

Ocjena učinkovitosti mjera za smanjenje razina buke u urbanim sredinama

Tamara Džambas

Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Zavod za prometnice, dr. sc.
tamara.dzambas@grad.unizg.hr

Vesna Dragčević

Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Zavod za prometnice, prof. dr. sc.
vesna.dragcevic@grad.unizg.hr

Mihaela Petrović

HIDROPROJEKT-ING projektiranje d.o.o., mag. ing. aedif., mihaelapetrovic14@gmail.com

Sažetak: U radu je na primjeru Masarykove ulice smještene u užem centru grada Zagreba prikazan postupak ocjene učinkovitosti različitih mjera za smanjenje razina buke koje se odnose na upravljanje prometom. Analiza stanja bučnosti za šest različitih scenarija provedena je metodom računalnog modeliranja u specijaliziranom računalnom programu za predviđanje razina buke LimA, prilikom čega je definiran onaj optimalni koji je rezultirao najvećim smanjenjem razina buke u Masarykovoju ulici te najmanjim povećanjem razina buke u okolnim ulicama. Rezultati proračuna validirani su kratkotrajnim mjerenjima razina buke na terenu u dnevnom, večernjem i noćnom periodu.

Ključne riječi: prometna buka, urbane sredine, mjere za smanjenje razina buke, monitoring, mjerenja, modeliranje

Assessment of noise mitigation measures in urban areas

Abstract: Within the scope of this study, the assessment of effectiveness of various traffic management and engineering noise mitigation measures at Masarykova Street located in the narrower centre of the city of Zagreb was made. Noise analyses were carried out by means of noise modelling procedure using the specialized noise prediction software LimA. Six different noise mitigation scenarios were observed, and optimal one regarding the amount of noise reduction in Masarykova Street and the amount of noise increase in adjacent streets was defined. Noise modelling results were validated by short term noise measurements carried out in day, evening, and night periods.

Key words: traffic noise, urban areas, noise mitigation measures, monitoring, measurements, modelling

1. UVOD

Prekomjerne razine buke predstavljaju sve veći problem današnjice [1]. Uslijed ubrzanog postupka urbanizacije, koji je doveo do toga da više od polovice svjetskog stanovništva te više od tri četvrtine stanovništva Europske unije trenutno živi u gradovima, sve veći broj ljudi izložen je štetnom djelovanju buke okoliša [2]. Najveći izvor buke okoliša u urbanim područjima bez dvojbe je cestovni promet, koji je u značajnoj mjeri zastupljeniji od željezničkog i zračnog prometa [3]. Mjere koje se uobičajeno koriste za smanjenje razina buke u takvim gusto naseljenim urbanim područjima su: izgradanja tihih voznih površina, razvoj tiših vozila i pneumatika te upravljanje prometom [4]. Mjere upravljanja prometom odnose se na ograničenje 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.

Ograničenje brzine vožnje ne utječe samo na sigurnost prometa, već i na emisiju buke od istog [5]. Istraživanja su pokazala da smanjenje brzine vožnje s 50 km/h na 30 km/h može rezultirati smanjenjem razina buke do 3 dB(A) [6]. Gašenje semafora noću s druge strane može imati dvojak efekt: osim osiguranja slobodnog prometnog toka i eliminacije nepoželjnih prometnih radnji zaustavljanja i pokretanja vozila, ova mjera može dovesti i do povećanja brzine vožnje, zbog čega rijetko rezultira smanjenjem razina buke većim od 2 dB(A) [7]. Nadalje, preusmjeravanje određenog postotka prometa na druge prometnice u gradu opravdano je samo u slučaju kada je isti preusmjeren s opterećenije prometnice na onu manje opterećenu. U suprotnom, ova mjera može čak i pogoršati postojeće stanje bučnosti u ulicama u koje je promet preusmjeren. Druge, rjeđe primjenjivane, mjere za smanjenje buke od prometa odnose se na zabranu prometa motornih vozila u centru grada, odnosno uvođenje zone unutar koje smiju prometovati isključivo vozila javnog prijevoza (autobusi i taxi vozila), zabranu prometa osobnih automobila užim gradskim središtima tijekom vršnih sati, uvođenje „dana bez osobnih vozila“, smanjenje broja parkirališnih mjesta u centru grada te ulaganja u razvoj biciklističke infrastrukture i javnog prijevoza. Nekoliko je studija pokazalo da ove mjere mogu rezultirati smanjenjem razina buke i do 10 dB(A) [1].

U sklopu izrade ovoga rada, na primjeru Masarykove ulice smještene u užem centru grada Zagreba, provedena je ocjena učinkovitosti nekoliko prethodno opisanih mjera za smanjenje razina buke koje se odnose na upravljanje prometom.

2. OPIS LOKACIJE

Masarykova ul. je jednosmjerna urbana gradska prometnica smještena u neposrednoj blizini glavnog trga grada Zagreba. S obzirom na broj prometnih trakova ova se ulica može podijeliti na dvije osnovne dionice (Slika 1): 105 m dugu Dionicu 1 s dva prometna traka smještenu između Trga Republike Hrvatske i Gundulićeve ul. (na mjestu nekadašnjeg trećeg prometnog traka na južnoj strani ulice danas se nalaze terase kafića), te 170 m dugu Dionicu 2 s jednim prometnim trakom smještenu između Gundulićeve ul. i Preradovićeve ul. (na mjestu nekadašnjeg drugog prometnog traka na sjevernoj strani ulice danas se nalazi taxi stajalište).

U Masarykovoju ul. promet se kreće sa zapada prema istoku, a u susjednim ulicama kako slijedi: na Trgu RH sa zapada prema istoku te sa sjevera prema jugu; u Gundulićevoj ul. sa sjevera prema jugu te s juga prema sjeveru; u Preradovićevoj ul. sa sjevera prema jugu; u Teslinjoj ul. sa zapada prema istoku - ovom ulicom prometuju samo pješaci, biciklisti i taxi vozila. Ograničenje brzine vožnje u Masarykovoju ul. i susjednim ulicama iznosi 50 km/h. Na raskrižjima Trg RH - Masarykova ul. i Masarykova ul. - Gundulićeve ul. promet je reguliran

Džambas, T., Dragčević, V., Petrović, M.

Ocjena učinkovitosti mjera za smanjenje razina buke u urbanim sredinama

semaforima, dok na raskrižju Masarykova ul. - Preradovićeve ul. - Teslina ul. nema semafora (prednost prolaska imaju pješaci).

Unutar promatranog područja uglavnom se nalaze objekti poslovne, ali i stambene namjene, visine do 18 m. Prema hrvatskom Pravilniku o najvišim dopuštenim razinama buke u sredini u kojoj ljudi rade i borave [8] i Generalnom urbanističkom planu Grada Zagreba [9], razine buke u takvim područjima ne smiju biti veće od 65 dB(A) u periodima dan i večer te 50 dB(A) u periodu noć. Trajanje navedenih perioda propisano je Zakonom o zaštiti od buke [10]: 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.



Slika 1. Masarykova ulica u Zagrebu: Dionica 1 (gore) i Dionica 2 (dolje)

3. ANALIZA STANJA BUČNOSTI

Analiza stanja bučnosti u Masarykovoju ul. i susjednim ulicama obuhvaćala je mjerenje prometa, proračun razina buke primjenom specijaliziranog računalnog programa LimA te validaciju primijenjenog modela proračuna kratkotrajnim mjerenjima razina buke. U navedenoj analizi promatrano je šest scenarija obzirom na odabrane mjere za smanjenje razina buke:

- S1 - postojeće stanje bučnosti;
- S2 - zabrana prometa motornih vozila na Dionici 2 Masarykove ul. (promet je preusmjeren u južni privoz Gundulićeve ul.);
- S3 - zabrana prometa motornih vozila duž cijele Masarykove ul. (promet je preusmjeren na južnu stranu Trga RH na kojoj je planirana izgradnja dodatnog prometnog traka);
- S4 - osiguranje slobodnog prometnog toka noću u Masarykovoju ul.;
- S5 - preusmjeravanje određenog postotka prometa (10%, 30%, 50%) iz Masarykove ul. u susjedne ulice;

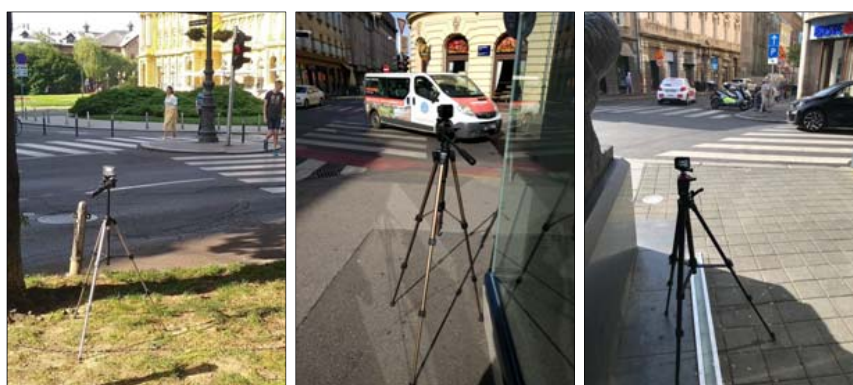
Džambas, T., Dragčević, V., Petrović, M.

Ocjena učinkovitosti mjera za smanjenje razina buke u urbanim sredinama

- S6 - uvođenje tzv. zone “30 km/h” u Masarykovej ul. u kojoj i motorna vozila i biciklisti prometuju kolnikom.

3.1 Mjerenje prometa

Kratkotrajna mjerenja prometa provedena su primjenom tri video kamere (K1, K2, K3), smještene u blizini prethodno opisanih raskrižja u Masarykovej ul. (Slika 1, Slika 2), u periodu dan od 8:00 do 9:00 sati, periodu večer od 20:00 do 21:00 sat te periodu noć od 23:00 do 24:00 sata. Vozila snimljena video kamerama podijeljena su u dvije osnovne skupine: osobni automobili i dostavna vozila. Kao što je prikazano u Tablici 1, oko 62% vozila koja su ušla u Masarykovu ul. nastavilo se kretati ravno prema Preradovićevoj ul., dok je oko 36% vozila skrenulo lijevo, a 2% vozila desno u Gundulićevoj ul.



Slika 2. Mjerenje prometa na raskrižjima u Masarykovej ul.: K1 (lijevo), K2 (sredina), K3 (desno)

Tablica 1. Rezultati mjerenja prometa

Ulica	Smjer vožnje	Periodi dan i večer		Period noć	
		automobili	dostavna vozila	automobili	dostavna vozila
Trg RH	ravno	966	26	208	2
	desno	657	22	173	1
Masarykova ul. (Dionica 1)	ravno	597	15	118	1
	desno	21	2	6	0
	lijevo	348	9	84	1
Masarykova ul. (Dionica 2)	ravno	6	0	4	0
	desno	698	23	177	1
Gundulićeva ul. (sjever)	ravno	11	0	21	0
	lijevo	4	1	7	0
Gundulićeva ul. (jug)	ravno	452	18	188	0
	desno	103	7	56	0

3.2 Kratkotrajna mjerenja buke

Mjerenja buke provedena su istovremeno kada i mjerenja prometa, i to pomoću dva Brüel & Kjaer zvukomjera (tipa 2260 i 2270) smještene na horizontalnoj udaljenosti od 3,0 m od osi najbližeg prometnog traka te na visini od 1,2 m iznad površine nogostupa (Slika 3). Mjerno mjesto MM1 bilo je smješteno na središnjem dijelu Dionice 1, a mjerno mjesto MM2 na

Džambas, T., Dragčević, V., Petrović, M.

Ocjena učinkovitosti mjera za smanjenje razina buke u urbanim sredinama

središnjem dijelu Dionice 2 Masarykove ul. (Slika 1). Mjerenja su provedena pri povoljnim meteorološkim uvjetima: temperatura zraka iznosila je od 18 °C do 21 °C, brzina vjetra od 2 m/s do 3 m/s, vlažnost zraka od 55 % do 60 %, dok je tlak zraka cijelo vrijeme iznosio oko 1012 hPA. Kao što je prikazano u Tablici 2, razine buke su bile veće od dopuštenih u oba mjerna mjesta te u svim periodima mjerenja.



Slika 3. Mjerenje razina buke u Masarykovo ul.: MM1 (lijevo), MM2 (desno)

Tablica 2. Rezultati mjerenja buke

Mjerno mjesto	Mjerni uređaj	L _{A,eq} [dB(A)]	
		periodi dan i večer	period noć
MM1	B&K 2260	67,4	59,1
MM2	B&K 2270	68,3	65,0

3.3 Proračun razina buke

Proračun razina buke proveden je primjenom prijelazne metode za predviđanje razina buke od cestovnog prometa NMPB-Routes-96 preporučene Direktivom 2002/49/EC [11]. Izvor buke položen je na visini od 0,5 m iznad svih prometnih trakova, a količina prometa je određena temeljem prethodno opisanog postupka mjerenja prometa. Najveća brzina vožnje osobnih automobila i dostavnih vozila iznosila je oko 30 km/h. Naime, usprkos činjenici što je ograničenje brzine u promatranom području iznosilo 50 km/h, vozila navedenu brzinu nisu mogla ostvariti zbog relativno kratkih segmenata između raskrižja te nesinkroniziranih zelenih svjetala na semaforima.

U neposrednoj blizini raskrižja za svaki prometni trak definirano je specifično stanje prometnog toka: duljine poteza za ubrzanje iznosile su 60 m ($2 \cdot V_{max}$), a duljine poteza za usporenje 90 m ($3 \cdot V_{max}$). Digitalni model terena je zbog malih uzdužnih nagiba kolnika i ravnog terena aproksimiran ravnom plohom, dok je visina okolnih objekata iznosila 3 m po katu.

Proračun razina buke proveden je u 34 receptora postavljena na horizontalnoj udaljenosti od 3.0 m od najbližeg prometnog traka te na visini od 1,2 m iznad površine nogostupa (Slika 4):

- 2 receptora na lokaciji mjernih mjesta MM1 i MM2 (FF_MM1, FF_MM2);
- 32 receptora u Masarykovo ul. i susjednim ulicama (po 4 receptora u svakoj ulici (F_nn).

Usporedba rezultata mjerenja razina buke u mjernim mjestima MM1 i MM2 (Table 2) te rezultata proračuna razina buke za postojeće stanje bučnosti (S1) u receptorima FF_MM1 i FF_MM2 (Tablica 3) pokazala je da je primijenjena metoda za predviđanje razina buke dovoljno točna (najveća razlika između navedenih rezultata iznosila je 2,7 dB(A)). Prosječne vrijednosti

Džambas, T., Dragčević, V., Petrović, M.

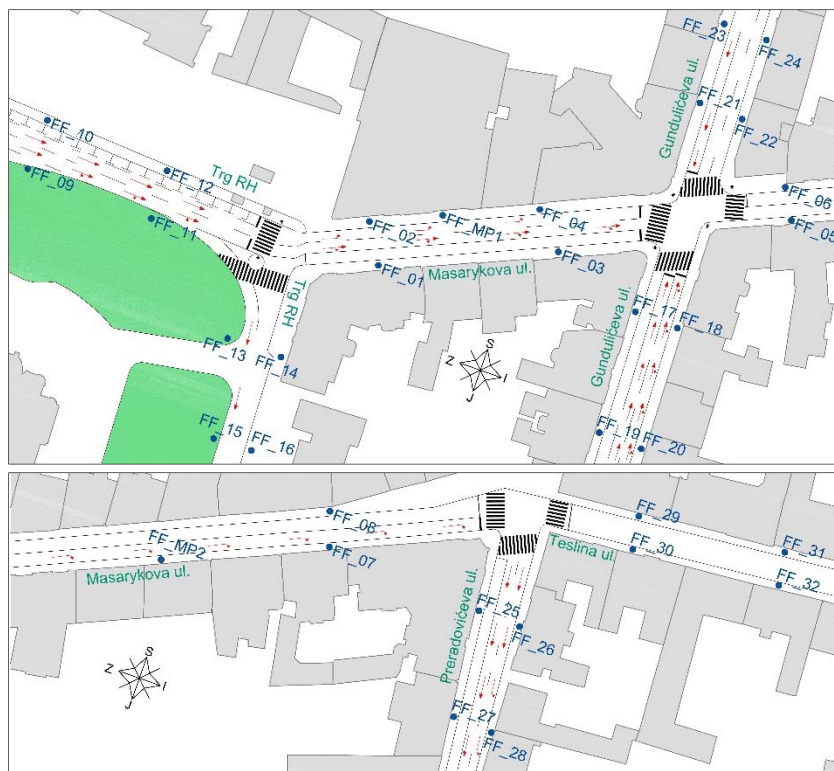
Ocjena učinkovitosti mjera za smanjenje razina buke u urbanim sredinama

razina buke u receptorima postavljenim u Masarykovej ul. i susjednim ulicama za postojeće stanje (S1) dane su u Tablici 4. Iste su određene primjenom jednadžbe (1).

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

gdje je: $\overline{L_p}$ - prosječna razina zvučnog tlaka (dB(A)); n - broj receptora u svakoj ulici (-); L_p - razina zvučnog tlaka u receptoru (dB(A)).

Kao što je prikazano u Tablici 4, navedene prosječne razine buke bile su više od dopuštenih u svim promatranim ulicama i periodima, osim u Teslinoj ul. u periodima dan i večer. U skladu s navedenim, u nastavku istraživanja provedena je usporedba prosječnih razina buke za postojeće stanje (S1) te prosječnih razina buke za različite scenarije obzirom na primijenjene mjere za smanjenje istih (S2, S3, S4, S5, S6) (Slika 5).



Slika 4. Lokacije receptora

Tablica 3. Rezultati proračuna razina buke na mjernim mjestima MM1 i MM2

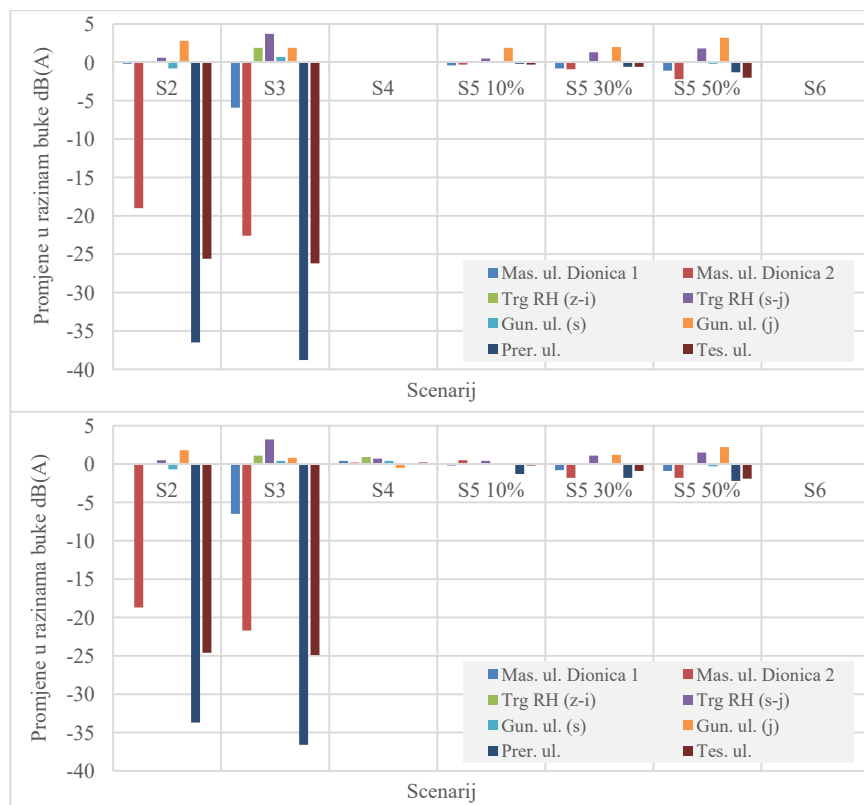
Receptor	$L_{A,eq}$ [dB(A)]	
	periodi dan i večer	period noć
FF_MM1	69,6	61,8
FF_MM2	70,4	64,0

Džambas, T., Dragčević, V., Petrović, M.

Ocjena učinkovitosti mjera za smanjenje razina buke u urbanim sredinama

Tablica 4. Rezultati proračuna razina buke za postojeće stanje (S1)

Period	L _{A,eq} [dB(A)]							
	Masarykova ul. (Dion. 1)	Masarykova ul. (Dion. 2)	Trg RH (zapad-istok)	Trg RH (sjever-jug)	Gundulićeva ul. (sjever)	Gundulićeva ul. (jug)	Preradovićeva ul.	Teslina ul.
Dan i večer	71,0	70,4	69,6	67,4	68,6	67,3	71,5	61,6
Noć	64,2	63,8	62,9	61,0	63,3	62,8	62,9	54,8



Slika 5. Promjene u razinama buke u slučaju različitih scenarija: u periodima dan i večer (gore), u periodu noć (dolje)

4. DISKUSIJA I ZAKLJUČNA RAZMIŠLJANJA

Rezultati istraživanja provedenih u okviru izrade ovog rada pokazali su sljedeće. Postojeće razine buke u Masarykovo ul. i susjednim ulicama veće su od najviših dopuštenih razina propisanih hrvatskim Pravilnikom i Generalnim urbanističkim planom Grada Zagreba - u periodima dan i večer i do 6,5 dB(A), a u periodu noć i do 14,2 dB(A). Ovakve visoke razine buke u periodu noći značajno utječu na zdravlje okolnog stanovništva jer uzrokuju smetnje u spavanju, a time onemogućuju i normalno funkcioniranje ljudskog organizma tokom dana. Obzirom na navedeno, u radu je provedena ocjena učinkovitosti nekoliko mjera za smanjenje razina buke koje se odnose na upravljanje prometom, a koje se učestalo primjenjuju u takvim gusto naseljenim urbanim sredinama (Slika 5).

Džambas, T., Dragčević, V., Petrović, M.

Ocjena učinkovitosti mjera za smanjenje razina buke u urbanim sredinama

Kao što je i očekivano, mjere iz scenarija S2 (zabrana prometa motornih vozila na Dionici 2 Masarykove ul.) i S3 (zabrana prometa motornih vozila duž cijele Masarykove ul.) pokazale su se najučinkovitijima. U slučaju Scenarija 2, razine buke na Dionici 2 Masarykove ul. značajno su se smanjile (do 19 dB(A) u periodima dan i večer, do 18,7 dB(A) u periodu noć) te time postale niže od najviših dopuštenih razina propisanih važećom regulativom. U slučaju Scenarija 3, razine buke na Dionici 2 Masarykove ul. također su se u velikoj mjeri smanjile (do 22,6 dB(A) u periodima dan i večer, do 21,7 dB(A) u periodu noć), ali na Dionici 1 iste stanje bučnosti se nije značajno promijenilo. Naime, na području te dionice razine buke u periodu noći su i dalje ostale veće od najviših dopuštenih, a razlog tomu je novonastalo veliko prometno opterećenje u području Trga RH. Usprkos navedenom, mjere iz scenarija S2 i S3 dovele su do značajnog smanjenja razina buke u susjednoj Preradovićevoj ul. i Teslinoj ul. (do 38,8 dB(A) u periodima dan i večer, do 36,6 dB(A) u periodu noć) te relativno malog povećanja razina buke u Gundulićevoj ul. i na Trgu RH (do 3,7 dB(A) u periodima dan i večer, do 3,2 dB(A) u periodu noć). U skladu sa svim navedenim, može se zaključiti da se mjera iz Scenarija 2 obzirom na razinu smanjenja buke pokazala povoljnijom od mjere iz Scenarija 3 te da bi zabrana prometa motornih vozila po urbanim prometnicama s prekomjernim razinama buke mogla biti prilično učinkovita mjera za smanjenje razina buke ukoliko su iste u susjednim ulicama barem malo niže od najviših dopuštenih.

Mjere iz scenarija S4 (osiguranje slobodnog toka noću u Masarykovoju ul.) i S5 (preusmjeravanje određenog postotka prometa iz Masarykove ul. u susjedne ulice) nisu rezultirale niti značajnim smanjenjem razina buke u Masarykovoju ul. (razine buke u toj ulici ostale su veće od najviših dopuštenih), niti značajnim povećanjem istih u susjednim ulicama. Potrebno je istaknuti da su se razine buke u Masarykovoju ulici uslijed gašenja semafora u noćnom periodu čak i neznatno povećale (do 0,4 dB(A)), što ukazuje na činjenicu da ova mjera uistinu može dovesti do povećanja brzine vožnje, a time i do pogoršanja postojećeg stanja bučnosti.

Mjera iz Scenarija 6 (uvođenje „zone 30 km/h“ u Masarykovoju ulici) nije mogla biti pravilno ocijenjena zbog toga što je najveća ostvarena brzina vožnje osobnih automobila i dostavnih vozila u Masarykovoju ulici iznosila 30 km/h.

Zaključno, prenamjena Dionice 2 Masarykove ul. u pješačku zonu (Scenarij 2) pokazala se najučinkovitijom mjerom za smanjenje razina buke u ovom istraživanju, dok je osiguranje slobodnog prometnog toka noću čak dovelo do pogoršanja postojećeg stanja bučnosti u toj ulici. Nadalje, mjere iz scenarija 4, 5 i 6 nisu mogle biti pravilno ocijenjene, a razlozi tomu su bila relativno velika prometna opterećenja u analiziranim ulicama te prilično kratki potezi između raskrižja. Naime, navedene mjere bi vjerojatno bile mnogo učinkovitije da se njihov utjecaj na smanjenje razina buke analizirao unutar šireg urbanog područja (npr. cijelog naselja), a ne samo u neposrednoj blizini jedne gradske prometnice. Obzirom na sve navedeno, preporuka je da se u budućim studijama istraživanja opisana u ovom radu provedu na širem urbanom području koje će sadržavati ulice s duljim segmentima između cestovnih raskrižja. U tom će slučaju ocjena učinkovitosti različitih mjera za smanjenje razina buke, ali i modeliranje prometnog toka, zasigurno biti mnogo lakši i precizniji.

LITERATURA

1. Future brief: Noise abatement approaches, Issue 17, European Commission, 2017.
2. Urban environment: European Environment Agency, <http://www.eea.europa.eu>, 03.01.2020.
3. Murphy, E., King, E.: Environmental Noise Pollution, 1st Edition, Elsevier, 2014.
4. Lakušić, S., Dragčević, V., Rukavina, T.: Mjere za smanjenje buke od prometa u urbanim sredinama, GRAĐEVINAR, 57 (2005) 1, str. 1-9.

Džambas, T., Dragčević, V., Petrović, M.

Ocjena učinkovitosti mjera za smanjenje razina buke u urbanim sredinama

5. 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>, 12.12.2019.
6. Nieuwenhuijsen, M.J., Khreis, H.: Car free cities - Pathway to healthy urban living, *Environment International* 94 (2016), pp. 251–262.
7. Inventory of noise mitigation methods: The European Commission Working Group 5: Abatement, <https://www.hoevelakenbereikbaar.nl>, 11.02.2020.
8. Pravilnik o najvišim dopuštenim razinama buke u sredini u kojoj ljudi rade i borave, NN 145/04.
9. Grad Zagreb: Generalni urbanistički plan Grada Zagreba, <https://www.zagreb.hr>, 28.04.2020.
10. Zakon o zaštiti od buke, NN 30/2009.
11. Directive 2002/49/EC of the European Parliament and of the Council of 25 June 2002 relating to the assessment and management of environmental noise. 14 p.