

## Organizacija višestruke vuče vozova

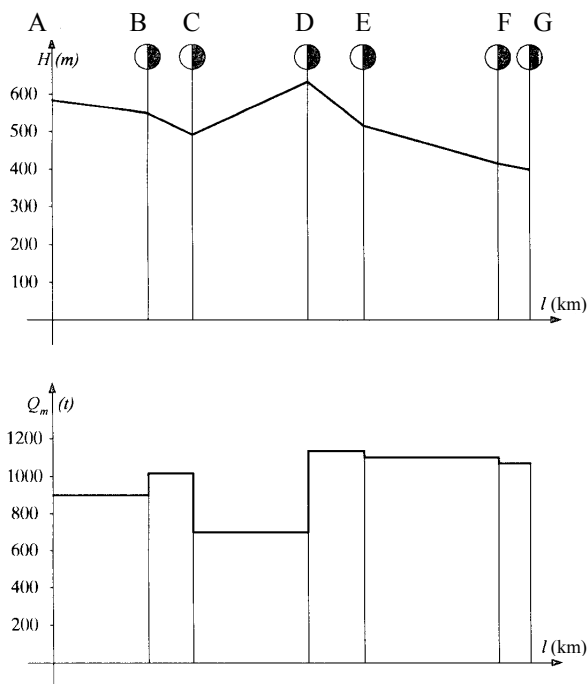
Dr Dragutin Jovanović, dipl.inž.<sup>1)</sup>

Masovna prevoženja železnicom, u određenim slučajevima, karakteriše saobraćaj vozova većih masa. Deonice pruga na većim usponima u izvesnoj meri predstavljaju svojevrstna uska grla, u pogledu ostvarenja zahtevane propusne moći. Savladavanje uskih grla i obezbeđenje saobraćaja vozova većih masa zahteva primenu višestruke vuče. Izboru adekvatnog načina višestruke vuče prethodi analiza tehničke i ekonomske opravdanosti zasnovana na svestranoj analizi većeg broja uticajnih faktora.

*Ključne reči:* Železnički saobraćaj, višestruka vuča, potiskivanje, zaprezanje.

### Uvod

NA prugama s nepovoljnijim uzdužnim profilom (veći usponi), radi organizovanja saobraćaja vozova većih masa, neophodna je upotreba više lokomotiva za vuču jednog voza. Upotrebom dve ili više lokomotiva, moguće je formiranje i vuča vozova većih masa, uz uslov da to omogućava dužina staničnog koloseka. Da bi se na adekvatan način analizirala potreba za višestrukom vučom, treba da se izvrši parcijalna analiza veličine maksimalne mase voza po međustaničnim rastojanjima. Za analizu se koristi tzv. tonsko – kilometarski dijagram (sl.1).



Slika 1. Tonsko-kilometarski dijagram

Iz dijagrama se dobijaju podaci o maksimalnoj vrednosti mase voza na svakom međustaničnom odstojanju. Posebno

se analizira deonica sa najvećim otporom i maksimalna masa voza na njoj. Kada postoji potreba za osnaženjem vuče može da se primeni višestruka vuča. Višestruka vuča može da se, zavisno od konkretnih uslova, usvoji za celu prugu ili samo za pojedina međustanična odstojanja.

Pri izboru načina organizovanja železničkog saobraćaja, odnosno vrste višestruke vuče, potrebno je sagledati sledeće relevantne faktora: prugu kao šinski put, njene tehničko - tehnološke parametre, zahtevani obim prevoženja, raspoloživa vučna i vučena sredstva i moguća ograničenja.

### Pruga - šinski put

Pruga predstavlja specifičan šinski put namenjen za kretanje šinskih vozila. To je ključni element železničke infrastrukture. Ona međusobno spaja službena mesta, odnosno razdelne tačke. Osnovni elementi pruge kao šinskog puta jesu:

- početna (ishodišna), ciljna (odredišna) stanica ili drugo službeno mesto,
- deonice pruge (međustanični odseci),
- sigurnosna i telekomunikaciona oprema pruge.

Početna (ishodišna), ciljna (odredišna) stanica ili neko drugo službeno mesto na železničkoj pruzi može da se definiše kao mesto formiranja - rasformiranja i pokretanja vozova. S obzirom na takvu definiciju, stanica treba da bude opremljena:

- odgovarajućim staničnim kolosecima,
- transportno-manipulativnim prostorom (platformama i utovarno-istovarnim rampama),
- pretovarnom mehanizacijom,
- odgovarajućom signalno-sigurnosnom i telekomunikacionom opremom i dr.

Službena mesta treba da budu zaposednuta odgovarajućim osobljem.

Stanični koloseci, s odgovarajućim kolosječnim vezama i osiguranjima, omogućavaju ukrštanje i preticanje vozova, te formiranje i pokretanje novih vozova. Stanice, zavisno

<sup>1)</sup> Vojnotehnička akademija VJ, 11000 Beograd, Ratka Resanovića 1

od njihove namene i značaja, poseduju dve grupe koloseka: osnovne i pomoćne. U osnovne koloseke spadaju:

- glavni prolazni koloseci, koji predstavljaju produžetak otvorene pruge,
- prijemno-otpremní koloseci koji su namenjeni za prijem i otpremu putničkih i teretnih vozova,
- ranžirni koloseci koji su namenjeni za nakupljanje kola po pravcima i stanicama upućivanja,
- utovarno-istovarni koloseci namenjeni za utovar i istovar denčanih i kolskih pošiljaka.

Svi ostali koloseci pripadaju grupi pomoćnih koloseka, a njih čine: izvlačnjaci, garažni koloseci, lokomotivski koloseci, spojni koloseci, koloseci za kolsku vagu i tovarni profil (gabarit), industrijski i drugi koloseci.

Izuzetno bitna karakteristika staničnih koloseka je korisna dužina koloseka, jer se najveća dopuštena dužina voza, koju mogu da imaju vozovi na nekoj pruzi, određuje prema korisnoj dužini glavnih koloseka.

Najveća dopuštena dužina voza u stanici, u odnosu na korisnu dužinu staničnog koloseka, određuje se prema korisnoj dužini glavnog prolaznog koloseka, i njemu susednog, dužeg, glavnog staničnog koloseka, tako što se od te dve veličine usvoji manja vrednost. Najveća dopuštena dužina voza se dobija kada se od korisne dužine koloseka oduzme dužina od 25m za smeštaj lokomotive i dužina od 10m kao rezerva za smeštaj voza:

$$L_{v \max} = L_{sk} - L_l - 2r_l \quad [m] \quad (1)$$

gde su:  $L_{sk}$ - korisna dužina staničnog koloseka (m);  $L_l$ - dužina lokomotive (iznosi 20 - 25m);  $r_l$ - rezervna dužina koja mora da se obezbedi u slučaju zaustavljanja ispred međika (obično iznosi 5m za teretne vozove i 10m za putničke vozove).

Ova dužina voza je relevantna za određivanje dužine voza samo u slučaju kada je jednaka ili kraća od dužine voza dobijene prema podacima datim u tabeli 1[1].

**Tabela 1.** Najveći dopušteni broj osovina prema vrsti kočenja, vrsti i brzini voza

Vrsta kočenja	Vrsta voza	Brzina voza (km/h)	Najveći dopušteni broj osovina
Kočenje brzog delovanja	Putnički voz	do 40	80
	Teretni voz	do 100	100
		100 do 120	80
Kočenje laganog delovanja	Teretni voz sastavljen od različitih kola	do 80	150
	Teretni voz sastavljen od istovrsnih kola		180
Vazdušno kočenje mešovito delovanja kada se putničkim vozovima dodaju teretna kola	Ako je putnička garnitura do lokomotive	do 50	80
	Ako je putnička garnitura na kraju voza	do 60	100

Stvarna dužina voza se dobija sabiranjem dužine preko nesabijenih odbojnika svih vozila u vozu izuzev lokomotive, čija je dužina uzeta u obzir pri određivanju najveće dopuštene dužine voza u stanicama, dok se kod višestruke vuče u obzir uzimaju dužine potiskivalice ili zaprežne lokomotive.

Utvrđena najveća dopuštena dužina voza, s obzirom na korisnu dužinu staničnih koloseka, može da bude promenjena samo u slučajevima propisanim odredbama

*Saobraćajnog pravilnika* [2].

*Platforme i utovarno-istovarne rampe*, kao transportno-manipulativni prostori namenjeni obavljanju operacija utovara i istovara tereta, sastavni su deo većine stanica na mreži *Jugoslovenske železnice (JŽ)*. One svojom veličinom treba da zadovolje potrebe za utovarom-istovarom odgovarajuće količine tereta u određenom vremenu. Na mreži *JŽ* nalazi se ograničen broj ovih kapaciteta u veoma različitom građevinskom stanju. Veličina utovarno-istovarnih frontova može da se odredi pomoću izraza:

$$L_{u-i} \geq \frac{1}{n_{ds} \cdot n_d} \sum_{i=1}^k n_v \cdot l_v \quad [m] \quad (2)$$

gde su:  $n_{ds}$ - broj dostava kola u smeni na utovarno-istovarni front, koji je određen propusnom moći utovarno-istovarnog fronta,  $n_d$ - broj dostava kola odnosno smena,  $k$ - broj vrsta kola koja dospevaju na utovar-istovar,  $n_v$ - broj kola svake vrste,  $l_v$ - dužina kola svake vrste (m).

Stanice su na mreži različito opremljene pretovarnom mehanizacijom i signalno-sigurnosnom i telekomunikacionom opremom.

*Deonica pruge* predstavlja deo pruge, od jedne do sledeće odvojne stanice, odnosno razdelne tačke, ili do neke usputne stanice, koja u uslovima ratne opasnosti može da bude od značaja za izvršenje prevoženja. Za svaku deonicu na celom području *Železničko transportno preduzeće (ŽTP)* propusnu moć utvrđuje u uslovima paralelnog - parnog grafikona na jednokolosečnim, a paralelnog na dvokolosečnim prugama i usklađuje ga sa susednim *ŽTP-om*.

Za svaku deonicu na jednokolosečnim prugama utvrđuje se interval sleđenja vozova i to za svaki smer posebno.

### Tehničko-tehnološki parametri pruge

Način organizovanja železničkog saobraćaja uslovljen je odgovarajućim tehničko-tehnološkim parametrima pruge, kao što su:

- vrsta pruge,
- maksimalna brzina kretanja vozova,
- maksimalno dopušteno opterećenje pruge,
- uzdužni profil,
- dopušteni gabariti vozila i tereta,
- propusna moć (potrebna i postojeća).

Železnička pruga predstavlja šinski put koji međusobno spaja razdelne tačke, a to znači da pruga čini niz međusobno povezanih deonica pruge. Pruga može biti jednokolosečna, dvokolosečna ili višekolosečna. Broj koloseka utiče na način organizovanja železničkog saobraćaja. Na jednokolosečnoj pruzi saobraćaj se, po pravilu, organizuje u oba smera po istom koloseku dok se na dvokolosečnoj, odnosno višekolosečnoj pruzi može da organizuje na više načina primenom različitih kombinacija. Koja će se kombinacija primeniti zavisi od obima saobraćaja na pojedinim smerovima pruge.

Maksimalno dopušteno opterećenje pruge određuje se na osnovu nosivosti elemenata donjeg i gornjeg stroja pruge.

Opterećenje mostova i propusta određuje se prema odredbama propisa o kategorizaciji pruga (*Propisi 325*), Pravilnika o tehničkim merama za opterećenje železničkih mostova i propusta (*Pravilnik 316 c*), propisa za projektovanje i dimenzionisanje mostova za železnički saobraćaj u vanrednim uslovima i dr.

Za maksimalno merodavno opterećenje po osovini i dužnom metru uzima se manja vrednost izračunata na osnovu nosivosti gornjeg i donjeg stroja pruge.

Opterećenje po osovini železničkih vučnih i voznih sredstava dobija se prema izrazu:

$$P_{os} = \frac{G_v + G_t}{n_{os}} [t/os] \quad (3)$$

gde su:  $G_v$ - vlastita masa vozila (t),  $G_t$ - masa tereta na vozilu (t),  $n_{os}$ - broj osovina na kolima. Opterećenje po dužnom metru železničkih vozila dobija se prema izrazu:

$$P_{dm} = \frac{G_v - G_t}{l_v} [t/m] \quad (4)$$

gde je:  $l_v$ - dužina vozila merena od čela do čela nesabijenih odbojnika (m),

Svaka pruga, zavisno od svoje mogućnosti da primi opterećenje od vozila (opterećenja izražena po osovini ili dužnom metru), razvrstava se u jednu od kategorija pruga.

U mirnodopskim, a posebno u ratnim (vanrednim) uslovima, javlja se potreba da se određenom prugom preveze teret koji prekoračuje najveće dopušteno opterećenje. Tada se nameće potreba provere nosivosti koloseka radi donošenja odluke o dopuštenju prevoženja po masi predimenzionisanog tereta.

Nosivost koloseka se utvrđuje na osnovu naprezanja šine na savijanje i procena opštetehtničkog stanja elemenata gornjeg i donjeg stroja pruge.

Za maksimalnu brzinu kretanja voza na određenoj pruzi kao osnovni tehničko-tehnološki parametri uzimaju se:

- vrsta i sposobnost vučnog vozila,
- karakteristike-sposobnosti pruge,
- vrsta i karakteristika voznih sredstava,
- vrsta kočenja,
- sastav voza,
- mesto i položaj lokomotive u kompoziciji voza.

Za maksimalnu brzinu kretanja vozova uzima se najmanja brzina dobijena na osnovu navedenih parametara.

Maksimalna brzina vučnog vozila (lokomotive) se određuje zavisno od uslova kočenja, dužine zaustavnog puta, nagiba pruge i sl. i data je u odgovarajućim uputstvima [1].

Maksimalno dopuštena brzina, imajući u vidu vrste i karakteristike voznih sredstava (konstrukciju, tehničku ispravnost i opremu), podrazumeva najveću brzinu kojom se kola mogu kretati. Za putnička kola ta je brzina određena i naznačena na svim kolima. Teretna kola su osposobljena za brzine od 60 km/h do 120 km/h.

Maksimalno dopuštena brzina zavisno od karakteristika-sposobnosti pruge, u suštini je određena:

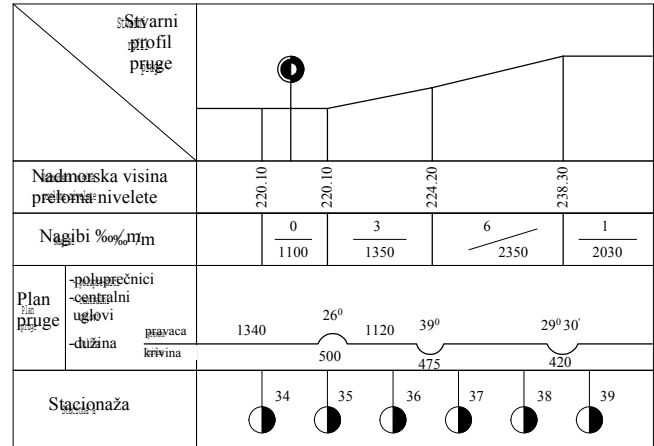
- nosivošću koloseka,
- karakteristikama koloseka u pravcu i krivini,
- karakteristikama skretnica,
- opremljenošću pruge signalno-sigurnosnim uređajima i postrojenjima,
- elektro-vučnim stabilnim postrojenjima.

Maksimalno dopuštena brzina predstavlja najveću brzinu kojom voz može da se kreće na raznim nagibima pruge imajući u vidu vrstu kočenja i dužinu zaustavnog puta.

Lokomotiva može da ima različit položaj u kompoziciji voza, što je posebno izraženo kod prevoženja u vanrednim uslovima (višestruka vuča), od čega zavisi maksimalno

dopuštena brzina.

Uzdužni nagib pruge, kao njen parametar, sa svojim elementima: nagibom i krivinama, ispoljava određeni uticaj na način organizovanja železničkog saobraćaja na određenoj pruzi. Osnovni elementi uzdužnog profila pruge daju bitne informacije za proračun otpora uspona i otpora krivine, i za određivanje potrebne kočione mase vozova (sl.2).



Slika 2. Uzdužni profil pruge

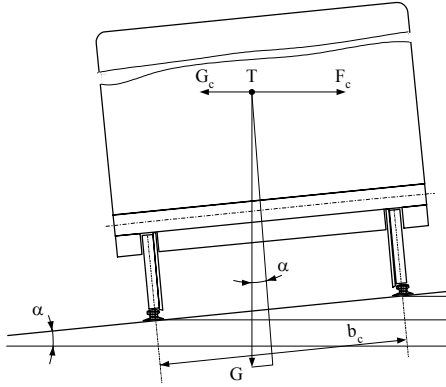
Otpor uspona čini komponenta sile težine vozila paralelno sa ravni koloseka.

U slučaju vožnje na usponu ova sila je sila otpora, a u slučaju vožnje na nagibu to je aktivna sila sa dejstvom u smeru kretanja.

Za proračun relevantnog otpora pruge, osim uspona, treba znati i otpor krivine na posmatranoj pruzi. Otpori krivine nastaju kao posledica čvrste veze između točkova i osovine jednog osovinskog sloga, paralelnosti osovina u postolju i dejstva centrifugalne sile. Osovinski slog se sastoji od dva točka koja su navučena na zajedničku krutu osovину što znači da im obodna brzine i pređeni putevi moraju biti jednaki. Ta jednakost ne može da se u potpunosti ispuni u slučaju prolaska vozila kroz krivinu. Različiti prečnici kotrljanja ostvaruju se postavljanjem venca točkova pod nagibom i korišćenjem bočnog zazora, sa razlikama osnih rastojanja točkova i šina koji omogućavaju bočno pomeranje sloga od 10mm pri pravolinijskom kretanju do 50mm u krivini. Time se umanjuje trošenje venca točka i šine.

Između osovina i rama postolja postoji kruta veza. To dovodi do složenog kretanja (kombinacije kotrljanja i kretanja), a pomeranje samog rama se razlaže na pravolinijsko i obrtno kretanje oko jednog trenutnog centra rotacije. Obrtanje vrše sile trenja stvorene pojavom klizanja [3]. Veličina ukupne sile trenja zavisi od koeficijenta trenja i bočnog pritiska na šinu.

Da dejstvo centrifugalne sile ne bi umanjilo stabilnost vozila u krivini, kolosek se zakošava na taj način što se spoljašnja šina izdiže u odnosu na unutrašnju (sl.3).



Slika 3. Dejstvo centrifugalne sile na vozilo u krivini

Na taj način se deo mase vozila svojom horizontalnom komponentom  $G_c$  suprodstavlja dejstvu centrifugalne sile koja iznosi:

$$Gc = G \cdot tg\alpha = G \frac{h_k}{b_c} \text{ [ daN ]} \quad (5)$$

Centrifugalna sila sa napadnom tačkom u težištu vozila određuje se izrazom:

$$F_c = \frac{G}{R_k} V^2 \text{ [ daN ]} \quad (6)$$

Nekompenzovani deo centrifugalne sile iznosi:

$$F'_c = F_c - Gc = G \left( \frac{V^2}{R_k} - \frac{h_k}{b_c} \right) \text{ [ daN ]} \quad (7)$$

Pod relevantnim otporom neke pruge podrazumeva se najveći uspon, odnosno zbir otpora najvećeg uspona i krivina najkraćeg poluprečnika. Kao relevantni otpor pruge smatraju se usponi duži od 1000m. Za slučaj postojanja kraćih uspona, oni se redukuju na dužinu 1000m:

$$i_r = i_s \frac{l_s}{1000} \text{ [ ‰ ]} \quad (8)$$

gde su:  $i_r$ - redukovana veličina uspona (‰),  $i_s$ - stvarna vrednost veličine uspona deonice (‰),  $l_s$ - stvarna dužina deonice (km).

Dužina deonice  $l_s$  jednaka je:

$$l_s = \sum_{i=1}^n l_i = l_1 + l_2 + \dots + l_n \text{ [ m ]} \quad (9)$$

Nagib deonice dužine  $l_s$  određen je jednakošću potrebnog rada za savlađivanje otpora kretanja voza (sl. 4.), a iznosi:

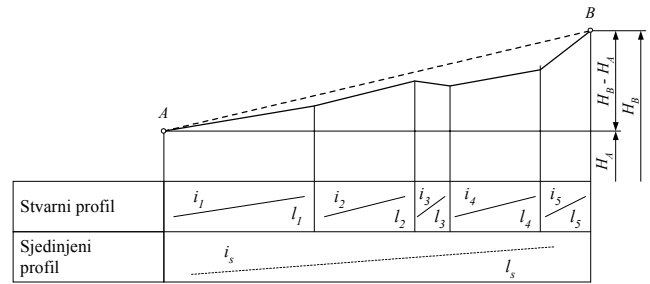
$$i_s \cdot l_s = \sum i \cdot l = 1000(H_B - H_A) \quad (10)$$

odakle je:

$$i_s = \frac{i_1 \cdot l_1 + i_2 \cdot l_2 + \dots + i_n \cdot l_n}{l_s} = \frac{1}{l_s} \sum_{i=1}^n (i \cdot l)_i$$

ili:

$$i_s = 1000 \frac{H_B - H_A}{l_s} \text{ [ ‰ ]} \quad (11)$$



Slika 4. Nagib deonice pruge

Ako na posmatranom delu pruge postoje krivine, tada se zbir otpora svih krivina zamenjuje tzv. fiktivnim usponom ( $i_k$ ), a zatim se te dve veličine sabere:

$$i_m = \pm i_s + i_k \text{ [ ‰ ]} \quad (12)$$

Veličina fiktivnog uspona određuje se na principu jednakosti rada uvek uvek pozitivnih sila otpora krivine i ravnomerno raspoređenih sila otpora na dužini deonice  $l$ , uspona  $i$ . Ta jednakost data je sledećim izrazom:

$$l \cdot i_k = \sum w_k \cdot l_k \quad (13)$$

*Propusna moć* predstavlja sposobnost pruge (deonice pruge) da u određenom vremenu propusti određen broj vozova (pari vozova) uz određenu tehničku obezbeđenost i određen način organizovanja saobraćaja. Pod tehničkom obezbeđenošću podrazumeva se opremljenost pruge stabilnim tehničkim sredstvima, vučnim sredstvima i vučenim sredstvima (vozilima).

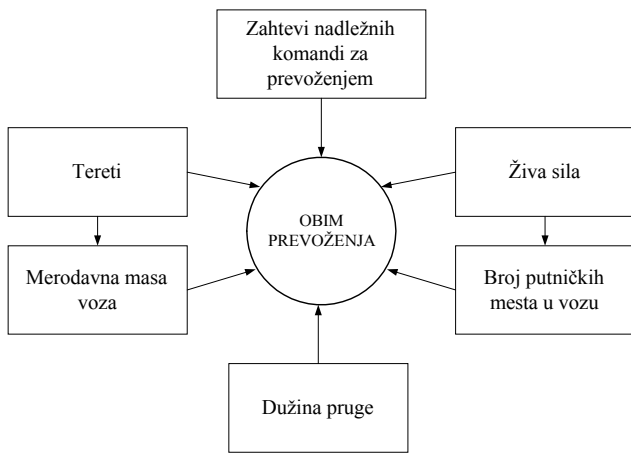
Propusna moć predstavlja jedan od načina iskazivanja kapaciteta železničke pruge. U praksi postoje slučajevi iskazivanja kapaciteta železničke pruge preko količine tereta (mase). Takav se način iskazivanja kapaciteta naziva prevozna moć. Najčešća jedinica iskazivanja prevozne moći su neto i bruto tone.

Propusna i prevozna moć (kapacitet) pruge najčešće se utvrđuje u odnosu na dan, a može i u odnosu na manju vremensku jedinicu, što je slučaj kod prigradskog putničkog železničkog saobraćaja. Za određene globalne proračune prevozna moć pruge može da se utvrdi i za period od jedne godine.

## Obim prevoženja

Obim prevoženja je osnovni element za postavljanje odgovarajuće organizacije saobraćaja. Potrebno je poznavati broj ljudi (žive sile) i količinu tereta koju treba prevesti. Uz to je potrebno poznavati i zahteve pretpostavljenih komandi za vremenom u kojem se određena prevoženja treba da obave.

Kod određivanja obima prevoženja mora da se zna, pored tokova tereta i žive sile, relevantna masa voza na dotičnoj pruzi, broj putničkih mesta u vozu, kao i dužina prevoznog puta-pruge (sl.5).



Slika 5. Faktori obima prevoženja

Obim prevoženja žive sile vozovima za prevoz putnika (putnički saobraćaj) može da se izrazi kao:

$$N_{vp} = \frac{A}{a} \text{ [ vozova ]} \quad (14)$$

gde su:  $A$ - dnevni tok žive sile,  $a$ - broj putničkih mesta u vozu.

Broj putničkih mesta se u jednom vozu određuje izrazom:

$$a = a_o \frac{Q_{br}}{q_{br}} \text{ [ putnika/voz ]} \quad (15)$$

gde su:  $a_o$ - broj putničkih mesta u jednim kolima,  $Q_{br}$ - bruto masa voza (t),  $q_{br}$ - bruto masa jednih kola (t).

Zamenjujući izraz (15) u izrazu (14) obim prevoženja žive sile može da se utvrdi sledećim izrazom:

$$N_{vp} = \frac{A \cdot q_{br}}{a_o \cdot Q_{br}} \text{ [ vozova ]} \quad (16)$$

Za određivanje obima prevoženja tereta potrebno je da se tokovi tereta pretvore u kolske tokove, a kolski tokovi da se pretvore u broj vozova.

Pretvaranje tokova tereta u tokove tovarnih kola može da se izvede pomoću izraza:

$$U = \frac{P \cdot \gamma_n}{T \cdot P_s} \text{ [ kola ]} \quad (17)$$

gde su:  $U$ - veličina kolskog toka-broj tovarnih kola,  $P$ - količina tereta namenjenog prevoženju (nt),  $\gamma_n$ - koeficijent neravnomernosti,  $T$ - period vremena za koje treba prevesti količinu tereta  $P$  (dana),  $P_s$ - prosečno statičko opterećenje jednih kola (t /kola).

Dobijeni kolski tok tovarnih kola, usmeren na određenu prugu, može da se pretvori u broj vozova kojima je moguće obaviti prevoženje, prema izrazu:

$$N_v = \frac{U(q + P_s)}{Q} \text{ [ vozova ]} \quad (18)$$

gde su:  $N_v$ - broj vozova potreban za obavljanje prevoženja,  $q$ - prosečna masa praznih kola (t),  $Q$ - prosečna masa jednog teretnog voza (t).

Dati izraz za izračunavanje broja vozova odnosi se na potpuno tovarne vozove, odnosno na vozove bez praznih

kola. Takve kategorije vozova su najčešće u primeni u slučajevima masovnih prevoženja za potrebe Vojske Jugoslavije (VJ). U slučaju kada se u sastav tovarnih vozova uvrstavaju i neka od praznih kola (kada se radi o specifičnim, nedovoljno brojnim vrstama teretnih kola) tada su to vozovi mešovitog sastava. Broj takvih vozova može da se izračuna pomoću izraza:

$$N_v = \frac{U_{ip} \left( q + \frac{P_s}{1 + \alpha} \right)}{Q} \text{ [ vozova ]} \quad (19)$$

gde su:  $U_{ip}$ - veličina kolskog toka tovarnih i praznih kola (kola),  $\alpha$ - koeficijent putovanja praznih kola.

Veličina kolskog toka tovarnih i praznih kola, uz poznat koeficijent putovanja praznih kola, izračunava se pomoću izraza:

$$U_{ip} = \frac{P(1 + \alpha)\gamma_n}{T \cdot P_s} \text{ [ kola ]} \quad (20)$$

Broj vozova potrebnih za prevoženje određene količine tereta može da se dobije direktnim putem bez pretvaranja tokova tereta u kolske tokove, pomoću izraza koji se dobije tako što se izraz (20) uvrsti u izraz (19):

$$N_v = \frac{P \cdot \gamma_n \left( \frac{1 + \alpha}{P_s} q + 1 \right)}{T \cdot Q} \text{ [ vozova ]} \quad (21)$$

Broj vozova se izračunava za svaki smer posebno. Period vremena ( $T$ ) za koje treba prevesti određenu količinu tereta ( $P$ ) je direktni zahtev nadležnih komandi VJ - zahtev viših nivoa. Ako se prevoženje može da izvede u normalnim uslovima, tada se povećava broj kola namenjenih prevoženju.

S određenim brojem kola (radnim kolskim parkom) u eksploatacionim uslovima u zahtevanom vremenu  $T$ , može da se preveze sledeća količina tereta:

$$P = \frac{U \cdot T \cdot P_s}{\gamma_n} \text{ [ tona ]} \quad (22)$$

Ukoliko se prevoženje ne može da izvede u datim uslovima tada se povećava broj kola, i bolje koristi njihova nosivost (povećanje statičkog opterećenja) ili smanjuje neravnomernost u toku zadatog perioda  $T$ .

Na vrednost obima prevoženja železnicom utiče relevantna masa voza. U slučaju vozova za prevoz putnika, masa voza se određuje prema broju kola u kompoziciji voza. Prilikom određivanja sastava takvih vozova i njihove mase, uvek se ostavlja mogućnost da se sastav kompozicije voza pojača određenim brojem kola. Masa voza za prevoz putnika određuje se posle određivanja maršrutne, odnosno, tehničke brzine voza. Masa i brzina takvih vozova su osnovni parametri za optimalnu organizaciju saobraćaja vozova sa prevozom putnika. Maršrutna brzina se određuje s obzirom na kategoriju voza i tehničku opremljenost određenog pružnog pravca. Posle određivanja maršrutne brzine, utvrđuje se broj zastavljanja i vreme njihovog zadržavanja, i na osnovu toga se izračunava srednja, čisto tehnička brzina, prema izrazu:

$$V_{\dot{c}t}^{sr} = \frac{L_m}{\frac{L_m}{V_m} - \sum t_{st} - \sum \tau_{uk}} \quad (23)$$

gde su:  $L_m$ - dužina pruge na kojoj se obavlja saobraćaj vozova (km),  $V_m$ - maršrutna brzina voza (km/h),  $\sum t_{st}$ - ukupno vreme zadržavanja voza u stanicama (h),  $\sum \tau_{uk}$ - ukupno vreme utrošeno na ubrzavanje i kočenje vozova na posmatranoj pruži (h).

Na osnovu izračunate srednje, odnosno tehničke brzine, određenog relevantnog uspona i odabrane vrste lokomotive, proračunava se masa putničkog voza prema izrazu [4]:

$$Q_p = \frac{F_{\dot{c}t} - L(W_{ol} + i_m)}{W_{ok} + i_m} [t] \quad (24)$$

gde su:  $F_{\dot{c}t}$ - vučna sila lokomotive koja odgovara srednjoj, čisto tehničkoj brzini -  $V_{\dot{c}t}$  (daN),  $L$ - adhezijska masa lokomotive (t),  $W_{ol}$ - specifični otpor lokomotive pri  $V_{\dot{c}t}$  (daN/t),  $i_m$ - relevantni uspon (otpor) pruge (daN/t),  $W_{ok}$ - specifični otpor kola u vozu pri  $V_{\dot{c}t}$  (daN/t).

S obzirom da ovako proračunata masa voza uslovljava njegovu dužina treba je uskladiti sa dužinom staničnih koloseka. U normalnim mirnodopskim uslovima prevoženja dužina voza treba da se uskladi, ne sa dužinom staničnih koloseka, već sa dužinom perona s obzirom na udobnost i komfor putnika.

Za relevantnu odnosno optimalnu masu teretnog voza smatra se maksimalno moguća masa na određenoj pruži. Masa voza se sastoji od mase vučnih i vučenih vozila:

$$Q_v = Q_l + Q_k [t] \quad (25)$$

gde su:  $Q_l$ - masa vučnih vozila (t),  $Q_k$ - masa vučenih vozila (t).

Kako se na masu vučnih vozila (lokomotiva) u eksploataciji ne može da utiče (pogotovo kod savremenih električnih i dizel lokomotiva), za organizaciju železničkog saobraćaja relevantna je masa vučenih vozila (kola).

### Raspoloživa vučna i vučena vozila

Za organizaciju železničkog saobraćaja u uslovima masovnih prevoženja, izuzetno važan faktor predstavljaju raspoloživa vučna i vučena vozila, jer se u tim uslovima javlja potreba za obezbeđivanjem većeg broja tih sredstava u relativno kratkom vremenu i na ograničenim pružnim kapacitetima.

Sa aspekta organizacije saobraćaja vozova, a naročito organizacije vuče vozova, značajne su sledeće karakteristike vučnih vozila (lokomotiva):

- vučna sila lokomotive,
- opterećenje po osovini,
- najveća dopuštena brzina,
- broj osovina i dužina lokomotive,
- adhezijska masa,
- kritična brzina.

Pored broja vučnih vozila za vuču vozova, mora se voditi računa i o obezbeđivanju dovoljnog broja vučnih vozila za ostvarenje višestruke vuče na deonicama pruge koje svojim karakteristikama to zahtevaju.

Potreban broj vučenih sredstava (kola) za izvršenje zadatka dobija se na osnovu veličine kolskog toka tovarnih kola.

S aspekta korišćenja kola, a time i organizacije

saobraćaja vozova, značajne su određene tehničke i eksploatacione karakteristike kola. Tehničke karakteristike koje moraju da se poznaju jesu:

- vrsta i tip teretnih kola,
  - vrsta kočnice,
  - vrsta kvačila,
  - broj osovina.
- Eksploatacione karakteristike koje su značajne za teretna kola jesu:
- nosivost kola,
  - sopstvena masa (tara),
  - bruto masa kola po jednom dužnom metru,
  - odnos tare kola prema nosivosti (koeficijent tare),
  - specifičan otpor kola.

U cilju racionalne organizacije saobraćaja mora da postoji određena usklađenost između vučnih i vučenih sredstava. To znači, da se za pokretanje određenog broja vozova, odnosno kola, mora da obezbedi dovoljan broj lokomotiva. Ako se ne obezbedi dovoljan broj lokomotiva, jedan deo kolskog parka će ostati u stanicama, što u uslovima izvođenja borbenih dejstava može da predstavlja unosan stacionarni cilj.

### Određivanje mase voza

Brzina kretanja voza, a samim tim i vreme prevoženja, čijoj minimalizaciji treba težiti, zavisi od više faktora: vrste i tipa vučnog vozila (lokomotive), ukupne bruto-mase voza, konstrukcijskih karakteristika kola i pruga i njihovog stanja, signalno-sigurnosnih i telekomunikacionih postrojenja, načina organizacije saobraćaja, stepena iskorišćenja propusne moći i drugih faktora.

Polazne osnove za minimalizaciju vremena prevoženja obuhvataju prevoženje jedinica u najmanjem mogućem broju vozova, vozovima što veće mase, odnosno što boljeg iskorišćenja vučne snage lokomotive, sa što manjim intervalima sleđenja vozova uz potpuno uvažavanje faktora bezbednosti saobraćaja.

Imajući to u vidu, relevantna (optimalna) masa teretnih vozova na određenoj pruži predstavlja maksimalno moguću masu, i izračunava se prema sledećim elementima:

- dužini staničnih koloseka, odnosno najvećem dopuštenom broju osovina,
- opterećenju lokomotive prema relevantnom otporu pruge,
- opterećenju lokomotive pri pokretanju vozova s mesta,
- naprezanju teglećih uređaja,
- sigurnosti kočenja na padovima.

Prema najvećoj dopuštenoj dužini staničnih koloseka, odnosno najvećem dopuštenom broju osovina, relevantna masa voza se određuje prema izrazu:

- za voz sastavljen od tovarnih i praznih kola (voz mešovito sastava):

$$Q_m = m_o \left( q + \frac{P_d}{1 + \alpha} \right) [t] \quad (26)$$

- za voz sastavljen od tovarnih kola:

$$Q_m = m_o (q + P_d) [t] \quad (27)$$

- za voz sastavljen od praznih kola:

$$Q_m = m_o \cdot q [t] \quad (28)$$

gde su:  $m_o$ - najveći dopušteni broj osovina jednog voza,

zavisno od dužine staničnih koloseka,  $q$ - prosečna tara jedne osovine (t /osovini),  $P_d$ - prosečno dinamičko opterećenje jedne osovine tovarnih kola, (t /osovini).

Najveći dopušteni broj osovina kod jednog voza se utvrđuje prema maksimalno dopuštenoj dužini voza i prosečnom rastojanju između osovina, odnosno:

$$m_o = \frac{L_{v \max}}{l_o} [\text{osovina}] \quad (29)$$

gde su:  $L_{v \max}$ - najveća dopuštena dužina voza (m),  $l_o$ - prosečno rastojanje (m /osov).

Za određivanje najvećeg dopuštenog broja osovina relevantna je stanica sa najmanjom korisnom dužinom koloseka na posmatranoj pruzi.

Relevantna masa voza u odnosu na opterećenje lokomotive prema relevantnom otporu pruge data je izrazom:

$$Q_i = \frac{F_t - (W_{ol} + i_m \cdot L)}{w_{ok} + i_m} [\text{t}] \quad (30)$$

gde su:  $F_t$ - vučna sila za (kritičnu) trajnu brzinu (daN),  $W_{ol}$ - osnovni ukupni otpor lokomotive za (kritičnu) trajnu brzinu (daN),  $i_m$ - merodavni otpor pruge (daN/t),  $L$ - masa lokomotive (t),  $w_{ok}$ - osnovni specifični otpor kola u vozu za (kritičnu) trajnu brzinu (daN/t).

Relevantna masa voza, u odnosu na opterećenje lokomotive pri pokretanju voza određuje se izrazom:

$$Q_{pk} = \frac{1,10 \cdot F_a - W_{ol} + L(i_m + w_{ub})}{w_{ok} + i_m + w_{ub}} \quad (31)$$

gde su:  $F_a$ - adheziona vučna sila (daN/t), 1,10- povećanje adhezivne sile peskarenjem,  $w_{ub}$ - specifična sila potrebna za ubrzanje (daN/t),  $w_{ok}$ - osnovni specifični otpor kola u vozu pri pokretanju (za  $V = 0$ ) (daN/t).

Relevantna masa voza, u odnosu na naprezanje teglećih uređaja na usponima, određuje se prema izrazu:

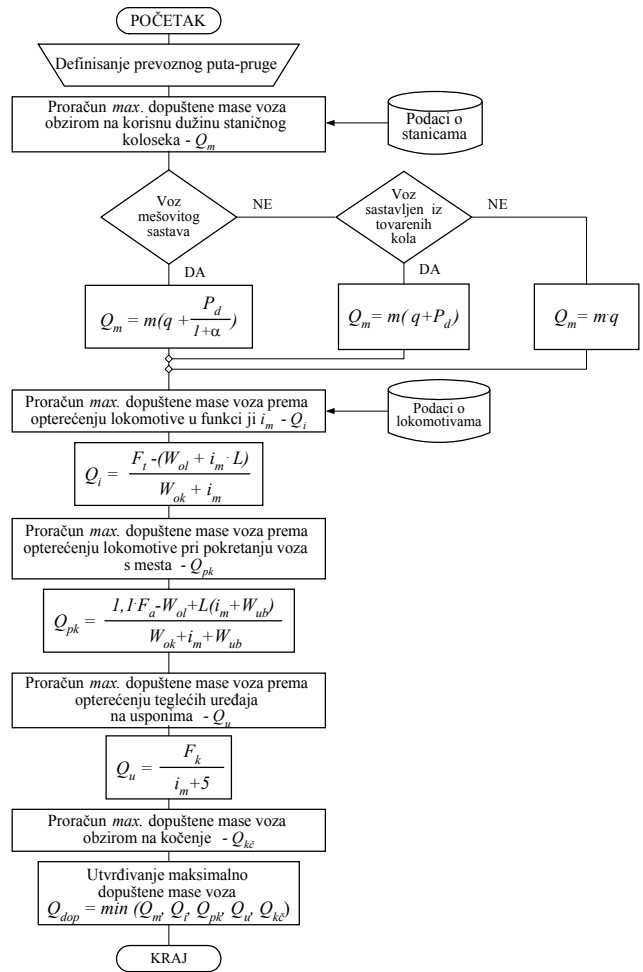
$$Q_u = \frac{F_k}{i_m + 5} [\text{t}] \quad (32)$$

gde je:  $F_k$ - najveća dopuštena vučna sila u zavisnosti od naprezanja teglećeg uređaja (daN/t).

Ova masa zavisi od veličine vučne sile, koja može da se ostvari na kuki tegljenika u odnosu na dopušteno naprezanje teglećeg uređaja. U [1] propisana je masa voza u odnosu na sigurnost kočenja na nagibima ( $Q_{k\check{c}}$ ).

Relevantna (maksimalno dopuštena) masa teretnih vozova je najmanja od svih navedenih masa, a određuje se prema opštem algoritmu (sl. 6.), odnosno prema izrazu:

$$Q_{dop} = \min(Q_m, Q_v, Q_{pk}, Q_u, Q_{k\check{c}}) [\text{tona}] \quad (33)$$



Slika 6. Opšti algoritam utvrđivanja maksimalno dopuštene mase

### Organizacija višestruke vuče voza

Višestruka vuča vozova, kao način organizovanja železničkog saobraćaja, primenjuje se na prugama gde postoje deonice sa većim usponom, odnosno otporom.

Obično se za vuču vozova na većim usponima koriste dve lokomotive, bilo kao zaprezanje bilo kao potiskivanje. U svetu se, pored ova dva osnovna vida višestruke vuče koriste višestruka vuča uz pomoć većeg broja lokomotive koje se uvrstavaju na početak kompozicije voza, sredinu i začelje voza (Rusija i SAD), čime se znatno više uvećava masa voza. Pri zaprezanju voza, masa voza ne može da bude veća od zbira redovnog opterećenja vozne i zaprežne lokomotive, a zbir ovih opterećenja ne može da bude veći od graničnog opterećenja lokomotiva na pruzi kojom voz saobraća, odnosno:

$$Q_m \leq Q_v + Q_z \leq Q_{gl} [\text{t}] \quad (34)$$

gde su:  $Q_m$ - maksimalna masa voza (t),  $Q_v$ - opterećenje vozne lokomotive (t),  $Q_z$ - opterećenje zaprežne lokomotive (t),  $Q_{gl}$ - dopušteno granično opterećenje lokomotive na pruzi (t).

Kod potiskivanja voza masa voza ne može da bude veća od zbira redovnog opterećenja vozne i potiskivajuće lokomotive, a redovno opterećenje vozne lokomotive ne može da bude veće od graničnog opterećenja lokomotive na posmatranoj pruzi, odnosno:

$$\begin{aligned} Q_m &\leq Q_v + Q_p [\text{t}] \\ Q_v &\leq Q_{gl} [\text{t}] \end{aligned} \quad (35)$$

gde je:  $Q_p$ - opterećenje potiskivajuće lokomotive (t).

Radi značajnijeg povećanja mase vozova ređe se na velikim usponima za vuču upotrebljavaju tri lokomotive. Tada se vuča organizuje na jedan od sledećih načina: dve lokomotive na početku kompozicije (vozna i zaprežna), a jedna na začelju voza (potiskivalica), jedna na početku kompozicije (vozna) i dve na začelju (potiskivalice), ili pak jedna od pridodatih lokomotiva u sredini voza.

Kod prvog načina upotrebe, još dve lokomotive pored vučne (zaprežanje i potiskivanje), masa voza ne može da bude veća od redovnih opterećenja svih radnih lokomotiva u vozu. Zbir redovnih opterećenja vozne i zaprežne lokomotive ne može da bude veći od graničnog opterećenja lokomotiva na posmatranoj pruzi, odnosno:

$$Q_m \leq Q_v + Q_z + Q_p \quad [t] \quad (36)$$

$$Q_z + Q_v \leq Q_{gl} \quad [t]$$

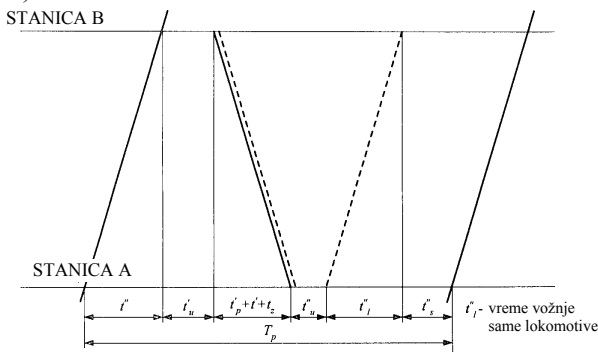
Kod drugog načina, (dve lokomotive na začelju voza-potiskivalice), masa voza ne može da bude veća od zbira redovnih opterećenja vozne lokomotive i potiskivalice, a redovno opterećenje vozne lokomotive ne može da bude veće od graničnog opterećenja lokomotiva na posmatranoj pruzi, odnosno:

$$Q_m \leq Q_v + Q_{p1} + Q_{p2} \quad [t] \quad (37)$$

$$Q_v \leq Q_{gl} \quad [t]$$

Organizovanjem saobraćaja primenom višestruke vuče vozova povećava se masa i broj vozova, ili samo masa, tj. broj vozova. Višestruka vuča, zavisno od profila pruge, primenjuje se na celoj dužini pruge ili samo na pojedinim staničnim odstojanjima. Kada je na celoj pruzi nepovoljan uspon tada se obično primenjuje zaprežanje, dok se potiskivanje primenjuje samo kad je na jednom staničnom odstojanju ili na kraćoj deonici nepovoljan uspon.

Za proveru propusne moći pruge pri organizaciji saobraćaja s višestrukom vučom vozova na celoj deonici pruge, ili na celom staničnom odstojanju, primenjuje se isti postupak kao i pri jednostrukoj vuči. U takvoj organizaciji saobraćaja mora da se iznađe adekvatan period (grafikon, sl.7).



Slika 7. Period grafikona kod višestruke vuče između stanica

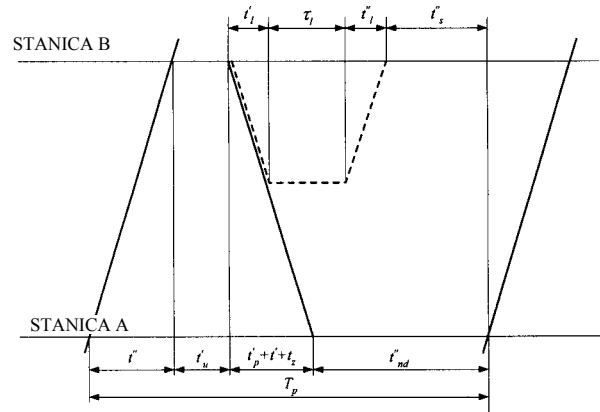
Za analizu tehničke i ekonomske opravdanosti izbora odgovarajućeg načina organizovanja saobraćaja vozova, primenom višestruke vuče, potrebno je sagledati što veći broj uticajnih faktora. Tako se, na primer, prema Voskresenskom, preduslov za primenu potiskivanja određuje nejednačinom [3]:

$$\frac{Q_{v2} - Q_{v1}}{Q_{v1}} > \frac{l_{pot}}{l} \quad (38)$$

gde su:  $Q_{v2}$ - masa voza sa jednostrukom vučom (t),  $Q_{v1}$ -

masa voza sa potiskivalicom (t),  $l_{pot}$ - dužina deonice potiskivanja (km),  $l$ - ukupna dužina pruge (km).

Ako je na deonici pruge kraći i veći uspon, tada se višestruka vuča organizuje s nezakvačenom potiskivalicom do određene tačke na otvorenoj pruzi (sl.8).



Slika 8. Organizacija višestruke vuče potiskivanjem do određene tačke na otvorenoj pruzi

Organizacija saobraćaja vozova, primenom bilo kojeg vida višestruke vuče opravdana je samo ako se povećava propusna moć, bilo po broju vozova, ili masi ili njihovom kombinacijom.

Potiskivanje i zaprežanje, kao mogući način organizacije višestruke vuče, imaju određene prednosti i nedostatke.

Nedostaci zaprežanja su u odnosu na potiskivanje sledeći:

- potrebne su dve lokomotive iste serije, što će u nekim konkretnim uslovima biti otežano,
- vozovi se moraju zaustaviti pri dodavanju i skidanju zaprežne lokomotive,
- potrebno je duže zadržavanje voza radi isključivanja zaprežne lokomotive i oslobađanja koloseka za izlaz vozova i dr.

Potiskivanje ima sledeće prednosti:

- omogućen je lakši pristup potiskivajuće lokomotive, a ona može da se skine i bez zaustavljanja voza, ako nije zakvačena,
- opterećenje voza može da se poveća za veličinu opterećenja potiskivajuće lokomotive,
- omogućeno je kraće zadržavanje vozova.

Primena višestruke vuče mora da rezultira povećanjem tehničke (propusne ili prevozne) moći. To kod jednokolosečnih pruga, treba da dovede do povećanja njihove propusne moći za određenu vrednost, koja može da se predstavi izrazom:

$$\Delta P = 1440 \left( \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) [ \text{pari vozova} ] \quad (39)$$

gde su:  $T_1$ - period grafikona pre primene višestruke vuče,  $T_2$ - period grafikona posle primenjene višestruke vuče.

Višestruka vuča na dvokolosečnim prugama obično dovodi do povećanja propusne moći, što može da se predstavi izrazom:

$$\Delta P = 1440 \left( \frac{1}{I_2} - \frac{1}{I_1} \right) [ \text{vozova} ] \quad (40)$$

gde su:  $I_1$ - interval sleđenja vozova pre primene višestruke vuče,  $I_2$ - interval sleđenja vozova posle primenjene višestruke vuče.

Povećanje propusne ili prevozne moći, dobijeno



primenom višestruke vuče, iskazano u bruto tonama, može da se predstavi izrazom:

$$\Delta P_{br} = N_2 Q_2 - N_1 Q_1 \text{ [brutotona ]} \quad (41)$$

gde su:  $N_1$ - broj vozova ili pari vozova pre primenjene višestruke vuče,  $Q_1$ - bruto masa teretnih vozova pre primenjene višestruke vuče,  $N_2$ - broj vozova ili pari vozova posle primenjene višestruke vuče,  $Q_2$ - bruto masa teretnih vozova posle primenjene višestruke vuče.

### Zaključak

Višestruka vuča, kao način organizovanja železničkog saobraćaja na prugama s nepovoljnim uzdužnim profilom, dovodi do povećanja mase vozova a time i propusne moći pruge.

Izbor načina organizovanja železničkog saobraćaja, primenom višestruke vuče, podrazumeva svestrano sagledavanje brojnih uticajnih faktora, među kojima se posebno ističe pruga sa svojim deonicama većeg uspona, vučna sredstva – – lokomotive i projektovani obim

prevoženja.

Primena višestruke vuče je usmerena ka minimalizaciji vremena prevoženja, koje u suštini obuhvata prevoženje određene količine tereta u što manjem broju vozova, s vozovima što veće mase i što boljeg iskorišćenja vučne snage lokomotive, uz maksimalno uvažavanje faktora bezbednosti železničkog saobraćaja.

### Literatura

- [1] *Uputstvo o tehničkim normativima i podacima za izradu i izvršenje voznog reda*, Zajednica Jugoslovenskih Železnica, Beograd, 1988.
- [2] *Saobraćajni pravilnik*, Zajednica Jugoslovenskih Železnica, Zavod za NIP delatnost JŽ, Beograd, 1987.
- [3] DINIĆ, D. *Vuča vozova*, Zavod za NIP delatnost JŽ, Beograd, 1986.
- [4] ČIČAK, M., EROR, S. *Organizacija železničkog saobraćaja*, Naučna knjiga, Beograd 1978.
- [5] JOVANOVIĆ, D. *Železnički saobraćaj i transport*, CVTŠ KoV, JNA, Zagreb, 1989.

Rad primljen: 26.12.2000.god.

