Dr Dragutin Jovanović,
pukovnik, dipl. inž.
Vojnotehnička akademija VJ,
Beograd

VREME PREVOŽENJA MASOVNIH TOKOVA TERETA KAO KRITERIJUM OPTIMIZACIJE ORGANIZOVANJA ŽELEZNIČKOG SAOBRAĆAJA

UDC: 656.2.025.6:519.863

Rezime:

U radu se razmatra vreme prevoženja masovnih tokova tereta železnicom, kao jedan od mogućih kriterijuma optimizacije organizovanja železničkog saobraćaja. Za određivanje vrednosti tog kriterijuma definisan je matematički model, a osnovu za njegovo koncipiranje predstavlja usvojeni način organizovanja železničkog saobraćaja i period grafikona koji mu odgovara.

Ključne reči: železnički saobraćaj, optimizacija, model, organizacija, vreme prevoženja.

TIME OF TRANSPORT OF MASS COURSES AS A CRITERION FOR THE OPTIMIZATION OF RAILWAY TRAFFIC ORGANIZATION

Summary:

In this work the time of transport of mass courses by railway traffic is dealt with as one of possible criteria for the optimization of railway traffic organization. For the evaluation of this criterion the adequate mathematical model has been defined. The basis for the model represents the adopted way of railway traffic organization and the period of graph which suits it.

Key words: railway traffic, optimization, model, organization, time of transport.

Uvod

Pri prevoženju masovnih tokova tereta železnicom (prevoženje u više vozova) nastoji se da se ono obavi u određenom, po mogućnosti, što kraćem vremenu. Pored tehničko-tehnoloških parametara pruge kao prevoznog puta, vreme prevoženja sa više vozova (masovno prevoženje) zavisi umnogome od usvojene — postavljene organizacije saobraćaja vozova. Kod takvih prevoženja, bilo da se radi za potrebe privrede ili vojske, saobraćaj se najčešće organizuje uz promenu tipa grafikona ili uz primenu višestruke vuče ukoliko se obavlja prugom koja po-

seduje deonicu sa nepovoljnim uzdužnim nagibom, odnosno otporom.

Vreme prevoženja masovnih tokova tereta, posmatrano od momenta polaska prvog voza iz stanice do momenta stizanja zadnjeg voza u odredišnu stanicu, predstavlja izuzetno važnu i organima saobraćajne službe potrebnu informaciju.

Za brzo dolaženje do tačne i pouzdane informacije o vremenu prevoženja potrebno je postaviti adekvatan model. Definisanje modela za određivanje vremena prevoženja podrazumeva analizu određenih parametara i usvajanje odgovarajućeg načina organizovanja železničkog saobraćaja.

Karakteristike vremena prevoženja

Vreme prevoženja masovnih tokova tereta železnicom predstavlja jedan od najvažnijih kriterijuma optimizacije organizovanja železničkog saobraćaja. Ono se može posmatrati kao funkcija propusne moći određene pruge. Naime, pruga sa većom propusnom moći omogućuje da se određeni tokovi prevezu za kraće vreme.

Vreme kretanja (vožnje) jednog voza određeno je tehničko-tehnološkim i eksploatacionim parametrima pruge kao što su:

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

Železnička pruga kao šinski put koji međusobno spaja razdelne tačke, može biti jednokolosečna, dvokolosečna ili višekolosečna. Sam broj koloseka utiče na organizovanje železničkog saobraćaja, a u određenoj meri i na vreme kretanja vozova.

Maksimalna brzina kretanja vozova ograničena je u zavisnosti od maksimalnih brzina dobijenih s obzirom na:

- vrstu i sposobnost vučnog vozila,
- karakteristike — sposobnosti pruge,
- vrstu i karakteristike voznih sredstava,
- vrstu kočenja,
- sastav voza,
- položaj i mesto lokomotive u vozu.

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

Na vrednost dopuštenog opterećenja pruge presudan uticaj ispoljava nosivost donjeg i gornjeg stroja. Opterećenje po osovini železničkih vučnih i voznih sredstava dobija se prema izrazu:

$$P_{os} = \frac{G_v + G_t}{n_{os}} \quad (t/os) \quad (1)$$

gde je:

- G_v — vlastita masa vozila (t),
- G_t — masa tereta na vozilu (t),
- n_{os} — broj osovine na kolima.

Opterećenje od železničkih vozila po dužnom metru dobija se po izrazu:

$$P_{dm} = \frac{G_v + G_t}{l_v} \quad (t/m) \quad (2)$$

gde je:

- l_v — dužina vozila merena od čela do čela nesabijenih odbojnika (m).

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

U mirnodopskim, a naročito u ratnim (vanrednim) uslovima javlja se potreba da se određenom prugom preveze teret koji prekoračuje najveće dopušteno opterećenje. Tada se, uz proveru nosivosti koloseka, donosi odluka o eventualnom prevoženju po masi predimenzioniranog tereta. To se izvodi povećanjem dopuštenog napreznja koloseka uz smanjenje zahteva u pogledu ekonomičnosti održavanja pruge i udobnosti vožnje. Tada je moguće brzinu utvrditi izrazom [5]:

$$V_{max} = \sqrt{30000 \cdot \left(\frac{\delta_{dop} \cdot W}{K \cdot P \cdot L} - 1 \right)} \quad (km/h) \quad (3)$$

gde je:

- δ_{dop} — povećano dopušteno napreza-
nje šina na savijanje (kN/cm^2),
 W — moment otpora šine (cm^3),
 K — koeficijent čija veličina zavisi
od razmaka merodavnih oso-
vina vozila,
 P — opterećenje točka (kN),
 L — razmak između pragova (cm).

Uzdužni profil pruge sa svojim osnovnim elementima, nagibom i krivinama, utiče na vreme kretanja voza.

Vreme prevoženja određenog toka masovnih tereta (u više vozova) zavisi od usvojene organizacije saobraćaja vozova, intervala sleđenja uzastopnih vozova i dr.

Do izbora — usvajanja organiza-
cije saobraćaja vozova u uslovima ma-
sovnih prevoženja dolazi se analizom
pruge sa njenim osnovnim elementi-
ma, tehničko-tehnološkim parametri-
ma, obimom prevoženja, raspoloživim
vučnim i voznim sredstvima, kao i na
osnovu iskustva i preporuka datih u
odgovarajućoj stručnoj literaturi. Iz
skupa mogućih načina organizovanja
saobraćaja u takvim uslovima, a za
potrebe masovnih prevoženja, kako sa
aspekta privrede, tako i vojske, pose-
bno interesantnim izdvajaju se:

— organizovanje saobraćaja uz
primenu višestruke vuče,

— organizovanje saobraćaja pu-
tem promene tipa grafikona saobra-
ćaja vozova.

Organizovanje saobraćaja vozova uz primenu višestruke vuče

Višestruka vuča vozova, kao na-
čin organizovanja železničkog saobra-
ćaja, primenjuje se na prugama gde
postoje deonice sa većim usponom, od-
nosno otporom. U takvim uslovima, uz
upotrebu dve ili više lokomotiva, mo-

guće je formiranje i vuča vozova veće
mase, pod uslovom da to omogućava
dužina staničnih koloseka. Da bi se na
adekvatan način analizirala potreba za
višestrukom vučom, potrebno je izvr-
šiti parcijalnu analizu veličine maksi-
malne mase voza po međustaničnim
rastojanjima. Analiza se može izvršiti
uz pomoć tzv. tonsko-kilometarskog
dijagrama (slika 1).

Sli. 1 — Tonsko-kilometarski dijagram

Iz dijagrama se mogu dobiti po-
daci za maksimalnu vrednost mase vo-
za na svakom međustaničnom rasto-
janju. Posebno se analizira deonica sa
najvećim otporom i maksimalna ma-
sa voza na njoj, pa ako postoji potre-
ba za ojačanjem vuče usvaja se više-
struka vuča. Ona se može, zavisno od
konkretnih uslova, usvojiti za celu
prugu ili samo za pojedina međusta-
nična rastojanja.

Obično se za vuču vozova u tak-
vim slučajevima koriste dve lokomoti-
ve, bilo kao zaprezanje, bilo kao po-
tiskivanje. U svetu se, pored ova dva

osnovna vida višestruke vuče, koristi višestruka vuča uz pomoć većeg broja lokomotiva koje se uvrštavaju na čelo, sredinu i začelje voza (Rusija i SAD), čime se znatno više uvećava masa voza. Pri zaprezanju masa voza ne može biti veća od zbira redovnog opterećenja vozne i zaprežne lokomotive, a zbir ovih opterećenja ne može biti veći od graničnog opterećenja lokomotiva na pruzi kojom voz saobraća [1], odnosno:

$$Q_m \leq Q_v + Q_z \leq Q_{gl} \quad (t) \quad (4)$$

gde je:

- 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).

Pri potiskivanju voza njegova masa ne može biti veća od zbira redovnog opterećenja vozne i potiskivajuće lokomotive, a redovno opterećenje vozne lokomotive ne može biti veće od graničnog opterećenja lokomotive na dotičnoj pruzi, odnosno:

$$Q_m \leq Q_v + Q_p \quad (t) \quad (5)$$

$$Q_v \leq Q_{gl} \quad (t)$$

gde je:

- Q_p — opterećenje potiskivajuće lokomotive (t).

U ređim slučajevima, na velikim usponima radi značajnijeg povećanja mase vozova, za vuču se koriste tri lokomotive. Tada se vuča organizuje na jedan od sledećih načina: dve lokomotive na čelu (vozna i zaprežna), a jedna na začelju voza (potiskivalica), jedna na čelu (vozna) i dve na začelju (potiskivalice), ili jedna od pridodatih lokomotiva u sredini voza.

Kod prvog načina (zaprežanje i potiskivanje), masa voza ne može biti veća od redovnih opterećenja svih radnih lokomotiva u vozu. Zbor redovnih opterećenja vozne i zaprežne lokomotive ne može biti veći od graničnog opterećenja lokomotiva na dotičnoj pruzi, odnosno:

$$Q_m \leq Q_v + Q_z + Q_p \quad (t) \quad (6)$$

$$Q_v + Q_z \leq Q_{gl} \quad (t)$$

Kod drugog načina (dve lokomotive na začelju voza — potiskivalice) masa voza ne može biti veća od zbira redovnih opterećenja vozne lokomotive i potiskivalica, a redovno opterećenje vozne lokomotive ne može biti veće od graničnog opterećenja lokomotiva na dotičnoj pruzi, odnosno:

$$Q_m \leq Q_v + Q_{p1} + Q_{p2} \quad (t) \quad (7)$$

$$Q_v \leq Q_{gl} \quad (t)$$

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

Za proveru propusne moći pruge pri organizaciji saobraćaja sa višestrukim vučom vozova na celoj deonici ili na celom staničnom odstojanju primenjuje se isti postupak kao i pri jednostrukoj vuči. U takvoj organizaciji saobraćaja mora se pronaći adekvatan period grafikona (slika 2).

Ako je na deonici pruge kraći i veći uspon tada se višestruka vuča organizuje sa nezakačenom potiskivalicom do određene tačke na otvorenoj pruzi (slika 3).

Sl. 2 — Period grafikona kod višestruke vuče od jedne do druge stanice

Sl. 3 — Organizacija višestruke vuče vozova potiskivanjem do određene tačke na otvorenoj pruzi

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

$$\frac{Q_{v2} - Q_{v1}}{Q_{v1}} > \frac{l_{pot}}{l} \quad (8)$$

gde je:

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).

Organizacija saobraćaja vozova uz primenu bilo kojeg vida višestruke vuče opravdana je samo ako se povećava propusna moć, bilo u broju vozova, bilo u masi ili i u jednom i u drugom.

Organizovanje saobraćaja vozova putem promene tipa grafikona

Organizovanje saobraćaja vozova putem promene tipa grafikona jedan je od mogućih načina organizovanja saobraćaja u uslovima masovnih prevoženja, i to prelazak sa parnog na neparni grafikon saobraćaja vozova.

U slučaju paralelnog neparnog grafikona, što može u vanrednim uslovima biti realnost, jer će uvek jedan pravac kretanja — smer biti opterećeniji, a to znači da će u tom smeru biti upućivano više vozova, propusna moć se izračunava uz pomoć koeficijenta neparnosti. Koeficijent neparnosti izračunava se pomoću izraza:

$$\delta_{np} = \frac{N_v''}{N_v'} \quad (9)$$

gde je:

N_v' — broj vozova u jednom smeru, na primer tovarnom,

N_v'' — broj vozova u drugom smeru, na primer netovarnom.

Pri označavanju smerova obično se tovarnim smerom proglašava onaj u kojem ima više vozova i obratno. U slučaju prevoženja ka frontu ili u slučaju dotura TS tovarnim smerom se smatra smer koji vodi ka frontu, odnosno mestu dotura. Netovarnim smerom smatra se smer koji vodi od fronta ka pozadini, koji u određenom slučaju može biti tovarni, a to će biti onda kada se obavlja evakuacija.

Pri nepromenjenoj tehničkoj opremljenosti deonice pruge, sa povećanjem broja vozova u jednom smeru, na primer tovarnom — N_v' , smanjuje se koeficijent neparnosti — δ_{np} , a ukupan broj vozova na deonici ($N_{vu} = N_v' + N_v''$) raste i dostiže svoj maksimum pri $\delta_{np} = 0$, a to znači da se svi vozovi kreću u jednom smeru. Sa povećanjem broja vozova N_v' , smanjuje se broj vozova u suprotnom smeru N_v'' , (slika 4).

Sl. 4 — Promena propusne moći jednokolosečne pruge sa promenom koeficijenta neparnosti

Pri prelasku na neparni grafikon saobraćaja vozova postavljaju se određena pitanja na koja treba tražiti odgovor. Kao prvo pitanje nameće se sledeće: kako povećanje broja vozova u tovarnom smeru — N_v' pri nepromenjenoj tehničkoj opremljenosti utiče na smanjenje broja vozova u netovarnom smeru — N_v'' ?

Drugo pitanje koje se nameće je: koliko se vozova može propustiti u tovarnom smeru ako se netovarnim smerom mora propustiti određeni minimalni broj vozova (vraćanje praznih kola sa linije fronta i sl.)?

Kao treće pitanje može se istaći sledeće: kolike su maksimalne vrednosti propusne moći (broja vozova) po pravcima (tovarnom i netovarnom) pri različitim vrednostima koeficijenta neparnosti — δ_{np} ?

Određivanje maksimalne propusne moći kod različitih vrednosti koeficijenta neparnosti moguće je uz postup-

no smanjenje broja vozova u grafikonu kretanja u jednom smeru i iskorišćavanju povećanih intervala sleđenja za dodatno ucrtavanje vozova u drugom smeru.

Sa smanjenjem koeficijenta neparnosti δ_{np} povećava se ukupna propusna moć jednokolosečne pruge, odnosno ukupan broj vozova koji može saobraćati na pruzi — N_{vu} . To se može oceniti preko odnosa ukupne propusne moći — N_{vu} prema maksimalnoj mogućoj propusnoj moći, odnosno broju vozova N_{vm} u parnom grafikonu:

$$f(\delta_{np}) = \frac{N_{vu}}{N_{vm}} \quad (10)$$

Za opisivanje funkcije $f(\delta_{np})$ uzet je polinom drugog stepena, i tada se ukupan broj vozova na jednokolosečnim prugama, pri različitim vrednostima koeficijenata neparnosti, može odrediti na sledeći način [2]:

$$N_{vu} = N_{vm} f(\delta_{np}) = \frac{2 \cdot (1440 - t_{tehn}) \cdot \alpha_h}{(2 - \gamma_p) \cdot T_g + (I' + I'') \cdot \gamma_p} \\ = (a_0 + a_1 \cdot \delta_{np} + a_2 \cdot \delta_{np}^2)$$

gde je:

t_{tehn} — produženje tehnološkog »okna« u grafikonu saobraćaja vozova za tekuće održavanje pruge (min),

α_h — koeficijent, koji uzima u obzir uticaj otkaza u radu tehničkih sredstava na raspoloživu propusnu moć,

γ_p — koeficijent paketnosti,

T_g — period grafikona (min),

I', I'' — intervali između vozova u paketu (min).

Mogućnosti povećanja propusne moći uz smanjenje koeficijenta nepar-

nosti na dve jednokolosečne pruge prikazana je na slici 5 [2].

Sl. 5 — Promena propusne moći na dve jednokolosečne pruge

$$f(\delta_{np}) = \frac{2 \cdot (1440 - t_{tehn}) \cdot \alpha_h}{(2 - \gamma_p) \cdot T_g + (I' + I'') \cdot \gamma_p} = \quad (11)$$

U slučaju da se kao ograničenje javlja vreme prevoženja određenog masovnog toka tereta (određenog broja vozova), a to znači da taj tok tereta treba provesti za određeno vreme, potrebno je odabrati takav način organizovanja železničkog saobraćaja koji to omogućuje. Ako ni jedan od mogućih načina organizovanja železničkog saobraćaja ne omogućava da se određeni tok masovnog tereta preveze u zadatom vremenu postavlja se zadatak utvrđivanja takvog načina organizovanja koji će omogućiti da u zadatom vremenu stigne što veći broj vozova.

Zavisno od cilja i uslova prevoženja masovnih tokova tereta železnicom određuje se i važnost pojedinih krite-

rijuma. Vreme prevoženja kao kriterijum ima veću važnost kada se kao cilj postavlja hitnost prevoženja, i u slučaju određenih vanrednih uslova. Vrednost važnosti kriterijuma mora se brojčano izraziti radi adekvatne primene u metodama višekriterijumske optimizacije organizovanja železničkog saobraćaja.

Definisanje modela za određivanje vremena prevoženja

Pod vremenom prevoženja određenih masovnih tokova tereta podrazumeva se vreme od momenta polaska prvog voza iz polazne stanice do momenta stizanja zadnjeg voza u određenu stanicu.

Pri utvrđivanju vremena prevoženja mora se poći od načina organizovanja železničkog saobraćaja i od perioda grafikona pri takvoj organizaciji saobraćaja vozova.

Kod paralelnog parnog grafikona saobraćaja vozova (slika 6), vreme prevoženja može se utvrditi pomoću izraza:

$$T_{gr} = T_g \cdot N_{vp} + t_v \quad (12)$$

gde je:

T_g — merodavni period grafikona saobraćaja vozova (min),

N_{vp} — planirani (zahtevani) broj pari vozova,

t_v — vreme vožnje jednog voza na posmatranoj deonici (min).

Ukoliko je zahtevani obim prevoženja manji od proračunate propusne moći u jednom smeru, odnosno ukoliko je:

$$N_{vp} < P_m$$

tada se merodavni period grafikona može utvrditi preko proračunate propusne moći:

$$T_g = \frac{T \cdot N_{vg}}{P_m} \quad (\text{min}) \quad (13)$$

gde je:

N_{vg} — broj vozova u periodu grafikona,

P_m — propusna moć pruge u broju vozova,

T — posmatrani ili zadati period vremena.

Uvrštavanjem izraza (13) u izraz (12) dobija se:

$$T_{pr} = \frac{T \cdot N_{vg}}{P_m} \cdot N_{vp} + t_v \quad (\text{min}) \quad (14)$$

Vreme vožnje voza obuhvata čisto vozno vreme i dodatke za ubrzavanje

Sl. 6 — Prikaz vremena prevoženja pri parnom grafikonu

i usporavanje pri pokretanju i zaustavljanju voza. Ono se određuje za razne kategorije vozova.

Kod neparnog grafikona saobraćaja vozova (slika 7), vreme prevoženja može se utvrditi pomoću izraza:

$$T_{pr} = T_{np} \cdot \left(\frac{N_{vp} - 1}{2} \right) + t_v \quad (15)$$

Ukoliko se period grafikona T_{np} zameni opštim izrazom (12) tada se vreme prevoženja može utvrditi izrazom:

$$T_{pr} = [T \cdot N_v'' + I \cdot (N_v' - N_v'')] \cdot \left[\left(\frac{N_{vp} - 1}{2} \right) + t_v \right] \quad (16)$$

Propusna moć pruge u tovarnom smeru pri neparnom grafikonu može se utvrditi izrazom:

$$P_{tov} = P_{np} \cdot \frac{\delta_{np}}{\delta_{np} + 1} \quad (\text{vozova}) \quad (17)$$

Ukoliko je zahtevani obim prevoženja manji od proračunate propusne moći u tovarnom smeru, odnosno ukoliko je:

$$N_{vp} < P_{tov} \quad (18)$$

tada se merodavni period grafikona kod neparnog grafikona može utvrditi preko proračunate propusne moći:

$$T_{np} = \frac{T \cdot N'}{P_{tov}} \quad (\text{min}) \quad (19)$$

Sl. 7 — Prikaz vremena prevoženja pri neparnom grafikonu

Sl. 8 — Prikaz vremena prevoženja pri potpuno paketnom grafikonu

Kod potpuno paketnog grafikona saobraćaja vozova, (slika 8), vreme prevoženja može se utvrditi pomoću izraza:

$$T_{pr} = \left(\frac{b_p - 1}{2} \right) \cdot T_{pak} + t' + I' \quad (\text{min}) \quad (20)$$

gde je:

b_p — broj paketa vozova.

Na vreme prevoženja znatan uticaj ispoljavaju vreme vožnje vozova, stanični intervali i intervali sleđenja vozova.

Intervali sleđenja uzastopnih vozova jednakih brzina mogu se utvrditi za saobraćaj vozova u staničnom, odjavnom razmaku i u razmaku signala ARV.

Za uzastopni saobraćaj vozova u staničnom razmaku postoji više mogućih načina saobraćaja od kojih zavisi i vrednost intervala sleđenja. Za saobraćaj vozova prikazan na slici 9 a) i b) interval sleđenja izračunava se prema izrazu:

$$I = t_v + t_{os} + t_{odj} + t_{sig} + t_{ul} \quad (\text{min}) \quad (22)$$

Sl. 9 — Prikaz intervala sleđenja u staničnom razmaku

gde je:

- t_v — vreme vožnje prethodnog voza od stanice B do stanice A (min),
- t_{odj} — vreme koje je potrebno otporniku vozova da saopšti pozadnoj stanici da je voz prošao kroz njegovu stanicu (odjava) (min),
- t_{sig} — vreme koje je potrebno stanici B da obezbedi put vožnje uzastopnom vozu i promeni signalni znak (min).

Za saobraćaj vozova prikazan na slici 9 c) i d) interval sleđenja uzastopnih vozova utvrđuje se izrazom:

$$I = t_v + t_{os} + t_{odj} + t_{ot} \quad (\text{min}) \quad (23)$$

Za saobraćaj vozova prikazan na slici 9 e) i f) interval sleđenja uzastopnih vozova izračunava se prema izrazu:

$$I = t_v + t_{odj} + t_{sig} + t_{ul} \quad (\text{min}) \quad (24)$$

Za saobraćaj vozova prikazan na slici 9 g) i h) interval sleđenja uzastopnih vozova utvrđuje se izrazom:

$$I = t_v + t_{odj} + t_{ot} \quad (\text{min}) \quad (25)$$

Za organizaciju saobraćaja vozova na jednoj pruzi izračunavaju se intervali sleđenja između svih stanica, a kao merodavni interval za celu prugu uzima se najveći:

$$I = \max \{I_1, I_2, I_3, \dots, I_n\} \quad (\text{min}) \quad (26)$$

Intervali sleđenja uzastopnih vozova u odjavnom razmaku utvrđuju se između svake razdelne tačke (stanica — odjavnica, odjavnica — stanica, i odjavnica — odjavnica).

Interval sleđenja vozova između stanice i odjavnice za saobraćaj vozova prikazan na slici 10 a) i b) utvrđuje se izrazom:

$$I = t_v + \frac{0,06 \cdot l_n}{2 \cdot V} + t_{odj} + t_{ot} \quad (\text{min}) \quad (27)$$

gde je:

$\frac{0,06 \cdot l_n}{2 \cdot V}$ — vreme prolaska druge polovine voza pored odjavnice (min),

l_n — dužina voza (m),

V — stvarna brzina saobraćaja voza (km/h).

Sl. 10 — Prikaz intervala sleđenja uzastopnih vozova u odjavnom razmaku

Interval sleđenja uzastopnih vozova prikazan na slici 10 c) i d) utvrđuje se izrazom:

$$I = t_v + \frac{0,06 \cdot l_n}{2 \cdot V} + t_{odj} + t_{sig} + t_{ul} \text{ (min)} \quad (28)$$

Kod pruga opremljenih automatskim pružnim blokom saobraćaj vozova se može organizovati tako da voz ispred sebe ima samo jedan slobodan prostorni odsek (sleđenje na žutu svetlost), ili da voz ima dva slobodna prostorna odseka (sleđenje na zelenu svetlost).

Minimalni interval sleđenja između vozova zavisi od tipa lokomotive, brzine, mase, dužine voza i sl.

Pri određivanju minimalnog intervala sleđenja vozova u paketu treba uzeti u obzir položaj vozova u paketu (slika 11).

Sl. 11 — Položaj vozova u paketu

Minimalni interval sleđenja vozova može se odrediti pomoću izraza:

$$\min I = 0,06 \cdot \frac{3 \cdot l_{bl} + l_v}{V_{sr}} \text{ (min)} \quad (29)$$

Uzimajući u obzir bezbednost vožnje, zaustavni put, odnosno zaustavljanje u slučaju potrebe (tada se za razmak između signala ARV uzima $l_{bl} \geq \geq 1000$ m), može se za min I napisati:

$$\min I = 0,06 \cdot \frac{3000 + l_v}{V_{sr}} \text{ (min)} \quad (30)$$

Na osnovu izraza (29) na deonicama sa smanjenom brzinom kretanja vozova može se posebno odrediti dužina blokvnog razmaka:

$$l_{bl} = \frac{\left(\frac{I \cdot V_t}{0,06} - l_v \right)}{n_{bl}} \text{ (m)} \quad (31)$$

gde je:

n_{bl} — broj prostornih odseka.

Pri utvrđivanju intervala sleđenja uzastopnih vozova u ARV za svaku stanicu mora se izračunati interval u odlasku i interval u dolasku vozova (slika 12).

Pri sleđenju vozova sa dva slobodna prostorna odseka (sleđenje na zelenu svetlost) pri dolasku u stanicu

(slika 12a), interval sleđenja vozova može se utvrditi pomoću izraza:

$$I_{do} = 0,06 \cdot \frac{l_{bl} + l_{bl}^{ul} + l_{skr} + l_v}{V_{sr}} + t_0 \text{ (min)} \quad (32)$$

gde je:

- l_{skr} — dužina skretničke zone (m),
- V_{sr} — srednja brzina voza pri dolasku u stanicu (km/h),
- t_0 — vreme potrebno za formiranje puta vožnje pri ulasku voza u stanicu (min).

Sl. 12 — Položaj vozova za proračun intervala sleđenja:
a) — pri dolasku vozova u stanicu, b) — pri otpravljanju vozova iz stanice

Interval sleđenja vozova pri otpravljanju iz stanice (slika 12b), može se utvrditi pomoću izraza:

$$I_{ot} = 0,06 \cdot \frac{l'_{bl} + l''_{bl} + l_v}{V_{sr}} + t_{sig} \text{ (min)} \quad (33)$$

gde je:

- t_{sig} — vreme potrebno za postavljanje slobodnog izlaznog signala i za njegovo zapažanje (min),
 l_v — put koji prethodni voz pređe za vreme t_{sig} (m).

Kada se saobraćaj uzastopnih vozova organizuje sa sleđenjem na dva blok-razmaka, za utvrđivanje intervala sleđenja koristi izraz:

$$I_{ot} = 0,06 \cdot \frac{l_{bl} + l_{bl}^{st} + l_v}{V_{sr}} + t_{vs} \text{ (min)} \quad (34)$$

gde je:

- l_{bl}^{st} — rastojanje između ulaznog signala i izlazne skretnice (m),

t_{vs} — vreme postavljanja ulaznog signala drugom uzastopnom vozui (min).

Za saobraćaj vozova na određenom delu pruge kao merodavni interval sleđenja uzima se najduži interval od proračunatih.

Na vreme prevoženja, pored broja vozova i intervala sleđenja vozova, znatno utiče i vreme vožnje vozova — t_v . Ono obuhvata čisto vozno vreme, kao i dodatke za polazak, odnosno zaustavljanje. Za izračunavanje voznihi vremena koristi se više metoda, od klasičnih pa do novijih. Klasične metode su univerzalne za sve vrste vuče, a pripadaju uprošćenim metodama približnog proračuna. Takve metode zasnivaju se na sledećim pretpostavkama i uprošćenjima [3]:

— ukupna masa voza unapred je usvojena i nepromenjena,

— korišćenje vučnog pasoša po njegovoj konturi, sa primenom termičkog kriterijuma do jednočasovne snage kod električnih vučnih vozila,

— kretanje voza u besporemećajnom saobraćaju, bez uticaja drugih vozova,

— logika vožnje svedena na poštovanje ograničenja brzine i na zaustavljanje vozova u stanicama.

Za određivanje voznih vremena u stručnoj literaturi je dat širi skup analitičkih i grafičkih metoda, i metoda sa primenom računarske tehnike.

Nakon izračunatih voznih vremena (prema propisima Pravilnika za izračunavanje voznih vremena 63-s), za sve vrste vučnih vozila i za sve mase vozova izračunavaju se dodatna vremena za polazak i zaustavljanje. Vreme vožnje voza propisano je voznim redom.

Literatura:

- [1] Uputstvo o tehničkim normativima i podacima za izradu i izvršenje voznog reda, JŽ, Beograd, 1998.
- [2] Volkov, B. i dr.: Saveršenstvovanie ekspluatatsii železnih dorog, Transport, Moskva, 1984.
- [3] Dinić, D.: Vuča vozova, Zavod za NIP delatnost JŽ, Beograd, 1968.
- [4] Jovanović, D.: Optimizacija železničkog saobraćaja pri masovnim prevoženjima za potrebe oružanih snaga, doktorska disertacija, CVTŠ, KoV JNA, Zagreb, 1991.

Zaključak

Vreme prevoženja kao kriterijum optimizacije organizovanja železničkog saobraćaja u uslovima prevoženja masovnih tokova tereta (prevoženje u većem broju vozova) posmatrano je u funkciji propusne moći pruge. Sam izbor načina organizovanja — organizacije saobraćaja vozova uslovljen je mnoštvom faktora. Iz skupa mogućih načina odabira se optimalni prema utvrđenim kriterijumima, a sve zbog povećanja propusne moći pruge i izvršenja zadatka u što kraćem vremenu.

Predloženi model pruža mogućnost da se nakon usvojene organizacije saobraćaja vozova, odnosno nakon utvrđenog perioda grafikona pri takvoj organizaciji, izračuna vreme prevoženja celokupne količine tereta (svih vozova). Time je omogućen ubrzani postupak dobijanja informacija, neophodnih donosiocu odluke po pitanju saobraćajnog obezbeđenja.

- [5] Jovanović, D.: Železnički saobraćaj i transport, skripta, CVTŠ KoV JNA, Zagreb, 1989.
- [6] Eror, S.: Organizacija železničkog saobraćaja I, Saobraćajni fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, 1989.
- [7] Čičak, M. i Jokić, M.: Matematičke metode u železničkom saobraćaju i transportu, Saobraćajni fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, 1987.