

Primljen / Received: 21.7.2020.

Ispravljen / Corrected: 7.9.2020.

Prihvaćen / Accepted: 28.9.2020.

Dostupno online / Available online: 10.1.2021.

Utjecaj opreme za smirivanje prometa na razine buke u okolišu

Autori:

Dr.sc. **Tamara Džambas**, mag.ing.aedif.Sveučilište u Zagrebu
Građevinski fakultet
Zavod za prometnice
tamara.dzambas@grad.unizg.hr

Autor za korespondenciju

Prof.dr.sc. **Vesna Dragčević**, dipl.ing.građ.Sveučilište u Zagrebu
Građevinski fakultet
Zavod za prometnice
vesna.dragcevic@grad.unizg.hr**Josip Lakušić**, mag.ing.aedif.
TRASA ADRIA d.o.o., Hrvatska
josip@trasaadria.hr

Prethodno priopćenje

Tamara Džambas, Vesna Dragčević, Josip Lakušić

Utjecaj opreme za smirivanje prometa na razine buke u okolišu

Sve veći broj stanovnika u urbanim sredinama izložen je štetnom djelovanju buke okoliša, koja u značajnoj mjeri narušava njihovo zdravlje i kvalitetu života. Dominantan izvor buke okoliša u takvim područjima je cestovni promet, a jedna od učestalo primjenjivanih mjera za smanjenje razina buke je smanjenje brzine vožnje. U radu je analizirano kako oprema za smirivanje prometa, koja se uobičajeno primjenjuje radi povećanja sigurnosti prometa, utječe na smanjenje razina buke. Analiza je provedena na sedam dvotračnih dvosmjernih gradskih cestovnih prometnica na kojima su ugrađeni različiti tipovi umjetnih izbočina i uzdignutih ploha.

Ključne riječi:

oprema za smirivanje prometa, umjetne izbočine, uzdignute plohe, zaštita od buke, cestovni promet

Research Paper

Tamara Džambas, Vesna Dragčević, Josip Lakušić

Impact of vertical traffic calming devices on environmental noise

Increasing numbers of people living in urban areas are being exposed to harmful action of environmental noise, which severely affects their health and quality of life. The predominant source of environmental noise in such areas is road traffic, and a frequently used measure to curb down this noise involves reduction of driving speed. The influence of vertical traffic calming devices, normally used to improve traffic safety, on the degree of noise reduction, is analysed in this study. The analysis was carried out on seven urban two-lane two-way roads, on which various types of speed bumps and speed humps are installed.

Key words:

traffic calming devices, speed bumps, speed humps, noise protection, road traffic

Vorherige Mitteilung

Tamara Džambas, Vesna Dragčević, Josip Lakušić

Einfluss verkehrsberuhigender Vorrichtungen auf den Umgebungslärmpegel

Immer mehr Einwohner in städtischen Gebieten sind den schädlichen Auswirkungen von Umgebungslärm ausgesetzt, die ihre Gesundheit und Lebensqualität erheblich beeinträchtigen. Die Hauptquelle für Umgebungslärm in solchen Gebieten ist der Straßenverkehr, und eine der häufig angewendeten Maßnahmen zur Senkung des Geräuschpegels ist die Reduzierung der Fahrgeschwindigkeit. Die Arbeit analysiert, wie sich verkehrsberuhigende Vorrichtungen, die üblicherweise zur Erhöhung der Verkehrssicherheit eingesetzt werden, auf die Senkung des Geräuschpegels auswirken. Die Analyse wurde auf sieben zweispurigen Zwei-Wege-Stadtstraßen durchgeführt, auf denen verschiedene Arten von künstlichen Vorsprüngen und erhöhten Oberflächen installiert wurden.

Schlüsselwörter:

Verkehrsberuhigungsmittel, künstliche Vorsprünge, erhöhte Oberflächen, Lärmschutz, Straßenverkehr

1. Uvod

Prekomjerne razine buke sve su veći problem današnjice [1]. Uslijed ubrzanog postupka urbanizacije, koji je rezultirao time da više od polovine svjetskog stanovništva te više od tri četvrtine stanovništva Europske unije sada živi u gradovima, sve veći broj ljudi izložen je štetnom djelovanju buke okoliša [2]. Dominantan izvor buke okoliša u urbanim sredinama bez dvojbe je cestovni promet – oblik prometa koji značajno više narušava zdravlje i kvalitetu života ljudi negoli željeznički i zračni promet zajedno [3]. Brojna istraživanja su pokazala da buka od cestovnog prometa negativno utječe na čovjekove kognitivne sposobnosti i psihofizičko zdravlje te uzrokuje hormonalne poremećaje, dijabetes i kardiovaskularne bolesti [4-8]. Visoke razine buke u periodima večeri i noći poseban su problem, jer ometaju ljude tijekom odmora i spavanja te posljedično onemogućuju normalno funkcioniranje ljudskog organizma danju [9].

Mjere koje se uobičajeno koriste za smanjenje razina buke od cestovnog prometa u urbanim sredinama su: izgradnja tihih voznih površina, razvoj tiših vozila i pneumatika te upravljanje prometom (smanjenje brzine vožnje, osiguranje slobodnog prometnog toka noću, preusmjeravanje određenog postotka prometa na druge prometnice u gradu, zabranu ulaska motornih vozila u uže središte grada te poticanje vozača na pasivnije načine vožnje) [10]. Smanjenje brzine vožnje može se postići prometno-tehničkim i građevinskim mjerama. Prve se najčešće odnose na ograničenje dopuštene brzine vožnje i kontrolu brzine, a druge na izbor elemenata poprečnog presjeka i primjenu opreme za smirivanje prometa [11]. Predmet ovog istraživanja je analiza utjecaja opreme za smirivanje prometa, točnije umjetnih izbočina i uzdignutih ploha, na smanjenje razina buke od cestovnog prometa u urbanim sredinama.

2. Regulatorna i pregled dosadašnjih istraživanja

Donosi se kraći opis hrvatske regulatorne vezane uz primjenu opreme za smirivanje prometa i daje se pregled dosadašnjih istraživanja u kojima je analiziran utjecaj umjetnih izbočina i uzdignutih ploha na sigurnost prometa i stanje bučnosti u urbanim sredinama.

2.1. Regulatorna

Prema hrvatskom Pravilniku o prometnim znakovima, signalizaciji i opremi na cestama [12], pod pojmom opreme i mjera za smirivanje prometa podrazumijevaju se sva fizička, svjetlosna i druga pomagala i zapreke s pomoću kojih se utječe na smanjenje brzine kretanja vozila na ugroženom dijelu cestovne prometnice. Osim smanjenja brzine vožnje, one se među ostalim primjenjuju i kada se žele smanjiti broj i posljedice prometnih nesreća, promijeniti navike vozača te spriječiti zagađenje okoliša.

S obzirom na način djelovanja, oprema i mjere za smirivanje prometa propisane Pravilnikom [12] mogu se podijeliti u sljedeće tri skupine:

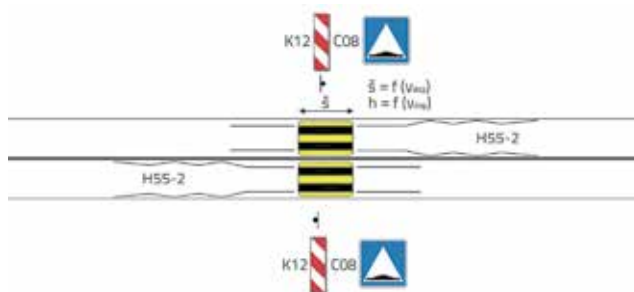
- fizičke zapreke (prisilno smanjenje brzine vožnje): umjetne izbočine, uzdignute plohe
- oprema za upozorenje (vizualno, zvučno, vibracijama): optičke bijele crte upozorenja, preventivni radarski mjerači s pokazivačem brzine kretanja vozila, trake za zvučno upozoravanje, vibracijske trake
- oprema za vođenje prometa (sprječavanje prolaska i usmjeravanje vozila): stupići za sprječavanje prolaska i usmjeravanje vozila.

Umjetne izbočine i uzdignute plohe u pravilu se postavljaju na lokalnim i nerazvrstanim cestama pored javnih objekata i prostora (škola, vrtića, igrališta i sl.) na kojima je nužno usporavanje brzine kretanja vozila radi sigurnosti prometa, i to na temelju prometnog elaborata i analize opravdanosti [13], uz prethodnu suglasnost po članku 44. Zakona o javnim cestama [14]. Primjena takvih zašrek nije dopuštena na cestama i ulicama kojima se učestalo kreću vozila hitne pomoći (npr. prilazi bolnicama).

Moraju biti označene odgovarajućim prometnim znakovima i oznakama na kolniku, a površina im treba biti izrađena od neklizajućeg materijala te označena stalnim retroreflektirajućim materijalima na strani s koje se vozilo približava. Potrebno ih je dobro usidriti u kolnički zastor kako bi se prilikom prolaska vozila spriječilo odvajanje pojedinačnih elemenata ili njihovih dijelova. Poprečno na smjer vožnje, na spoju s kolnikom, ne smiju imati rubove.

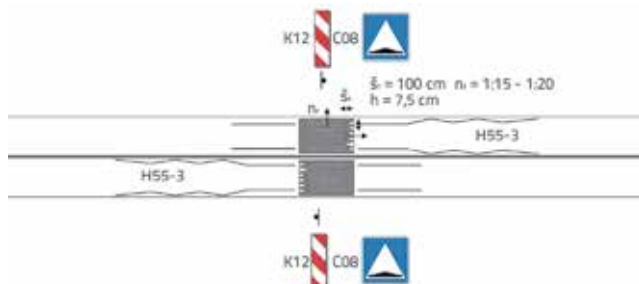
Umjetne izbočine su gotovi modularni proizvodi od gume ili plastike (za brzine manje od 30 km/h mogu se izrađivati i od asfalta) konveksnog profila, koji se postavljaju prije zone smirivanja prometa preko polovine ili po cijeloj širini prometnog traka, većinom u stambenim zonama (slika 1.). Moraju se razlikovati od kolne površine ceste po boji tako da su dobro vidljive danju i noću te obilježiti crtama usmjeravanja H55 ili H55-2. Postavljaju li se u nizu, njihova međusobna udaljenost ovisno o situaciji može iznositi od 20 do 60 m. Granične dimenzije umjetnih izbočina ovise o ograničenju brzine vožnje te iznose:

- $V_{dop} \leq 50$ km/h: širina min. 60 cm, visina maks. 3 cm;
- $V_{dop} \leq 40$ km/h: širina min. 90 cm, visina maks. 5 cm;
- $V_{dop} \leq 30$ km/h: širina min. 120 cm, visina maks. 7 cm.



Slika 1. Umjetne izbočine prema [12]

Uzdignute plohe su građevinski izvedene površine trapeznog profila za prisilno smanjivanje brzine, koje se postavljaju pojedinačno ili u nizu, obično ispred obilježenih pješačkih prijelaza u naseljima (slika 2.). Moraju se razlikovati od kolne površine ceste po boji tako da su dobro vidljive danju i noću te obilježiti crtama usmjeravanja H55-1 ili H55-3. Visina uzdignute plohe iznosi 7,5 cm, nagib prilaznih rampi 1:15 do 1:20, a dužina prilaznih rampi 100 cm.



Slika 2. Uzdignute plohe prema [12]

2.2. Dosadašnja istraživanja

Brojna istraživanja su pokazala da se primjenom fizičkih zapreka (umjetnih izbočina i uzdignutih ploha) na kritičnim mjestima unutar naseljenih područja značajno smanjuje brzina vožnje te prema tome bitno umanjuju broj i posljedice prometnih nesreća, a posebice onih koje uključuju pješake koji stradavaju prilikom prelaska preko pješačkih prijelaza [15, 16]. U studiji [17] se navodi da se najveći broj prometnih nesreća koje rezultiraju smrtnim ishodima pješaka događa pri brzinama između 30 i 50 km/h, koje su karakteristične za gradske sredine. Parametri fizičkih zapreka koji najviše utječu na smanjenja brzine vožnje jesu duljina rampe i visina. Što je rampa dulja, brzine vožnje preko zapreke su manje [18], a s porastom visine zapreke za 1 cm, brzina vožnje smanjuje se za 1 km/h [19]. Osim navedenog, vrlo je bitno da zapreka bude izrađena od adekvatnih materijala kako na njoj ne bi došlo do klizanja pneumatika vozila, da bude proizvedena s minimalnim odstupanjima od propisanih dimenzija, da se pravilno označi odgovarajućom horizontalnom i vertikalnom signalizacijom, da se postavi na odgovarajućoj udaljenosti od cestovnih raskrižja i pješačkih prijelaza te da je vidljiva s dovoljno velike udaljenosti (da je osigurana zahtijevana duljina preglednosti do te zapreke) [20].

Manjkavosti primjene fizičkih zapreka su sljedeće: otežavaju postupak uklanjanja snijega s kolnika u zimskim mjesecima; usporavaju promet vozila hitne pomoći i vatrogasnih vozila (i do 10 s po zapreci); opasne su za motocikliste koji prilikom pada s motora i pri relativno malim brzinama vožnje zadobivaju teške tjelesne ozljede; neposredno prije i nakon njih na kolniku se stvaraju kolotrazi i rupe zbog kojih se povećavaju troškovi njegova održavanja; nije moguće oblikovati zapreku koja bi rezultirala istim smanjenjem brzine i istom razinom udobnosti za sva vozila (za teretna vozila i autobuse prelazak preko zapreka izrazito je neudoban, čak i pri vrlo malim brzinama vožnje, dok

se primjerice u sedan i SUV vozilima s pogonom na sva četiri kotača takav prelazak gotovo i ne osjeti); vozači osobnih vozila zbog neudobnosti često izbjegavaju prelazak preko njih (zaobilaze ih preko dodatnog traka za vozila javnog prijevoza, stajališta za autobuse i sl., prolaze između dviju zapreka koje se nalaze u susjednim prometnim trakovima te prometuju okolnim ulicama u kojima se posljedično povećava volumen te smanjuje sigurnost prometa); stara vozila i vozila s niskim podvozjem se i pri malim brzinama vožnje prilikom prelaska preko takvih zapreka oštećuju; na dijelovima usporenja i ubrzanja, prije i nakon zapreke, povećavaju se potrošnja goriva i emisija štetnih plinova (CO otprilike za 60 %, HC za približno 50 %, CO₂ za približno 25 %); često se ugrađuju ilegalno, bez dozvole lokalnih samouprava (neispravna izvedba može rezultirati oštećenjem vozila i smanjenom sigurnosti prometa) [20-25].

Rezultati dosadašnjih istraživanja u kojima je analiziran utjecaj fizičkih zapreka na postojeće stanje bučnosti u urbanim sredinama pokazali su da se razine buke u području zapreka mogu smanjiti, povećati ili ostati nepromijenjene. Parametri koji na to utječu su sljedeći: vrsta zapreke, pravilnost njezine izvedbe, odabir lokacije na kojoj se ona postavlja, struktura prometnog toka, ponašanje vozača i način postavljanja prometne signalizacije [26].

U istraživanju [27] se navodi da smanjenje brzine vožnje u iznosu od 30 km/h u području fizičke zapreke gotovo uvijek rezultira smanjenjem razina buke. Studija provedena u Velikoj Britaniji [28] pokazala je sljedeće: u slučaju kada vozači osobnih vozila na mjestu dviju uzastopnih zapreka smanje brzinu vožnje za prosječno 16 km/h, razine buke na njima se smanje za 8,2 dB(A), a između njih za 3,9 dB(A); u slučaju kada brzina vožnje iznosi oko 20 km/h razine buke osobnih vozila na mjestu zapreke smanje se za 10 dB(A), dok se razine buke autobusa i lakih teretnih (dostavnih) vozila povećaju za 4 dB(A) odnosno 8 dB(A). Autori koji su u svojoj studiji [29] mjerili razine buke osobnih vozila netom prije i nakon ugradnje dviju uzastopnih zapreka (međusobno udaljenih 50 m) zaključuju da su se razine buke na mjestu zapreka smanjile za 3 dB(A), a na potezu između njih za 1 dB(A).

Agresivna i brza vožnja, koja rezultira jakim udarom u fizičku zapreku te naglim usporenjem i ubrzanjem u zonama prije i nakon zapreke, najčešći je uzrok povećanja razina buke osobnih vozila na takvim lokacijama [30-33]. Pri tome se razine buke najviše povećaju na mjestu koje se nalazi 20 m nakon zapreke [34]. U studijama [23-25, 30] se navodi da prolazak autobusa i teretnih vozila preko zapreke rezultira većim porastom razina buke od prolaska osobnih vozila. Autori studije [35] ističu da su razine buke osobnih vozila pri manjim brzinama vožnje uvijek niže od razina buke teretnih vozila i autobusa koji se kreću istim brzinama. Razlog tomu je činjenica što kod takvih većih vozila pri manjim brzinama vožnje nije dominantna buka kotrljanja (buka koja nastaje uslijed trenja pneumatika vozila i površine kolnika), već buka motora i ispušnog sustava vozila.

Nadalje, rezultati istraživanja u kojima je analiziran utjecaj geometrije zapreke na stanje bučnosti pokazali su sljedeće:

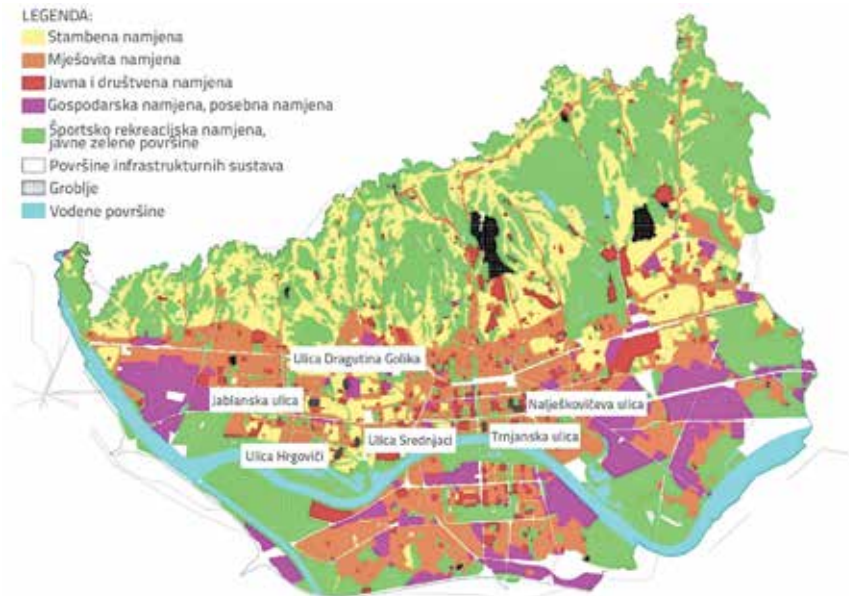
prilikom prelaska preko uzdignute plohe trapeznog profila, teretna vozila i autobusi proizveli su veće razine buke nego prilikom prelaska preko uzdignute plohe sinusoidnog profila, dok kod osobnih vozila nisu uočene značajne razlike u izmjerenim razinama buke uslijed prelaska preko zapreka različitih profila [36]; što je fizička zapreka duža, brzine vožnje i razine buke su manje [22]. I konačno, u istraživanju [37] je opisano na koji način čovjek percipira razinu smanjenja buke od cestovnog prometa: do 1 dB(A) uopće ne primjećuje; 3 dB(A) primjećuje; 6 dB(A) primjećuje u značajnoj mjeri; 10 dB(A) ima osjećaj da se jačina zvuka dvostruko smanjila.

3. Opis ispitivanja

Ispitivanje je provedeno na sedam cestovnih prometnica u gradu Zagrebu, na kojima su ugrađeni različiti tipovi umjetnih izbočina i uzdignutih ploha za smirivanje prometa (tablica 1.). Kriteriji za odabir navedenih lokacija bili su sljedeći:

- odabrana cestovna prometnica je dvotračna dvosmjerna prometnica;
- uzdužni nagib odabrane cestovne prometnice je manji od 1 % (zanemariv);
- promatrani dio odabrane cestovne prometnice u horizontalnom smislu se nalazi u pravcu i udaljen je od cestovnih raskrižja najmanje 50 m.

Na svim promatranim lokacijama nalaze se objekti mješovite, pretežito stambene namjene (slika 3.). Prema hrvatskom Pravilniku o najvišim dopuštenim razinama buke u sredini u kojoj ljudi rade i borave [38], razine buke uz prometnicu ne smiju biti veće od 65 dB(A) u periodima "dan" i "večer" te 50 dB(A) u periodu "noć". Trajanje perioda dana, večeri i noći propisano je Zakonom o zaštiti od buke [39]: period "dan" traje od 7:00 do 19:00 sati, period "večer" od 19:00 do 23:00 sata, a period "noć" od 23:00 do 7:00 sati. Najviše dopuštene planske razine buke propisane Generalnim urbanističkim planom (GUP-om) Grada



Slika 3. Lokacije na kojima su provedena ispitivanja [40]

Zagreba [40] ovise o namjeni prostora i stoga se često razlikuju i na različitim dijelovima jedne gradske prometnice. Na lokacijama promatranim u ovom istraživanju te se razine razlikuju i u većini su slučajeva niže od onih propisanih Pravilnikom (tablica 2.).

Tablica 2. Najviše dopuštene planske razine buke prema GUP-u Grada Zagreba [40]

Oznaka lokacije	L _{Aeq} (dB(A))	
	periodi "dan" i "večer"	period "noć"
L1	55	45
L2	50	50
L3	50	50
L4	50	50
L5	65	50
L6	50	50
L7	50	50

Na svakoj promatranoj lokaciji provedena su kratkotrajna mjerenja razina buke u trajanju od 15 min. Mjerenja su se

Tablica 1. Lokacije na kojima su provedena ispitivanja

Oznaka lokacije	Ulica	Gradska četvrt	Vrsta opreme za smirivanje prometa
L1	Ulica Dragutina Golika	Trešnjevka – sjever	trapezna gumena uzdignuta ploha
L2	Jablanska ulica	Trešnjevka – sjever	poprečna betonska umjetna izbočina
L3	Ulica Hrgovići	Trešnjevka – jug	zaobljena elipsasta gumena umjetna izbočina
L4	Ulica Srednjaci	Trešnjevka – jug	poprečna kockasta umjetna izbočina
L5	Trnjanska ulica	Trnje	poprečna gumena umjetna izbočina
L6	Nalješkovićeve ulica	Trnje	zaobljena elipsasta betonska umjetna izbočina
L7	Ulica Pile IV.	Trnje	uža poprečna betonska umjetna izbočina

provodila u periodima "dan" i "noć" primjenom dvaju Brüel & Kjær analizatora zvuka i integrirajuća zvukomjera tipa 2260 i 2270, koja su postavljena na horizontalnoj udaljenosti od 2,0 m od osi bližeg voznog traka te na visini od 1,2 m iznad površine terena. Mjerenja u periodu "večer" nisu provedena zato što se utjecaj opreme za smirivanje prometa na vrijednost razina buke želio ispitati u periodima s najvećom i najmanjom količinom prometa, odnosno u periodima dana i noći. Meteorološki uvjeti tijekom svih mjerenja bili su povoljni: temperatura zraka iznosila je 6°C - 10°C, brzina vjetra 2 m/s - 3 m/s, vlažnost zraka 50 % - 63 %, a tlak zraka 1007 hPa - 1010 hPa.

Kako bi se ispitao utjecaj opreme za smirivanje prometa na vrijednost razina buke od cestovnog prometa, zvukomjeri su postavljeni na sljedeći način (slika 4.):

- jedan zvukomjer se nalazio u presjeku u kojem se nalazila umjetna izbočina ili uzdignuta ploha (mjerno mjesto MM1)
- drugi zvukomjer se nalazio u presjeku koji se nalazio 50 m prije ili 50 m nakon umjetne izbočine ili uzdignute plohe (mjerno mjesto MM2).

Istovremeno s mjerenjem razina buke provedeno je i snimanje prometa, i to primjenom dviju GoPro kamera postavljenih uz zvukomjere u području mjernih mjesta MM1 i MM2 (slika 4.). Vrijeme prolaska pojedinog vozila kroz promatrane poprečne presjeke bilježeno je ručno na papiru, a svako je vozilo pri tome svrstano u jednu od sljedeće četiri skupine: osobni automobili, kombi vozila, laka teretna vozila, autobusi.

Brzina vožnje navedenih vozila nije mjerena mjernim uređajima, već su subjektivno procjenjivale osobe koje su mjerile buku i promet. Pri tome je bilježeno jesu li vozila prilikom prelaska preko opreme za smirivanje prometa "značajno", "malo" ili "gotovo niti malo" usporila.



Slika 4. Zvukomjeri i kamere u presjecima u kojima se nalazila oprema za smirivanje prometa

3.1. Ulica Dragutina Golika (L1)

U Ulici Dragutina Golika istraživanje je provedeno na dijelu između Vinkovačke i Županijske ulice, gdje se nalaze trapezne

gumene uzdignute plohe dimenzija 302,4 cm x 193,6 cm x 6,8 cm označene pločom (u obliku valjka) K05 (slika 5.). Na tom dijelu prometovali su osobni automobili, kombiji i laka teretna vozila te gradski autobusi. Ograničenje brzine vožnje u toj ulici iznosi 40 km/h.



Slika 5. Promatrani dio u Ulici Dragutina Golika i trapezne gumene uzdignute plohe [41]

3.2. Jablanska ulica (L2)

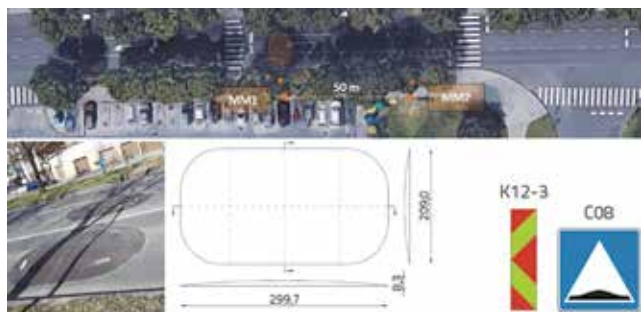
U Jablanskoj ulici istraživanje je provedeno na dijelu između Jablanske ulice Odvojak 1 i Rudeške ulice, gdje se nalazi poprečna betonska umjetna izbočina dimenzija 868,5 cm x 132,9 cm x 3,8 cm označena pločom (u obliku valjka) K05 (slika 6.). Tim dijelom prometovali su osobni automobili, kombiji i laka teretna vozila. Ograničenje brzine vožnje u ovoj ulici iznosi 40 km/h.



Slika 6. Promatrani dio u Jablanskoj ulici i poprečna betonska umjetna izbočina [41]

3.3. Ulica Hrgovići (L3)

U Ulici Hrgovići istraživanje je provedeno na dijelu između Ulice Bartolići i Ulice Bernarda Vukasa Bajde, gdje se nalaze zaobljene elipsaste gumene umjetne izbočine dimenzija 299,7 cm x 209,0 cm x 8,3 cm označene pločom K12-3 i prometnim znakom C08 (slika 7.). Tim dijelom prometovali su osobni automobili, a ograničenje brzine vožnje iznosi 50 km/h.



Slika 7. Promatrani dio u Ulici Hrgovići i zaobljene elipsaste gumene umjetne izbočine [41]

3.4. Ulica Srednjaci (L4)

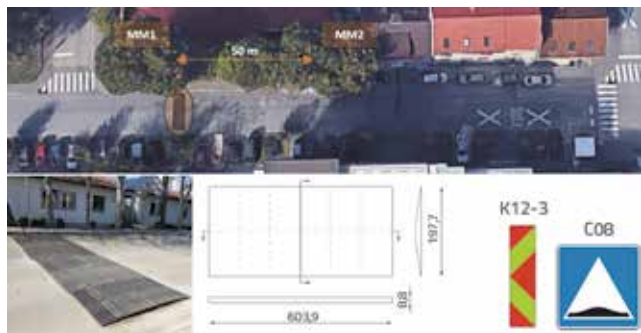
U Ulici Srednjaci istraživanje je provedeno na dijeli između Ulice Majstora Radovana i Horvačanske ceste, gdje se nalazi poprečna kockasta umjetna izbočina dimenzija 749,0 cm x 403,1 cm x 8,8 cm označena pločom K12-3 i prometnim znakom C08 (slika 8.). Tim dijelom prometovali su osobni automobili, a ograničenje brzine vožnje iznosi 40 km/h.



Slika 8. Promatrani dio u Ulici Srednjaci i poprečna kockasta umjetna izbočina [41]

3.5. Trnjanska ulica (L5)

U Trnjanskoj ulici istraživanje je provedeno na dijelu između Ulice Prudi IV. i Ulice Prudi, gdje se nalazi poprečna gumena umjetna izbočina dimenzija 603,9 cm x 197,7 cm x 8,8 cm označena pločom K12-3 i prometnim znakom C08 (slika 9.). Tim dijelom prometovali su osobni automobili, a ograničenje brzine vožnje iznosi 50 km/h.



Slika 9. Promatrani dio u Trnjanskoj ulici i poprečna gumena umjetna izbočina [41]

3.6. Nalješkovićeve ulica (L6)

U Nalješkovićevoj ulici istraživanje je provedeno na dijelu između Ulice Pile IV. i Zlatarićevog prilaza, gdje se nalaze zaobljene elipsaste betonske umjetne izbočine dimenzija 316,8 cm x 192,8 cm x 11,4 cm označene pločom K12-3 i prometnim znakom C08 (slika 10.). Tim dijelom prometovali su osobni automobili, a ograničenje brzine vožnje iznosi 40 km/h.



Slika 10. Promatrani dio u Nalješkovićevoj ulici i zaobljene elipsaste betonske umjetne izbočine [41]

3.7. Ulica Pile IV. (L7)

U Ulici Pile IV. istraživanje je provedeno na dijelu između Ulice Cvijete Zuzorić i Nalješkovićeve ulice, gdje se nalazi uska poprečna betonska umjetna izbočina dimenzija 607,3 cm x 98,7 cm x 3,7 cm označena pločom (u obliku valjka) K05 (slika 11.). Na tom dijelu prometovali su osobni automobili, a ograničenje brzine vožnje iznosi 40 km/h.



Slika 11. Promatrani dio u Ulici Pile IV. i uska poprečna betonska umjetna izbočina [41]

4. Rezultati ispitivanja

Rezultati mjerenja buke analizirani su u specijaliziranom računalnom programu Brüel & Kjær Evaluator Type 7820. U analizi je promatrano sljedeće (tablica 3.):

- maksimalne razine buke (L_{AFmax}) 10 ili manje uzastopnih pojedinačnih vozila određene skupine (osobni automobili, kombi i laka teretna vozila, autobusi) koja su bližim voznim

Tablica 3. Broj vozila iz pojedinih skupina koji je analiziran prilikom mjerenja buke pojedinačnih i svih vozila

Oznaka lokacije	Broj vozila															
	period "dan"								period "noć"							
	OA ^a		KV ^b		LTV ^c		A ^d		OA ^a		KV ^b		LTV ^c		A ^d	
	P ^e	S ^f	P ^e	S ^f	P ^e	S ^f	P ^e	S ^f	P ^e	S ^f	P ^e	S ^f	P ^e	S ^f	P ^e	S ^f
L1	10	133	10	12	4		4		10	51	0 ^g		0 ^g		2	
L2	10	103		5	4		0 ^g		8		0 ^g		0 ^g		0 ^g	
L3	10	73	0 ^g		0 ^g		0 ^g		0 ^g		0 ^g		0 ^g		0 ^g	
L4	10	81	0 ^g		0 ^g		0 ^g		6		0 ^g		0 ^g		0 ^g	
L5	10	47	0 ^g		0 ^g		0 ^g		6		0 ^g		0 ^g		0 ^g	
L6	10	36	0 ^g		0 ^g		0 ^g		0 ^g		0 ^g		0 ^g		0 ^g	
L7	10	37	0 ^g		0 ^g		0 ^g		0 ^g		0 ^g		0 ^g		0 ^g	

^a – osobni automobili, ^b – kombi vozila, ^c – laka teretna vozila, ^d – autobusi, ^e – mjerenje buke pojedinačnih vozila, ^f – mjerenje buke svih vozila, ^g – izuzeto iz daljnje analize

trakom prošla kroz promatrane presjeke (na mjestu opreme za smirivanje prometa te 50 m ispred ili nakon prepreke) u periodima "dan" i "noć"

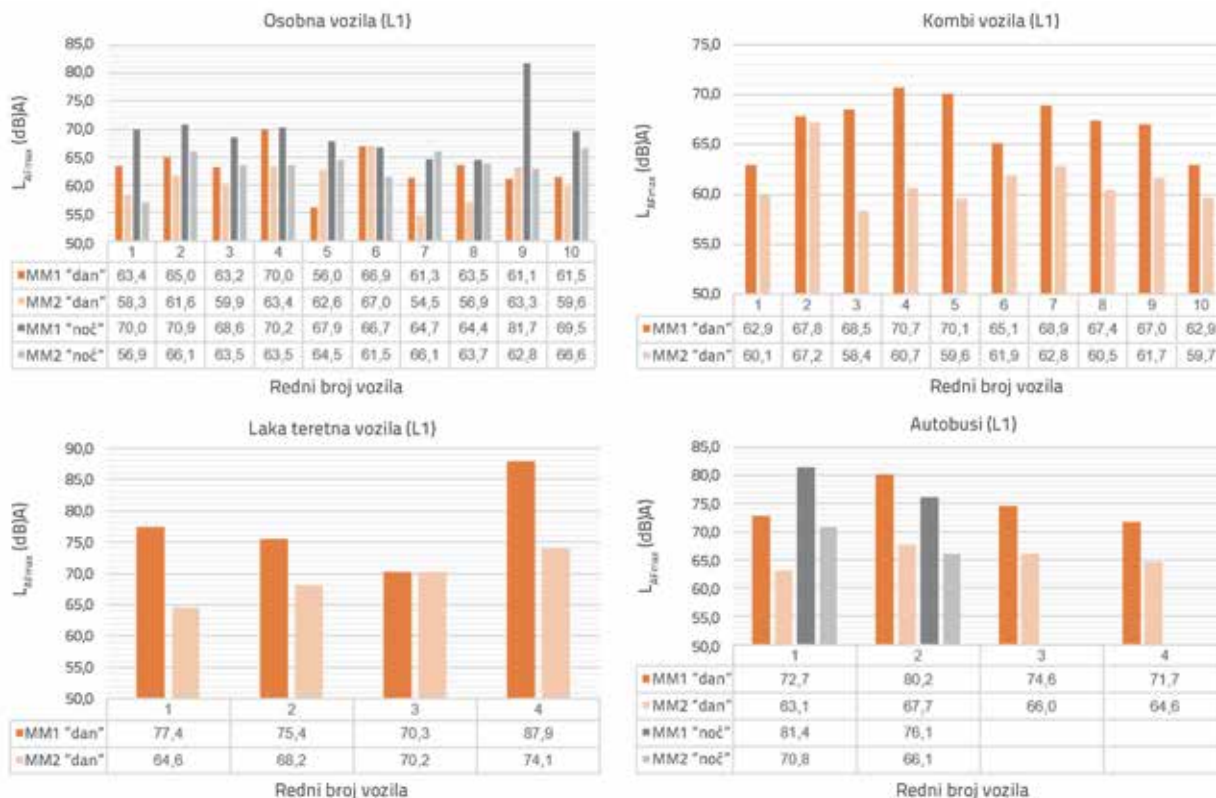
- ekvivalentne razine buke ($L_{Aeq,15}$) svih vozila koja su u razdoblju od 15 min bližim voznim trakom prošla kroz promatrane presjeke (na mjestu opreme za smirivanje prometa te 50 m ispred ili nakon prepreke) u periodima "dan" i "noć".

Treba napomenuti da na određenim lokacijama za vrijeme mjerenja nisu prometovale sve skupine vozila te da na nekima

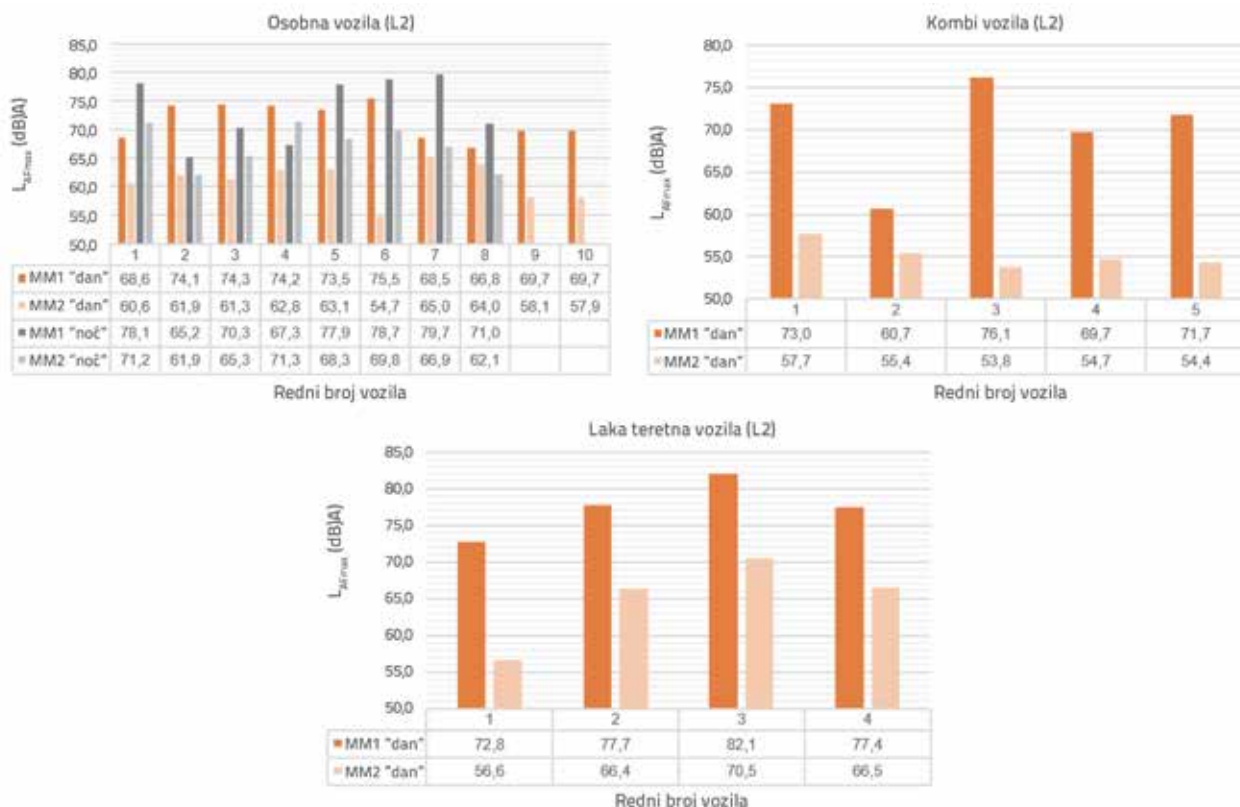
od njih u periodu "noć" u promatranom razdoblju od 15 min nije prošlo niti jedno vozilo. Prema tome, ta su mjerenja izuzeta iz daljnje analize (tablica 3.).

4.1. Razine buke pojedinačnih vozila

Na dijagramima slike 12. prikazani su rezultati mjerenja buke pojedinačnih vozila (L_{AFmax}) na lokaciji L1, u presjeku u kojem se nalazila trapezna gumena uzdignuta ploha (MM1) te u presjeku koji se nalazio 50 m nakon te plohe (MM2). Prilikom mjerenja



Slika 12. Rezultati mjerenja buke pojedinačnih vozila na lokaciji L1

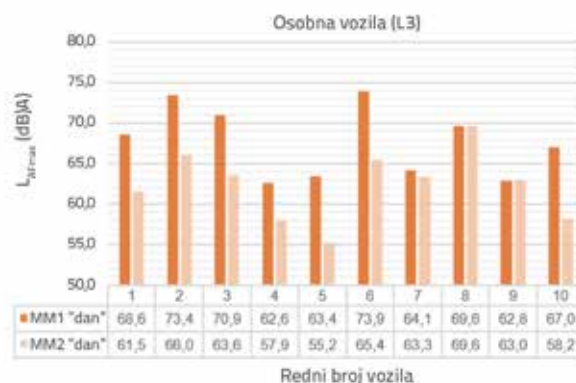


Slika 13. Rezultati mjerenja buke pojedinačnih vozila na lokaciji L2

učeno je da većina vozila prelazeći preko uzdignute plohe nije značajno smanjila brzinu vožnje, što je rezultiralo većim razinama buke od onih na dijelu bez opreme za smirivanje prometa. Iznimke od toga bila su osobna vozila br. 5 i 9 u razdoblju "dan" te osobno vozilo br. 7 u razdoblju "noć", koja su prelazeći preko uzdignute plohe znatno usporila i time u tom presjeku generirala manje razine buke nego u promatranom presjeku bez opreme za smirivanje prometa.

Na dijagramima slike 13. prikazani su rezultati mjerenja buke pojedinačnih vozila (L_{AFmax}) na lokaciji L2, u presjeku u kojem se nalazila poprečna betonska umjetna izbočina (MM1) te u presjeku koji se nalazio 50 m ispred te izbočine (MM2). I na ovoj je lokaciji uočeno da većina vozila prelazeći preko umjetne izbočine nije značajno smanjila brzinu vožnje, što je prelazeći rezultiralo većim razinama buke od onih na dijelu bez opreme za smirivanje prometa. Iznimka od toga bilo je osobno vozilo br. 4 u razdoblju "noć", koje je prelazeći preko umjetne izbočine znatno usporilo i time u tom presjeku generiralo manje razine buke nego u promatranom presjeku bez opreme za smirivanje prometa.

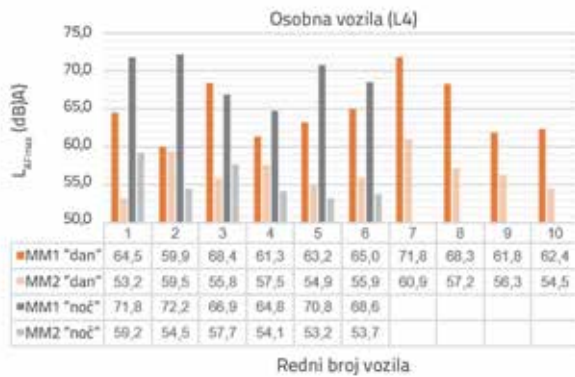
Na dijagramu slike 14. prikazani su rezultati mjerenja buke pojedinačnih vozila (L_{AFmax}) na lokaciji L3, u presjeku u kojem se nalazila zaobljena elipsasta guma umjetna izbočina (MM1) te u presjeku koji se nalazio 50 m nakon nje (MM2). Iz priloženog se može vidjeti da na toj umjetnoj izbočini niti jedno vozilo kad je prelazilo preko nje nije značajno smanjilo brzinu vožnje, čime je na tome mjestu proizvelo veće razine buke nego u promatranom presjeku bez opreme za smirivanje prometa.



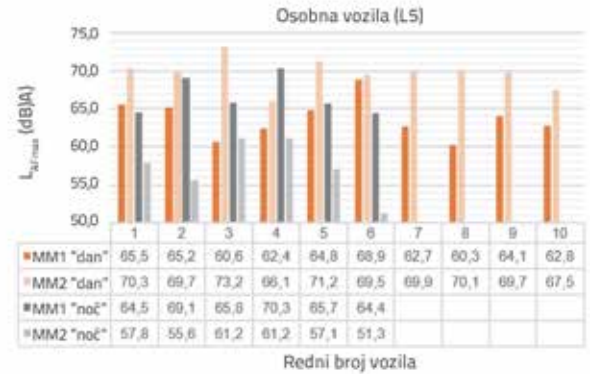
Slika 14. Rezultati mjerenja buke pojedinačnih vozila na lokaciji L3

Na dijagramu slike 15. prikazani su rezultati mjerenja buke pojedinačnih vozila (L_{AFmax}) na lokaciji L4, u presjeku u kojem se nalazila poprečna kockasta umjetna izbočina (MM1) te u presjeku koji se nalazio 50 m ispred nje (MM2). Ni na toj lokaciji niti jedno vozilo prelazeći preko umjetne izbočine nije značajno smanjilo brzinu vožnje, čime je u tome presjeku proizvelo veće razine buke nego u promatranom presjeku bez opreme za smirivanje prometa.

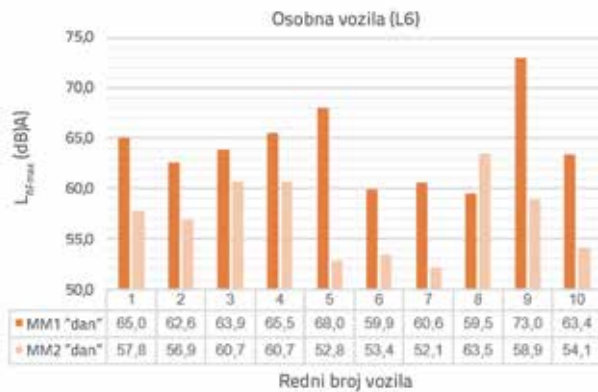
Na dijagramu slike 16. prikazani su rezultati mjerenja buke pojedinačnih vozila (L_{AFmax}) na lokaciji L5, u presjeku u kojem se nalazila poprečna guma umjetna izbočina (MM1) te u presjeku koji se nalazio 50 m nakon nje (MM2). Prilikom mjerenja buke na toj lokaciji uočeno je da su sva vozila prelazeći



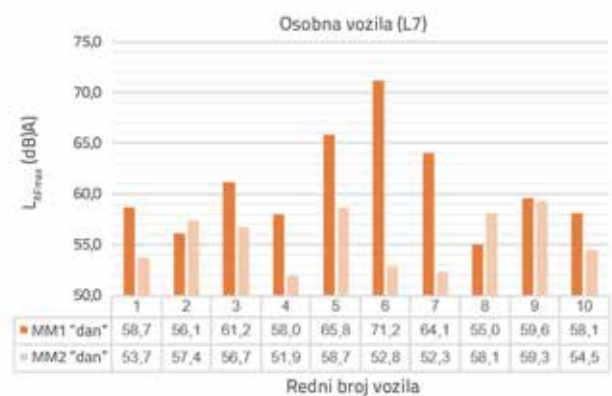
Slika 15. Rezultati mjerenja buke pojedinačnih vozila na lokaciji L4



Slika 16. Rezultati mjerenja buke pojedinačnih vozila na lokaciji L5



Slika 17. Rezultati mjerenja buke pojedinačnih vozila na lokaciji L6



Slika 18. Rezultati mjerenja buke pojedinačnih vozila na lokaciji L7

preko te umjetne izbočine u periodu "dan" značajno smanjivala brzinu vožnje, što je rezultiralo manjim razinama buke od onih na dijelu bez opreme za smirivanje prometa. U razdoblju "noć" dogodilo se suprotno. Sva su vozila preko te izbočine prelazila velikom brzinom (većinom taksi vozila) čime su u tom presjeku generirala veće razine buke nego u promatranom presjeku bez opreme za smirivanje prometa.

Na dijagramu slike 17. prikazani su rezultati mjerenja buke pojedinačnih vozila (L_{AFmax}) na lokaciji L6, u presjeku u kojem se nalazila zaobljena elipsasta betonska umjetna izbočina (MM1) te u presjeku koji se nalazio 50 m ispred nje (MM2). Na toj je lokaciji uočeno da većina vozila prelazeći preko umjetne izbočine nije značajno smanjila brzinu vožnje, što je rezultiralo većim razinama buke od onih na dijelu bez opreme za smirivanje prometa. Iznimka je bilo osobno vozilo br. 8, koje je prelazeći preko umjetne izbočine znatno usporilo i time u tom presjeku generiralo manje razine buke nego u promatranom presjeku bez opreme za smirivanje prometa.

Na dijagramu slike 18. prikazani su rezultati mjerenja buke pojedinačnih vozila (L_{AFmax}) na lokaciji L7, u presjeku u kojem se nalazila uža poprečna betonska umjetna izbočina (MM1) te u presjeku koji se nalazio 50 m ispred nje (MM2). Prilikom mjerenja uočeno je da većina vozila prelazeći preko takve umjetne izbočine nije značajno smanjila brzinu vožnje, što je zbog velike buke (udar) rezultiralo većim razinama buke od onih na dijelu

bez opreme za smirivanje prometa. Iznimke su bila osobna vozila br. 2 i 8, koja su prilikom prelaska preko umjetne izbočine znatno usporila i time u tom presjeku generirala manje razine buke nego u promatranom presjeku bez opreme za smirivanje prometa.

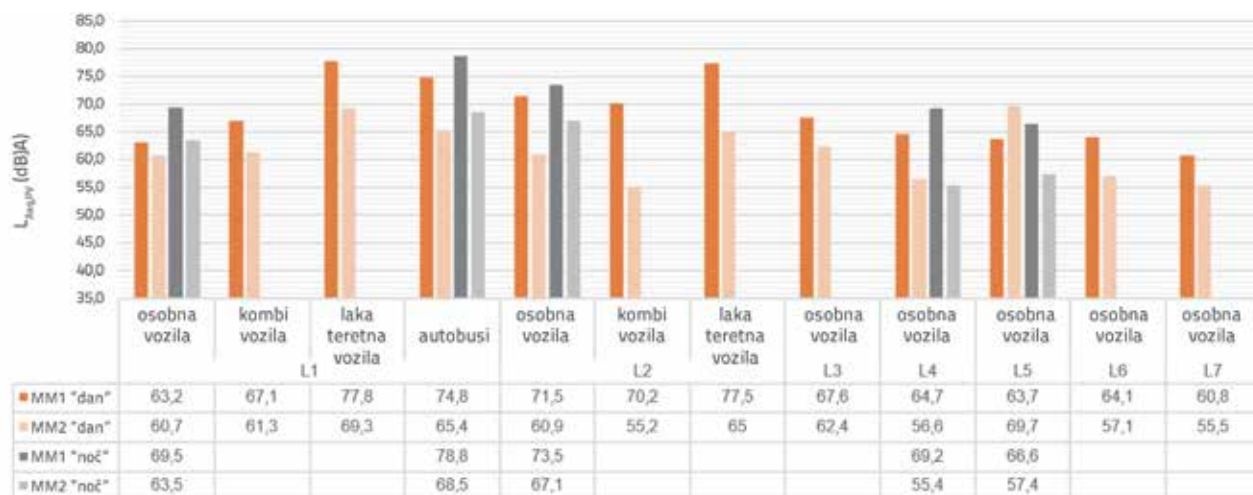
Na dijagramu slike 19. dane su prosječne razine buke 10 ili manje uzastopnih pojedinačnih vozila određene skupine ($\overline{L_p}$), koja su na određenoj lokaciji bližim voznim trakom prošla kroz promatrane presjke (na mjestu opreme za smirivanje prometa te 50 m ispred ili nakon nje) u periodima "dan" i "noć". Te razine buke određene su primjenom izraza (1) [42].

$$\overline{L_p} = 10 \cdot \log \cdot \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n 10^{L_{p_i}/10} \right) \quad (1)$$

gdje je:

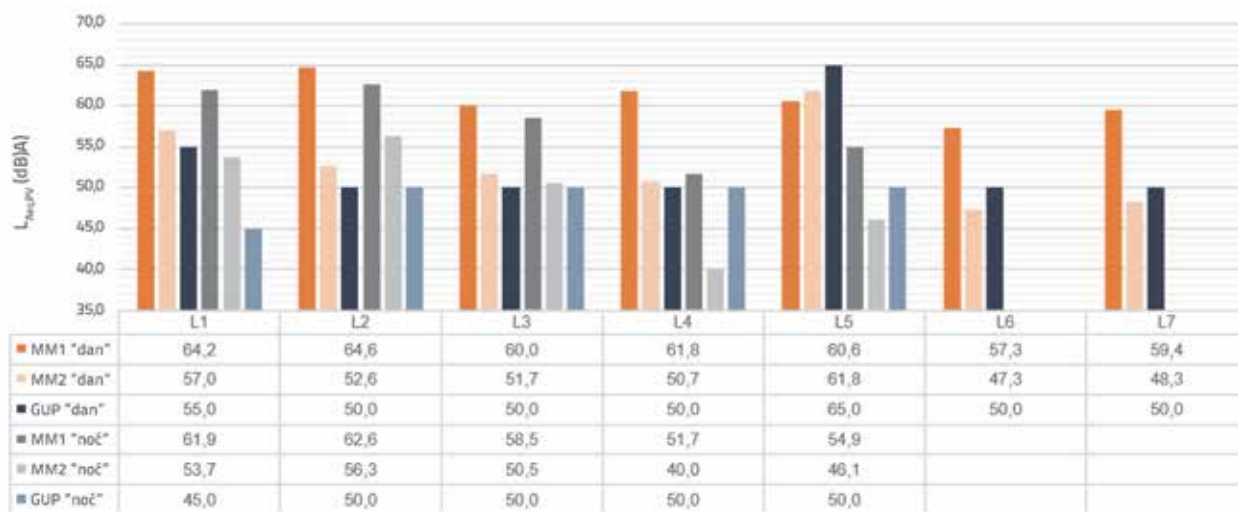
- L_p - prosječna razina zvučnog tlaka (dB(A))
- n - broj uzastopnih vozila određene skupine (-)
- L_{p_i} - razina zvučnog tlaka u receptoru (dB(A)).

Kao što se iz dijagrama na slici 19. može vidjeti, relevantne lokacije za definiranje skupina vozila koje su generirale najviše odnosno najmanje razine buke jesu lokacije L1 i L2. Na lokaciji L1 najmanje razine buke proizvela su osobna, a na lokaciji L2 kombi



Skupine vozila na određenoj lokaciji

Slika 19. Prosječne razine buke 10 ili manje uzastopnih pojedinačnih vozila određene skupine



Oznaka lokacije

Slika 20. Ekvivalentne razine buke svih vozila koja su prošla pored mjernih mjesta MM1 i MM2

vozila, dok su na obje lokacije najviše razine buke proizvela laka teretna vozila. Može se uočiti i da su na lokaciji L1 (trapezne gumene uzdignute plohe) na mjestu opreme za smirivanje prometa razine buke svih skupina vozila manje porasle nego na lokaciji L2 (poprečna betonska umjetna izbočina).

4.2. Ekvivalentne razine buke svih vozila

Na dijagramu slike 20. prikazana je usporedba ekvivalentnih razina buke svih vozila koja su prošla pored mjernih mjesta MM1 i MM2 u vremenu od 15 min ($L_{Aeq,15}$) u periodima "dan" i "noć" te najviših dopuštenih planskih razina buke propisanih GUP-om Grada Zagreba na promatranim lokacijama.

Na dijelovima bez opreme za smirivanje prometa na lokacijama L1, L2 i L3 razine buke u periodima "dan" i "noć" bile su više od dopuštenih (u prosjeku za 2,1 dB(A) u periodu "dan" odnosno 5,2 dB(A) u periodu "noć"), a u presjecima u kojima se nalaze

trapezne gumene uzdignute plohe, poprečna betonska umjetna izbočina i zaobljene elipsaste gumene umjetne izbočine bilo je stanje bučnosti još nepovoljnije (razine buke su bile u prosjeku više za 14,8 dB(A) u periodu "dan" odnosno 12,7 dB(A) u periodu "noć").

Na lokaciji L4 u razdoblju "dan" razine buke bile su više od dopuštenih i u presjeku u kojem se nije nalazila oprema za smirivanje prometa (za 0,7 dB(A)) i u presjeku u kojem se nalazila poprečna kockasta umjetna izbočina (za 11,8 dB(A)). Na toj lokaciji u razdoblju "noć" razine buke u presjeku u kojem se nije nalazila oprema za smirivanje prometa bile su niže (za 10,0 dB(A)), a u presjeku u kojem se nalazila poprečna kockasta umjetna izbočina više od najviših dopuštenih razina (za 1,7 dB(A)).

Na lokaciji L5 u razdoblju "dan" razine buke bile su niže od dopuštenih i u presjeku u kojem se nije nalazila oprema za smirivanje prometa (za 3,2 dB(A)) i u presjeku u kojem se

Tablica 4. Fizičke zapreke na kojima su provedena ispitivanja

Oznaka lokacije	Vrsta fizičke zapreke	Materijal	Visina [cm]	Širina [cm]
L1	trapezna gumena uzdignuta ploha	guma	6,8	302,4
L2	poprečna betonska umjetna izbočina	beton	3,8	132,9
L3	zaobljena elipsasta gumena umjetna izbočina	guma	8,3	299,7
L4	poprečna kockasta umjetna izbočina	beton	8,8	403,1
L5	poprečna gumena umjetna izbočina	guma	8,8	197,7
L6	zaobljena elipsasta betonska umjetna izbočina	beton	3,7	316,8
L7	uža poprečna betonska umjetna izbočina	beton	11,4	98,7

Tablica 5. Utjecaj različitih tipova fizičkih zapreka za smirivanje prometa na postojeće stanje bučnosti na promatranim lokacijama

Oznaka lokacije	Vrsta fizičke zapreke	Promjena ekvivalentnih razina buke na mjestu fizičke zapreke [dB(A)]	
		period "dan"	period "noć"
L1	trapezna gumena uzdignuta ploha	+ 7,2	+ 8,2
L2	poprečna betonska umjetna izbočina	+ 12,0	+ 6,3
L3	zaobljena elipsasta gumena umjetna izbočina	+ 8,3	+ 8,0
L4	poprečna kockasta umjetna izbočina	+ 11,1	+ 11,7
L5	poprečna gumena umjetna izbočina	- 1,2	+ 8,8
L6	zaobljena elipsasta betonska umjetna izbočina	+ 10,0	nema podataka
L7	uža poprečna betonska umjetna izbočina	+ 11,1	nema podataka

nalazila poprečna gumena umjetna izbočina (za 4,4 dB(A)). Treba istaknuti da je to jedini zabilježeni slučaj u kojem je oprema za smirivanje prometa u ovom istraživanju pozitivno utjecala na postojeće stanje bučnosti. Na istoj lokaciji u razdoblju "noć" razine buke u presjeku u kojem se nije nalazila oprema za smirivanje prometa bile su niže (za 3,9 dB(A)), a u presjeku u kojem se nalazila poprečna gumena umjetna izbočina više od najviših dopuštenih razina (za 4,9 dB(A)). Takve visoke noćne razine buke na mjestu opreme za smirivanje prometa proizvela su taksi vozila koja prelazeći preko takve opreme nisu gotovo niti malo smanjivala brzinu vožnje.

Na potezima bez opreme za smirivanje prometa na lokacijama L6 i L7 razine buke u periodu "dan" bile su niže od dopuštenih (u prosjeku za 2,2 dB(A)), a u presjecima u kojima se na istima nalaze zaobljene elipsaste betonske umjetne izbočine i uža poprečna betonska umjetna izbočina izmjerene razine buke su u velikoj mjeri premašile najviše dopuštene vrijednosti (u prosjeku za 8,6 dB(A)).

5. Rasprava i zaključna razmišljanja

Primjena fizičkih zapreka za smirivanje prometa može rezultirati smanjenjem razina buka od cestovnog prometa u urbanim sredinama, a parametri koji utječu na vrijednost toga su: vrsta zapreke, pravilnost njezine izvedbe, odabir lokacije na kojoj se zapreka postavlja, struktura prometnog toka, ponašanje vozača i način postavljanja prometne signalizacije. U istraživanju opisanom u ovom radu analizirano je kako različiti tipovi fizičkih

zapreka, postavljenih na sedam cestovnih prometnica u gradu Zagrebu, na postojeće stanje bučnosti (tablica 4.). Slijedi opis rezultata istraživanja (tablica 5.).

Smanjenje razina buke uslijed prolaska osobnih vozila preko fizičkih zapreka zabilježeno je samo na poprečnoj gumenoj umjetnoj izbočini (L5) u razdoblju "dan". Prilikom mjerenja buke na toj lokaciji uočeno je da su sva vozila prelazeći preko te zapreke značajno smanjivala brzinu vožnje. U razdoblju "noć" dogodilo se suprotno. Sva vozila (većinom taksiji) preko zapreke su prelazila velikom brzinom, zbog čega su u tom presjeku generirala veće razine buke nego u presjeku bez opreme za smirivanje prometa. Pri tome treba uzeti u obzir činjenicu da vozači taksija rijetko kada usporavaju na fizičkim zaprekama, jer često žele što brže doći do svojih klijenata te voze službena vozila koja ne moraju osobno održavati. S obzirom na sve navedeno, može se zaključiti da je taj tip fizičke zapreke prikladan i primjeren za primjenu s aspekta smanjenja razina buke od cestovnog prometa.

Na preostalim fizičkim zaprekama (trapeznoj gumenoj uzdignutoj plohi (L1), poprečnoj betonskoj umjetnoj izbočini (L2), zaobljenoj elipsastoj gumenoj umjetnoj izbočini (L3), poprečnoj kockastoj umjetnoj izbočini (L4), zaobljenoj elipsastoj betonskoj umjetnoj izbočini (L6), užoj poprečnoj betonskoj umjetnoj izbočini (L7)) razine buke su se u većini slučajeva povećale. Razlog tomu je činjenica što takve zapreke nisu u dovoljnoj mjeri upozoravale vozače da smanje brzinu vožnje. Naime, samo je nekolicina osobnih vozila, koja je neposredno prije tih zapreka značajnije usporila, generirala manje razine buke u odnosu na vožnju dijelom ceste bez opreme za smirivanje prometa, dok je prelazak

kombija, autobusa i lakih teretnih vozila u svim slučajevima rezultirao povećanjem razina buke, neovisno o tome u koliko su mjeri takva vozila ispred njih usporila. S obzirom na to, postavlja se pitanje doprinose li te fizičke zapreke povećanju sigurnosti prometa na navedenim lokacijama, što im je i primarna uloga, ili samo dodatno pogoršavaju postojeće stanje bučnosti na njima. Nadalje, usporedba prosječnih razina buke pojedinačnih vozila određene skupine na lokacijama L1 i L2 pokazala je da su na lokaciji L1 najmanje razine buke proizvodila osobna, a na lokaciji L2 kombi vozila, dok su na obje promatrane lokacije najviše razine buke proizvodila laka teretna vozila.

Usporedba ekvivalentnih razina buke svih vozila i najviših dopuštenih planskih razina buke propisanih GUP-om Grada Zagreba pokazala je da su razine buke na mjestu fizičkih zapreka bile niže od dopuštenih samo na lokaciji L5 (poprečna gumena umjetna izbočina) u razdoblju "dan". Ipak, treba napomenuti da je na toj lokaciji, s obzirom na namjenu prostora, vrijednost granične razine buke za razdoblje "dan" značajno viša od vrijednosti graničnih razina buke za isto razdoblje na ostalim promatranim lokacijama (5 – 10 dB(A)). Drugim riječima, unatoč činjenici što je poprečna gumena umjetna izbočina jedina rezultirala smanjenjem razina buke, u slučaju da je bila ugrađena na nekoj od drugih promatranih lokacija, tada bi razine buke u njezinoj okolini bile veće od dopuštenih. Najveći porast ekvivalentnih razina buke na mjestu fizičke zapreke u razdoblju

"dan" zabilježen je na lokaciji L2 (12 dB(A)), na kojoj je ugrađena poprečna betonska umjetna izbočina, a najmanji na lokaciji L1 (7,1 dB(A)), na kojoj je ugrađena trapezna gumena uzdignuta ploha.

Iz tablice 4. vidljivo je da su promatrane umjetne izbočine i uzdignute plohe izrađene od različitih materijala te da se razlikuju po visini i širini. Obzirom na navedeno, ne može se "a priori" zaključiti koji je od navedenih parametara imao najveći utjecaj na vrijednost razina buke prilikom prolaska vozila, ali se može istaknuti da je poprečna gumena umjetna izbočina (L5), koja je jedina rezultirala smanjenjem razina buke, bila najviša.

Zaključno, vjerodostojnost prethodno opisanih rezultata bilo bi uputno provjeriti na većem broju uzoraka i lokacija te u skladu s time sa sigurnošću zaključiti koji parametri u najvećoj mjeri utječu na razine buke od cestovnog prometa na mjestu opreme za smirivanje prometa. Nadalje, o postavljanju opreme ne bi trebale odlučivati samo jedinice lokalne i područne samouprave, nego bi se u obzir trebale uzeti i primjedbe i sugestije svih sudionika u prometu i šire društvene zajednice. Bilo bi dobro i kada bi se u propisima u vezi s postavljanjem takve opreme dale detaljnije upute za njezinu ugradnju (odabir vrste s obzirom na strukturu prometnog toka, odabir lokacije, međusobna udaljenost i sl.), jer nedostatak takvih podataka često rezultira masovnom i pogrešnom ugradnjom.

LITERATURA

- [1] Future brief: Noise abatement approaches, Science for Environment Policy, 17 (2017), European Commission, pp. 28.
- [2] Urban environment: European Environment Agency, <https://www.eea.europa.eu/themes/urban>, 03.01.2020.
- [3] Murphy, E., King, E.: Environmental Noise Pollution, 1st Edition, Elsevier, 2014.
- [4] Isling, H., Kruppa, B.: Health effects caused by noise: evidence in the literature from the past 25 years, Noise & health, 22 (2003), 6, pp. 5-13.
- [5] Goines, L., Hagler, L.: Noise Pollution: A Modern Plague, Southern Medical Journal, 100 (2007), 3, pp. 287-294 <https://doi.org/10.1097/smj.0b013e3180318be5>
- [6] Stansfeld, S.A., Matheson, M.P.: Noise pollution: Non-auditory effects on health, British Medical Bulletin, 68 (2003), pp. 243-257, <https://doi.org/10.1093/bmb/ldg033>
- [7] Sørensen, M., Hvidberg, M., Andersen, Z.J., Nordsborg, R.B., Lillelund, K.G., Jakobsen, J., Tjønneland, A., Overvad, K., Raaschou-Nielsen, O.: Road traffic noise and stroke: a prospective cohort study, European Heart Journal, 32 (2011), 6, pp. 1-10, <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehq466>
- [8] Sørensen, M., Zorana, J.A., Nordsborg, R.B., Becker, T., Tjønneland, A., Overvad, K., Raaschou-Nielsen, O.: Long-Term Exposure to Road Traffic Noise and Incident Diabetes: A Cohort Study, Environmental health perspectives, 127 (2019), 5, pp. 1-9, <https://doi.org/10.1289/EHP4389>
- [9] Miedema, H.M.E., Vos, H.: Associations Between Self-Reported Sleep Disturbance and Environmental Noise Based on Reanalyses of Pooled Data From 24 Studies, Behavioral Sleep Medicine, 5 (2007), 1, pp. 1-20. https://doi.org/10.1207/s15402010bsm0501_1
- [10] Lakušić, S., Dragčević, V., Rukavina, T.: Mjere za smanjenje buke od prometa u urbanim sredinama, GRAĐEVINAR, 57 (2005) 1, str. 1-9.
- [11] Healthier Environment through Abatement of Vehicle Emission and Noise, Transport Research & Innovation Portal, <http://www.transport-research.info/project/healthier-environment-through-abatement-vehicleemission-and-noise>, 12.06.2020.
- [12] Pravilnik o prometnim znakovima, signalizaciji i opremi na cestama, NN 92/2019.
- [13] Zakon o sigurnosti prometa na cestama, NN 42/20.
- [14] Zakon o javnim cestama, NN 180/04.
- [15] Kyoung, A., Rakha, R.: A Field Evaluation Case Study of the Environmental and Energy Impacts of Traffic Calming, Transportation Research Part D: Transport and Environment, 14 (2009), 6, pp. 411-424, <https://doi.org/10.1016/j.trd.2009.01.007>
- [16] Kevin, C., Nolan, M., Nihan, N.: Developing design standards for speed cushions, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2030 (2007), pp. 22-28. <https://doi.org/10.3141/2030-04>

- [17] Transport Research Centre: Speed Management, OECD Publishing, <https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/06speed.pdf>, 01.06.2020.
- [18] Ali Abdi, K., Mehrara Molan, A., Monajjem, S., Sadeghvaziri, E.: Simulation Modeling of Dynamic Response of Vehicles to Different Types of Speed Control Humps, 2nd Transportation & Development Congress, Orlando, pp. 1-10, 2014, <https://doi.org/10.1061/9780784413586.051>
- [19] Engel, U., Thomsen, L.K.: Safety Effects of Speed Reducing Measures in Danish Residential Areas, Accident Analysis & Prevention, 24 (1992), 1, pp. 17-28. [https://doi.org/10.1016/0001-4575\(92\)90068-t](https://doi.org/10.1016/0001-4575(92)90068-t)
- [20] Temporary speed hump impact evaluation, CTRE Project 00-73 - Final Report, https://nacto.org/docs/usdg/temporary_speed_humps_impact_evaluation_hallmark.pdf, 01.07.2020.
- [21] Shwaly, S., L-Ayaat, A., Hamed Zakaria, M.: Public Evaluation of Speed Humps Performance and Effectiveness, Civil Engineering Journal, 4 (2018), 6, pp. 1206-1222, <https://doi.org/10.28991/cej-0309168>
- [22] Januševičius, T., Akelaitytė, R.: Speed bumps impact on motor transport noise, The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering, 10 (2015), 2, pp. 191-199, <https://doi.org/10.38446/bjrbe.2015.24>
- [23] Pau, M.: Speed Bumps May Induce Improper Drivers' Behavior: Case Study in Italy, Journal of Transportation Engineering, 128 (2002), 5, pp. 472-478. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-947X\(2002\)128:5\(472\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-947X(2002)128:5(472))
- [24] Dai, L.M., Lou, Z., Widger, A.: A Study on the Performance of ARC Pavement for Traffic Noise Reduction – A SPB Comparison with Conventional Pavement, Journal of Environmental Informatics, 12 (2008), 1, pp. 21-30, <https://doi.org/10.3808/jei.200800120>
- [25] Lawson, R.W.: The Objections to Speed Humps (Submission to the London Assembly), <http://democracy.rochdale.gov.uk/documents/s19166/Whittaker%20Moss%20-%20Appendix%20C.pdf>, 18.06.2020.
- [26] Radhiah Bachok, K.S., Kadar Hamsa, A.A., Zin bin Mohamed, M., Ibrahim, M.: A theoretical overview of road hump effects on traffic noise in improving residential well-being, World Conference on Transport Research – WCTR, Shanghai, pp. 3383-3397, 2016, <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.05.224>
- [27] Transportation Demand Management Encyclopedia, Traffic Calming: Roadway Design to Reduce Traffic Speeds and Volumes, Victoria Transport Policy Institute, <http://www.vtpi.org/tdm/tdm4.htm>, 25.05.2020.
- [28] Abbott, P., Taylor, M., Layfield, R.: The effects of traffic calming measures on vehicle and traffic noise, Traffic Engineering & Control, 38 (1997), 9, pp. 447-453.
- [29] Bendtsen, H., Larsen, L.E.: Noise and nuisance from road humps, 29th International Congress and Exhibition on Noise Control Engineering, Nice, pp. 1-4, 2000.
- [30] Preis, A., Kazmarek, T., Griefahn, B., Gjestland, T.: The influence of speed bumps on perceived annoyance, Acoustics '08 Conference – Euronoise, Paris, pp. 1187-1190, 2008.
- [31] Hidas, P., Weerasekera, K., Dunne, M.: Negative effects of mid-block speed control devices and their importance in the overall impact of traffic calming on the environment, Transportation Research D, 3 (1998), 1, pp. 41-50, [https://doi.org/10.1016/S1361-9209\(97\)00011-4](https://doi.org/10.1016/S1361-9209(97)00011-4)
- [32] Huang, H.F., Cynecki, M.J.: Effects of traffic calming measures on pedestrian and motorist behavior, Transportation Research Record, 1705 (2001), pp. 26-31, <https://doi.org/10.3141/1709-05>
- [33] Urban Traffic Calming and Environmental Noise: Effects and Implications for Practice, https://www.ncchpp.ca/docs/Bruit-Noise_TrafficCalming_En.pdf, 21.05.2020.
- [34] Wewelwala, S.N., Sonnadara, D.U.J.: Traffic noise enhancement due to speed bumps, Sri Lankan Journal of Physics, 12 (2011), pp. 1-6, <https://doi.org/10.4038/sljpv12i0.3155>
- [35] Abbott, P., Tyler, J., Layfield, R.: Traffic calming: vehicle noise emissions alongside speed control cushions and road humps, Report No. TRL 180, Crowthorne, Berkshire:Transport Research Laboratory, 1995.
- [36] Road humps: discomfort, noise, and ground-borne vibration, Traffic Advisory Leaflet 10/00, December 2000, <http://www.ukroads.org/webfiles/TAL%2010-00%20Road%20humps%20-%20discomfort%20-%20noise%20and%20ground%20borne%20vibration.pdf>, 01.07.2020.
- [37] Horizontal Guidance for Noise, Part 2 - Noise Assessment and Control, Environment Agency, Bristol, 2004, https://www.environment-agency.gov.uk/static/documents/Business/ippc_h3_part_2_1916903.pdf, 28.06.2020.
- [38] Pravilnik o najvišim dopuštenim razinama buke u sredini u kojoj ljudi rade i borave, NN145/04.
- [39] Zakon o zaštiti od buke, NN 30/2009.
- [40] Grad Zagreb: Generalni urbanistički plan Grada Zagreba, <https://www.zagreb.hr>, 03.06.2020.
- [41] Google Karte, <https://www.google.com/maps>, 02.06.2020.
- [42] ISO 3740:2019, Acoustics - Determination of sound power levels of noise sources - Guidelines for the use of basic standards