Mr Milorad Opsenica,
potpukovnik, dipl. inž.
Vojnotehnička akademija VJ,
Beograd

MERENJE PARAMETARA VOJNOG KOLONSKOG TOKA

UDC: 656.1.052.1/3:623

Rezime:

Kroz zapovest za kretanje eksplicitno se definišu sledeći parametri: deonična brzina i odstojanje među vozilima. Za vreme kretanja vojne motorizovane kolone mrežom, očekuju se odstupanja između zadatih i ostvarenih parametara. U radu su predstavljeni rezultati merenja stvarnih parametara vojnog kolonskog toka.

Ključne reči: vojni kolonski tok, parametri toka, brzina, interval sleđenja.

MEASURING MILITARY QUEUE FLOW PARAMETERS

Summary:

A movement order explicitly defines the following parameters: section speed and spacing. During a military queue motorized drive at road network, some deviations between determined and realized parameters are expected. Measuring results of real military queue flow parameters are presented in the paper.

Key words: military queue flow, flow parameters, speed, headway.

Uvod

Osnovni parametri saobraćajnog toka su, prema teoriji prostorna brzina, gustina i protok. Pomoću njih se opisuje stanje saobraćajnog toka, odnosno, posmatrano sa stanovišta odvijanja vojnog kolonskog saobraćaja, to su pokazatelji kvaliteta organizacije i realizacije kretanja u koloni. Pri planiranju i organizovanju vojnog kolonskog kretanja, na osnovu raspoloživih podataka o stanju putne mreže, opštih saobraćajnih uslova i zadatka koji treba da izvrši vojna jedinica (kolona) i njenog stanja, kroz forme zapovesti za kretanje, unapred se okvirno definišu parametri toka koji u toku realizacije kretanja usled mnoštva određe-

nih faktora iz okruženja manje-više odstupaju od zadatih vrednosti. Radi toga je pogodno, u toku izvršavanja konkretnih zadataka, odnosno kretanja kolone izmeriti parametre njenog toka kao stvarne pokazatelje veličine odstupanja zadatih i ostvarenih vrednosti.

Cilj merenja parametara vojnog kolonskog toka jeste saznanje o stvarnim parametrima toka vojne motorizovane kolone koja izvršava zadatak kretanja putnom mrežom. Dobijeni podaci se sistematizuju, obrađuju i, u pogodnoj formi, upoređuju sa veličinama koje su normativno regulisane (predviđene deonične brzine, odstojanja među vozilima u koloni, itd.) čime se dolazi do saznanja o odstupanjima

planskih i ostvarenih parametara kretanja, što je od posebnog značaja za obogaćivanje i unapređenje stručnog i praktičnog rada u jedinicama saobraćajne službe, a posebno u automobilskim jedinicama. Osim toga, stiče se uvid u ostvarene parametre vojnog kolonskog saobraćajnog toka koji je u interaktivnom odnosu sa ostalim saobraćajnim tokovima na putnoj mreži, što na određen način predstavlja teorijski doprinos izučavanju kretanja kolone, kao specifičnog oblika organizovanog (tj. prinudno formiranog) saobraćajnog toka.

Opis osnovnih parametara saobraćajnog toka

Protok vozila

Protok vozila predstavlja broj vozila koji prođe posmatrani presek saobraćajnice u jedinici vremena. Sa aspekta realnih saobraćajnih tokova, zavisno od načina posmatranja u odnosu na prostor, razlikuje se:

— protok vozila na preseku (odseka ili deonice) puta,

— protok vozila na odseku ili deonici puta.

Protok vozila na preseku ostvaruje se na posmatranom preseku puta u jedinici vremena. Osnovna jedinica za iskazivanje protoka vozila je broj vozila na jedan čas (voz/h).

Brzina saobraćajnog toka

Brzina saobraćajnog toka predstavlja srednju brzinu svih vozila u posmatranom toku. Zavisno od načina posmatranja protoka u odnosu na prostor i vreme, u teoriji saobraćajnog toka figurišu dva pojma za definisanje brzine saobraćajnog toka, kao odgovarajuće srednje vrednosti brzina svih vozila posmatranog toka, i to:

— srednja prostorna brzina toka,

— srednja vremenska brzina toka.

Srednja prostorna brzina toka vezana je za odsek prostorno, a vremen-

Sl. 1 — Lokalno i trenutno merenje

ski za trenutak, dok je srednja vremenska brzina toka vezana prostorno za presek na odseku, a vremenski za period posmatranja.

Merenje brzina vozila na posmatranom preseku puta, kao i utvrđivanje srednje vremenske brzine saobraćajnog toka na osnovu takvog merenja, naziva se lokalno merenje ili posmatranje.

Radi ilustracije razlika u načinu posmatranja parametara saobraćajnog toka sa aspekta prostora i vremena, na slici 1 dat je odgovarajući prikaz lokalnog, odnosno trenutnog merenja. Na slici su prikazane trajektorije kretanja vozila na odseku Δs u periodu vremena Δt .

Osnovna jedinica za iskazivanje brzine saobraćajnog toka je broj kilometara na čas (km/h), ili se često koristi i broj metara u sekundi (m/s). Teorijska uopštavanja fundamentalnih relacija u teoriji saobraćajnog toka zasnivaju se na srednjoj prostornoj brzini toka. Merenje srednje prostorne brzine saobraćajnog toka je komplikovano (potrebna foto-oprema, helikopter, savremena elektronska oprema i sl.) što još uvek predstavlja složen i skup postupak.

U vezi s tim nameće se potreba iznalaženja jednostavnijih i jeftinijih načina određivanja (približne) vrednosti srednje prostorne brzine saobraćajnog toka. Jedan od načina je utvrđivanje srednje prostorne brzine toka na osnovu lokalnog merenja, odnosno pomoću vrednosti srednje vremenske brzine. Srednja vremenska brzina meri se jednostavno, pomoću mernog uređaja — radara koji se postavlja na određenom preseku puta. Po ovom postupku srednja prostorna brzina računa se kao harmonijska sredina izmerenih vrednosti srednje vremenske brzine.

Gustina saobraćajnog toka

Gustina saobraćajnog toka predstavlja broj vozila na jedinicu dužine saobraćajnice. Pojam gustine toka prostorno je vezan za odsek ili deonicu, a vremenski za trenutno stanje. Osnovna jedinica za iskazivanje gustine saobraćajnog toka je broj vozila po jednom kilometru (voz/km).

Postupak utvrđivanja gustine toka jednako je komplikovan kao i utvrđivanje srednje prostorne brzine, pa se pribegava utvrđivanju približne vrednosti gustine pomoću parametara dobijenih lokalnim merenjem. Jedan od načina je lokalno utvrđivanje vrednosti vremenskih, odnosno prostornih intervala sleđenja među vozilima u saobraćajnom toku.

Interval sleđenja

Vremenski interval sleđenja vozila u saobraćajnom toku predstavlja vreme između prolaska čela dva uzastopna vozila kroz zamišljeni presek posmatranog odseka puta. Ima poseban značaj pri opisivanju uslova odvijanja saobraćaja na putevima, ne samo kao osnovni pokazatelj za teorijska uopštavanja međuzavisnosti u saobraćajnom toku, nego i u praksi kao važan indikator kvaliteta saobraćajnog toka.

Prostorni interval sleđenja (rastojanje sleđenja) predstavlja prostorni razmak između čela dva uzastopna vozila u saobraćajnom toku.

Na slici 2 prikazana je ilustracija vremenskog (t_h), odnosno prostornog (S_h) intervala sleđenja među vozilima.

U saobraćajnom toku mogu se uočiti:

— intervali (rastojanja) među pojedinim vozilima u toku (t_{hi} , S_{hi}),

Sl. 2 — Intervali sleđenja među vozilima

— srednja vrednost ($t_{h\text{ sr}}$, $S_{h\text{ sr}}$), na posmatranom preseku u vremenu T za N vozila.

Merna jedinica za vremenski interval sleđenja je sekunda (s), a za prostorni interval sleđenja metar (m).

Analogno uslovima utvrđivanja brzine i gustine saobraćajnog toka očito je jednostavnije utvrđivanje vrednosti vremenskog intervala sleđenja lokalnim merenjem.

Međuzavisnost parametara

Osnovni analitički obrazac kojim se formuliše relacija između protoka (q), gustine saobraćajnog toka (g) i srednje prostorne brzine (V_s) glasi [2]:

$$q = g V_s \text{ (voz/h)} \quad (1)$$

Zavisnost između gustine saobraćajnog toka (g) i prostornog intervala sleđenja među vozilima (S_h) data je prema sledećem:

$$g = 1000/S_h \text{ (voz/km)} \quad (2)$$

Zavisnost između prostornog, vremenskog intervala sleđenja i srednje prostorne brzine je:

$$S_h = V_s t_h / 3,6 \text{ (m)} \quad (3)$$

Sukcesivne zamene iz obrazaca (1, 2 i 3) daju zavisnost između protoka i vremenskog intervala sleđenja:

$$q = 3600/t_h \text{ (voz/h)} \quad (4)$$

Organizovanjem lokalnog merenja kojim bi se utvrđivale vrednosti vremenskih intervala sleđenja među vozilima i njihovih trenutnih brzina na određenom preseku može se doći i do ostalih osnovnih parametara toka čije je merenje skupo i komplikovano. Tako dobijene vrednosti su približne, ali veoma korisne za ocenu kvaliteta saobraćajnog toka.

Pri organizovanju kretanja vojnih kolona, raspolaganje vrednostima osnovnih parametara toka veoma je važno, kako za fazu pripreme i planiranja, tako i pri samoj organizaciji i realizaciji kretanja radi preduzimanja adekvatnih mera radi što urednijeg i bezbednijeg kretanja vojnih učesnika.

Opisivanje osnovnih parametara saobraćajnog toka pomoću raspodela verovatnoća slučajnih promenljivih

Pod uticajem mnogobrojnih faktora koji imaju obeležja slučajno promenljivih u prostoru i vremenu, i osnovne veličine saobraćajnog toka imaju karakter promenljivih vrednosti. To znači da se određene vrednosti osnovnih veličina saobraćajnog toka, posmatrane na određenom preseku puta, pojavljuju sa određenom verovatnoćom.

Osnovni parametri saobraćajnog toka imaju karakter diskretne ili neprekidne promenljive. Prema tome, osnovne veličine saobraćajnog toka, koje predstavljaju diskretne slučajne promenljive, podležu određenom zakonu raspodele verovatnoća, dok osnovne veličine saobraćajnog toka, koje imaju karakter neprekidne slučajne promenljive, imaju određenu gustinu raspodele verovatnoća.

Opisivanje nekog od osnovnih parametara saobraćajnog toka (u konkretnom slučaju radi se o vremenskim intervalima sleđenja) nekom od poznatih raspodela daje, na određen način, predstavu o preovlađujućim uslovima u saobraćajnom toku na posmatranom odseku puta.

Posebnu pogodnost predstavlja činjenica da je za testiranje raspodela verovatnoća dovoljno obaviti merenja manjeg obima, a što ovaj način opisivanja čini praktičnim.

Poznato je da vremenski interval sleđenja vozila u toku može sa pozitivnom verovatnoćom da uzme proizvoljnu brojnu vrednost, pa je neprekidna slučajna promenljiva. Vremenski intervali sleđenja vozila u saobraćajnom toku karakterišu se određenim gustinama raspodele verovatnoća. U slučaju kada je protok vozila raspoređen po Puasonovoj raspodeli pokazuje se da su vremenski intervali sleđenja raspoređeni po eksponencijalnoj raspodeli verovatnoća.

Utvrđeno je da Puasonova raspodela protoka vozila na preseku puta važi u slučajevima kada nema značajnijeg ometanja vozila u toku. Ta činjenica je uzeta u obzir pri odabiru mernih mesta na maršruti.

Verovatnoća da se za vreme t na preseku pojavi x vozila je:

$$p_x(t) = (\lambda t)^x e^{-\lambda t} \quad (5)$$

Parametar λ predstavlja vrednost tzv. sekundnog protoka, odnosno srednju vrednost izmerenih vrednosti protoka izraženu u broju vozila po sekundi.

Za $x=0$ (slučaj kada za vreme t ne prođe ni jedno vozilo) dobija se:

$$p_0(t) = e^{-\lambda t} \quad (6)$$

Radi se o verovatnoći da vremenski interval sleđenja među vozilima (t_h) bude najmanje t . Dakle:

$$p(t_h \geq t) = p_0(t) = e^{-\lambda t} \quad (7)$$

Funkcija raspodele vremenskih intervala sleđenja $F(t)$ je:

$$F(t) = P(t_h < t) = 1 - P(t_h \geq t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (8)$$

Time je gustina raspodele verovatnoća vremenskih intervala sleđenja:

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (9)$$

S obzirom na to da je matematičko očekivanje eksponencijalne raspodele ($1/\lambda$), srednja vrednost vremenskog intervala sleđenja je:

$$t_{h\ sr} = 1/\lambda \quad (10)$$

Srednja vrednost vremenskog intervala sleđenja jednostavno se dobija iz izmerenih podataka primenom određenog statističkog postupka. To je osnovni parametar za pretpostavljenu eksponencijalnu raspodelu.

Kako je ovde reč o merenju parametara toka vezanih za vojni kolonski tok treba istaći specifičnost strukture

kolone koja je na određen način definisana zadatom vrednošću prostornog intervala sleđenja među vozilima. Naime, u praksi je uobičajen postupak da se pri izdavanju zapovesti za kretanje, pored ostalih važnih elemenata, daje i vrednost minimalnog rastojanja sleđenja među vozilima, a time se za određenu brzinu kretanja definiše i minimalna vrednost vremenskog intervala sleđenja koju vojni vozač ne bi smeo da ostvari zbog bezbednosnih razloga.

Uvođenje minimalnog vremenskog intervala sleđenja ($t_{h \min} = \tau$) u opisivanje vremenskih intervala sleđenja predstavlja pomešanu eksponencijalnu raspodelu.

Funkcija raspodele intervala sleđenja u ovom slučaju glasi:

$$F(t_h) = 1 - e^{-[(t_h - \tau)/(t_{h sr} - \tau)]} \quad (11)$$

Gustina raspodele verovatnoća izračunava se na sledeći način:

$$\begin{aligned} f(t_h) &= 0 \text{ za } t_h < \tau \\ f(t_h) &= [1/(t_{h sr} - \tau)] e^{-[(t_h - \tau)/(t_{h sr} - \tau)]} \\ &\text{za } t_h \geq \tau \end{aligned} \quad (12)$$

Izmerene (empirijske) vrednosti vremenskih intervala sleđenja (t_{hi}) klasiraju se u razrede prema uobičajenim statističkim normama, zavisno od veličine uzorka, pa se za svaki razred utvrdi empirijska frekvencija (f_{ei}). Na osnovu toga računa se srednja vrednost vremenskog intervala sleđenja ($t_{h sr}$), čija recipročna vrednost predstavlja parametar pretpostavljene teorijske raspodele, odnosno tzv. sekundni protok:

$$\lambda = 1/t_{h sr} \text{ (voz./s)}$$

Odgovarajuće teorijske frekvencije pojave intervala sleđenja ($t_h > t$) biće:

$$f_{ti} = f_{ei} e^{-\lambda t} \quad (13)$$

Ovako dobijene podatke o teorijskim frekvencijama potrebno je uporediti sa izmerenim vrednostima pri-

menom odgovarajućeg testa da bi se utvrdilo da li je uzorak verna slika osnovnog skupa iz kojega je uzet. Jedan od načina utvrđivanja podudarnosti teorijskih i empirijskih vrednosti jeste primena Hi-kvadrat testa (χ^2 -test). Po- menute dve frekvencije se ne moraju podudarati. Tada treba ustanoviti da li su te razlike prevelike i bitne kako bi se moglo smatrati da se posmatrana varijabla pokorava pretpostavljenoj raspodeli.

Veličina χ^2 definiše se na sledeći način:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k (f_{ei} - f_{ti})^2 / f_{ti}$$

Veličina k predstavlja broj klasa podataka koje se mogu redukovati prema utvrđenim pravilima statističkih postupaka. U odgovarajućoj tabeli [5] date su tablične vrednosti χ^2 sa kojima je potrebno uporediti izračunate vrednosti vodeći računa o pravilnom odabiru stepena slobode, što zavisi od broja klasa i broja parametara pretpostavljene raspodele. Prema uobičajenoj konvenciji smatra se da je hipoteza o podudarnosti teorijskih i empirijskih vrednosti prihvatljiva ukoliko izračunata vrednost ne premašuje tabličnu.

Realizacija merenja

Merenje parametara toka realizovano je tako što su se u stvarnim uslovima angažovanja vojnih motorizovanih kolona merili pojedini parametri toka, a ostali (koji se izvode) naknadno su proračunavani.

Mereni su parametri toka više jedinica — kolona sa različitim brojem vozila. Homogenost pojedinih kolona sa aspekta strukture vozila bila je izražita (većina vozila je iste marke i tipa, odnosno istih ili veoma sličnih dinamičkih karakteristika).

Na izabranim tačkama na maršrutu, u skladu sa dinamikom prolaska pojedinih kolona, mereni su sledeći parametri:

— vremena nailaska čela i začelja kolone na datu tačku,
— trenutne brzine kretanja čelnog i začelnog vozila iz kolone,

Tabela 1

Karakteristike mernih mesta

Mesto	Kovanluk (benz. pumpa)	Nagib	+ 1 ‰
		Broj traka	2
Datum	03. 06. 1997.	Širina kolovoza	6,5 m
Vreme	08.06 — 08.12	Prav put	—
Vidljivost	dobra	Zastor	asfalt dobar
Mesto	Počekovina	Nagib	0 ‰
		Broj traka	2
Datum	03. 06. 1997.	Širina kolovoza	6 m
Vreme	09.09 — 09.15	Prav put	—
Vidljivost	dobra	Zastor	asfalt dobar
Mesto	Koševi (obilaznica)	Nagib	4 ‰
		Broj traka	2
Datum	03. 06. 1997.	Širina kolovoza	5,5 m
Vreme	9.50 — 10.00	Krivina	R > 15 m
Vidljivost	dobra	Zastor	asfalt loš
Mesto	Lazarica	Nagib	— 1 ‰
		Broj traka	2
Datum	03. 06. 1997.	Širina kolovoza	6 m
Vreme	10.28 — 10.36	Prav put	—
Vidljivost	dobra	Zastor	asfalt loš
Mesto	Paraćin (grobļje)	Nagib	+ 2 ‰
		Broj traka	2
Datum	03. 06. 1997.	Širina kolovoza	5,5 m
Vreme	12.15 — 12.20	Krivina	R > 15 m
Vidljivost	dobra	Zastor	asfalt loš
Mesto	Kruševac (pruž. prelaz)	Nagib	0 ‰
		Broj traka	2
Datum	03. 06. 1997.	Širina kolovoza	7 m
Vreme	14.05 — 14.09	Put u pravcu	—
Vidljivost	dobra	Zastor	asfalt loš

— vremenski interval sleđenja među vozilima u koloni.

Na osnovu podataka dobijenih ovim merenjem moguće je izvesti ostale parametre toka kao što su prostorna brzina kretanja, prosečna gustina toka, odnosno prosečno odstojanje među vozilima u koloni, protok i sl.

Za merenje trenutne brzine kretanja vozila korišćen je ručni radar ZMH 0201 — »Iskra«, a za merenje vremenskih podataka hronometar-štoperica. Merenje je obavljala ekipa koja je istovremeno snimala sve tri vrste podataka i beležila ih u unapred pripremljene obrasce.

Za ovo merenje bilo je potrebno:

— putničko vozilo sa dobrim dinamičkim svojstvima i ispravnim pokazivačem pređene kilometraže.

— ručni radar (priključuje se na akumulator vozila),

— digitalna štoperica,

— potrebni obrasci,

— pribor za saobraćajno izviđanje,

— četiri lica (dva lica za merenje brzine, a dva za merenje vremenskih intervala sleđenja).

Priborom za saobraćajno izviđanje utvrđivane su karakteristike mer-

nih mesta važne za analizu dobijenih podataka. Izboru mernih mesta prethodilo je saobraćajno izviđanje predviđene maršrute, određivanje mernih mesta i plan posedanja mernih mesta.

Izbor mernih mesta izvršen je tako da se zadovolji što veća različitost u pogledu osnovnih karakteristika puta i saobraćaja (da bude zastupljen razan deo puta, put na pravcu, krivina, uspon, spust, itd.).

U skladu sa uslovima različitosti mernih mesta i dinamike realizacije kretanja na vežbi izvršeno je 6 snimanja prema pregledu karakteristika mernih mesta, datom u tabeli 1.

Rezultati merenja

a) *Merno mesto br. 1 — Kovanluk (benzinska pumpa)*

U koloni se nalazilo 51 vozilo, planirana deonična brzina iznosila je 45 km/h, a odstojanje među vozilima dato je u rasponu od 50 do 100 m. Na osnovu zabeleženih brzina čelnog i začelnog vozila proračunata je srednja vrednost trenutne brzine od 47,6 km/h. Na slici 3 dat je histogram izmerenih i te-

Sl. 3 — Histogram frekvencija — merno mesto br. 1, Kovanluk

orijskih frekvencija vremenskih intervala sleđenja.

Izmerene vrednosti upoređene su sa teorijskim vrednostima (pretpostavljena je pomećena eksponencijalna raspodela sa pomakom od $t_{h\min}=3$ s), izvršeno je testiranje Hi-kvadrat testom sa rizikom $R=0,05$ i dobijeno je zadovoljavajuće slaganje (tabela 2). Pomak od 3 sekunde određen je tako što među svim empirijskim vrednostima vremenskog intervala sleđenja nije zabeležena ni jedna vrednost manja od 3 sekunde.

b) Merno mesto br. 2 — Počekovina

U koloni se nalazilo 23 vozila, planirana deonična brzina je bila 45 km/h, a odstojanje među vozilima dato je u

rasponu od 50 do 100 m. Na osnovu zabeleženih brzina čelnog i začelnog vozila proračunata je srednja vrednost trenutne brzine od 51,4 km/h.

Na slici 4 prikazan je histogram izmerenih i teorijskih frekvencija vremenskih intervala sleđenja.

Izmerene vrednosti upoređene su sa teorijskim vrednostima (pretpostavljena je pomećena eksponencijalna raspodela sa pomakom od $t_{h\min}=6$ s), izvršeno je testiranje Hi-kvadrat testom sa rizikom $R=0,05$ i dobijeno je zadovoljavajuće slaganje (tabela 3). Pomak od 6 sekundi određen je tako što među svim empirijskim vrednostima vremenskog intervala sleđenja nije zabeležena ni jedna vrednost manja od 6 sekundi.

Tabela 2

Upoređenje frekvencija, χ^2 -test, Kovanluk

Merno mesto		Raspodela	
Kovanluk (benz. pumpa) $\tilde{t}_h = 11,67$ s		Pomerena eksponencijalna $t_{h\min} = 3$ s	
Klasa (t_h)	Empirijske frekvencije (f_i)	Teorijske frekvencije (f_{ti})	$\frac{(f_i - f_{ti})^2}{f_{ti}}$
0—10	28	28,25	0,002
10—20	17	15,57	0,130
20—30	4	4,91	0,194
30—40	0	1,55	
40—50	1	0,49	
50—60	1	0,15	
> 60	0	0,08	
	$\Sigma = 51$	$\Sigma = 51$	$\chi^2 = 0,33$

Sl. 4 — Histogram frekvencija — merno mesto br. 2, Počkovina

Tabela 3

Upoređenje frekvencija, χ^2 -test, Počkovina

Merno mesto		Raspodela	
Počkovina $\bar{t}_h = 14,80$ s		Pomerena eksponencijalna $t_{hmin} = 6$ s	
Klasa (t_h)	Empirijske frekvencije (f_i)	Teorijske frekvencije (f_{ti})	$\frac{(f_i - f_{ti})^2}{f_{ti}}$
0—8	5	4,65	0,03
8—16	8	10,94	0,79
16—24	7	4,40	0,91
24—32	3	1,77	
> 32	0	1,23	
$\Sigma = 23$		$\Sigma = 23$	$\chi^2 = 1,73$

c) *Merno mesto br. 3 — Koševi
(obilaznica)*

U koloni se nalazilo 30 vozila, planirana deonična brzina bila je 50 km/h, a odstojanje među vozilima dato je u rasponu od 50 do 100 m. Na osnovu zabeleženih brzina čelnog i začelnog vozila proračunata je srednja vrednost trenutne brzine od 47,2 km/h.

Na slici 5 prikazan je histogram izmerenih i teorijskih frekvencija vremenskih intervala sleđenja.

Izmerene vrednosti upoređene su sa teorijskim vrednostima (pretpostavljena je eksponencijalna raspodela), izvršeno je testiranje Hi-kvadrat testom sa rizikom $R=0,05$ i dobijeno je zadovoljavajuće slaganje (tabela 4).

d) *Merno mesto br. 4 — Lazarica*

U koloni se nalazilo 33 vozila, planirana deonična brzina bila je 45 km/h, a odstojanje među vozilima dato je u rasponu od 50 do 100 m. Na osnovu zabeleženih brzina čelnog i začelnog vozila proračunata je srednja vrednost trenutne brzine od 50,4 km/h. Na slici

6 prikazan je histogram izmerenih i teorijskih frekvencija vremenskih intervala sleđenja.

Izmerene vrednosti upoređene su sa teorijskim vrednostima (pretpostavljena je pomerena eksponencijalna raspodela sa pomakom od $t_{h\min}=3$ s), izvršeno je testiranje Hi-kvadrat testom sa rizikom $R=0,05$ i dobijeno je zadovoljavajuće slaganje (tabela 5).

Pomak od 3 sekunde određen je tako što među svim empirijskim vrednostima vremenskog intervala sleđenja nije zabeležena ni jedna vrednost manja od 3 sekunde.

e) *Merno mesto br. 5 — Paraćin
(groblje)*

U koloni je bilo 32 vozila, planirana deonična brzina iznosila je 40 km/h, a odstojanje među vozilima dato je u rasponu od 50 do 100 m. Na osnovu zabeleženih brzina čelnog i začelnog vozila proračunata je srednja vrednost trenutne brzine od 43,3 km/h.

Na slici 7 prikazan je histogram izmerenih i teorijskih frekvencija vremenskih intervala sleđenja.

Sl. 5 — Histogram frekvencija — merno mesto br. 3, Koševi

Upoređenje frekvencija, χ^2 -test, Koševi

Merno mesto		Raspodela	
Koševi $\bar{t}_h = 22,66$ s		Eksponecijalna	
Klasa (t_h)	Empirijske frekvencije (f_i)	Teorijske frekvencije (f_{ti})	$\frac{(f_i - f_{ti})^2}{f_{ti}}$
0—20	20	17,58	0,33
20—40	5	7,27	0,71
40—60	2	3,01	0,004
60—80	1	1,25	
80—100	0	0,52	
100—120	1	0,21	
> 120	1	0,16	
	$\Sigma = 30$	$\Sigma = 30$	$\chi^2 = 1,04$

Sl. 6 — Histogram frekvencija — merno mesto br. 4, Lazarica

Upoređenje frekvencija, χ^2 -test, Lazarica

Merno mesto		Raspodela	
Lazarica $t_h = 14,50$ s		Pomerena eksponencijalna $t_{hmin} = 3$ s	
Klasa (t_h)	Empirijske frekvencije (f_i)	Teorijske frekvencije (f_{ti})	$\frac{(f_i - f_{ti})^2}{f_{ti}}$
0—10	13	15,04	0,27
10—20	14	10,43	1,22
20—30	4	4,37	0,31
30—40	1	1,83	
40—50	1	0,76	
> 50	0	0,57	
	$\Sigma = 33$	$\Sigma = 33$	$\chi^2 = 1,80$

Sl. 7 — Histogram frekvencija — merno mesto br. 5, Paraćin (groblje)

Izmerene vrednosti upoređene su sa teorijskim vrednostima (pretpostavljena je pomerena eksponencijalna raspodela sa pomakom od $t_{h \min} = 4$ s), izvršeno je testiranje Hi-kvadrat testom sa rizikom $R = 0,05$ i dobijeno je zadovoljavajuće slaganje (tabela 6). Pomak od 4 sekunde određen je tako što među svim empirijskim vrednostima vremenskog intervala sleđenja nije zabeležena ni jedna vrednost manja od 4 sekunde.

*f) Merno mesto br. 6 — Kruševac
(pružni prelaz)*

U koloni je bilo 24 vozila, planirana deonična brzina iznosila je 40 km/h, a odstojanje među vozilima dato je u

rasponu od 50 do 100 m. Na osnovu zabeleženih brzina čelnog i začelnog vozila proračunata je srednja vrednost trenutne brzine od 42,8 km/h.

Na slici 8 prikazan je histogram izmerenih i teorijskih frekvencija vremenskih intervala sleđenja.

Izmerene vrednosti upoređene su sa teorijskim vrednostima (pretpostavljena je pomerena eksponencijalna raspodela sa pomakom od $t_{h \min} = 3$ s), izvršeno je testiranje Hi-kvadrat testom sa rizikom $R = 0,05$ i dobijeno je zadovoljavajuće slaganje (tabela 7). Pomak od 3 sekunde određen je tako što među svim empirijskim vrednostima vremenskog intervala sleđenja nije zabeležena ni jedna vrednost manja od 3 sekunde.

Tabela 6

Upoređenje frekvencija, χ^2 -test, Paraćin (groblje)

Merno mesto		Raspodela	
Paraćin (groblje) $t_h = 7,88$ s		Pomerena eksponencijalna $t_{h \min} = 4$ s	
Klasa (t_h)	Empirijske frekvencije (f_i)	Teorijske frekvencije (f_{ti})	$\frac{(f_i - f_{ti})^2}{f_{ti}}$
0—5	6	7,27	0,22
5—10	20	17,91	0,24
10—15	3	4,93	0,098
15—20	2	1,36	
20—25	1	0,38	
> 25	0	0,15	
	$\Sigma = 32$	$\Sigma = 32$	$\chi^2 = 0,56$

Sl. 8 — Histogram frekvencija — merno mesto br. 6, Kruševac (pruga)

Tabela 7

Upoređenje frekvencija, χ^2 -test, Kruševac (pruga)

Merno mesto		Raspodela	
Kruševac (pruga) $\bar{t}_h = 8,45$ s		Pomerena eksponencijalna $t_{hmin} = 3$ s	
Klasa (t_h)	Empirijske frekvencije (f_i)	Teorijske frekvencije (f_{ti})	$\frac{(f_i - f_{ti})^2}{f_{ti}}$
0—5	8	6,75	0,231
5—10	8	9,15	0,145
10—15	3	3,65	0,0016
15—20	3	1,46	
> 20	0	0,99	
$\Sigma = 22$		$\Sigma = 22$	$\chi^2 = 0,38$

Zbirni pregled

Ukupno je opservirano 193 vozila. Na slici 9 prikazan je histogram izmerenih i teorijskih frekvencija vremenskih intervala sleđenja.

Izmerene vrednosti upoređene su sa teorijskim vrednostima (pretpostavljena je pomerena eksponencijalna raspodela sa pomakom od $t_{h\min}=3$ s), izvršeno je testiranje Hi-kvadrat testom sa rizikom $R=0,05$ i dobijeno je zadovoljavajuće slaganje (tabela 8). Pomak od 3 sekunde određen je tako što među svim empirijskim vrednostima vremenskog intervala sleđenja nije zabeležena ni jedna vrednost manja od 3 sekunde.

U tabeli 9 prikazan je pregled pripadajućih vrednosti zbira χ^2 karakterističnih za određeno merno mesto, odnosno, primenjenu teorijsku pretpostavljenu raspodelu vremenskih intervala sleđenja. Za tri klase podataka (u svim parcijalnim proračunima) i jedan nepoznat parametar raspodele (srednja vrednost sekundarnog protoka) i

uz rizik od $R=0,05$ tablična vrednost $\chi^2=3,841$. Prema tome, mogu se prihvatiti hipoteze o pretpostavljenim teorijskim raspodelama vezanim za određena merna mesta, jer su sve dobijene vrednosti χ^2 manje od tablične vrednosti.

Ostali (izvedeni) parametri

Na osnovu zabeleženih srednjih vrednosti vremenskih intervala sleđenja među vozilima, prosečne brzine kretanja pojedine kolonske formacije i broja vozila u pojedinoj formaciji (i njihovih dimenzionih karakteristika) moguće je proračunati prosečne vrednosti sledećih parametara:

- vremensku dubinu kolone D_t (min),
- dužinu kolonske formacije D_k (km),
- odstojanje među vozilima l_s (m),
- gustinu vojnog kolonskog toka g (voz/km),

Sl. 9 — Histogram frekvencija — zbirni pregled

Tabela 8

Upoređenje frekvencija, χ^2 -test, zbirni pregled

Zbirni proračun		Pomerena eksponencijalna $t_{hmin} = 3 \text{ s}$	
$\bar{t}_h = 11,67 \text{ s}$			
Klasa (t_h)	Empirijske frekvencije (f_i)	Teorijske frekvencije (f_{ti})	$\frac{(f_i - f_{ti})^2}{f_{ti}}$
0—10	106	106,91	0,008
10—20	64	58,91	0,440
20—30	17	18,59	0,140
30—40	1	5,86	0,780
40—50	1	1,85	
50—60	1	0,58	
> 60	3	0,30	
$\Sigma = 193$		$\Sigma = 193$	$\chi^2 = 1,36$

Tabela 9

Pregled zbira χ^2 po mernim mestima

Merno mesto	Raspodela	χ^2
Kovanluk (benz. pum.)	Pomerena eksponencijalna (3 s)	0,33
Počekovina	Pomerena eksponencijalna (6 s)	1,73
Lazarica	Pomerena eksponencijalna (3 s)	1,80
Koševi	Eksponencijalna	1,04
Paraćin (groblje)	Pomerena eksponencijalna (4 s)	0,56
Kruševac (pruga)	Pomerena eksponencijalna (3 s)	0,38
ZBIRNO	Pomerena eksponencijalna (3 s)	1,36

— protok vojnog kolonskog toka q (voz/h).

U tabeli 10 dat je pregled pripadajućih parametara vojnog kolonskog toka prema mernim mestima i prosečne

vrednosti koje su dobijene primenom odgovarajućih težinskih koeficijenata (zbog različite brojnosti uzorka, zavisno od broja vozila po pojedinoj formaciji).

Tabela 10

Pregled parametara toka po mernim mestima

Merno mesto	N	V $\left(\frac{\text{km}}{\text{h}}\right)$	t_h (s)	D_t (min)	D_k (km)	l_s (m)	g $\left(\frac{\text{voz.}}{\text{km}}\right)$	q $\left(\frac{\text{voz.}}{\text{h}}\right)$
Kovanluk (ben. pumpa)	51	47,6	11,67	10,21	8,10	154	6,49	309
Počkovina	23	51,4	14,80	5,39	4,62	201	4,97	256
Lazarica	33	50,4	14,50	7,97	6,69	203	4,93	248
Koševi	30	47,2	22,66	14,66	11,53	385	2,60	123
Kruševac (pruga)	24	42,8	8,45	3,53	2,51	105	9,53	408
Paraćin (groblje)	32	43,3	7,88	4,20	3,03	95	10,56	457
Prosečne vrednosti	32	47,2	12,78	6,9	5,43	168	5,95	281

Zaključak

Sprovedenim merenjem parametara vojnog kolonskog toka došlo se do veoma interesantnih i korisnih saznanja u domenu planiranja i organizovanja vojnog saobraćaja.

Pre svega, pokazalo se da ostvareni parametri kretanja u toku realizacije praktičnih zadataka, u realnim saobraćajnim uslovima, pokazuju određena odstupanja od zadatah, odnosno planiranih parametara.

Naime, prema uslovima zapovesti za kretanje kolone (relativno fiksno zadata brzina kretanja pojedine kolonske formacije, kao i odstojanje među vozilima) može se očekivati da će vremenski intervali sleđenja među vozilima biti ravnomerno raspoređeni. Međutim, na svim mernim mestima, kao i pri zbirnom sagledavanju stanja, poka-

zalo se da su vremenski intervali sleđenja među vozilima u vojnoj motorizovanoj koloni eksponencijalno raspoređeni, odnosno da se vojni kolonski tok u realnim saobraćajnim uslovima pokorava Puasonovoj raspodeli.

Interesantno je da su vremenski intervali sleđenja među vozilima gotovo na svim mernim mestima raspoređeni po pomejenoj eksponencijalnoj raspodeli sa određenim pomakom zavisnim od lokalnih uslova saobraćaja, ali koji ni u jednom slučaju nije preprimio vrednost manju od 3 sekunde. Ova činjenica na određen način ukazuje na produženo dejstvo elemenata iz zapovesti za kretanje kojima je definisana donja granica potrebnog prostornog odstojanja među vozilima iz kolonske formacije. Treba istaći da su vremenski intervali sleđenja mereni samo među vojnim vozilima iz kolona,

a ne i između vojnih i ostalih vozila u toku. To ukazuje na činjenicu da vojni vozač na određen način »zanemaruje« prisustvo ostalih učesnika u toku, odnosno zadato odstojanje procenjuje i održava u odnosu na prethodno vojno vozilo iz kolone. Bez obzira na to očito je da učešće ostalih vozila i njihov privremeni boravak u koloni znatno remeti stanje ravnomernosti kretanja, jer su vojni vozači prinuđeni da se povinuju zakonitostima kretanja ukupnog toka.

Imajući u vidu da posmatrana vozila nisu bila opterećena (merenje je sprovedeno pri kretanju praznih vozila), karakteristike putnih i saobraćajnih uslova na većini mernih mesta nisu imale značajniji odraz na ostvarene parametre, odnosno, iz dobijenih podataka ne proizilazi značajniji korelativni odnos. Od toga jedino u određenoj meri odstupaju podaci sa mernog mesta br. 3 — Koševi (obilaznica), gde je zabeležena relativno velika vrednost prosečnog vremenskog intervala sleđenja ($t_h = 22,66$ s), kao i značajno rasipanje ($s = 26,7$ s). To se može objasniti činjenicom da je merno mesto odabrano neposredno iza uključenja na obilaznicu, kada je vojna kolonska formacija bila još pod jakim uticajem lokalnih uslova (pojedinačno uključenje vo-

zila iz kolone bez primenjenih mera regulacije).

Dobijeni rezultati pokazali su da između planiranih i ostvarenih brzina kretanja nije bilo značajnijeg odstupanja (prosečna planirana brzina bila je 44,2 km/h, a prosečna ostvarena brzina 47,2 km/h), dok je ostvareno prosečno odstojanje među vozilima znatno veće od predviđenog (prosek je bio 168 m u odnosu na zadati raspon od 50 do 100 m). To se objašnjava činjenicom da vojni vozač relativno lako može pratiti, odnosno korigovati brzinu kretanja svog vozila (praćenjem brzinomera), dok odstojanje do prethodnog vozila iz kolone mora subjektivno procenjivati, ali i prilagođavati ostalim učesnicima u toku.

Uz dužan oprez prema dobijenim rezultatima, usled malobrojnosti uzorka, rezultati do kojih se došlo mogu biti korisni realizatorima vojne kolone. Primera radi, za homogenu formaciju od 32 tipična vojna vozila u koloni, dobijene su prosečne vrednosti pojedinih parametara (poslednja kolona iz tabele 10), koji su vrlo značajni za organizaciju kretanja vojne motorizovane kolone, kao i za specijalizovane organe za regulisanje i kontrolu vojnog saobraćaja.

Literatura:

- [1] Elaborat ZTV Timok-97, VTA VJ, Smer SbSl, Beograd, 1997.
- [2] Kuzović Lj.: Teorija saobraćajnog toka, IRO Građevinska knjiga, Beograd, 1987.
- [3] Opsenica, M.: Poremećaji civilnog saobraćajnog toka učešćem vojne motorizovane kolone u njemu, seminarski rad PDS, CVTŠ KoV, Zagreb, 1988.

- [4] Jovanović, G.: Putni saobraćaj, lekcija, CVTŠ KoV, Zagreb, 1986.
- [5] Vukadinović, S.: Elementi teorije verovatnoće i matematičke statistike, Privredni pregled, Beograd, 1980.