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

KRETANJE VOJNE MOTORIZOVANE KOLONE BRDSKO-PLANINSKIM PODRUČJEM

UDC: 656.1.052.4:623.43

Rezime:

Vojna motorizovana kolona savlađuje deonice u brdsko-planinskom području u pogoršanim uslovima kretanja, što remeti parametre toka, i dovodi do nastanka udarnih talasa koji utiču na uredno i bezbedno kretanje. U radu je analiziran uticaj tipičnih karakteristika putnih uslova brdsko-planinskog područja na parametre toka vojne motorizovane kolone.

Ključne reči: vojna motorizovana kolona, brdsko-planinsko područje, parametri toka.

MOVEMENT OF A MILITARY MOTORIZED QUEUE AT MOUNTAINOUS AREAS

Summary:

During the movement of a military motorized queue at mountainous areas the movement conditions become aggravated. It disturbs flow parameters and creates shock waves, which are undesirable for regular and safe movement. Effects of typical characteristics of mountainous road conditions upon the flow parameters of a military motorized queue are analysed in the paper.

Key words: military motorized queue, mountainous area, flow parameters.

Uvod

U toku izvršavanja transportnih zadataka jedinica VJ, kretanje u koloni biće često zastupljeno zbog prednosti koje se ogledaju u lakšem vođenju transportnih jedinica mrežom, olakšanog komandovanja, bolje kontrole kretanja, olakšane tehničke pomoći i sl.

Kretanje u koloni, međutim, ima i svojih nedostataka koji se ispoljavaju u nepovoljnim putnim i otežanim terenskim uslovima. Naime, u takvim uslovima pro-

mena parametara kretanja najčešće čelnog (nekada i nekog od ostalih) vozila iz kolone redovno se odražava i na ostala vozila iz kolone, što često izaziva neplanirane zastoje, vremenske gubitke, ometanje ostalog saobraćaja, pa čak i pojavu ugrožavanja bezbednosti saobraćaja.

Problemi su izraženiji ukoliko se vojna motorizovana kolona sastoji od vozila sa znatnom disperzijom dinamičkih karakteristika, a naročito ukoliko se u koloni nalazi vozilo sa izrazito nepovoljnim dinamičkim svojstvima.

Karakteristike uslova kretanja u brdsko-planinskom području

Veći deo reljefa naše zemlje čini brdsko-planinsko područje na kojem se kretanje u koloni izvodi u specifičnim uslovima. Puteve u brdsko-planinskom području karakterišu: izraziti usponi, oštre krivine malog poluprečnika, serpentine, ograničena širina kolovoza, izrazita vijugavost trase i često loše stanje kolovoznog zastora. Pored toga, na ovom zemljištu ima mnogo mostova, propusta i tunela, česti su i odroni (zimi i u proleće), kao i zavejani i zaleđeni putevi zimi.

Da bi se kretanje vojne motorizovane kolone na takvim putevima efikasno planiralo, naročito je važno poznavati:

- uzdužni profil maršrute,
- vrstu i stanje kolovoznog zastora,
- širinu kolovoza na maršruti,
- karakteristike horizontalnih krivina na maršruti,
- intenzitet saobraćaja na maršruti,
- dinamička svojstva transportnih sredstava.

Na dinamiku kretanja kolone (predviđene brzine kretanja i odstojanja među vozilima, odnosno marševskim formacijama), naročit uticaj imaju uzdužni profil (usponi i padovi), krivine malog poluprečnika, kao i stanje kolovoznog zastora. Svaki od navedenih delova putne mreže predstavlja tzv. usko grlo, na kojem dolazi do znatnog poremećaja u režimu kretanja vojne motorizovane kolone. Dijagram na slici 1 prikazuje uticaj uskih grla (deonice sa uzdužnim nagibom i oštre horizontalne krivine) na parametre saobraćajnog toka.

Radi ilustracije na dijagramu su dati i parametri vezani za horizontalnu pravu deonicu, uz procentualnu zastupljenost putničkih vozila u toku od 20%. Može se

uočiti znatno smanjenje maksimalno mogućeg protoka pri kretanju deonicom sa uzdužnim nagibom od 5%, odnosno, pri nailasku vozila na oštru horizontalnu krivinu.

Kretanje na usponu

Specifičnosti koje karakterišu kretanje vojne motorizovane kolone deonicom sa izrazitim uzdužnim nagibom su:

- znatno smanjenje brzine kretanja,
- vožnja nižim stepenom prenosa,
- povećano naprezanje ljudstva i vozila,
- otežano kretanje zimi.

Sl. 1 - Zavisnost maksimalnog protoka od brzine pri 20% putničkih vozila: 1 - horizontalna deonica, 2 - uspon nagiba 5%, 3 - krivina $R = 35 \text{ m}$

Pri nailasku vojne motorizovane kolone brzinom V_k na deonicu sa znatnim uzdužnim nagibom – usponom, dolazi do promene parametara njenog kretanja, što se posebno odražava na smanjenje brzine. Ono je izraženije ukoliko je uspon većeg uzdužnog nagiba i dužine, odnosno ukoliko su vozila kolone lošijih dinamičkih karakteristika (specifična snaga, vozila pod teretom i sl.).

Usled naglog smanjenja brzine kretanja čelnog vozila kolone dolazi do pojave

talasa¹ u vojnoj motorizovanoj koloni, što je nepoželjno sa aspekta urednosti i bezbednosti kretanja. Vozila iz sastava marševske formacije se, po sustizanju prethodnih vozila (koja su znatno smanjila brzinu kretanja), nagomilavaju ispred uskog grla, povećavajući gustinu² toka. Isto se događa i sa ostalim učesnicima u saobraćaju koji se u datom vremenu kreću iza vojne motorizovane kolone. Da bi se izbegle takve pojave (poremećaji, talasi, zastoji i sl.) potrebno je adekvatnim merama organizacije i dinamike kretanja vojne motorizovane kolone, kao i merama organa za regulisanje saobraćaja, obezbediti uredno savlađivanje uskih grla.

Rešenje problema jeste u obezbeđenju pogodnih intervala sleđenja³ među vozilima u koloni (kada se radi o kontinualnoj marševskoj formaciji), odnosno obezbeđenju potrebnih intervala sleđenja među marševskim formacijama kada se radi o diskontinualnoj koloni (koloni sa više marševskih elemenata).

U uslovima izvođenja borbenih dejstava, zbog taktičkih⁴ razloga, organizovano savlađivanje uskih grla je od posebnog značaja. Pri tome je neophodno istaći da dolazi do promene dužine vojne moto-

rizovane kolone na uskom grlu u odnosu na dužinu pre uskog grla. Promena dužine kolone realizuje se promenom prostornog, odnosno vremenskog intervala sleđenja među vozilima kontinualne formacije, odnosno adekvatnim intervalima sleđenja između marševskih elemenata kod diskontinualnih kolona.

Kada se radi o kontinualnoj vojnoj motorizovanoj koloni, posledice udarnog talasa će se ublažiti postojanjem adekvatnog intervala sleđenja među vozilima u koloni koji treba da bude ostvaren neposredno pre nailaska na usko grlo.

Kako na uskom grlu redovno dolazi do smanjenja brzine kretanja, i prostorni interval sleđenja, odnosno rastojanje među vozilima biće smanjeno. Međutim, ta veličina prostornog intervala sleđenja u praksi se ne smanjuje ispod određene vrednosti (koja je propisana, odnosno naređena⁵ zapovešću za kretanje kolone). Osim toga, prostorni interval je vrlo značajan jer predstavlja mogućnost za ostale učesnike u saobraćaju da pretiču vozila iz sastava kolone. Znači da je pre nailaska na usko grlo potrebno povećati prostorni

¹ Kontinualne promene koje se dešavaju u saobraćajnom toku duž saobraćajnice, tj. kontinualne promene osnovnih parametara saobraćajnog toka (protoka, brzine i gustine), nošene su tzv. „talasima“ koji se kreću duž saobraćajnice u pravcu kretanja saobraćajnog toka ili suprotno od pravca saobraćajnog toka ili, pak, natrag u odnosu na saobraćajnicu.

Kada su pomenute pojave skokovite radi se o tzv. „šok talasima“ ili „udarnim talasima“, koji se duž saobraćajnice mogu kretati u smeru toka, ali češće suprotno od smera saobraćajnog toka, odnosno natrag u odnosu na saobraćajnicu.

² Pod pojmom gustina saobraćajnog toka podrazumeva se broj vozila na jedinicu dužine saobraćajnice, po saobraćajnoj traci, po smerovima za jednosmerne saobraćajnice, odnosno u oba smera za dvosmerne saobraćajnice.

³ Interval sleđenja vozila u saobraćajnom toku predstavlja vreme između prolaska čela dva uzastopna vozila kroz zamišljeni presek posmatranog odseka puta.

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

⁴ Taktički razlozi podrazumevaju umanjenje posledica dejstva po vojnoj motorizovanoj koloni. U tom smislu su nepoželjni zastoji, koncentracija velikog broja vozila na jednom mestu, itd.

Sl. 2 – Promena prostornog intervala sleđenja

interval sleđenja. Povećanje treba da bude toliko koliko je veća razlika u brzinama kretanja pre i na uskom grlu (slika 2).

⁵Ova vrednost se u praksi obično definiše na 50 do 100 metara.

Odnos ta dva prostorna intervala sleđenja definisan je sledećim relacijama:

$$V_{ug} = \operatorname{tg} \phi = l_{ug}/t_h \text{ (m/s)} \quad (1)$$

$$V_k = \operatorname{tg} \beta = l_p/t_h \text{ (m/s)} \quad (2)$$

U relacijama (1) i (2) oznake predstavljaju:

V_{ug} – brzina kretanja kolone na uskom grlu (m/s),

V_k – brzina kretanja kolone pre uskog grla (m/s),

l_{ug} – prostorni interval sleđenja na uskom grlu (m),

l_p – prostorni interval sleđenja pre uskog grla (m),

t_h – vremenski interval sleđenja među vozilima (s).

Iz obrazaca (1) i (2) proizilazi:

$$l_p = (V_k/V_{ug}) l_{ug} \text{ (m)} \quad (3)$$

U realnim uslovima nije moguće izbeći pojavu udarnog talasa pri nailasku kolone na usko grlo, ali je adekvatnim odabirom parametara kretanja moguće uticati na njegovu veličinu.

Na slici 3 prikazana su dva različita udarna talasa (izražena veličinom pripadajućeg ugla) koji se javljaju pri jednakoj dužini kontinualne vojne motorizovane kolone na uskom grlu i za iste brzine kretanja pre i na uskom grlu.

Brzina udarnog talasa koji se javlja pri promeni stanja saobraćajnog toka izračunava se prema izrazu:

$$V_t = (q_k - q_{ug})/(g_k - g_{ug}) \quad (4)$$

gde je:

q_k – veličina protoka⁶ pre nailaska na usko grlo (voz/s),

q_{ug} – veličina protoka na uskom grlu (voz/s),

g_k – veličina gustine toka pre nailaska na usko grlo (voz/m),

g_{ug} – veličina gustine toka na uskom grlu (voz/m).

Uz zamene $g_k = V_k g_k$; $q_{ug} = V_{ug} g_{ug}$; $g_k = 1/l_p$; $g_{ug} = 1/l_{ug}$, obrazac (4) poprima sledeći oblik:

$$V_t = [(V_k l_{ug}) - (V_{ug} l_p)] / (l_{ug} - l_p) \text{ (m/s)} \quad (5)$$

Sa slike 3 očigledno je da će se ostvariti manja vrednost brzine talasa (V_t) pri postojanju veće vrednosti dužine kolone pre uskog grla (slika 3a), odnosno pri manjoj vrednosti dužine kolone pre uskog grla javiće se veća brzina udarnog talasa (slika 3b).

Sl. 3 – Udarne talasi pri promeni stanja toka kolone

S obzirom na to da su pri kretanju kolone uskim grlom najčešće određeni parametri kretanja (potrebno odstojanje među vozilima, odnosno definisana ili maksimalno moguća brzina kretanja uskim grlom), potrebno je definisati zavisnost dužine kolone pre nailaska na usko grlo (a time i potrebnih odstojanja među vozilima) od dužine kolone na uskom grlu. Pri tome se mora uzeti u obzir pojava udarnog talasa, jer granica prihvatljive veličine talasa direktno utiče na

⁶ Pod pojmom protok vozila podrazumeva se broj vozila koji prođe posmatrani presek saobraćajnice u jedinici vremena u jednom smeru za jednosmerne saobraćajnice ili u oba smera za dvosmerne saobraćajnice.

potrebnu dužinu kolone pre nailaska na usko grlo.

Zavisnost dužine kolone pre uskog grla od dužine kolone na uskom grlu data je relacijom:

$$D_{kp} = D_{ug} [(V_{kp} + V_t) / (V_{ug} + V_t)] \text{ (m)} \quad (6)$$

gde je:

D_{kp} – dužina kolone pre nailaska na usko grlo (m),

D_{ug} – dužina kolone na uskom grlu (m),

V_{kp} – brzina kretanja kolone pre uskog grla (m/s),

V_{ug} – brzina kretanja kolone na uskom grlu (m/s),

V_t – brzina udarnog talasa (m/s).

Kada je odnos brzina kretanja kolone pre uskog grla i na uskom grlu, $V_{kp}/V_{ug} = \delta$, obrazac (6) dobija oblik:

$$D_{kp} = D_{ug} [(V_{kp} + V_t) \delta] / (V_{kp} + V_t \delta) \text{ (m)} \quad (7)$$

Prema tome, ako su poznati parametri: potrebna dužina kolone na uskom grlu, brzina kretanja kolone pre uskog grla, brzina kretanja kolone na uskom grlu, kao i prihvatljiva vrednost brzine udarnog talasa koji će se javiti pri promeni stanja – moguće je odrediti potrebnu dužinu kolone pre uskog grla.

Na dijagramu⁷ (slika 4) data je zavisnost potrebne dužine kolone pre uskog grla od brzine udarnog talasa, za pretpostavljene vrednosti ostalih parametara.

Sa dijagrama se može uočiti da za ostvarenje niskih vrednosti brzine talasa treba znatno povećati dužinu kolone pre uskog grla u odnosu na dužinu pri kojoj

se savlađuje usko grlo. Ovo povećanje planira se u postupku definisanja osnovnih parametara kretanja kolone (zapovest za kretanje), a realizuje pravilnim postupkom vođenja vojne motorizovane kolone.

Sl. 4 – Zavisnost dužine kolone pre uskog grla od brzine talasa

Sa povećanjem dužine deonice sa uzdužnim nagibom dolazi do stvaranja reda iza sporog vozila, a time i do relativnog smanjenja vremenskih i prostornih intervala sleđenja među vozilima.

Na dijagramu (slika 5) prikazana je raspodela vremenskih intervala sleđenja na različitim tačkama uspona s nagibom 6% kod protoka od $q = 200$ voz/h.

Sl. 5 – Raspodela vremenskih intervala sleđenja na različitim tačkama uspona s nagibom 6% pri protoku od $q = 200$ voz/h

⁷ Dijagram je urađen na osnovu obrasca (7), uz sledeće pretpostavljene vrednosti: dužina kolone na uskom grlu, $D_{ug} = 4$ km; brzina kretanja kolone pre nailaska na usko grlo, $V_k = 60$ km/h; odnos brzina kretanja pre i na uskom grlu, $\delta = 2$.

Kada je vojna motorizovana kolona organizovana diskontinualno (sa više marševskih elemenata) tada se vremenski, odnosno prostorni intervali sleđenja među marševskim formacijama mogu iskoristiti za ublažavanje posledica udarnih talasa koji se javljaju.

Pogodno određen interval sleđenja pre nailaska na usko grlo (odnosno odstojanje među marševskim elementima) omogućiće savlađivanje uskog grla u jedinstvenoj formaciji. Ponekad će taktički ili drugi⁸ razlozi nalagati da se usko grlo savlađuje tako što će sledeći marševski elemenat na usko grlo pristići tek kada ga prethodni marševski elemenat savlada.

Na dijagramu (slika 6) prikazana su oba pomenuta slučaja.

Sl. 6 – Savlađivanje uskog grla

Veličina odstojanja među marševskim elementima pre uskog grla, u slučaju sustizanja elemenata na početku uskog grla, biće:

$$L_1 = (D_{ug}\delta) - D_k \quad (m) \quad (8)$$

⁸ Ovakvi razlozi najčešće se javljaju pri savlađivanju uskih grla kao što su: mostovi ograničene nosivosti ili širine kolovoza, tuneli, i sl.

U slučaju da marševski elementi pojedinačno savlađuju usko grlo potrebno odstojanje je određeno prema sledećem:

$$L'_1 = [(D_{ug} + L_{ug}) \delta] - D_k \quad (m) \quad (9)$$

Maksimalno moguća brzina kretanja vozila na usponu dobija se iz uslova izjednačavanja raspoložive snage motora vozila i rada potrebnog za savlađavanje ukupnog otpora na usponu. S obzirom na to da je snagom motora vozila (umanjenom za gubitke u transmisiji) potrebno savladati otpore kretanju na usponu, važi da je:

$$RV_{ug} = P_m k \quad (W) \quad (10)$$

gde je:

R – ukupna sila otpora kretanju na usponu (N),

V_{ug} – maksimalno moguća brzina na usponu (m/s),

P_m – maksimalna snaga motora vozila (W),

k – koeficijent iskorišćenja transmisije vozila.

Prema tome, proizilazi da je maksimalno moguća brzina vozila na usponu:

$$V_{ug} = P_m k / R \quad (m/s) \quad (11)$$

Kako se na usponu ukupni otpor može izraziti preko otpora nagiba i otpora kotrljanja (zanemaruje se otpor vazduha zbog relativno male brzine kretanja na usponu, kao i otpor inercije zbog ubrzanja, jer se na usponima vozi nižim stepenom prenosa i konstantnom brzinom), to je:

$$R = G [(\sin \alpha) + (f_k \cos \alpha)] \quad (N) \quad (12)$$

gde je:

– α , veličina uzdužnog nagiba (rad),

- G , ukupna težina vozila (N),
- f_k , koeficijent otpora kotrljanja.

Dobija se da je:

$$V_{ug} = P_m k / \{ G [(\sin \alpha) + (f_k \cos \alpha)] \} \quad (m/s) \quad (13)$$

Definiše li se odnos $P_m/G = D$, kao dinamička konstanta određenog vozila, tada je moguća brzina na uskom grlu:

$$V_{ug} = D k / (\sin \alpha + f_k \cos \alpha) \quad (km/h) \quad (14)$$

Stvaranje reda vozila iza vojne motorizovane kolone na usponu

U strukturi vozila vojne motorizovane kolone uglavnom preovlađuju teretna vozila (sa relativno niskim dinamičkim faktorom), što pri kretanju na usponu ima za posledicu smanjenje brzine kretanja kolone.

U odnosu na vozila iz ostalog toka, vozila iz sastava kolone predstavljaju tzv. spora vozila. Osim toga, vojna motorizovana kolona u takvim uslovima i svojom strukturom (kretanje na određenim odstojanjima među vozilima, znatni gabariti vozila) stvara veće poteškoće pri preticanju nego kada se radi o pojedinačnom sporom vozilu. Situacija se dodatno usložava kada vojna motorizovana kolona na usponu sustigne sporo vozilo (vozilo koje je sporije i od same kolone). Pri opisanim uslovima dolazi do stvaranja reda ostalih vozila iza kolone, slika 7.

Vozilima u formiranom redu iza kolone znatno se povećava vreme kretanja, odnosno javljaju se određeni vremenski gubici. Vremenski gubici biće toliko veći koliko je veća dužina uspona, odnosno manja brzina kretanja kolone na usponu, koja je prvenstveno određena veličinom

uzdužnog nagiba, tj. dinamičkim svojstvima vozila iz sastava kolone.

Sl. 7 – Stvaranje reda iza kolone na usponu

Vremenski gubici mogu se iskazati preko dužine formiranog reda vozila iza kolone na usponu (veličina x na slici 7), odnosno broja vozila koja su prinuđena na promenu parametara kretanja. Dužina formiranog reda raste sve do momenta kada začelno vozilo iz kolone savlada uspon. Tada dostiže maksimalnu vrednost, a zatim se smanjuje dok se ne rasformira, slika 8.

Sl. 8 – Promena dužine reda na usponu

Dužina formiranog reda vozila iza kolone zavisi od relevantnih parametara kretanja, što se vidi iz formule:

$$D_r = [1 - (V_t/V_u)] \times (m) \quad (15)$$

gde je:

D_r – dužina reda (m),

V_u – brzina kretanja kolone na usponu (m/s),

V_t – brzina udarnog talasa pri promeni stanja (m/s),

x – pozicija začelnog vozila iz kolone u odnosu na početak uspona (m).

Formirani red će dostići najveću dužinu kada veličina x dostigne vrednost dužine uspona (L_{ug}), tj. kada začelno vozilo iz sastava kolone savlada uspon.

Maksimalna dužina reda formiranog iz vojne motorizovane kolone na usponu biće:

$$D_{r\ MAX} = [1 - (V_t/V_u)] L_{ug} \text{ (m)} \quad (16)$$

Prema modelu verovatnoće L.N. Sapegina [6] srednja dužina reda vozila koja sustignu kolonu čije se začelje nalazi na određenom odstojanju od tačke početka uspona (veličina x na slici 7) iznosi:

$$D_{r\ sr} = (1/K_o) \{P_o x + [K_o / (1 - K_o)]\} \text{ (m)} \quad (17)$$

U obrascu K_o predstavlja tzv. koeficijent opterećenja sistema masovnog opsluživanja, a definiše se kao:

$$K_o = g_b (V_b - V_k) t_p \quad (18)$$

gde je:

g_b – gustina toka vozila koja sustižu kolonu (m^{-1}),

V_b – brzina vozila koja sustižu kolonu (brza vozila) (m/s),

V_k – brzina kretanja kolone na usponu (m/s),

t_p – vreme potrebno za pripremu i izvršenje preticanja (s).

Veličina P_o predstavlja verovatnoću da će se formiranom redu vozila iza ko-

lone priključiti još jedno brzo vozilo, a definisano je kao:

$$P_o = g_b (V_b - V_k) (l_a/V_k) \quad (19)$$

gde je l_a , veličina dinamičkog gabarita vozila (m).

Prema modelu, vremenski gubici svih brzih vozila, koja se nalaze u redu iza kolone, iznose:

$$\Sigma T_g = \{[L_u (V_b - V_k)] / [2 (1 - P_o) V_k V_b]\} \{P_o x + [(2 - P_o) K_o / (1 - K_o)]\} \text{ (s)} \quad (20)$$

U izrazu (20) veličina L_u predstavlja ukupnu dužinu uspona. Model daje dobre rezultate kod veličine protoka brzih vozila do 500 voz/h.

Na dijagramu (slika 9) prikazana je zavisnost vremenskih gubitaka na usponu od dužine uspona i veličine nagiba.

Sl. 9 – Zavisnost vremenskih gubitaka na usponu od dužine uspona

Dijagram je urađen uz pretpostavljenu veličinu protoka brzih vozila od $q_b = 400$ voz/h. Vremenski gubitak je izražen veličinom s/km, tj. brojem „izgubljenih“ sekundi po jedinici dužine uspona.

Sa dijagrama se uočava da je zavisnost linearna i da se znatno povećavaju vremenski gubici sa porastom veličine nagiba i dužine uspona.

Pri znatnim veličinama protoka brzih vozila, tj. vozila koja sustižu kolonu (sezonski uslovi, pojedini delovi mreže koji „privlače“ više vozila i sl.) vremenski gubici u redu iza kolone posebno rastu. Na dijagramu (slika 10) prikazana je zavisnost vremenskih gubitaka na usponu od veličine nagiba, za različite veličine protoka vozila koja sustižu kolonu na usponu.

Sl. 10 – Zavisnost vremenskih gubitaka na usponu od veličine nagiba

Vremenski gubici su gotovo zanemarivi pri malim vrednostima protoka brzih vozila (slučaj $q = 100$ voz/h), dok su vremenski gubici izraziti pri većim vrednostima protoka (slučaj $q = 1\,000$ voz/h).

Savladavanje oštih horizontalnih krivina

Pri nailasku čelnog vozila u koloni na oštru horizontalnu krivinu dolazi do smanjenja brzine kretanja na bezbednu brzinu kretanja kroz krivinu, koja je utoliko manja koliko je manji poluprečnik krivine. Na ostala vozila iz sastava kolone, to smanjenje brzine imaće sličan efekat (udarni talas) kao i pri nailasku na deo puta sa izrazitim nagibom trase.

Bezbedna brzina kretanja kroz krivinu određuje se prema uslovima klizanja, odnosno prevrtanja vozila, prema sledećem:

$$V_{kl} = [g \mu_b R]^{0,5} \text{ (m/s)} \tag{21}$$

$$V_{pr} = [g R B/2 h_t]^{0,5} \text{ (m/s)} \tag{22}$$

gde je:

V_{kl} – granična brzina pri kojoj nastupa klizanje vozila (m/s),

V_{pr} – granična brzina prevrtanja vozila (m/s),

g – ubrzanje Zemljine sile teže (m/s^2),

μ_b – bočni koeficijent prijanjanja,

R – poluprečnik krivine (m),

h_t – visina težišta vozila (m),

B – širina traga točkova vozila (m).

Obično je uslov proklizavanja stroži (naročito kod putničkih vozila, odnosno za vozila sa manjom visinom težišta), tabela 1.

Tabela 1

Vrednosti graničnih brzina klizanja i prevrtanja⁹

R (m)	V_{kl} (km/h)	V_{pr} (km/h)
8	23	36
9	24	38
10	25	40
11	26	42
12	27	44
13	28	46
14	29	48
15	30	50
20	35	60
25	40	70
30	45	80
35	50	90

⁹ Tabela je izrađena na osnovu karakteristika tipičnog vozila iz jedinica VJ (teretno vozilo) sa visinom težišta od 0,6 do 1,0 m, razmakom točkova od 2,0 m, i uz bočni koeficijent prijanjanja za asfalt srednjeg kvaliteta ($m = 0,5$).

Da se pred oštrom krivinom ne bi nagomilavala vozila iz sastava kolone, potrebno je (analogno razmatranju za izrazit uspon) definisati odgovarajući prostorni, odnosno vremenski interval sleđenja među vozilima.

Analogno obrascu (3) prostorni interval sleđenja među vozilima pre nailaska na oštru horizontalnu krivinu treba da bude:

$$l_p = V_k l_{kr} / V_{kr} \text{ (m)} \quad (23)$$

gde je:

l_p – prostorni interval sleđenja među vozilima pre krivine (m),

l_{kr} – prostorni interval među vozilima kroz krivinu (m),

V_k – brzina kretanja kolone pre nailaska na krivinu (m/s),

V_{kr} – brzina kretanja kroz krivinu (m/s).

Pojedine oštre krivine zahtevaće da se savlađuju manevrisanjem (tj. krivina se zbog znatnih gabarita vozila, odnosno ograničenog poluprečnika zaokretanja pojedinih vozila savlađuje iz više pokušaja, vožnjom napred-nazad). Pri tim uslovima potrebna je sledeća vrednost prostornog intervala sleđenja među vozilima pre nailaska na oštru krivinu:

$$l_p = V_k t_m \text{ (m)} \quad (24)$$

gde je:

V_k – brzina kretanja kolone pre oštre krivine (m/s),

t_m – vreme manevrisanja u krivini (s).

Kako su u brdsko-planinskom području oštre krivine (i serpentine) veoma česte, za deonicu na kojoj se učestalo javljaju oštre krivine može se smatrati da se kolona kreće nekom nižom vrednošću prosečne brzine (slika 11), što je važno

Sl. 11 – Prosečna brzina kretanja kolone deonicom sa učestalim oštrim horizontalnim krivinama

imati u vidu pri definisanju potrebnih brzina kretanja.

Kretanje deonicom sa lošim stanjem kolovoznog zastora

Stanje kolovoznog zastora odražava se na dinamiku vojne motorizovane kolone prvenstveno preko sledećih parametara:

- koeficijenta otpora kotrljanja (f_k),
- koeficijenta prijanjanja pneumatika za podlogu (μ).

Pri povećanom otporu kotrljanja znatan deo snage motora troši se na njegovo savladavanje, što rezultira manjom mogućom brzinom kretanja. Pri smanjenom koeficijentu prijanjanja (npr. zaleđen kolovoz, sneg, mokro lišće na putu, mokra trava i sl.) dolazi do proklizavanja pogonskih točkova, odnosno kretanje je otežano, jer se raspoloživa snaga motora ne može efikasno iskoristiti. U takvim situacijama česti su zastoji u kretanju, što u ukupnom vremenu osetno smanjuje srednju brzinu kretanja. Osim toga, loše stanje kolovoznog zastora (udarne rupe, kolovozi na zemljanim i makadamskim putevima i sl.) negativno se odražava na rad pojedinih sklopova na vozilima, kao što su uređaj za upravljanje,

sistem elastičnog oslanjanja, itd., ali utiče i na brže zamaranje ljudstva i udobnost kretanja.

U tabeli 2 dat je pregled koeficijenata otpora kotrljanja i koeficijenata prijanjanja u zavisnosti od vrste kolovoznog zastora.

Tabela 2

Pregled koeficijenata otpora kotrljanja i koeficijenata prijanjanja¹⁰

Vrsta zastora	f_k	μ
Asfalt, beton	0,014–0,022	0,30–0,80
Kocka	0,016–0,024	0,28–0,80
Makadam	0,030–0,040	0,37–0,50
Zemljani put (nabijen)	0,030–0,060	0,35–0,55
Zemljani put (neravan, blatnjav)	0,050–0,100	0,30–0,40
Pesak	0,080–0,300	0,20–0,50
Sneg	0,250–0,380	0,10–0,20
Led	0,018–0,020	0,05–0,15

Kako se pri kretanju u brdsko-planinskom području mogu očekivati relativno niske vrednosti brzina, dominantan deo snage motora biće angažovan za savladavanje otpora uspona i otpora kotrljanja.

U obrascu (10) data je veza između efektivne snage motora vozila i maksimalno moguće brzine kretanja na određenom uskom grlu – usponu. Sa povećanjem uzdužnog nagiba i povećanjem otpora kotrljanja opadaće maksimalno moguća brzina kretanja takvom deonicom.

Na dijagramima (slika 12, a i b) prikazana je zavisnost maksimalno moguće brzine na uskom grlu od veličine uzdužnog nagiba (dijagram a), odnosno

koeficijenta otpora kotrljanja (dijagram b). Sa porastom i jednog i drugog parametra znatno opada maksimalno moguća brzina kretanja na određenom uskom grlu, odnosno deonici sa takvim uskim grlima.

Sl. 12 – Dijagrami zavisnosti maksimalno moguće brzine na uskom grlu¹¹ od veličina α i f_k

U zimskim uslovima u brdsko-planinskom području često su putevi prekriveni snegom i ledom (neefikasna služba čišćenja, ugažen sneg na kolovozu i sl.), što se negativno odražava na srednju brzinu kretanja, ali i na prohodnost, bezbednost kretanja, itd. Drugi parametar preko kojeg se iskazuje uticaj kvaliteta kolovoznog zastora na moguću brzinu kretanja uskim grlom, pored koeficijenta otpora kotrljanja, jeste koeficijent prijanjanja (μ), koji za snegom pokrivene i zaleđene putne površine redovno ima male vrednosti.

S obzirom na to da većina vozila iz sastava jedinica VJ ima pogon na svim mostovima, maksimalni uspon koji je moguće savladati u odnosu na uslove proklizavanja, određuje se prema sledećem:

$$\operatorname{tg} \alpha_{\max} = \mu, \text{ odnosno } \alpha_{\max} = \operatorname{arc. tg} \mu \quad (25)$$

¹¹ Dijagrami na slici 12 urađeni su na osnovu sledećih pretpostavljenih veličina:

- dijagram a:
- dinamička konstanta $D = P_0/G = 3,75 \text{ W/N}$,
 - koeficijent iskorišćenja transmisije, $k = 0,8$,
 - $f_k = 0,02$ (asfalt u lošijem stanju)
- dijagram b:
- dinamička konstanta $D = P_0/G = 3,75 \text{ W/N}$,
 - koeficijent iskorišćenja transmisije, $k = 0,8$,
 - $\alpha = 5\%$ (uzdužni nagib – uspon).

¹⁰Tabela je obrađena koristeći podatke iz izvora [3] i [4].

gde je μ koeficijent priranja pneumatica o podlogu.

U tabeli 3 proračunate su maksimalne vrednosti uspona koji se mogu savladati za prosečne vrednosti koeficijenta priranja za različite podloge.

Tabela 3

Maksimalni mogući uspon zavisi od vrste zastora

Vrsta zastora	μ	$\alpha_{\max}$	
		(°)	%
Asfalt, beton	0,7	35	70
Kocka	0,25	14	25
Makadam	0,4	22	40
Zemljani put	0,35	19	35
Sneg	0,15	8,5	15
Led	0,05	3	5

Kod kolovoza prekrivenih ledom i snegom dolazi do proklizavanja pogonskih točkova već pri malim vrednostima uzdužnog nagiba (koji su, uglavnom, manji od uobičajenih vrednosti za brdsko-planinsko područje), pa je potrebno posvetiti punu pažnju radnjama i postupcima za povećanje prohodnosti (sistem uključivanja pojedinih pogonskih mostova, blokada diferencijala, lanci za sneg, centralna regulacija pritiska u pneumatima, priručna sredstva za povećanje prohodnosti, itd.).

Koeficijent priranja na putnim površinama prekrivenim ledom i ugaženim snegom, neznatno zavisi od brzine kretanja (za razliku od mokrog kolovoza), pa čak pokazuje i određeni rast (slika 13), što se objašnjava činjenicom da je pri većim brzinama na ugaženom snegu manja mogućnost obrazovanja vodenog sloja između pneumatika i snega. Sve to ukazuje na potrebu odabira adekvatnog stepena prenosa pri kretanju takvim deonicama (lakše dolazi do proklizavanja točkova u nižim stepenima prenosa).

Sl. 13 – Zavisnost koeficijenta priranja od brzine kretanja

U zimskom periodu pri pojavi znatnijih padavina ostaje deo snega na kolovozu (ugažen sneg) koji smanjuje korisni deo vozne površine. Pri pojavi vojne motorizovane kolone (znatni gabariti vozila) na takvim deonicama posebno je otežano kretanje ostalim učesnicima u saobraćaju (onemogućeno preticanje, pa čak i mimoilaženje).

Osim toga, pri vožnji na nizbrdicama sa zaleđenim i snegom¹² pokrivenim kolovozom javljaju se problemi pri zaustavljanju vozila, pa je ugrožena bezbednost kretanja. Konačno, deonice sa lošijim stanjem kolovoznog zastora (kao i usponi i oštre krivine) predstavljaju usko grlo gde dolazi do znatnog smanjenja brzine kretanja, pa je interval sleđenja isti kao i u slučaju uspona odnosno oštre krivine, s tim što na zaleđenim nizbrdicama ti intervali moraju da budu odabrani tako

¹² Osnovna karakteristika fizičkog stanja snega kao putnog prekrivača je njegova zapreminska masa [3], koja se određuje prema sledećem:

$gs = (V_s/V_v) g_v, g/cm^3$, gde je:

- V_s , zapremina uzorka snega (cm^3),
- V_v , zapremina vode istopljenog uzorka snega (cm^3).
- g_v , zapreminska masa vode (g/cm^3).

Niši slojevi snega obično imaju veću zapreminsku masu. Srednja zapreminska masa snega kreće se od 0,2 do 0,45. Ostali važni parametri snega značajni za priranje su koeficijent unutrašnje kohezije i koeficijent unutrašnjeg trenja.

da ne ugrožavaju bezbednost kretanja (da ne dođe do naleta vozila).

Pri kretanju brdsko-planinskim područjem često će se istovremeno javiti prethodno analizirani uslovi (npr. izrazit uspon sa oštrom krivinom, te kolovozom prekrivenim snegom i ledom). Očigledno je da će time biti višestruko ograničena mogućnost urednog kretanja, pa je obaveza organizatora i realizatora kretanja kolone u VJ da o tome vode računa i blagovremeno izvrše adekvatne pripreme (odnosno predvide takve uslove i ugrade odgovarajuća rešenja u planove kretanja), kako bi se zadaci izvršavali na vreme i bez većih poremećaja.

Zaključak

Pri kretanju vojne motorizovane kolone brdsko-planinskim područjem uticaj putnih uslova specifično se odražava na stanje parametara saobraćajnog toka, odnosno parametara kretanja kolone (brzina, gustina, protok, intervali sleđenja itd.).

Dominantan uticaj takvih uslova ispoljava se na brzinu kretanja (a time posredno i na ostale parametre toka) što redovno dovodi do smanjenja srednje brzine kretanja. Utrošak pogonskih sredstava u uskoj je vezi sa brzinom kretanja (u principu, niže vrednosti ostvarene brzine kretanja prouzrokuju povećanje utroška pogonskih sredstava), pa je organizaciji, odnosno realizaciji kretanja u uslovima brdsko-planinskog područja potrebno posvetiti dužnu pažnju. S druge strane, ostvarene niže vrednosti brzina kretanja izazivaju probleme u odnosu na

izvršavanje namenskih zadataka (kašnjenja, povećanja vremena izvršenja zadataka, zamaranje ljudstva, itd.).

Iz izloženih razmatranja može se zaključiti da je za uredno savlađivanje deonica sa uskim grlima od posebne važnosti adekvatna dinamika kolonskog kretanja pre nailaska na usko grlo (brzina kretanja kolone, intervali sleđenja među vozilima, odnosno marševskim formacijama diskontinualne kolone).

Za organizatore i realizatore vojnog kolonskog kretanja, kao i organe za regulisanje i kontrolu vojnog putnog saobraćaja, važna su saznanja o funkcionalnoj zavisnosti intervala sleđenja od veličine uticaja određenog uskog grla, radi predumiranja praktičnih mera i postupaka u toku realizacije zadataka.

Posebnu pažnju treba posvetiti situacijama kada se uticaji analiziranih uslova javljaju istovremeno.

Literatura:

- [1] Opsenica, M.: Metodika regulisanja i kontrole putnog vojnog saobraćaja u ratu, magistarski rad, CVTŠ KoV, Zagreb, 1990.
- [2] Opsenica, M.: Poremećaji civilnog saobraćajnog toka učestvom vojne motorizovane kolone u njemu, seminarski rad PDS, CVTŠ KoV, Zagreb, 1988.
- [3] Hinić, M.: Eksploatacija automobila u teškim uslovima, VIZ, Beograd, 1981.
- [4] Popović, Č.: Teorija kretanja neborbenih motornih vozila točkaša, lekcija, TŠC, Zagreb, 1982.
- [5] Siljanov, V. V.: Teorija transportnih potokov v proektirovani dorog i organizaciji dviženija, Transport, Moskva, 1977.
- [6] Lobanov, E. M.: Siljanov, V.V., Sitnikov, J.M., Saepgin, L.N.: Propusknaja sposobnost avtomobilnyh dorog, Transport, Moskva, 1970.
- [7] Tribunskij, V. M.: Režimy dviženija potokov avtomobilej i propusknaja sposobnost dorog, Trudi MADI, 1972.
- [8] Vasiljev, A. P.: Sostojanie dorog i bezopasnost dviženija avtomobilei v složnih pogodnih uslovijah, Transport, Moskva, 1976.
- [9] Kuzović, Lj.: Teorija saobraćajnog toka, IRO Građevinska knjiga, Beograd, 1987.