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

PRETICANJE VOJNE MOTORIZOVANE KOLONE

UDC: 656.13.052.48

Rezime:

Vojnu motorizovanu kolonu na putnoj mreži gotovo redovno pretiču ostala vozila u saobraćaju. U ovom radu sagledan je proces preticanja kolone pojedinačnim vozilom. Izložen je uprošćen matematički model za utvrđivanje vremenskih gubitaka u toku preticanja. Posebno je istaknut značaj odgovarajuće brzine kretanja kolone za efikasno preticanje.

Ključne reči: preticanje, vojna motorizovana kolona, vremenski gubici.

OVERTAKING A MILITARY MOTORIZED COLUMN

Summary:

The problem of overtaking a military motorized column on roads occurs as a rule. An appear military queue motorized on road network it to comes in sight ordinarily overtaking problem the same of the others vehicles in traffic flow. The overtaking of a military motorized column by an individual vehicle is presented in the paper. The simplified mathematical model for time delay during overtaking period is dicussed. The importance of column speed for the effective overtaking is particularly stressed.

Key words: overtaking, military motorized column, delay.

Uvod

Veliki broj transportnih potreba oružanih snaga u mirnodopskom periodu obavlja se organizovanjem kolonskog saobraćaja. Vojne motorizovane kolone u uslovima otvorenog saobraćaja svojim prisustvom na određenoj mreži znatno utiču na stanje saobraćajnih tokova. Za razliku od slobodnog saobraćajnog toka, kretanje vojne motorizovane kolone uglavnom je određeno relativno fiksnim parametrima. To je određena brzina kretanja kolone, odnosno odstojanje među vozilima ili marševskim formacijama. S obzirom na to da su planske brzine kreta-

nja vojnih motorizovanih kolona, za date uslove puta i saobraćaja, redovno niže od brzina kretanja vozila u slobodnom toku, javlja se potreba za preticanjem vojne motorizovane kolone.

Ovaj rad temelji se na determinističkom pristupu problemu preticanja, primenjenom na specifične uslove, tj. pojavu kolone u saobraćaju.

S obzirom na to da se i u uslovima slobodnog saobraćajnog toka ponekad formiraju kolonski oblici kretanja, rezultati ovog rada mogu se, uz odgovarajuće modifikacije, iskoristiti i u tu svrhu. Konkretno, u radu su sagledani opšti uslovi preticanja vojne

motorizovane kolone, analizirani su preticanje kolone pojedinačnim vozilom i vremenski gubici u toku procesa preticanja.

Opšti uslovi preticanja kolone vozila

Vojnu motorizovanu kolonu u toku kretanja posebno karakteriše relativno nepromenjena brzina kretanja i međusobno odstojanje između vozila, odnosno formacija ukoliko se radi o diskontinualnoj vojnoj motorizovanoj koloni. U poređenju sa istim karakteristikama slobodnog saobraćajnog toka, brzina kretanja je manja, a odstojanja među vozilima u koloni su određena dok su u slučaju slobodnog toka obe veličine stohastičkog karaktera. Prema tome, pojava vojne motorizovane kolone na putnoj mreži znatno će uticati na uslove kretanja ostalih učesnika, a naročito na tok vozila koji se kreće u istom smeru.

Na proces preticanja kolone pored putnih, vremenskih i ostalih saobraćajnih uslova naročito utiču sledeći faktori:

- brzina kretanja kolone V_k ,
- dužina kolone D_k ,
- obim saobraćaja iz suprotnog smera q_s .

Pod brzinom kretanja kolone u ovom radu se podrazumeva brzina kretanja vojne motorizovane kolone (V_k) koja je regulisana pravilom za određene uslove (tabela 1).

Kolona svojom dužinom utiče na proces preticanja tako što u određenom vremenu zauzima odsečak puta u smeru kretanja, prisiljavajući vozila koja je preteču na korišćenje druge saobraćajne površine (uglavnom se radi o traci za kretanje iz suprotnog smera). Dužina kolone zavisi od broja vozila (N), dužine vozila u koloni (l_v), odstojanja između vozila (l_n), organizacije kolone (kontinualna-diskontinualna), odnosno stepena diskontinuitete-

Tabela 1

Pregled orijentacionih planskih brzina kretanja vojne motorizovane kolone (km/h)

Vrsta puta	Danju		Noću			
			Sa svetlima		Bez svetala	
	Točkaši	Gusenič.	Točkaši	Gusenič.	Točkaši	Gusenič.
Auto-put i put rezervisan za automobilski saobraćaj	50	—	40	—	25	—
Put sa savremenom podlogom	40	—	30	—	20	—
Put sa osavremenjenom podlogom	30	—	20	—	15	—
Šljunčani put	25	20	20	15	10	12
Zemljani put	15	12	15	12	12	10

ta (jednostepena, dvostepena ili trostepena).

Za kontinualnu kolonu dužina D_k iznosi:

$$D_k = (N-1)l_p + l_v \quad (1)$$

gde je:

D_k — dužina kolone (m),

N — broj vozila u koloni,

l_p — proračunsko odstojanje između vozila ($l_p = l_n + l_v$) (m),

l_n — neto odstojanje između vozila (m),

l_v — prosečna dužina vozila (m).

• Za diskontinualnu n-stepenu kolonu sa identičnim marševskim formacijama, dužina je:

$$D_k = Nl_v + (N-m)l_n + (m-p)L_m + (p-e)L_p + (e-l)L_e \quad (2)$$

gde je:

m — broj marševskih elemenata,

p — broj podešelona,

e — broj ešelona,

L_m — odstojanje između marševskih elemenata (m),

L_p — odstojanje između podešelona (m),

L_e — odstojanje između ešelona (m),

l_n — odstojanje između vozila u formaciji (m).

Sastav kolone se na proces preticanja prvenstveno odražava kroz brzinu kretanja (dinamičke karakteristike vozila), ali i kroz druge specifične uticaje, kao što su gabaritne karakteristike vozila i sl.

Veličina protoka iz suprotnog smera uslovljava proces preticanja kolone, što se konačno odražava na broj odustajanja od preticanja, broj ulazaka u kolonu za vreme preticanja, odnosno kretanje iza kolone.

Put sa svojim karakteristikama i specifičnim objektima i u uslovima nekolonskog kretanja na pojedinim odseccima onemogućuje preticanje, što se pojavom vojne motorizovane kolone znatno usložava. Isto tako, specifični vremenski uslovi (doba dana, atmosferske pojave, i sl.), u sprezi sa pojavom kolone, izrazitije utiču na proces preticanja.

Ostali saobraćajni uslovi, najčešće u vidu raznih normativnih rešenja, kao što su zabrane preticanja, prioriteta, i sl. takođe značajno utiču na mogućnost, odnosno proces preticanja vojne motorizovane kolone.

Analiza preticanja kolone pojedinačnim vozilom

Radi sagledavanja preticanja kolone pojedinačnim vozilom koje sustiže kolonu, dopustivo je poslužiti se sledećim pretpostavkama:

— vozilo sustiže kolonu brzinom V_o ,

— kolona se kreće brzinom V_k ,

— protok iz suprotnog smera je q_s ,

— putni, vremenski i ostali saobraćajni uslovi omogućuju preticanje,

— put je dvosmerni sa dve saobraćajne trake širine B_t .

Radi li se o kontinualnoj koloni i uvažavajući uvedene pretpostavke, može se posmatrati preticanje kolone u vremenu (sl. 1).

Pogodno je odrediti vreme Δt za koje će vozilo preteći celu kolonu pod pretpostavkom nepostojanja protoka iz suprotnog smera ($q=0$).

Iz uslova $\Delta t = S_p/V_o$ i

$\Delta t = \Delta S/V_k$ sledi da je

$S_p/V_o = \Delta S/V_k$.

Sl. 1 — Preticanje kontinualne kolone

Prema slici 1, očito da je

$$S_p = D_k + \Delta S.$$

Proizilazi da je

$$D_k/V_o = \Delta S(1/V_k + 1/V_o). \quad (3)$$

Kako je $\Delta S = V_k \Delta t$, dobije se:

$$D_k/V_o = V_k \Delta t(1/V_k + 1/V_o) \quad (4)$$

odakle sledi da je:

$$\Delta t = D_k/(V_o - V_k) \text{ (s) za } V_o > V_k \quad (5)$$

Definiše li se odnos $V_o/V_k = \partial$, tada je

$$\Delta t = [D_k/V_k] [1/(\partial - 1)]. \quad (6)$$

Ilustracija prethodnog obrasca prikazana je na slici 2, gde je odgovarajućim dijagramom data zavisnost vremena preticanja kolone od odnosa brzina V_o i V_k , korišćenjem realnih vrednosti za pomenute veličine.

Sl. 2 — Dijagram zavisnosti vremena preticanja kolone od odnosa brzina V_o i V_k

Sa dijagrama na slici 2 vidi se da je vreme preticanja kolone eksponencijalno raspodeljeno u zavisnosti od odnosa brzina preticanja i brzine kretanja kolone. Uočava se da najbrže opada vreme preticanja u području odnosa brzina $\partial = 1,1$ do $2,0$. To ukazuje da dalje povećanje tog odnosa ne donosi vremensku korist dok se istovremeno znatno ugrožava bezbednost kretanja.

Postojanjem saobraćajnog toka iz suprotnog smera (q_s) skraćuje se raspoloživo vreme za preticanje, pa je vozilo primorano da nakon izvesnog vremena (Δt) uđe u kolonu i propusti vozila iz suprotnog smera. To vreme Δt , uz uslov da je ono veće od vremena potrebnog za preticanje bar jednog vozila iz kolone, može se matematički uprostiti na:

$$\Delta t = 1/q_s \text{ (s)}. \quad (7)$$

Prema tome, deo dužine kolone koji vozilo pretekne u tom raspoloživom vremenu iznosi:

$$\Delta D_k = (V_o - V_k) \Delta t \text{ (m)} \quad (8)$$

odnosno

$$\Delta D_k = (V_o - V_k)/q_s \text{ (m)}. \quad (9)$$

Iz prethodnog obrasca dobija se broj potrebnih parcijalnih preticanja da bi se pretekla cela kolona:

$$n_p = D_k / \Delta D_k = (D_k q_s) / (V_o - V_k) \quad (10)$$

S obzirom na to da je dužina kolone u funkciji brzine kretanja kolone (preko odstojanja među vozilima), to je $D_k = (N-1) l_p + l_v$, a odstojanje između vozila l_n , koje, prema modelu realnog bezbednosnog odstojanja, iznosi:

$$l_n = V_k t_r + V_k^2 / [2 g (\mu \cos \beta + \sin \beta)] + l_{ks} \text{ (m)}, \quad (11)$$

gde je:

- V_k — planska brzina kretanja kolone (ms^{-1}),
- t_r — vreme reakcije sistema vozač-vozilo (s),
- g — gravitaciono ubrzanje (ms^{-2}),
- μ — koeficijent prijanjanja oboda točka o podlogu,
- β — uzdužni nagib puta (rad),
- l_{ks} — bezbedno odstojanje vozila u mestu (m).

Prema tome, potreban broj parcijalnih preticanja iznosi:

$$n_p = q_s [(N-1)(l_n + l_v) + l_v] / (V_o - V_k) \quad (12)$$

Broj vozila iz kolone koji se pretekne u jednom parcijalnom preticanju određen je sledećim relacijama:

$$\Delta N = \Delta D_k g_k = g_k [(V_o - V_k) / q_s] \quad (13)$$

gde je:

- g_k — gustina vozila u koloni (voz. m^{-1}),
- q_s — protok vozila iz suprotnog smeru (voz. s^{-1}),

Uvođenjem zamena:

$q_k = g_k V_k$ i $V_o / V_k = \partial$, dobije se:

$$\Delta N = (q_k / q_s) (\partial - 1) \quad (14)$$

gde je:

- q_k — protok vozila kolone (voz. s^{-1}),
- q_s — protok vozila iz suprotnog smeru (voz. s^{-1}),
- ∂ — odnos brzina V_o i V_k .

Izraz za broj vozila koja se preteknu u jednom parcijalnom preticanju može se napisati i kao:

$$\begin{aligned} \Delta N &= (V_k g_k / q_s) [(V_o / V_k) - 1] = \\ &= (V_o g_k / q_s) - (V_k g_k / q_s), \text{ odnosno,} \\ \Delta N &= (l / q_s) [(V_o g_k) - (V_k g_k)]. \end{aligned} \quad (15)$$

Za specijalne slučajeve dobije se:

$V_k = 0$, $\Delta N = V_o g_k / q_s$ — kolona stoji, tj. preticanje postaje obilaženje,

$V_k = V_o$, $\Delta N = 0$ — vozilo se kreće istom brzinom kao i kolona.

Analiza vremenskih gubitaka u toku preticanja

U toku procesa preticanja vojne motorizovane kolone, vozila koja pretiču, u više navrata (tj. n_p -navrata) kreću se brzinom kretanja kolone V_k . To dovodi do većeg utroška vremena po jedinici puta, odnosno smanjuje prosečnu brzinu kretanja, a ima i odgovarajuću troškovnu, odnosno ekonomsku posledicu.

Pogodno je razmotriti elementarni događaj preticanja u vremenu, uz realno dopustiva pojednostavljenja:

— kolona se kreće konstantnom brzinom ($V_k = \text{const.}$),

— ubrzanje (usporenje) pri promenama brzine pretičućeg vozila su konstantna ($a = \text{const.}$),

— pretičuće vozilo efektivno pretiče brzinom V_o .

Uz ovako definisane uslove, pri jednom parcijalnom preticanju pretičućeg vozila, prema slici 3, raspoloži-

vo vreme za preticanje sadrži sledeća parcijalna vremena:

Δt_o — ukupno vreme za koje se pretičuće vozilo kreće brzinom $V < V_o$,

Sl. 3 — Promena brzine pretičućeg vozila

Δt_d — vreme usporenja sa vrednosti V_o na V_k ,

Δt_k — vreme kretanja brzinom V_k (kretanje u koloni),

Δt_a — vreme ubrzanja sa vrednosti V_k na V_o .

Očito vredi da je

$$\Delta t_o = \Delta t_d + \Delta t_k + \Delta t_a \text{ (s)}. \quad (16)$$

S obzirom na to da pretičuće vozilo pri svakom parcijalnom preticanju vreme Δt_o ne koristi za efektivno preticanje, potrebno ga je oduzeti od raspoloživog vremena za parcijalno preticanje (Δt). Tako se dobija stvarno raspoloživo vreme za parcijalno preticanje (Δt_s):

$$\Delta t_s = \Delta t - \Delta t_o = (l/q_s) - \Delta t_o \text{ (s)}. \quad (17)$$

Deo dužine kolone, koji se može preteći za stvarno raspoloživo vreme, ΔD_{ks} je:

$$\Delta D_{ks} = (V_o - V_k) \Delta t_s = (V_o - V_k) [(l/q_s) - \Delta t_o] \text{ (m)}. \quad (18)$$

Ovaj deo dužine kolone može se izraziti i brojem vozila i gustinom vozila u koloni:

$$\Delta N_s = \Delta D_{ks} g_k \text{ (pretečenih vozila)}. \quad (19)$$

Sada potreban broj parcijalnih preticanja, da bi se pretekla cela vojna motorizovana kolona, iznosi:

$$n_{ps} = N / \Delta N_s. \quad (20)$$

Ukupno vreme koje vozilo pri procesu preticanja kolone ne koristi za efektivno preticanje, iznosi:

$$T_u = n_{ps} \Delta t_o \text{ (s)}. \quad (21)$$

Sukcesivnim zamenama iz obraza-
ca 17, 18, 19 i 20 i uvažavajući relaciju da je dubina kolone definisana kao $D_k = (N-1) l_p + l_v$, dobija se pogodan obrazac za izračunavanje ukupno »izgubljenog« vremena. Za specijalne slučajeve dobija se:

— $V_k = 0$ (kolona stoji, preticanje postaje obilaženje):

$$T_u = [\Delta t_o N (l_{ks} + l_v)] / V_o [(l/q_s) - \Delta t]$$

— $V_o = V_k$ (iste brzine pretičućeg i vozila iz kolone):

$$T_u = \infty$$

— $l/q_s = \Delta t_o$ (interval sleđenja vozila toka iz suprotnog smera jednak je raspoloživom vremenu za preticanje):

$$T_u = \infty$$

Pogodno je analizirati zavisnost izgubljenog vremena T_u i međusobnog odnosa brzina V_o i V_k . Na slici 4 prikazan je dijagram izrađen na osnovu sledećih uslova:

$N = 60$ vozila u koloni,

$V_k = 10 \text{ ms}^{-1}$ (36 km/h), zadata brzina kretanja kolone,

$l_v = 7 \text{ m}$, prosečna dužina vozila iz sastava kolone,

$q_s = 0,02 \text{ voz. s}^{-1}$ (72 voz/h), protok iz suprotnog smera.

Sa dijagrama na slici 4 uočava se područje minimalnih vremenskih gubitaka u procesu preticanja vojne motorizovane kolone. Ono se kreće od $\partial=2$ do $\partial=3$.

Sl. 4 — Dijagram zavisnosti vremena T_u od odnosa brzina V_o i V_k

Dakle, uz minimalne vremenske gubitke, odnosno najpovoljniji odnos brzina V_o i V_k , koji se kreće oko 2,5 zanimljivo je uočiti zavisnost gubitaka od veličine protoka iz suprotnog smera. Na slici 5 ta zavisnost je prikazana za realno pretpostavljene veličine protoka.

Sl. 5 — Dijagram zavisnosti vremena T_u od veličine protoka iz suprotnog smera u slučaju najpovoljnijeg odnosa brzina V_o i V_k

Očigledan je znatan porast vremena T_u sa porastom veličine protoka iz suprotnog smera, što ukazuje na potrebu usklađivanja vremena kretanja vojnih motorizovanih kolona (uvek kada je to moguće) sa vremenskim neravnomernostima ostalog saobraćaja na mreži.

Zaključak

Spoznaje do kojih se došlo u ovom radu korisne su za učesnike u slobodnom saobraćajnom toku i za organizatore, odnosno realizatore vojnog kolonskog saobraćaja.

S obzirom na to da strukture koje planiraju i organizuju vojno kolonsko kretanje određuju parametre kretanja vojnih motorizovanih kolona, naročito brzinu kretanja vojne motorizovane kolone V_k , a nemaju uticaja na stanje slobodnog saobraćajnog toka, to se vremenske, a time i materijalne uštede mogu ostvariti adekvatnim odabirom brzina kretanja vojne motorizovane kolone u konkretnim uslovima.

Kao što je pokazano, minimalni vremenski gubici u procesu preticanja vojne motorizovane kolone ostvaruju se pri određenom odnosu brzina slobodnog saobraćajnog toka i brzine vojne motorizovane kolone ($\partial=2-3$), što može biti jedan od važnih kriterijuma pri izboru brzina kretanja vojne motorizovane kolone.

S druge strane, vremenski gubici rastu sa porastom protoka iz suprotnog smera, što ukazuje na obavezu struktura koje planiraju i organizuju vojna kolonska kretanja da posvete dužnu pažnju vremenskim neravnomernostima u saobraćaju karakterističnim za konkretnu putnu mrežu.

Literatura:

- [1] Opsenica, M.: Poremećaji civilnog saobraćajnog toka učešćem vojne motorizovane kolone u njemu, seminarski rad PDS, CVTŠ KoV, Zagreb, 1988.
- [2] Jovanović, G.: Putni saobraćaj, lekcija, CVTŠ KoV, Zagreb, 1986.

- [3] Dragač, R.: Bezbednost saobraćaja, Saobraćajni fakultet, Beograd, 1983.

- [4] Begma, I. V., Gavrilov, E. V., Kalušskij, J. A.: Uticaj psihofiziologije vozača na projektiranje cesta, prevod, TŠC KoV, Zagreb, 1979.