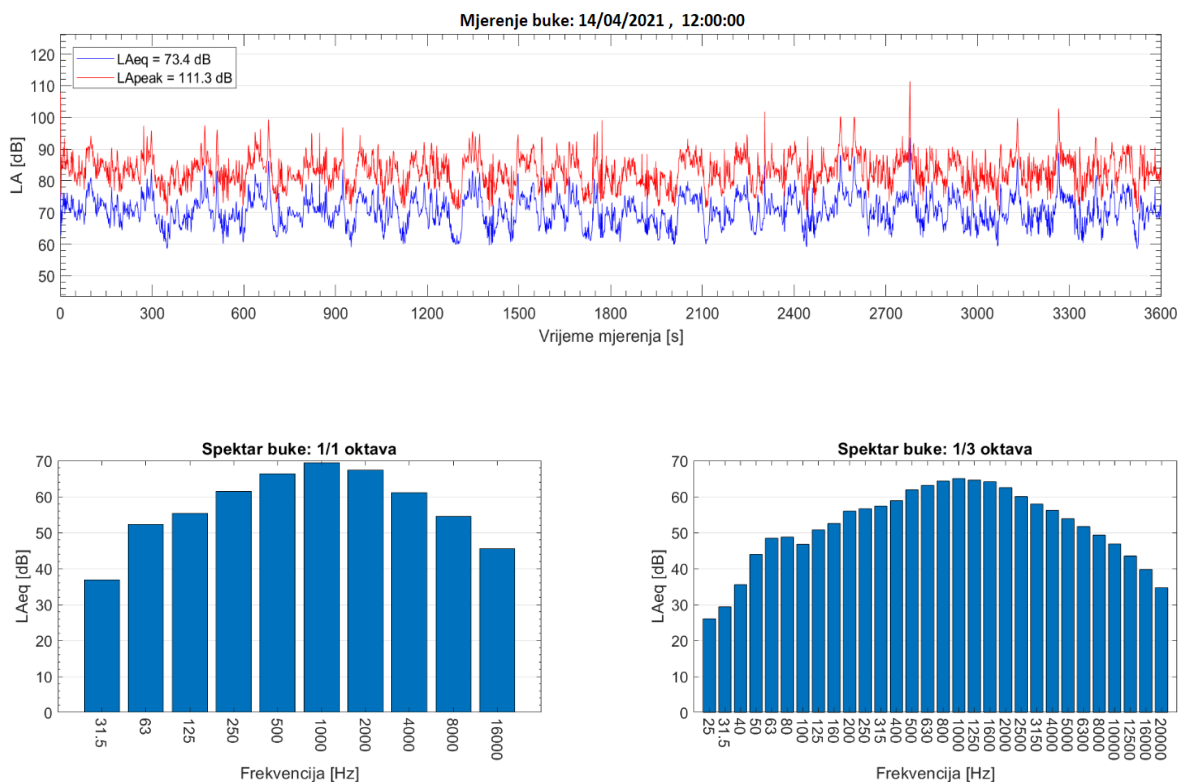




Slika 14. Prikaz mjerenja buke na raskrižju Optujske ulice sa Ulicom Gustava Krkleca i Eugena Kumičića u periodu od 9:00 do 9:30

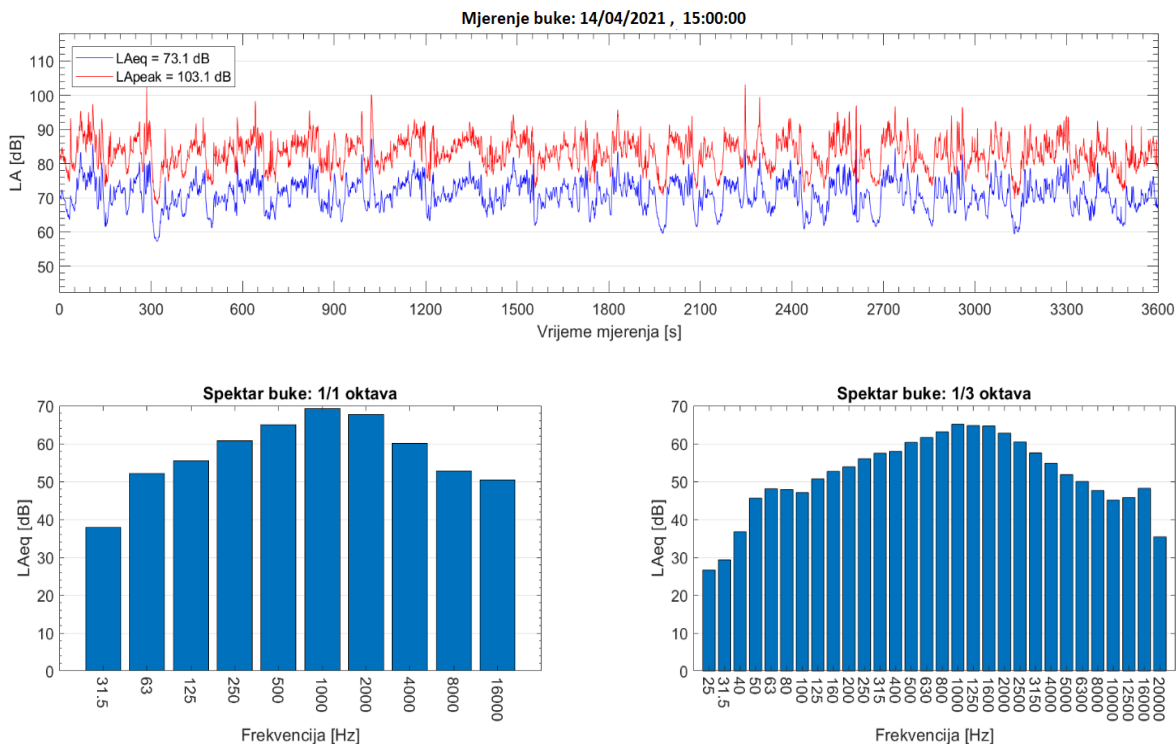
U tom vremenu prošlo je oko 615 automobila i oko 25 kamiona. Crveno svjetlo se upalilo oko 50 puta za tih 30 minuta mjerenja. Prosječna razina buke iznosi 73.1dB i to je srednja vrijednost razine buke svih vozila u toku mjerenja. Maksimalna buka je 120.9 dB kao rezultat buke u određenom momentu. Spektri buke 1/1 i 1/3 oktave upućuju na to da je dominantna izmjerena razina buke u frekvencijskom rasponu od oko 1000 Hz.

Drugo mjerenje (Slika 15.) se izvršilo u razdoblju od 12:00 do 12:30 sati na istoj lokaciji. U tom periodu prošlo je oko 830 automobila, oko 40 kamiona, 2 autobusa i jedan motor. Prosječna razina buke je bila 73.4 dB, a maksimalna 111.3 dB. Frekvencijski spektar 1/1 i 1/3 upućuje da je dominantan izvor buke u rasponu od oko 1000 Hz.



Slika 15. Prikaz mjerenja buke na raskrižju Optujske ulice sa Ulicom Gustava Krkleca i Eugena Kumičića u periodu od 12:00 do 12:30

Treće mjerenje (Slika 16.) se izvršilo u razdoblju od 15:00 do 15:30 sati na istoj lokaciji. U tom periodu prošlo je oko 950 automobila, oko 20 kamiona i 6 autobusa. Prosječna razina buke je bila 73.1 dB, a maksimalna 103.1 dB. Frekvencijski spektar 1/1 i 1/3 upućuje da je dominantan izvor buke u rasponu od 1000 Hz.

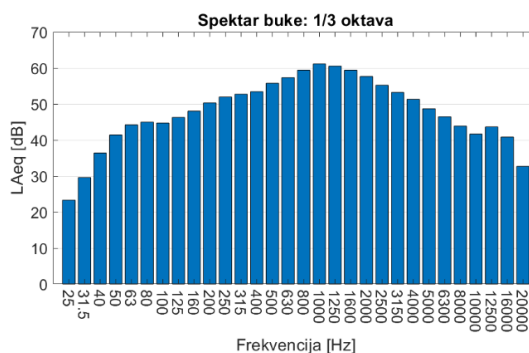
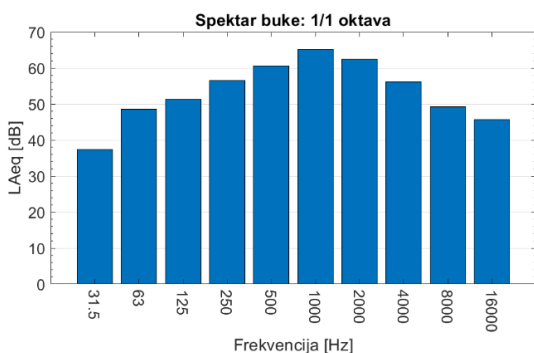
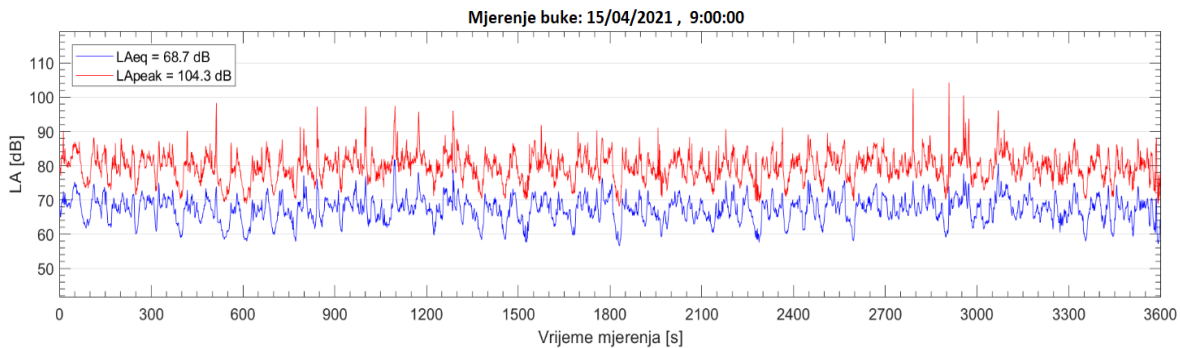


Slika 16. Prikaz mjerenja buke na raskrižju Optujske ulice sa Ulicom Gustava Krkleca i Eugena Kumičića u periodu od 15:00 do 15:30

Iz prethodno navedenih podataka koji se odnose na raskrižje Optujske ulice sa Ulicom Gustava Krkleca i Eugena Kumičića se može vidjeti da je najviše vozila prošlo u vremenu od 15:00 do 15:30. Najveća prosječna razina buke (73,4 dB) je zabilježena u periodu od 12:00 do 12:30, a maksimalna razina buke (120,9 dB) je izmjerena od 9:00 do 9:30.

4.3.3. Lokacija 3–semaforsko raskrižje Zagrebačke ulice sa Ulicom Frana Supila i Miroslava Krleža

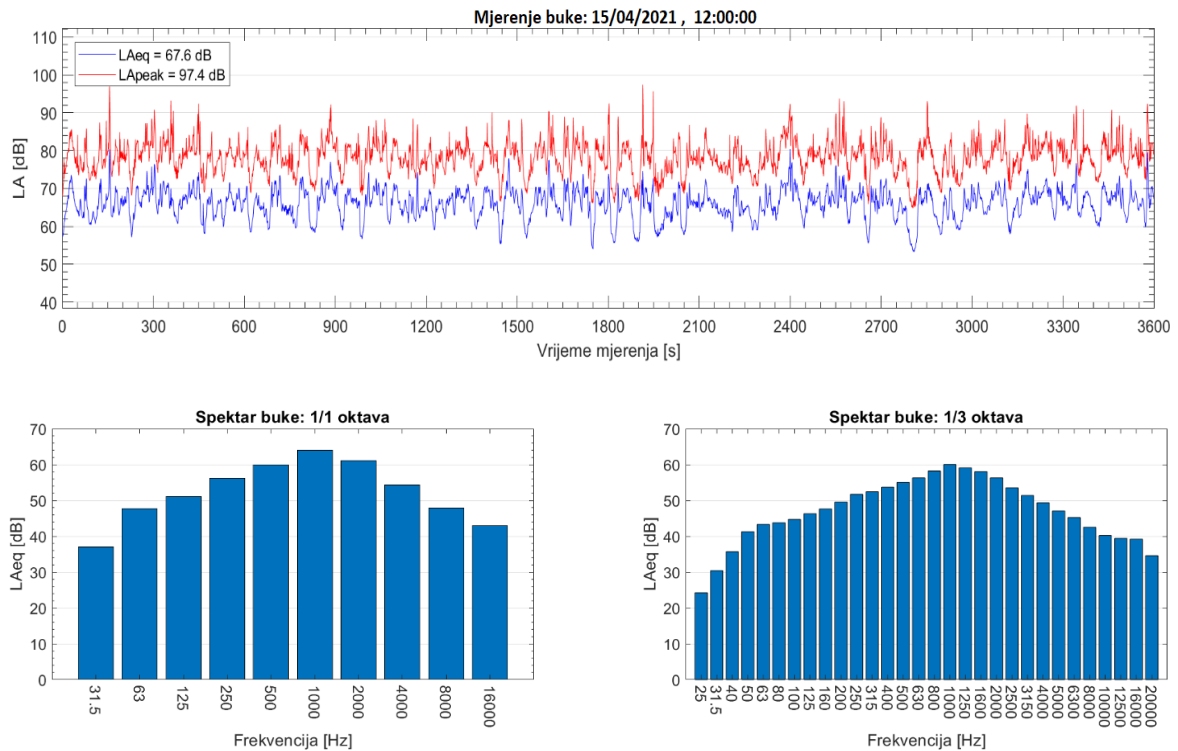
Treća lokacija je raskrižje Zagrebačke ulice sa Ulicom Frana Supila i Miroslava Krleža. Na slici 17. prikazano je mjerenje u periodu od 9:00 do 9:30.



Slika 17. Prikaz mjerenja buke na raskrižju Zagrebačke ulice sa Ulicom Frana Supila i Miroslava Krležje u periodu od 9:00 do 9:30

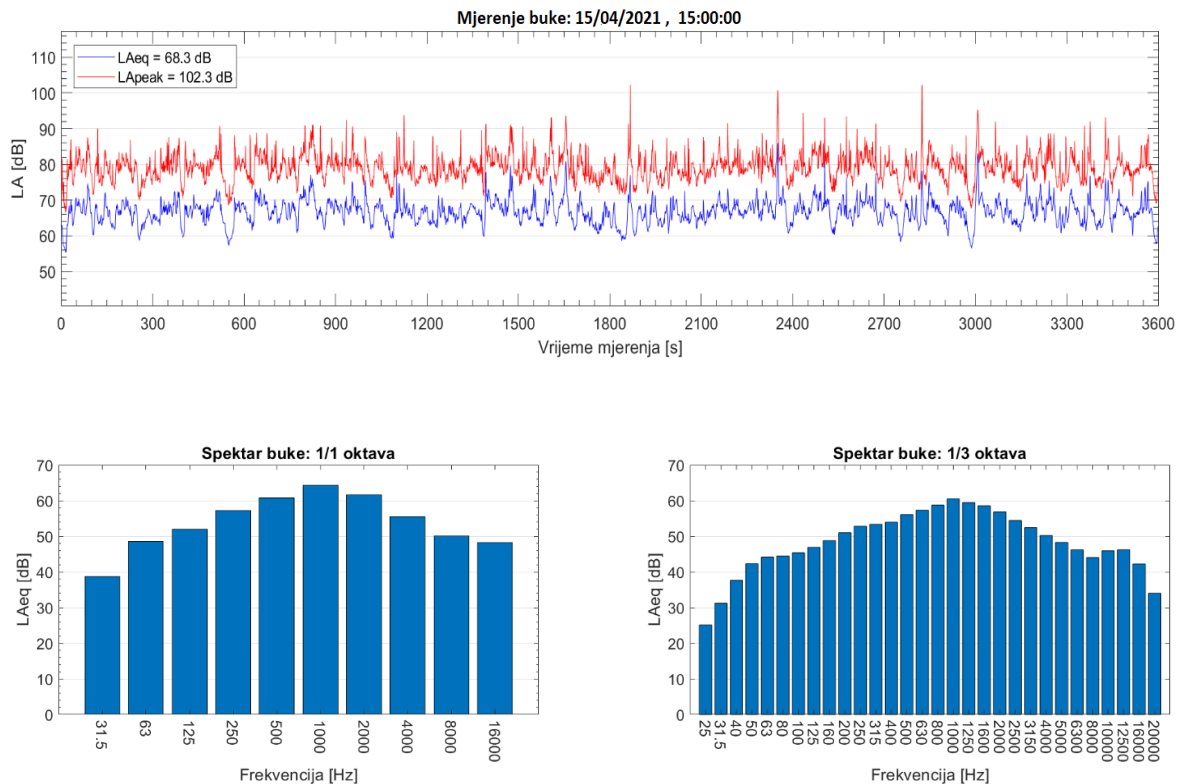
U tom vremenu prošlo je oko 730 automobila, oko 10 kamiona i 7 autobusa. Crveno svjetlo se upalilo oko 40 puta za tih 30 minuta mjerenja. Prosječna razina buke iznosi 68.7 dB i to je srednja vrijednost razine buke svih vozila u toku mjerenja. Maksimalna buka je 104.3 dB kao rezultat najviše razine buke u određenom momentu. Spektri buke 1/1 i 1/3 oktave upućuju na to da je dominantna izmjerena razina buke u frekvencijskom rasponu od oko 1000 Hz.

Drugo mjerenje (Slika 18.) se izvršilo u razdoblju od 12:00 do 12:30 sati na istoj lokaciji. U tom periodu prošlo je oko 1050 automobila, 7 kamiona, 5 autobusa i jedan motor. Prosječna razina buke je bila 67.6 dB, a maksimalna 97.4 dB. Frekvencijski spektar 1/1 i 1/3 upućuje da je dominantan izvor buke u rasponu od oko 1000 Hz.



Slika 18. Prikaz mjerenja buke na raskrižju Zagrebačke ulice sa Ulicom Frana Supila i Miroslava Krležu u periodu od 12:00 do 12:30

Treće mjerenje (Slika 19.) se izvršilo u razdoblju od 15:00 do 15:30 sati na istoj lokaciji. U tom periodu prošlo je oko 990 automobila, oko 5 kamiona i 3 autobusa i jedan motor. Prosječna razina buke je bila 68.3 dB, a maksimalna 102.3 dB. Frekvencijski spektar 1/1 i 1/3 upućuje da je dominantan izvor buke u rasponu od 1000 Hz.

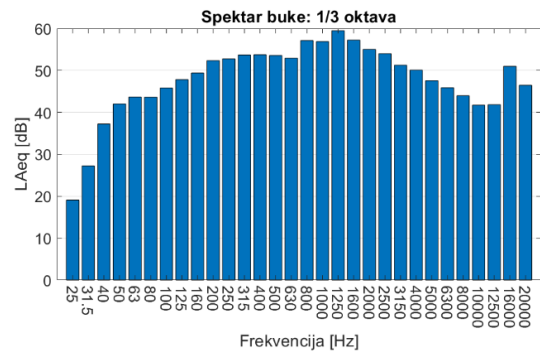
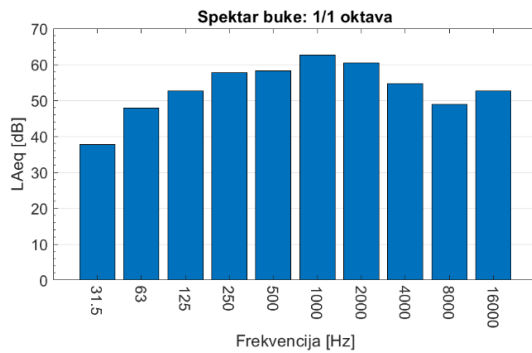
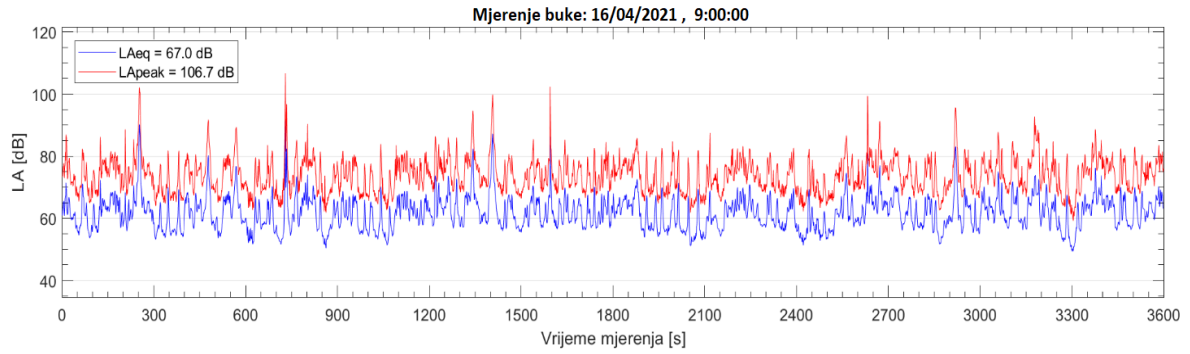


Slika 19. Prikaz mjerenja buke na raskrižju Zagrebačke ulice sa Ulicom Frana Supila i Miroslava Krležu u periodu od 15:00 do 15:30

Iz gore navedenih podataka koji se odnose na raskrižje Zagrebačke ulice sa Ulicom Frana Supila i Miroslava Krležu se može vidjeti da je najviše vozila prošlo u periodu od 12:00 do 12:30. Najveća prosječna razina buke (68,7 dB) kao i maksimalna razina buke (104.3 dB) je zabilježena u periodu od 9:00 do 9:30.

4.3.4. Lokacija 4 – rotor kod Ulice Zrinskih i Frankopana i Ulice Miroslava Krležu

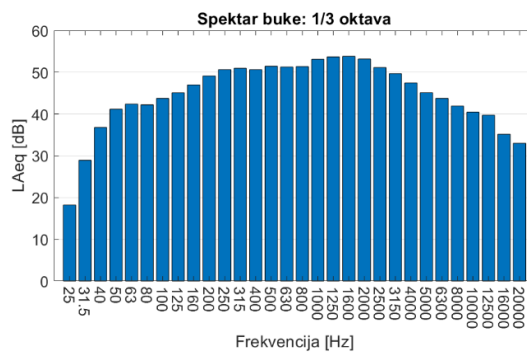
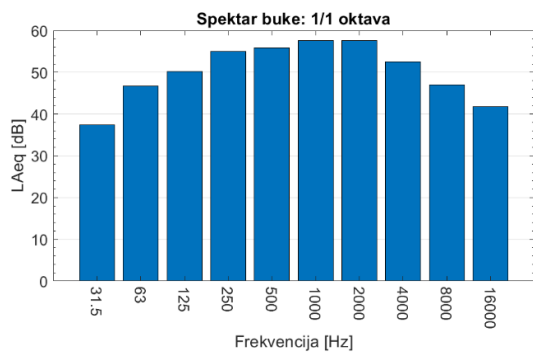
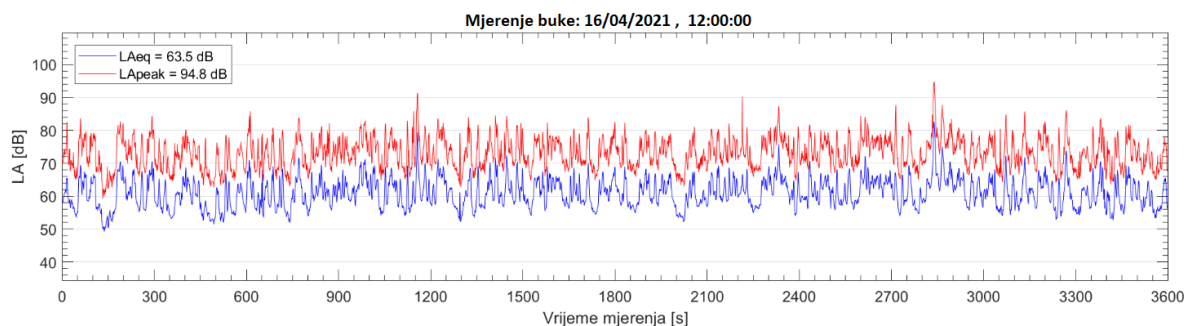
Četvrta lokacija je rotor kod Ulice Zrinskih i Frankopana i Ulice Miroslava Krležu. Na slici 20. prikazano je mjerenje u periodu od 9 do 9:30.



Slika 20. Prikaz mjerenja buke na rotoru kod Ulice Zrinskih i Frankopana i Ulice Miroslava Krleže u periodu od 9:00 do 9:30

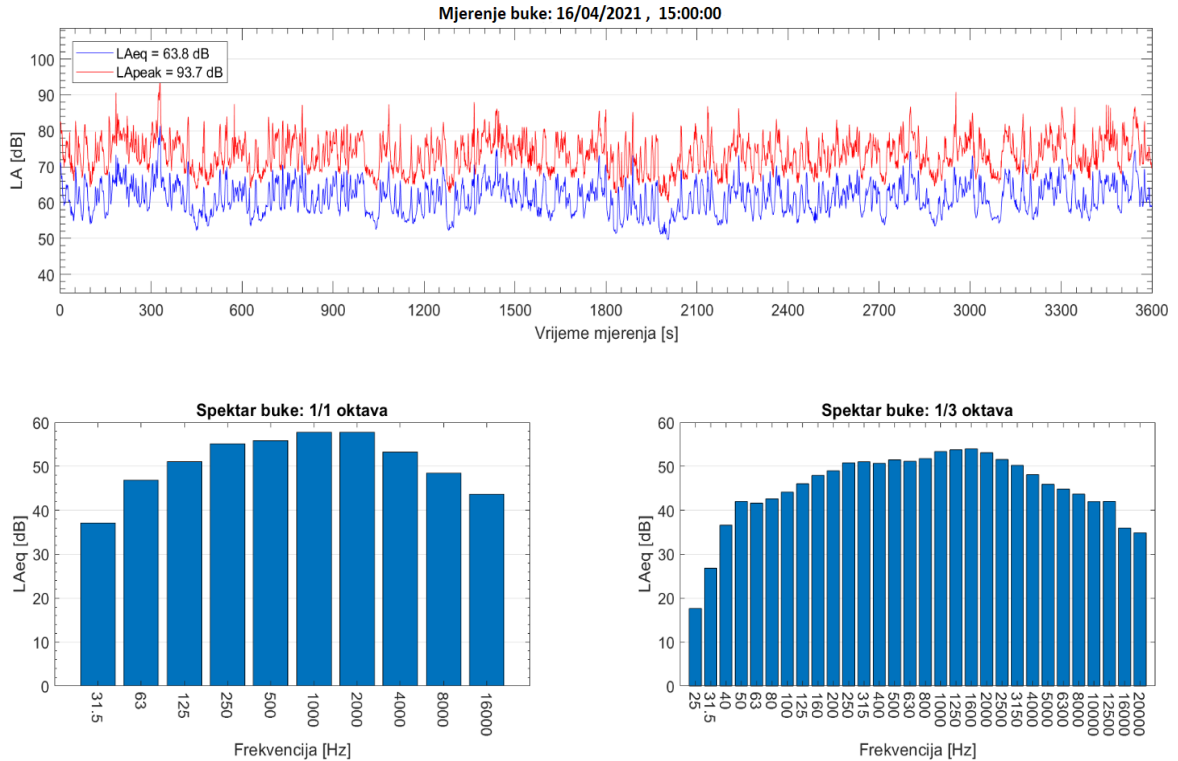
U tom periodu prošlo je oko 450 automobila, 3 kamiona i 2 autobusa. Prosječna razina buke iznosi 67.0 dB i to je srednja vrijednost razine buke svih vozila u toku mjerenja. Maksimalna buka je 106.7 dB kao rezultat buke u određenom momentu. Spektri buke 1/1 i 1/3 oktave upućuju na to da je dominantna izmjerena razina buke u frekvencijskom rasponu od 800 do 1600 Hz.

Drugo mjerenje (Slika 21.) se izvršilo u razdoblju od 12:00 do 12:30 sati na istoj lokaciji. U tom periodu prošlo je oko 300 automobila, oko 5 kamiona, 3 autobusa i jedan motor. Prosječna razina buke je bila 63.5 dB, a maksimalna 94.8 dB. Frekvencijski spektar 1/1 i 1/3 upućuje da je dominantan izvor buke u rasponu od oko 1000 do 2500 Hz.



Slika 21. Prikaz mjerenja buke na rotoru kod Ulice Zrinskih i Frankopana i Ulice Miroslava Krležu u periodu od 12:00 do 12:30

Treće mjerenje (Slika 22.) se izvršilo u razdoblju od 15:00 do 15:30 sati na istoj lokaciji. U tom periodu prošlo je oko 420 automobila, 3 kamiona, 3 autobusa i 1 motor. Prosječna razina buke je bila 63.8 dB, a maksimalna 93.7 dB. Frekvencijski spektar 1/1 i 1/3 upućuje da je dominantan izvor buke u rasponu od 1000 do 2500 Hz.



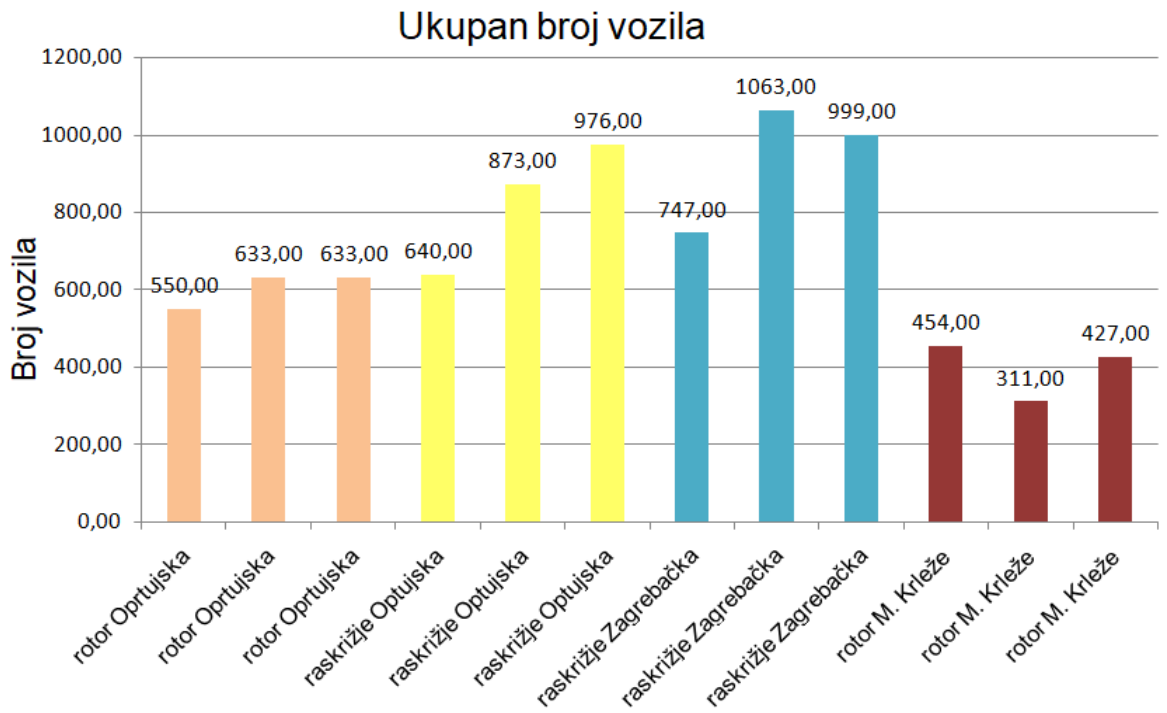
Slika 22. Prikaz mjerenja buke na rotoru kod Ulice Zrinskih i Frankopana i Ulice Miroslava Krleže u periodu od 15:00 do 15:30

Iz gore navedenih podataka koji se odnose na rotor kod Ulice Zrinskih i Frankopana i Ulice Miroslava Krleže se može vidjeti da je najviše vozila prošlo u periodu od 9:00 do 9:30. Također i najveća prosječna razina buke (67.0 dB) kao i maksimalna razina buke (106.7 dB) je zabilježena u istom periodu od 9:00 do 9:30.

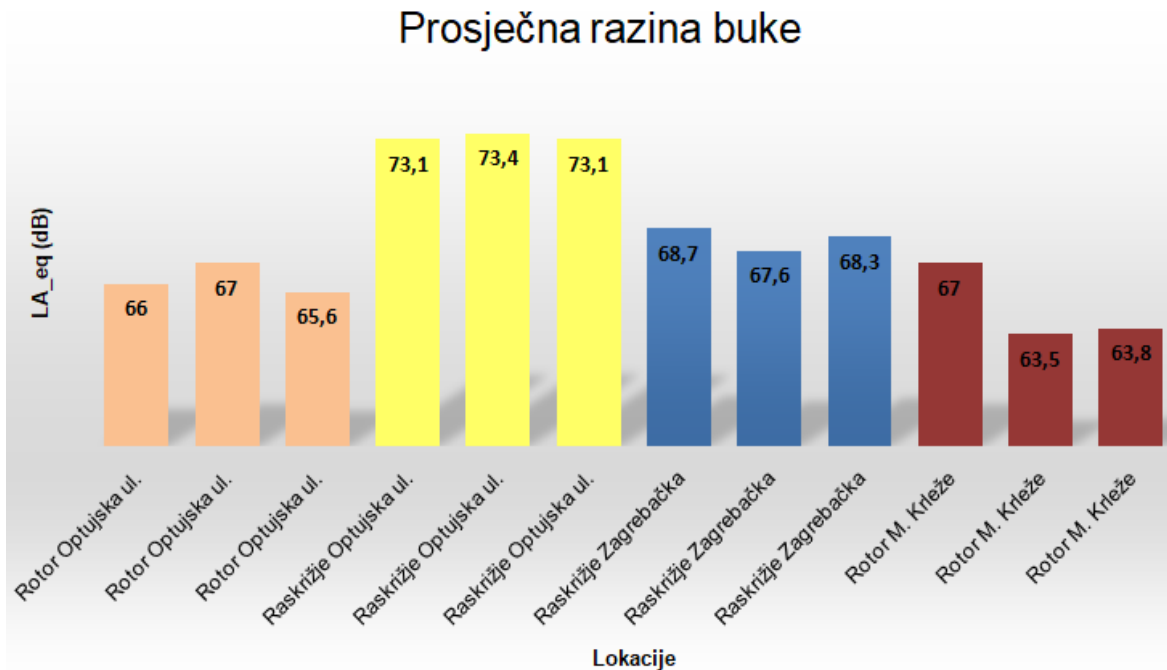
5. DISKUSIJA

Kad se uzmu obzir mjerenja i prikupljeni podaci sa sve 4 lokacije može se primijetiti da je najviše vozila prošlo na raskrižju Zagrebačke ulice sa Ulicom Frana Supila i Miroslava Krleže, a najmanje na rotoru kod Ulice Zrinskih i Frankopana i Ulice Miroslava Krleže (Slika 23.). Najveća prosječna (73.4 dB) i maksimalna (120.9 dB) razina buke su zabilježene na raskrižju Optujske ulice sa Ulicom Gustava Krkleca i Eugena Kumičića, a najmanja prosječna (63.5 dB) i maksimalna (93.7 dB) razine

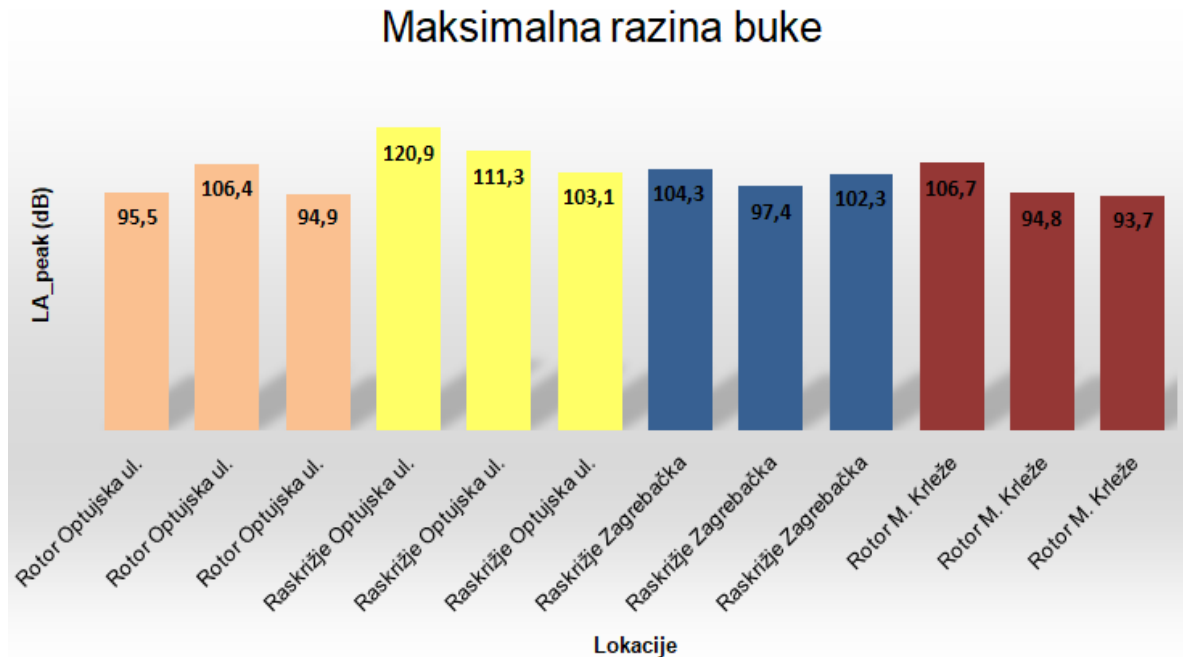
buke je bila na rotoru kod Ulice Zrinskih i Frankopana i Ulice Miroslava Krleže (Slika 24. i 25.).



Slika 23. Ukupan broj vozila koja su prošla za vrijeme mjerenja od 30 minuta



Slika 24. Prosječna razina buke sa 4 lokacije mjerena u 9, 12 i 15 sati po 30 minuta



Slika 25. Maksimalna razina buke sa 4 lokacije mjerena u 9, 12 i 15 sati po 30 minuta

Slično istraživanje provedeno je u talijanskom gradu Aci S. Antonio, u prigradskom cestovnom okruženju kako bi se procijenila buka koja nastaje na raskrižjima. (Distefano & Leonardi, 2019) Istraživanje je provedeno također na dva rotorska i na dva standardna semaforska raskrižja. Ključna značajka ovog istraživanja je da su sva raskrižja koja su odabrana za istraživanje smještena duž iste rute i karakterizirana sličnim prometnim tokovima i duž glavnog i uz sekundarne krakove. Usporedbom akustičkih parametara (ekvivalentna razina buke, minimalna razina buke i maksimalna razina buke) izmjerenih u blizini određenih raskrižja, bilo je moguće naglasiti prednosti kružnih tokova u smislu niže emisije buke. Vrijednosti maksimalne razine buke izmjerene na standardnim raskrižjima su za 4–5 dB veće od onih izmjerenih na kružnim raskrižjima, a vrijednosti minimalne razine buke su gotovo identične za sve četiri lokacije. Učinak ublažavanja buke kružnih tokova potvrđuje se analizom ekvivalentne razine buke – rezultati dobiveni na kružnim tokovima kreću se u rasponu od približno 63 dB do 66 dB, dok rezultati na standardnim raskrižjima variraju između 67 dB i 70 dB. Dobivene vrijednosti

pokazuju da je kod standardnih raskrižja ekvivalentna razina buke u prosjeku veća za oko 3-4 dB u odnosu na kružne tokove (Distefano & Leonardi, 2019).

Rezultati dobiveni mjerenjem u ovom radu također pokazuju prednosti kružnih raskrižja u odnosu na standardna raskrižja sa stajališta razine buke. Na rotoru u Optujskoj ulici ekvivalentna razina buke se kreće u rasponu od 65.6–67 dB, a na raskrižju u Optujskoj ulici u rasponu od 73.1–73.4 dB. Razlika u izmjerenim vrijednostima doseže i do 7.7 dB što je jako velika vrijednost s obzirom da su mjerenja provedena duž iste rute i karakterizirana sličnim prometnim tokovima. Na rotoru kod ulice Miroslava Krleže i Zrinskih i Frankopana ekvivalentna razina buke se kreće u rasponu od 63.5–67 dB, a na raskrižju ulice Miroslava Krleže, Zagrebačke i Frana Supila u rasponu od 67.6–68.7 dB. Također je velika razlika u izmjerenim vrijednostima, a iznosi 4.8 dB što je približno jednak rezultat kao i u istraživanju provedenom u talijanskom gradu Aci S. Antonio.

U 2004. godini napravljena su mjerenja buke u gradu Varaždinu za potrebe izrade karte buke (Štimac & sur, 2005). Prikazani su rezultati mjerenja buke sa 49 lokacija u Varaždinu. U to vrijeme još nije postojao rotor na lokaciji Optujske ulice te je izmjerena razina buke bila 67.9 dB što je za nekoliko dB više nego rezultati dobiveni u ovom radu koji se kreću u rasponu od 65.6–67 dB. Lokacija Optujska - G. Krkleca - E. Kumičića je imala izmjerenu vrijednost od 71.2 dB, dok se rezultati u ovom radu na istoj lokaciji kreću u rasponu od 73.1–73.4 dB te se može primijetiti povećanje razine buke. Lokacija Zagrebačka – M. Krleže – F. Supila je 2004. imala izmjerenu razinu buke 67.5 dB, dok se vrijednost u radu kreće u rasponu od 67.7–68.7 dB te se također može primijetiti malo povećanje. Lokacija M. Krleže – Zrinskih i Frankopana je imala izmjerenu razinu buke 65.9 dB što je približno jednako s rezultatima dobivenim u radu s obzirom da se oni kreću u rasponu od 63.5–67 dB. Razlog povećanju razine buke (2004. – 2021.) leži u činjenici da se broj vozila znatno povećao na tim lokacijama ako se u obzir uzme razvoj tih dijelova grada Varaždina (novi trgovački centri, razvoj stambene i industrijske zone, obilaznica i slično...).

Na temelju mjerenja razine buke cestovnog prometa procijenilo se da izmjerene razine ekvivalentne buke (LAeq) prelaze dozvoljene zakonske norme od 65 dB. (NN, 145/2004.)

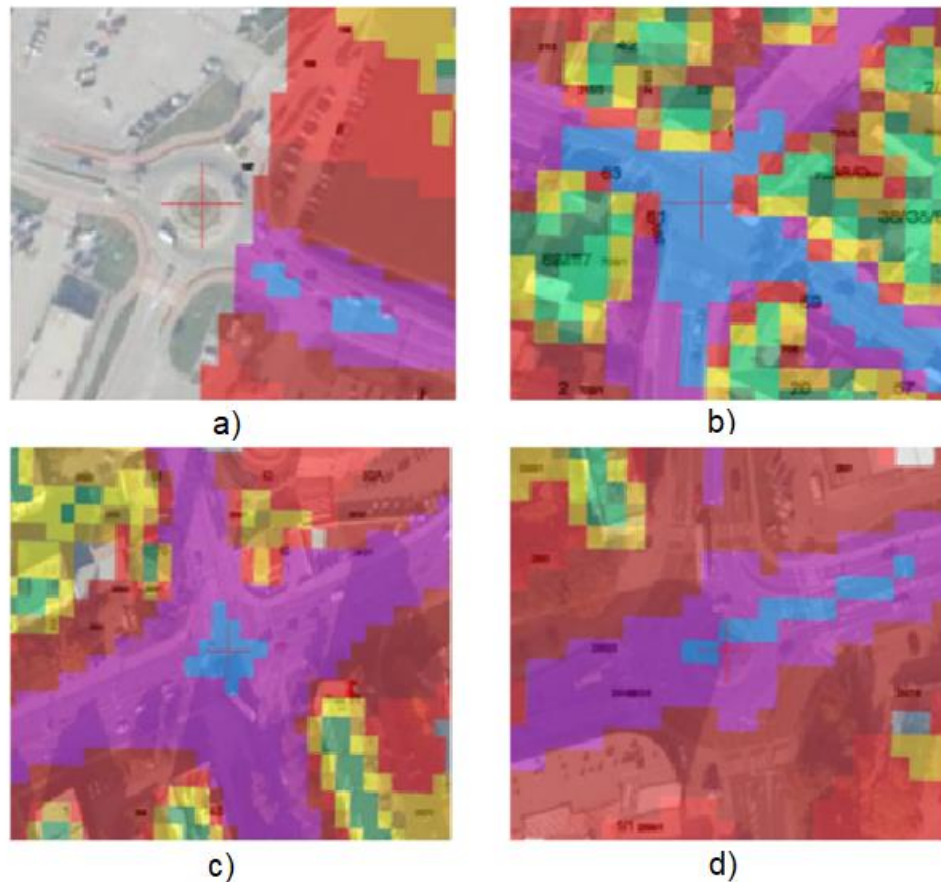
U Tablici 3. nalazi se sumarni rezultati svih mjerenja. Prikazani su datum mjerenja, lokacija, vrijeme početka mjerenja, vrijeme završetka mjerenja, prosječna razina buke, maksimalna razina buke i broj automobila, kamiona, autobusa i motora koji su prošli za vrijeme mjerenja.

Pravilnik (NN, 145/2004.) definira 5-30 min kao relevantnu mjeru za ekvivalentnu razinu buke. Da su mjerenja obavljena svaki sat od 7-19 rezultat bi bio još precizniji.

Tablica 3. Sumirani rezultati svih mjerenja

Datum	Lokacija	Vrijeme start	Vrijeme stop	LA_eq (dB)	LA_peak (dB)	Broj automobila	Ukupni broj kamiona autobusa i motora	Crveno svjetlo (broj koliko se puta upalilo)
12.4.2021.	Rotor Optujska ul.	9:00	9:30	66.0	95.5	520	30	/
12.4.2021.	Rotor Optujska ul.	12:00	12:20	67.0	106.4	310	25	/
12.4.2021.	Rotor Optujska ul.	15:00	15:30	65.6	94.9	620	13	/
14.4.2021.	Raskrižje Optujska ul.	9:00	9:30	73.1	120.9	615	25	50
14.4.2021.	Raskrižje Optujska ul.	12:00	12:30	73.4	111.3	830	43	50
14.4.2021.	Raskrižje Optujska ul.	15:00	15:30	73.1	103.1	950	26	50
15.4.2021.	Raskrižje Zagrebačka ul.	9:00	9:30	68.7	104.3	730	17	40
15.4.2021.	Raskrižje Zagrebačka ul.	12:00	12:30	67.6	97.4	1050	13	40
15.4.2021.	Raskrižje Zagrebačka ul.	15:00	15:30	68.3	102.3	990	9	40
16.4.2021.	rotor M. Krlježe	9:00	9:30	67.0	106.7	450	4	/
16.4.2021.	rotor M. Krlježe	12:00	12:30	63.5	94.8	300	11	/
16.4.2021.	rotor M. Krlježe	15:00	15:30	63.8	93.7	420	7	/

Na karti buke u programu GIS (Grad Varaždin GIS) pregledana je razina buke na 4 lokacije na kojima se vršilo mjerenje (Slika 26.).



Slika 26. a) Lokacija 1. rotor Optujska, b) Lokacija 2. raskrižje Optujska - G. Krkleca - E. Kumičića. c) Lokacija 3. raskrižje Zagrebačka – M. Krleže – F. Supila, c) Lokacija 4. M. Krleže – Zrinskih i Frankopana. Ljubičasta boja označava razinu buke iznad 84 dB, crvena od 76–84 dB, žuta od 68–76 dB, zelena od 60–76 dB, svijetlo plava od 52–60 dB, tamno plava od 44–52 dB i crna sve niže od 44 dB.

Na lokaciji 1. karta buke ne zahvaća u potpunosti lokaciju. Na slikama na kojima se nalaze lokacije 1., 2. i 3. vidimo da je na cesti najviše zastupljena ljubičasta boja što znači da razina buke prelazi 84 dB, a površina oko ceste je u najvećoj mjeri u crvenoj boji što znači da je razina buke u rasponu od 76 – 84 dB. Treba naglasiti da su ovo vrijednosti prema mjerenjima iz 2004. godine (Štimac & sur, 2005) kad rotorska raskrižja nisu postojala na tim lokacijama. Također, karta je napravljena

modeliranjem mjerenja uzimajući u obzir okolne parametre (zgrade, drveća, broj vozila...)

Usporedbom rezultata mjerenja iz ovog rada sa Slikom 26., može se zaključiti da rotorska raskrižja smanjuju razinu buke na tim raskrižjima za minimalno 3 dB (i više), dok su na klasičnim semaforskim raskrižjima izmjerene vrijednosti slične ako uzmemo površinu oko ceste i smanjenje buke s udaljenošću od glavnog izvora buke (promet). Rotorska raskrižja kao dio sustava upravljanja bukom cestovnog prometa, pogotovo na cestovnim raskrižjima s najvećim brojem vozila u najprometnije doba dana, svakako doprinose smanjenju emisije buke u okoliš i utjecaju na ljude što se pokazalo u ovom radu. Svakako je poželjno nastaviti i proširiti mjerenja iz ovog rada i na druge gradove i lokacije klasičnih raskrižja s ciljem smanjenja razine buke prometa u urbanim sredinama.

6.ZAKLJUČAK

Treba posvetiti veliku pažnju smanjenju razine buke prometa u urbanim sredinama jer je u protivnom velika vjerojatnost da će se razina buke povećati. Razlog tome je konstantno povećanje broja vozila i prijeđenih kilometara po vozilu, posebno kad se radi o teretnom cestovnom prijevozu. Radi smanjivanja izloženosti povišenim razinama buke, potrebno je primijeniti određene mjere zaštite kako bi se smanjio negativan utjecaj na ljude i spriječile posljedice koje buka može prouzročiti na ljudsko zdravlje.

Dobiveni rezultati mjerenja u radu pokazuju prednosti kružnih raskrižja u odnosu na standardna raskrižja sa stajališta razine buke. Razlika u izmjerenim vrijednostima na rotoru u Optujskoj ulici (Lokacija 1) i na raskrižju u Optujskoj ulici (Lokacija 2) doseže i do 7.7 dB što je jako velika vrijednost s obzirom da su mjerenja provedena duž iste rute i karakterizirana sličnim prometnim tokovima.

Također je velika razlika u izmjerenim vrijednostima kad se usporede raskrižje kod ulice Miroslava Krleže, Zagrebačke i Frana Supila (Lokacija 3) i rotor kod ulice Miroslava Krleže i Zrinskih i Frankopana (Lokacija 4) te iznosi 4.8 dB.

Ovim mjerenjima se pokazalo da rotori mogu doprinijeti smanjenju razine buke u urbanim sredinama, ali je potrebno obratiti pažnju i na druge faktore koji utječu na razinu buke kao što su npr. vrsta i temperatura podloge, brzina i promjena dinamike vožnje, broj i vrste vozila i sl. što se može uzeti u obzir za neka naredna istraživanja i doprinos smanjenju buke u urbanim sredinama.

Literatura

- Beton Lučko. (2012.). Preuzeto 5. 06. 2021. iz Ruconbar:
<https://www.betonlucko.hr/ruconbar.html>
- CCOHS . (26. 11. 2019.). Preuzeto 7. 5. 2021. iz Noise - Basic Information:
https://www.ccohs.ca/oshanswers/phys_agents/noise_basic.html#figure1
- City of Cape Town. (2015.). *City of Cape Town*. Preuzeto 7. 5. 2021. iz WHAT IS NOISE?:
<https://resource.capetown.gov.za/documentcentre/Documents/Graphics%20and%20educational%20material/What%20is%20noise.pdf>
- Commission, E. (4. 11. 1996). *Green Paper – Future Noise Policy*. Preuzeto 11. 06. 2021. iz Commission of the european communities: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:1996:0540:FIN:EN:PDF>
- Covaciu, D., Florea, D., & Timar, J. (2015). Estimation of the noise level produced by road traffic in roundabouts. *Applied Acoustics* , 43-51.
- Directive70/157/EEC. (6. 02. 1970.). *Council Directive on the approximation of the laws of the Member States relating to the permissible sound level and the exhaust system of motor vehicles*. Preuzeto 25. 05. 2021. iz Official Journal of the European Communities:
<https://www.legislation.gov.uk/eudr/1970/157/adopted>
- Distefano, N., & Leonardi, S. (2019). Experimental investigation of the effect of roundabouts on noise emission level from motor vehicles. *Noise Control Engineering Journal* 67 (4) , 282-294.
- Distefano, N., Leonardi, S., & Pulvirenti, G. (04. 2018). "Factors with the greatest influence on drivers' judgment of roundabouts safety. An analysis based on web survey in Italy. *IATSS Research* 42 , 265-273.
- European Commission, W. G. (18. 07. 2002). *Inventory of noise mitigation method*. Preuzeto 5. 06. 2021. iz
https://www.hoevelakenbereikbaar.nl/www2/MilieuZaken/geluid_en_geluidsschermen/Noise%20mitigation%20methods.pdf
- Grad Varaždin GIS. (n.d.). Preuzeto 9. 06. 2021. iz <https://gis.varazdin.hr/#>
- Jelaković, T. (1977.). *Tranzitorska audiopojачala*. Zagreb: Školska knjiga.
- Kraut, B. (2009). *Strojarski priručnik*. Zagreb.
- Lakušić, S., Dragčević, V., & Rukavina, T. (2005.). Mjere za smanjenje buke od prometa u urbanim sredinama. *Građevinar* 57 , 1-9.
- Larsondavis.com. (2017.). *Advanced Sound Level Meter for Architectural, Environmental & Product Noise Analysis*. Preuzeto 25. 05. 2021. iz
http://www.larsondavis.com/ContentStore/mktg/LD_Brochures/LD_831_Lowres.pdf

NN, 1. (145/2004.). Pravilnik o najvišim dopuštenim razinama buke u sredini u kojoj ljudi rade i borave. Narodne novine Broj 2548.

Noise protection. (2003.). *Forster Metallbau GmbH* . reklamni materijal.

Petošić, A., Grubeša, S., & Suhaneč, M. (lipanj 2018). *Osnove akustike, buka okoliša i zvučna izolacija te mjere za zaštitu od buke u otvorenom i zatvorenom prostoru*. Preuzeto 2. 06. 2021. iz https://www.fer.unizg.hr/_download/repository/Skripta_-_Osnove_akustike2018.pdf

Phillips, S., & Kinsey, P. (2001). Aspects of vehicle and traffic noise control. Berlin.

RF Cafe. (2003.). *RF Cafe*. Preuzeto 7. 5. 2021. iz Speed of Sound in Various Materials: <https://www.rfcafe.com/references/general/velocity-sound-media.htm>

Stanzel, B. (2000.). Lärmschutzprojekte in Wien. *Architekturbüro Stanzel* . Wien.

SYLVIE. (October 2002.). Kooperatives Lärm Sanierungsverfahren, initiierung und begleitung. Wien.

Štimac, A., Mandžuka, F., & Mučnjak, J. (23-24. June 2005). *TRANSPOSITION OF THE END IN CROATIA: TRAFFIC NOISE MAP OF THE CITY OF VARAŽDIN*. Preuzeto 10. 06. 2021. iz CROSBİ: <https://www.bib.irb.hr/202621>

Popis slika

Slika 1. Stvaranje zvučnih valova (CCOHS , 2019.)

Slika 2. Zvučni tlak i razina zvučnog tlaka u različitim izvorima buke

Slika 3. Frekvencijski spektar buke (Petošić & sur, 2018)

Slika 4. Ruconbran – ekološka barijera za zaštitu od buke (Beton Lučko, 2012.)

Slika 5. Prozirna barijera za zaštitu od buke i za prikupljanje sunčeve energije u Beču (SYLVIE, 2002.)

Slika 6. Obloženi zidovi podvožnjaka apsorbirajućim panelima (Noise protection, 2003.)

Slika 7. Prozirna barijera za zaštitu od buke (Stanzel, 2000.)

Slika 8. Zaštitna barijera uz željezničku prugu (Noise protection, 2003.)

Slika 9. Uređaj za mjerenje buke (Larsondavis.com., 2017.)

Slika 10. a) Rotor u Optujskoj ulici, b) Raskrižje u Optujskoj ulici, c) Raskrižje kod Zagrebačke ulice, c) Rotor kod ulice M. Krleže

Slika 11. Prikaz mjerenja buke na rotoru u Optujskoj ulici u razdoblju od 9:00 do 9:30

Slika 12. Prikaz mjerenja buke na rotoru u Optujskoj ulici u razdoblju od 12 do 12:20

Slika 13. Prikaz mjerenja buke na rotoru u Optujskoj ulici u razdoblju od 15 do 15:30

Slika 14. Prikaz mjerenja buke na raskrižju Optujske ulice sa Ulicom Gustava Krkleca i Eugena Kumičića u periodu od 9:00 do 9:30

Slika 15. Prikaz mjerenja buke na raskrižju Optujske ulice sa Ulicom Gustava Krkleca i Eugena Kumičića u periodu od 12:00 do 12:30

Slika 16. Prikaz mjerenja buke na raskrižju Optujske ulice sa Ulicom Gustava Krkleca i Eugena Kumičića u periodu od 15:00 do 15:30

Slika 17. Prikaz mjerenja buke na raskrižju Zagrebačke ulice sa Ulicom Frana Supila i Miroslava Krleže u periodu od 9:00 do 9:30

Slika 18. Prikaz mjerenja buke na raskrižju Zagrebačke ulice sa Ulicom Frana Supila i Miroslava Krleže u periodu od 12:00 do 12:30

Slika 19. Prikaz mjerenja buke na raskrižju Zagrebačke ulice sa Ulicom Frana Supila i Miroslava Krleže u periodu od 15:00 do 15:30

Slika 20. Prikaz mjerenja buke na rotoru kod Ulice Zrinskih i Frankopana i Ulice Miroslava Krleže u periodu od 9:00 do 9:30

Slika 21. Prikaz mjerenja buke na rotoru kod Ulice Zrinskih i Frankopana i Ulice Miroslava Krleže u periodu od 12:00 do 12:30

Slika 22. Prikaz mjerenja buke na rotoru kod Ulice Zrinskih i Frankopana i Ulice Miroslava Krleže u periodu od 15:00 do 15:30

Slika 23. Ukupan broj vozila koja su prošla za vrijeme mjerenje od 30 minuta

Slika 24. Prosječna razina buke sa 4 lokacije mjerena u 9, 12 i 15 sati po 30 minuta

Slika 25. Maksimalna razina buke sa 4 lokacije mjerena u 9, 12 i 15 sati po 30 minuta

Slika 26. a) Lokacija 1. rotor Optujska, b) Lokacija 2. raskrižje Optujska - G. Krkleca - E. Kumičića. c) Lokacija 3. raskrižje Zagrebačka – M. Krleže – F. Supila, c) Lokacija 4. M. Krleže – Zrinskih i Frankopana.

Popis tablica

Tablica 1. približna brzina zvuka u zraku i drugim materijalima (RF Cafe, 2003.)

Tablica 2. Smanjenje buke u ovisnosti o odabiru mjere zaštite (Lakušić & sur, 2005.)

Tablica 3. Sumirani rezultati svih mjerenja