

## Istraživanje efekata vibracionih traka na smanjenje brzine kretanja vozila u zoni pješačkih prelaza

Milan Andrijašević, Samostalni savjetnik II za saobraćaj, Opština Bar, Bulevar revolucije 1, Bar, milan.1.andrijasevic@gmail.com

Vladimir Ilić, Mašinski fakultet Podgorica, Bulevar Džordža Vašingtona bb, vladimiri@ucg.ac.me

Boško Matović, Mašinski fakultet Podgorica, Bulevar Džordža Vašingtona bb, boskom@ucg.ac.me

Vuk Bogdanović, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 6, vuk@uns.ac.rs

Radoje Vujadinović, Mašinski fakultet Podgorica, Bulevar Džordža Vašingtona bb, radojev@ucg.ac.me

*Rezime: U cilju smanjivanja brzine kretanja u zoni pješačkih prelaza, primjenjuju se različite tehnike i sredstva za usporavanje saobraćaja. U praksi se na navedenim dionicama, naročito ukoliko predstavljaju prolasku državnih puteva kroz naselje, primjenjuju vibracione trake. Vibracione trake predstavljaju tehnička sredstva za usporavanje saobraćaja na kolovozu koje pri prelazu vozila preko istih proizvode jače vibracije i zvučne efekte i na taj način upozoravaju vozače na potrebu smanjenja brzine kretanja vozila. S obzirom da se vibracionim trakama vozači ne primoravaju da smanje brzinu kretanja prinudnim putem, nameće se potreba da se ispituju efekti postavljanja vibracionih traka. Poznato je da vibracione trake proizvode zvučne vibracije, što utiče na nivo buke u okruženju u kojem su postavljene, naročito u uslovima gusto izgrađenih naselja. U tom smislu, u okviru rada su ispitani efekti postavljanja vibracionih traka u zoni pješačkih prelaza, na način što je mjerena brzina kretanja pojedinačnih vozila prije i poslije vibracionih traka. Rezultati su pokazali da je preko 80% vozila ostvarilo smanjenje brzine kretanja na dionici na kojoj se nalaze vibracione trake. Međutim, na lokaciji istraživanja je uočen i visok procenat prekoračenja dozvoljene brzine kretanja (skoro 80%). Ovo upućuje na zaključak da vibracione trake postavljene na lokaciji istraživanja imaju efekta u pogledu smanjenja brzine kretanja vozila u saobraćajnom toku (u prosjeku za oko 5 km/h), ali ipak ne „primoravaju“ vozače na poštovanje dozvoljene brzine kretanja.*

*Ključne reči: vibracione trake, pješački prelazi, brzina, mjere za smirivanje saobraćaja, DataFromSky*

### 1 UVOD

Trenutni trendovi koji se odnose na smrtne slučajeve i povrede nastale u saobraćajnim nezgodama, ukazuju da je riječ o rastućem problemu na globalnom nivou. Procjena je da svake godine u saobraćajnim nezgodama život izgubi oko 1,35 miliona ljudi.

Takođe, povrede zadobijene u drumskom saobraćaju zauzimaju osmo mjesto, kada posmatramo najčešće uzročnike smrti u svim starosnim kategorijama. [1]

Brzina predstavlja jedan od ključnih faktora koji doprinosi nastanku i težini posledica saobraćajnih nezgoda. Prema različitim izvorima, povećanjem brzine kretanja za 1% povećava se rizik nastanka nezgode za oko 7,8%. Sa druge strane, različiti istraživači ukazuju da smanjenje prosječne brzine saobraćajnog toka za 1% odgovara smanjenju stope nezgoda od 1,5 do 3%. U Evropi, više od 68% ispitanika je izjavilo da vozi brže od ograničenja brzine na različitim kategorijama puteva, pri čemu je brza vožnja najčešće prijavljeno nebezbedno ponašanje [2].

Istraživanjem indikatora bezbjednosti saobraćaja u Crnoj Gori u 2023. godini, utvrđeno je da se više od polovine vozača kretalo brzinom koja je veća od ograničenja brzine na posmatranoj dionici puta (58,2%), dok je njih 41,8% poštovalo ovo ograničenje. Procenat prekoračenih brzina u 2023. godini povećao se u odnosu na 2022. godinu za 10,4% [3]. Ovi podaci najbolje pokazuju koliko je problem brzina izražen na putevima u Crnoj Gori, uz tendenciju pogoršanja stanja. Poštovanje dozvoljenih brzina kretanja je naročito važno u naseljima, gdje je povećano prisustvo ranjivih kategorija učesnika u saobraćaju. Ovo je izrazito važno na mjestu ukrštanja pješačkih i tokova vozila, naročito ako se uzme u obzir funkcionalna zavisnost sudarne brzine i rizika od stradanja pješaka.

Kruszyna i Matczuk-Pisarek [4] su izvršili evaluaciju različitih mjera koje imaju za cilj smanjenje brzine kretanja vozila u zonama pješačkih prelaza, pri čemu je istaknuta činjenica da oko 1/3 poginulih u saobraćaju čine pješaci, od kojih 25% pogine na pješačkim prelazima. Uočeni su brojni faktori koji utiču na nastanak saobraćajnih nezgoda u kojima učestvuju pješaci, i to: vidljivost pješačkih prelaza, ometanje slušne pažnje pješaka, vremenske prilike, okruženje puta i sl.

Kao izrazito rizične lokacije u urbanim sredinama predstavljaju prolasci državnih puteva kroz naselje, na kojima se, po pravilu, ostvaruju veće dozvoljene brzine, pa samim tim predstavljaju dionice sa povećanim rizikom za nastanak saobraćajnih nezgoda. U cilju smanjivanja brzine na pomenutim lokacijama koriste se različita sredstva, pri čemu se predmet interesovanja ovog rada odnosi na primjenu vibracionih traka, kao tehničkog sredstva za smirivanje saobraćaja u zoni pješačkih prelaza.

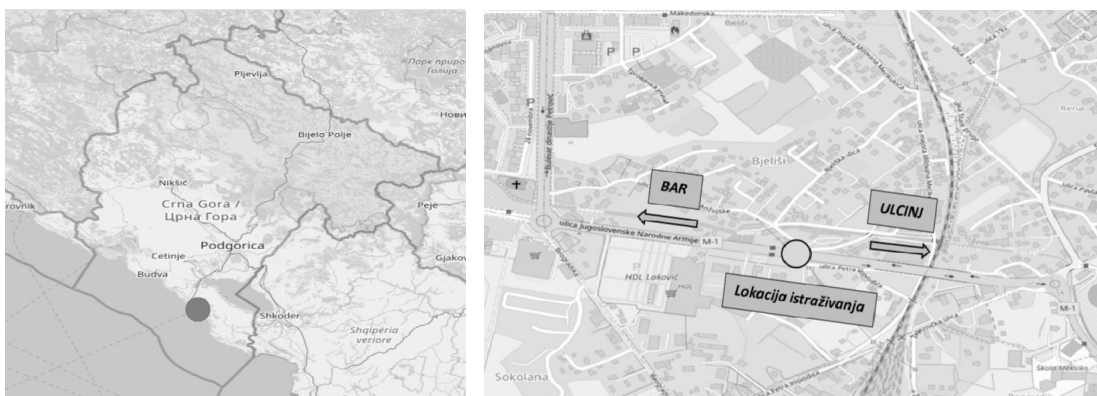
Vibracione trake pripadaju grupi sredstava za smirivanje saobraćaja koje vozače ne primoravaju fizički da smanje brzinu kretanja, poput, npr. „ležećih policajaca“. Prilikom prelaska vozila preko vibracionih traka proizvode se vibracije, koje se prenose do vozača, i na taj način utiču na povećanje opreznosti, i posledično smanjenje trenutne brzine kretanja. Postavljaju se u saobraćajnoj (kolovoznoj) traci poprečno na pravac kretanja vozila, u setovima ili parovima, pri čemu u zavisnosti od važeće brzine kretanja u zoni pješačkog prelaza, zavisi i međusobno odstojanje između vibracionih traka. Razmak između postavljenih traka smanjuje se od prvog ka poslednjem setu, gledano u smjeru kretanja vozila, zavisno od propisane brzine kretanja na dionici. Vibracione trake se izvode od plastičnih materijala, širine najčešće 12cm i visine 5mm.

## 2 ISTRAŽIVANJE

### 2.1 Metodologija i cilj istraživanja

Ispitivanje efekata vibracionih traka na smanjenje brzine kretanja vozila obavljeno je na dionici magistralnog puta M-1 Bar – Ulcinj, koja predstavlja dio državnog puta koji prolazi kroz naselje. Istraživanje je izvršeno u zoni pješačkog prelaza koji se nalazi na presjeku saobraćajnice, koja se sastoji od dvije kolovozne trake koje su fizički odvojene razdjelnim ostvrom, sa po dvije saobraćajne trake za kretanje u jednom smjeru, u zoni raskrsnice sa ulicom Petra Vojvodića i ulicom Kraljice Jelene Anžuske. Dionica se nalazi u pravcu, bez izraženog uzdužnog nagiba u zoni pješačkog prelaza.

Prikaz makro i mikro zone na kojoj je vršeno istraživanje prikazan je na Slici 1.



Slika 1. Prikaz makro i mikro zone istraživanja

Povod za odabir lokacije istraživanja leži u činjenici da se na istoj dogodio veliki broj saobraćajnih nezgoda sa učešćem pješaka. U cilju unaprijeđenja bezbjednosti saobraćaja na predmetnoj dionici, upravljač puta je u toku 2022. godine izvršio primjenu seta saobraćajno-tehničkih mjera za poboljšanje bezbjednosti saobraćaja. Mjere su se sastojale u dodatnom naglašavanju predmetne zone saobraćajnom signalizacijom, kao i u ugradnji zvučno-vibracionih traka.



Slika 2. Lokacija na kojoj je vršeno istraživanje

Neophodni podaci za sprovođenje istraživanja prikupljeni su pomoću video snimka, sačinjenog uz pomoć drona. Korišćena je letilica marke "DJI Mini 3", koja omogućava evidentiranje video snimaka iz vazduha visoke rezolucije (Slika 3). Dron je opremljen

kamerom od 48 Mpix i posjeduje četiri propelera koji mu omogućavaju da u vazduhu razvije brzinu od 16 m/s, tako da je moguće lako mijenjati poziciju sa koje se snima.



*Slika 3. Letelica korišćena za potrebe istraživanja*

Snimak je sačinjen u toku radnog dana, u popodnevним satima, van perioda vršnog sata. Snimano je pod uglom od  $0^\circ$  u odnosu na površinu kolovoza, na visini od oko 200 m. Za vrijeme snimanja vremenski uslovi su bili povoljni (sunčano i bez prisustva vjetra). Sačinjeni snimak, dužine oko 20 minuta, je kasnije obrađen u programskom paketu „DataFromSky”, pomoću koga se došlo do potrebnih podataka o brzinama kretanja vozila u saobraćajnom toku, kao i vrijednostima njihovog usporenja prilikom prolaska kroz zonu u kojoj su postavljene vibracione trake. Prednost ovakvog načina prikupljanja podataka u saobraćaju ogleda se u činjenici da prikupljeni podaci oslikavaju realne uslove odvijanja saobraćaja, jer učesnici u saobraćaju nisu svjesni da su predmet snimanja u datom trenutku, pa nema nikakve promjene ponašanja usled toga.

„DataFromSky” predstavlja softver koji nudi različita analitička rješenja posvećena upravljanju saobraćajem. Ovaj softver raspolaže alatima koji omogućavaju da na osnovu sačinjenog video snimka odvijanja saobraćaja na nekoj dionici/lokaciji utvrdi brojne parametre saobraćajnih tokova za različite analize, od kojih su za potrebe ovog istraživanja najznačajniji brzina kretanja vozila, kao i vrijednosti njihovog usporenja. Uz pomoć softvera definisano je ukupno 4 gejta (poprečna presjeka) na kojima softver prepoznaje prolaskе objekata (vozila, pješaka, biciklista i sl.) (Slika 4). Po jedan ulazni gejt postavljen je ispred prvog seta vibracionih traka, dok je po jedan izlazni gejt postavljen neposredno iza poslednjeg seta vibracionih traka (posmatrano u smjeru kretanja). Posmatrana je brzina vozila prilikom njihovog prolaska kroz ulazni i izlazni gejt. Takođe, posmatrano je i maksimalno usporenje koje je vozilo ostvarilo prilikom kretanja između ulaznog i izlaznog gejta, sa tvrdnjom da je svako vozilo čije je ubrzanje negativno na tom putu usporavalo. Obim posmatranog uzorka iznosi 472 vozila, od kojih se 225 kretalo u smjeru ka centru grada, a 247 u smjeru ka Ulcinju. Dominantan tip vozila u saobraćajnom toku su putnički automobili, koja učestvuju sa preko 95%.



Slika 4. Prikaz gejtova definisanih u softveru DataFromSky

### 3 REZULTATI

U nastavku su prikazani rezultati istraživanja koji se odnose na analizu brzina kretanja vozila na predmetnoj dionici, analizu brzine na ulaznom i izlaznom gejtu, kao i vrijednost usporenja vozila. Statistička obrada podataka izvršena je u softveru „Statistica”.

#### 3.1 Analiza brzina kretanja vozila

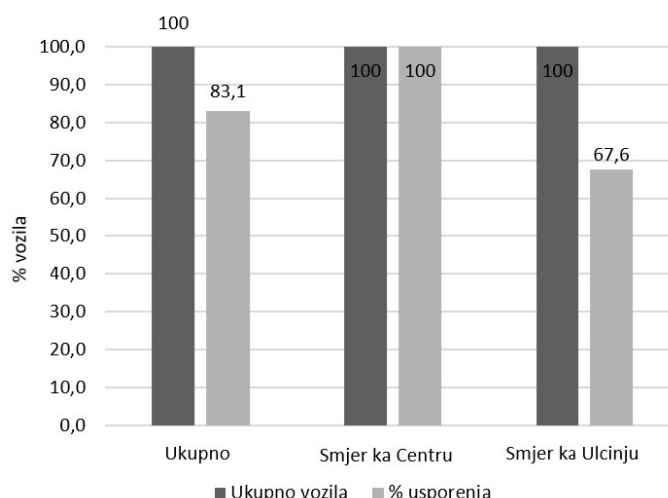
U tabeli 1 su prikazana osnovna obilježja snimljenih brzina kretanja vozila u saobraćajnom toku, gledano po smjerovima kretanja. Aritmetička vrijednost brzine kretanja u smjeru ka centru grada iznosi 66.39 km/h, dok u smjeru ka Ulcinju iznosi 55.03 km/h. I jedna i druga vrijednost veće su od ograničenja brzine na posmatranoj dionici, koje iznosi 50 km/h. Maksimalna izmjerena brzina iznosi 127.15 km/h i snimljena je u smjeru kretanja od Ulcinja prema centru grada.

Tabela 1. Obilježja brzina kretanja vozila po smjerovima [km/h]

	Obim uzorka	Srednja vrijednost	Medijana	Minimum	Maksimum	Standardna devijacija
Smjer ka Centru	225	66.39	66.31	38.47	127.15	12.42
Smjer ka Ulcinju	247	55.03	54.23	25.12	112.65	11.43
Ukupno	472	60.44	59.50	25.12	127.15	13.18

#### 3.2 Analiza smanjenja brzina kretanja vozila

Od ukupno 472 vozila koja su snimljena u saobraćajnom toku, njih 392 je ostvarilo usporenje na putu između ulaznog i izlaznog gejta. Sa dijagrama prikazanog na Slici 5 se uočava da su, posmatrano od Ulcinja prema centru grada, sva vozila ostvarila smanjenje brzine kretanja između početka i završetka vibracionih traka, dok je za suprotan smjer kretanja smanjenje brzine ostvarilo 67,6% vozila.



Slika 5. Raspodjela vozila koja su ostvarila usporenje po smjerovima

Imajući u vidu da je između ulaznog i izlaznog gejta došlo do smanjenja trenutne brzine kretanja, potrebno je ispitati vrijednost smanjenja brzine, a kako bi se, pored činjenice da dolazi do smanjenja brzine kretanja, utvrdila njena vrijednost. Osnovna obilježja usporenja prikazana su u tabeli 2. Srednja vrijednost usporenja u smjeru ka centru iznosi  $-1.31 \text{ m/s}^2$ , dok u suprotnom smjeru iznosi  $-0.42 \text{ m/s}^2$ . Rezultati sprovedenog t-testa, pokazali su da postoji statistički značajna razlika između vrijednosti usporenja, gledano po smjerovima.

Tabela 2. Obilježja usporenja vozila po smjerovima

	Obim uzorka	Srednja vrijednost	Medijana	Minimum	Maksimum	Standardna devijacija
Smjer ka Centru	225	-1.31	-1.19	-3.82	-0.06	0.54
Smjer ka Ulcinju	167	-0.42	-0.28	-2.85	-0.01	0.47
Ukupno	392	-0.93	-0.89	-3.82	-0.01	0.67

U tabeli 3 prikazani su rezultati t-testa kojim je ispitana hipoteza da li postoji statistički značajna razlika između brzina na ulaznom i izlaznom gejtu, posmatrano samo za vozila koja su između ova dva gejta ostvarila usporenje (392 vozila).

Tabela 3. T-test za upoređivanje brzina na ulaznom i izlaznom gejtu

	Srednja vrijednost brzine na ulazu	Srednja vrijednost brzine na izlazu	T vrijednost	df	p	Stand. devijacija brzina na ulazu	Stand. devijacija brzina na izlazu
Brzina na ulazu/ brzina na izlazu	63.14 km/h	58.21 km/h	5.014	782	0.000001	14.45 km/h	13.01 km/h

Rezultati t-testa pokazuju da postoji statistički značajna razlika između brzina kretanja vozila na ulaznom i izlaznom gejtu (p vrijednost od 0.000001 manja je od svih standardnih pragova značajnosti). Za ova vozila, srednja vrijednost brzina na ulaznom gejtu iznosi

63.14 km/h, dok na izlaznom gejtju iznosi 58.21 km/h, odakle slijedi da prosječno smanjenje brzine kretanja, na dionici od prvog do poslednjeg seta vibracionih traka, iznosi 4,93 km/h.

U tabeli 4 prikazana je raspodjela usporenja vozila po kategorijama. Najveći procenat usporenja nalazi se u rasponu  $-1-0 \text{ m/s}^2$  (55%), dok usporenja manja od  $-4 \text{ m/s}^2$  nisu evidentirana.

Tabela 4. Raspodjela usporenja po kategorijama

Kategorija	Obim	Kumulativni obim	Procenat	Kulumativni procenat
$-5.00 < x \leq -4.00$	0	0	0.00	0.00
$-4.00 < x \leq -3.00$	3	3	0.76	0.76
$-3.00 < x \leq -2.00$	29	32	7.39	8.16
$-2.00 < x \leq -1.00$	143	175	36.47	44.64
$-1.00 < x \leq 0.00$	217	392	55.35	100.00

#### 4 ZAKLJUČAK

Istraživanjem je obuhvaćeno ukupno 472 vozila, snimljenih iz vazduha uz pomoć drona. Lokacija istraživanja nalazi se na teritoriji opštine Bar, odnosno na dionici magistralnog puta oznake M-1, dionica Bar-Ulcinj.

Prosječna brzina kretanja, posmatrano za oba smjera, iznosi 60.44 km/h, što predstavlja vrijednost koja je veća od dozvoljene brzine kretanja, koja na lokaciji istraživanja iznosi 50 km/h. Najveća izmjerena brzina kretanja vozila iznosi 127.15 km/h i evidentirana je u smjeru ka centru Bara.

Sprovedenim istraživanjem dokazano je da postavljene vibracione trake daju rezultate u pogledu smanjenja brzine kretanja vozila. Posmatrano za oba smjera kretanja, nešto više od 80% vozila je ostvarilo usporenje između presjeka koji se nalazi neposredno ispred prvog seta postavljenih vibracionih traka i presjeka koji se nalazi neposredno iza poslednjeg seta traka, gledano u smjeru kretanja vozila. Što se tiče vrijednosti usporenja po smjerovima, utvrđeno je da postoji statistički značajna razlika. Prosječna vrijednost usporenja posmatrano u smjeru ka centru grada iznosi  $-1.31 \text{ m/s}^2$ , dok u suprotnom smjeru iznosi  $-0.42 \text{ m/s}^2$ . Više od polovine vozila koja su se kretala usporeno u posmatranoj zoni, ostvarilo je usporenje u rasponu  $-1-0 \text{ m/s}^2$ .

Statističkom analizom je utvrđeno da postoji značajna razlika između vrijednosti brzina na ulaznom i izlaznom gejtju, pri čemu je utvrđeno da prosječno smanjenje brzine kretanja iznosi 4,93 km/h.

Prethodno prikazani rezultati ukazuju na zaključak da vibracione trake dovode do smanjenja brzine kretanja vozila, ali imajući u vidu činjenicu na prosječnu vrijednost smanjenja brzine, kao i na ostvarene brzine koje su znatno veće od definisanog ograničenja brzine na istraživanoj dionici, može se zaključiti da je na ovakvim ili sličnim uslovima puta i okruženja potrebno primjeniti i druge saobraćajno-tehničke mjere za smirivanje saobraćaja, a samim tim za postizanje većeg nivoa bezbjednosti saobraćaja.

Pravci budućih istraživanja mogu biti usmjereni na ispitivanje nivoa buke koje emituju vibracione trake, čije stvaranje je naročito izraženo u urbanim sredinama, kakvo je i područje obuhvaćeno ovim istraživanjem.

## LITERATURA

- [1] Svjetska zdravstvena organizacija, 2018. Globalni izveštaj o stanju bezbjednosti saobraćaja, Ženeva.
- [2] Torfs, K., Meesmann, U., Van den Berghe, W., & Trotta, M, 2016. ESRA 2015 – The results. Synthesis of the main findings from the ESRA survey in 17 countries. ESRA project (European Survey of Road users' safety Attitudes). Brussels, Belgium: Belgian Road Safety Institute.
- [3] Matović, Boško. 2023. Studija indikatora performansi bezbjednosti saobraćaja u Crnoj Gori. Podgorica: Ministarstvo saobraćaja i pomorstva,
- [4] Kruszyna & Matczuk-Pisarek. (2021). The Effectiveness of Selected Devices to Reduce the Speed of Vehicles on Pedestrian Crossings.

## SUMMARY

### **Investigation of the effects of rumble strips on the reduction of movement speed in the pedestrian crossing zone**

*Abstract: In order to reduce the speed of movement at pedestrian crossings, different techniques and means for slowing down traffic are being implemented. In practice, on those sections – especially if these are the state roads passing through the settlement – the rumble strips are applied. Rumble strips represent technical means for slowing down traffic on the roadway, which produce strong vibrations and sound effects while vehicles pass over it. In that way, the rumble strips alert drivers of a need to reduce the speed of the vehicle's movement. Considering that the rumble strips do not oblige drivers – in an enforced manner – to reduce their speed, there is a need to examine the effects of installing rumble strips. Rumble strips are known to produce audible vibrations, which affects the noise level in the environment where they are installed, especially in the densely populated settlements. In that sense, this paper investigates the effects of installing rumble strips in the pedestrian crossings zones, by measuring the moving speed of individual vehicles before and after rumble strips. The results showed that over 80% of the vehicles reduced movement speed on the section where the rumbling strips are located. However, at the research location, a high percentage of speed limit violations was also observed (almost 80%). This leads to a conclusion that rumble strips installed at the research location have an effect in reducing the speed of the vehicle in the traffic flow (on average by about 5 km/h), however, it still does not “force” drivers to respect the posted speed limit.*

*Key words: rumble strips, crosswalk, speed, traffic calming measures, DataFromSky*