Dr Dragutin Jovanović,
major, dipl. inž.

Obim prevoženja, pokretna sredstva i ograničenja — faktori organizovanja železničkog saobraćaja

U radu se sagledavaju uticaji pojedinih faktora na definisanje mogućeg skupa načina organizovanja železničkog saobraćaja u uslovima pojave masovnih tokova tereta i putnika. Posebno se obrađuju parametri obima prevoženja, raspoloživa vučna i vučena sredstva (lokomotive i kola), kao i moguća ograničenja.

Uvod

Vanredne uslove, uglavnom, karakterišu pojave masovnih tokova tereta i putnika. Od železnice se, s obzirom na njene eksploatacione karakteristike, očekuje da zadovolji potrebe društva za masovnim prevoženjem u takvim uslovima.

Opšta je procena da jedan deo naših pruga neće moći da zadovolji takve potrebe s obzirom na karakter pojave masovnih tokova tereta i putnika, stanje železničkih kapaciteta i postojeće organizovanje železničkog saobraćaja. Zato je nužno naći odgovor na pitanje — kako organizovati železnički saobraćaj da bi se takva prevoženja uspešnije obavila.

Put iznalaženja takvog odgovora je u optimizaciji organizovanja železničkog saobraćaja, gde postupak optimizacije podrazumeva izbor najboljeg načina-varijante organizovanja železničkog saobraćaja u uslovima masovnih tokova tereta i putnika iz skupa mogućih prema utvrđenim kriterijumima.

Skup mogućih načina organizovanja železničkog saobraćaja u definisanim uslovima determinisan je mnoštvom relevantnih faktora. Među uticajnim faktorima posebno mesto zauzimaju: pruga kao šinski put, njeni tehničko-tehnološki parametri, zahtevani obim prevoženja, raspoloživa vučna i

vučena vozila, stepen usklađenosti radnih kolskih i lokomotivskih parkova, kao i mnogobrojna ograničenja.

Radi što kompleksnijeg sagledavanja uticaja pojedinih faktora, u ovom radu su obrađeni obim prevoženja sa svim svojim elementima, raspoloživi vučni i vučeni kapaciteti, kao i potencijalna ograničenja.

Obim prevoženja kao faktor organizovanja železničkog saobraćaja

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

Pri određivanju obima prevoženja mora se znati, pored tokova tereta i žive sile, merodavna masa voza na dotičnoj pruzi, broj putničkih mesta u vozu, kao i dužina prevoznog puta — pruge (sl. 1).

Obim prevoženja žive sile vozovima za prevoz putnika (putnički saobraćaj) može se utvrditi izrazom:

$$N_{vp} = \frac{A}{a}, \text{ vozova,} \quad (1)$$

gde je:

A — dnevni tok žive sile,

a — broj putničkih mesta u vozu.

Broj putničkih mesta u jednom vozu može se utvrditi izrazom:

$$a = a_0 \frac{Q_{br}}{q_{br}}, \text{ putnika/voz,} \quad (2)$$

gde je:

a_0 — broj putničkih mesta u jednim kolima,

Q_{br} — bruto masa voza, t,

q_{br} — bruto masa jednih kola, t.

Zamenjujući izraz (2) u izrazu (1), obim prevoženja žive sile može se utvrditi sledećim izrazom:

$$N_{vp} = \frac{A \cdot q_{br}}{a_0 \cdot Q_{br}}, \text{ vozova.} \quad (3)$$

Za određivanje obima prevoženja tereta potrebno je tokove tereta pretvoriti u kolske tokove, a njih pretvoriti u broj vozova.

Pretvaranje tokova tereta u tokove tovaranih kola može se izvesti pomoću izraza:

$$U = \frac{P \cdot \gamma_n}{T \cdot P_s}, \text{ kola,} \quad (4)$$

gde je:

U — veličina kolskog toka — broj tovaranih kola,

P — količina tereta namenjenog prevoženju, nt,

γ_n — koeficijent neravnomernosti,

T — period vremena za koji treba prevesti količinu tereta P, dana,

P_s — prosečno statičko opterećenje jednih kola, t/kola.

Dobijeni kolski tok tovaranih kola, usmeren na određenu prugu, može se

pretvoriti u broj vozova sa kojima je moguće obaviti prevoženje pomoću izraza:

$$N_v = \frac{U(q + P_s)}{Q}, \text{ vozova,} \quad (5)$$

gde je:

N_v — broj vozova potreban za obavljanje prevoženja,

q — prosečna masa — tara praznih kola, t,

Q — prosečna masa jednog teretnog voza, t.

Dati izraz za izračunavanje broja vozova odnosi se na potpuno tovarane vozove, odnosno na vozove bez praznih kola. Takve kategorije vozova su najčešće u primeni kada se radi o masovnim prevoženjima za potrebe VJ. U slučaju da se u sastav tovaranih vozova uvrštavaju i neka od praznih kola (što se može pojaviti pogotovu kada se radi o specifičnim i nedovoljno brojnim vrstama teretnih kola) tada su to vozovi mešovitog sastava. Broj takvih vozova može se izračunati pomoću izraza:

$$N_v = \frac{U_{tp}(q + \frac{P_s}{1+\alpha})}{Q}, \text{ kola,} \quad (6)$$

gde je:

U_{tp} — veličina kolskog toka tovaranih i praznih kola, kola,

α — koeficijent putovanja praznih kola.

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

$$U_{tp} = \frac{P(1+\alpha)\gamma_n}{T \cdot P_s}, \text{ kola.} \quad (7)$$

Broj vozova potrebnih za prevoženje određene količine tereta može se dobiti direktnim putem bez pretvaranja tokova tereta u kolske tokove, po-

moću izraza koji se dobije tako što se izraz (7) uvrsti u izraz (6)

$$N_v = \frac{P \cdot \gamma_n \left(\frac{1+\alpha}{P_s} \cdot 1 + 1 \right)}{T \cdot Q}, \text{ vozova.} \quad (8)$$

Broj vozova izračunava se za svaki smer posebno. Period vremena (T) za koji treba prevesti određenu količinu tereta (P) jeste direktni zahtev nadležnih komandi VJ — zahtev višeg nivoa. Ukoliko se zahtev ne može ispuniti pri normalnim uslovima, tada se rešenje može tražiti u povećanju broja kola namenjenih prevoženju.

Sa određenim brojem kola (radnim koškim parkom) u eksploatacionim uslovima u zahtevanom vremenu T može se prevesti sledeća količina tereta:

$$P = \frac{U \cdot T \cdot P_s}{\gamma_n}, \text{ tona.} \quad (9)$$

Ukoliko se zahtev ne može ispuniti u datim uslovima, tada je rešenje moguće potražiti pored povećanja broja kola, u boljem iskorišćenju njihove nosivosti (povećanje statičkog opterećenja) ili smanjenju neravnomernosti u toku zadatog perioda T.

Na vrednost obima prevoženja železnicom utiče merodavna masa voza. Kod vozova s prevozom putnika, masa voza se određuje prema broju kola u vozu. Prilikom određivanja sastava takvih vozova i njihove mase, uvek se ostavlja mogućnost da se sastav voza pojača određenim brojem kola. Masa voza sa prevozom ljudstva (putnika) određuje se nakon određenja marš-rutne, odnosno tehničke brzine voza. Masa i brzina takvih vozova osnovni su parametri za optimalnu organizaciju saobraćaja vozova sa prevozom putnika. Marš-rutna brzina se određuje s obzirom na kategoriju voza i tehničku opremljenost određenog pružnog pravca. Nakon određene marš-rutne brzine utvrđuje se broj zaustavljanja i vreme njihovog zadržavanja i na osnovu toga

se izračunava srednja tehnička brzina prema izrazu:

$$V_{\text{et}}^{\text{sr}} = \frac{L_m}{\frac{L_m}{V_m} - \Sigma t_{\text{st}} - \Sigma \tau_{\text{uk}}}, \text{ km/h,} \quad (10)$$

gde je:

- L_m — dužina pruge na kojoj se odvija saobraćaj vozova, km;
- V_m — marš-rutna brzina voza, km/h;
- Σt_{st} — ukupno vreme zadržavanja voza u stanicama, h;
- $\Sigma \tau_{\text{uk}}$ — ukupno vreme utrošeno na ubrzavanje i kočenje vozova na posmatranoj pruzi, h.

Na osnovu izračunate srednje tehničke brzine, određenog merodavnog uspona i odabrane vrste lokomotive proračunava se masa putničkog voza prema izrazu [1]:

$$Q_p = \frac{F_{\text{et}} - L(W_{\text{ol}} + i_m)}{W_{\text{ok}} + i_m}, \text{ t,} \quad (11)$$

gde je:

- F_{et} — vučna sila lokomotive koja odgovara srednjoj tehničkoj brzini — V_{et} , daN,
- L — adhezijska masa lokomotive, t,
- W_{ol} — specifični otpor lokomotive pri V_{et} , daN/t,
- i_m — merodavni uspon (otpor) pruge, daN/t,
- W_{ok} — specifični otpor kola u vozu pri V_{et} , daN/t.

S obzirom na to da ovako proračunata masa voza uslovljava njegovu dužinu, treba je uskladiti sa dužinom staničnih koloseka. U normalnim mirnodopskim uslovima prevoženja dužinu voza treba uskladiti, ne sa dužinom staničnih koloseka, već sa dužinom perona s obzirom na udobnost opsluživanja putnika.

Pod merodavnom, odnosno optimalnom masom teretnog voza, podrazumeva se maksimalno moguća masa na

određenoj pruzi. Masa voza sastoji se od mase vučnih i vučenih vozila:

$$Q_v = Q_l + Q_k, \text{ t}, \quad (12)$$

gde je:

Q_l — masa vučnih vozila, t,
 Q_k — masa vučenih vozila, t.

S obzirom na to da se na masu vučnih vozila (lokomotiva) u eksploataciji ne može uticati (pogotovu kod savremenih električnih i dizel-lokomotiva), za organizaciju železničkog saobraćaja merodavna je masa vučenih vozila (kola).

Maksimalna masa voza, odnosno granično dopuštena masa voza na određenoj pruzi, podrazumeva bruto-masu svih vozila u vozu izuzev radne lokomotive.

Ona se izračunava na osnovu:

- vučne sposobnosti lokomotive,
- tehničkih karakteristika kola,
- merodavnih karakteristika pruge i staničnih koloseka.

Imajući to u vidu, merodavna (optimalna) masa teretnih vozova na određenoj pruzi izračunava se prema sledećim elementima:

- dužini staničnih koloseka, odnosno najvećem dopuštenom broju osovina;
- opterećenju lokomotive prema merodavnom 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, merodavna masa voza određuje se prema izrazu:

— za voz sastavljen od tovarnih i praznih kola (voz mešovitog sastava);

$$Q_m = m_o \left(q + \frac{P_d}{1 + \alpha} \right), \text{ t}, \quad (13)$$

— za voz sastavljen od tovarnih kola:

$$Q_m = m_o (q + P_d), \text{ t}, \quad (14)$$

— za voz sastavljen od praznih kola:

$$Q_m = m_o \cdot q, \text{ t}, \quad (15)$$

gde je:

m_o — najveći dopušteni broj osovina kod jednog voza, u zavisnosti od dužine staničnih koloseka,
 q — prosečna tara jedne osovine, t,
 P_d — prosečno dinamičko opterećenje jedne osovine tovarnih kola, t/osovini.

Najveći dopušteni broj osovina kod jednog voza utvrđuje se na osnovu maksimalno dopuštene dužine voza i prosečnog rastojanja između osovina, odnosno:

$$m_o = \frac{L_{vmax}}{l_o}, \text{ osovina}. \quad (16)$$

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

Merodavna masa voza u odnosu na opterećenje lokomotive prema merodavnom otporu pruge određuje se prema izrazu:

$$Q_i = \frac{F_t - (W_{ol} + i_m \cdot L)}{W_{ok} + i_m}, \text{ t}, \quad (17)$$

gde je:

F — 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, tona,
 W_{ok} — osnovni specifični otpor kola u vozu za (kritičnu) trajnu brzinu, daN/t.

Merodavna masa voza u odnosu na opterećenje lokomotiva pri pokretanju voza s mesta određuje se prema izrazu:

$$Q_{pk} = \frac{1,10 \cdot F_a - W_{ol} + L(i_m + W_{ub})}{W_{ok} + i_m + W_{ub}}, t, \quad (18)$$

gde je:

- F_a — adhezijska vučna sila, daN,
 $1,10$ — povećanje adhezijske sile pe-
 skarenjem,
 W_{ub} — specifična sila potrebna za ubr-
 zanje, daN/t,
 W_{ok} — osnovni specifični otpor kola u
 vozu pri pokretanju (za $V=0$),
 daN/t.

Merodavna masa voza u odnosu na naprezanje teglećih uređaja na usponi-
 ma određuje se prema izrazu:

$$Q_u = \frac{F_k}{i_m + 5}, t, \quad (19)$$

gde je:

- F_k — najveća dopuštena vučna sila s
 obzirom na naprezanje teglećeg
 uređaja, daN.

Ova masa zavisi od veličine vučne
 sile, koja se može ostvariti na kuki teg-
 ljenika, s obzirom na dopušteno napre-
 zanje teglećeg uređaja, čije su vredno-
 sti za razne otpore pruge dati u izvoru
 [2]. U istom izvoru propisana je masa
 voza s obzirom na sigurnost kočenja
 na padovima (Q_{kk}).

Merodavna (optimalna) masa teret-
 nih vozova je najmanja od svih navede-
 nih masa, odnosno:

$$Q_{opt} = \min\{Q_m, Q_i, Q_{pk}, Q_u, Q_{kk}\}, tona. \quad (20)$$

Raspoloživa vučna i vučena vozila kao faktor organizovanja železničkog saobraćaja

Za organizaciju železničkog saobra-
 ćaja u uslovima masovnih prevoženja
 izuzetno važan faktor predstavljaju ra-

spoloživa vučna i vučena vozila, jer se
 u tim uslovima javlja potreba za obez-
 beđenjem većeg broja tih sredstava u
 relativno kratkom vremenu i na ogra-
 ničenim pružnim kapacitetima.

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

- vučna sila lokomotive,
- opterećenje po osovini,
- najveća dopuštena brzina,
- broj osovina i dužine lokomoti-
 ve,
- ukupna masa lokomotive,
- adhezijska težina,
- kritična brzina.

Za poznati obim saobraćaja, potre-
 ban broj vučnih vozila za vuču vozova
 može se dobiti pomoću izraza:

$$M_v = K \cdot N, \text{ vučnih vozila}, \quad (21)$$

gde je:

- K — koeficijent potrebe vučnih vozila,
 N — broj pari vozova.

Koeficijent potrebe K predstavlja
 obrt vučnog vozila izražen u danima,
 odnosno:

$$K = \frac{Q_i}{24} \quad (22)$$

S obzirom na stanje našeg parka
 vučnih sredstava i potrebu redovnog
 tehničkog održavanja, broj vučnih vozi-
 la za vuču vozova mora se uvećati za
 onaj broj vučnih sredstava koji se na-
 lazi na nekom vidu održavanja, odno-
 sno:

$$M = M_v + M_{op}, \text{ vučnih vozila}, \quad (23)$$

gde je:

- M — ukupan broj vučnih vozila rad-
 nog parka,
 M_{op} — broj vučnih vozila na nekom
 od vidova redovnog održava-
 nja.

Pored ovako dobijenog broja vučnih vozila za vuču vozova mora se voditi računa i o obezbeđenju 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.

Sa aspekta korišćenja kola, a time i organizacije saobraćaja vozova, značajne su određene tehničke i eksploatacione karakteristike kola. Od tehničkih karakteristika moraju se poznavati:

- vrsta i tip teretnih kola,
- vrsta kočnice,
- vrsta kvačila,
- broj osovina.

Od eksploatacionih karakteristika značajne su sledeće karakteristike teretnih kola:

- nosivost kola,
- sopstvena masa (tara),
- bruto masa kola po jednom dužinom metru,
- odnos tare kola prema nosivosti (koeficijent tare),
- specifičan otpor kola.

Radi racionalne organizacije saobraćaja mora postojati određena usklađenost između vučnih i vučenih sredstava, a to znači da se za pokretanje određenog broja vozova, odnosno kola, mora obezbediti dovoljan broj lokomotiva. Ukoliko se ne može obezbediti dovoljan broj lokomotiva, jedan deo kolskog parka će stajati po stanicama, što u uslovima izvođenja borbenih dejstava može predstavljati unosan stacionarni cilj.

Pri određivanju radnog kolskog parka mora se uzeti u obzir i broj lokomotiva. Proračun potrebnog broja vučnih vozila za vuču teretnih vozova i njegovo usklađivanje sa radnim parkom kola može se sprovesti sledećim postupkom [3, 4]:

— potrebna veličina radnog parka lokomotiva za vuču teretnih vozova dobija se pomoću izraza:

$$M_v = \frac{U \cdot l (1 + \beta) \sigma_1}{2 \cdot 24 \cdot L \cdot m}, \text{ lok}, \quad (24)$$

gde je:

- $U \cdot l$ — veličina kolskih kilometara, kola · km,
- β — koeficijent sporednog rada vučnih vozila,
- σ_1 — obrt lokomotive, h,
- L — dužina vučnog sektora, km,
- m — broj kola u vozu.

— rešavanjem izraza prema veličini rada (U) dobija se:

$$U = \frac{2 \cdot 24 \cdot L \cdot m \cdot M_v}{1 (1 + \beta) \sigma_1}, \text{ kola}, \quad (25)$$

— zamenom vrednosti U i σ u izrazu $n_r = U \cdot \sigma$ dobija se:

$$n_r = \frac{2 \cdot 24 \cdot L \cdot m \cdot M_v}{1 (1 + \beta) \sigma_1} \sigma, \text{ kola} \cdot \text{dan}, \quad (26)$$

— zamenom vrednosti za obrt kola

$$\left(\sigma = \frac{1}{24 V_k} + \frac{1}{L_{teh}} \cdot \frac{t_{teh}}{24} + \frac{K_{ui} \cdot t_{ui}}{24} \right) \text{ i obrt lokomotive } \left(\sigma_1 = \frac{2 \cdot L}{V_k} + t_{mat} + t_{ob} \right)$$

dobija se:

$$n_r = \frac{2 \cdot 24 \cdot L \cdot m \cdot M_v}{1 (1 + \beta) \left(\frac{2L}{V_k} + t_{mat} + t_{ob} \right)} \cdot \sigma \quad (27)$$

— ukoliko se iz ove jednačine uzme da je:

$$A = \frac{2 \cdot 24 \cdot m \cdot L}{1 (1 + \beta) \left(\frac{2L}{V_k} + t_{mat} + t_{ob} \right)}, \text{ kola/lok. dan.} \quad (28)$$

Dobijeni izraz A predstavlja veličinu rada na jedan raspoloživi dan lokomotive, uz određene uslove korišćenja kola i lokomotiva.

Prema tome, izraz za vezu radnog kolskog i lokomotivskog parka je:

$$n_l = A \cdot \sigma \cdot M_v, \text{ kola dana.} \quad (29)$$

Ograničenja kao faktor organizovanja železničkog saobraćaja

Ograničenja predstavljaju razni faktori koji, na neki način, mogu uticati na izbor načina organizovanja železničkog saobraćaja na određenoj pruzi u uslovima masovnih tokova tereta. Ograničenja kod izbora odgovarajućeg načina organizovanja železničkog saobraćaja u suštini proizilaze iz samih faktora koji utiču na organizovanje železničkog saobraćaja.

Kao ograničenja pri organizovanju železničkog saobraćaja pojavljuju se pojedini elementi pruge, kao, na primer: stanični koloseci, sigurnosna i telekomunikaciona oprema, i sl.

Pojedini tehničko-tehnološki parametri pruge predstavljaju odgovarajuća ograničenja pri organizovanju železničkog saobraćaja. Tako, na primer, uzdužni profil sa veličinom svojih pojedinih elemenata, kao što je nagib, direktno stvara mogućnost organizovanja železničkog saobraćaja putem višestruke vuče. Značajno ograničenje predstavlja i sama propusna moć pruge.

Obim prevoženja, odnosno pojedini njegovi elementi, mogu biti značajnija ograničenja. Od tih elemenata kao ograničenja često se mogu pojaviti tereti, dužina pruge, a naročito zahtevi nadležnih komandi, odnosno zahtevi višeg

nivoa. Značajnije ograničenje koje može proizaći iz zahteva višeg nivoa moglo bi biti vreme, odnosno rok za obavljanje prevoženja.

Raspoloživa vučna i vučena vozila, kao i usklađenost radnih parkova, mogu predstavljati znatno ograničenje pri organizovanju železničkog saobraćaja u uslovima prevoženja masovnih tokova tereta.

Zaključak

Obim prevoženja u radu je posmatran kao osnovni element za postavljanje odgovarajuće organizacije saobraćaja u uslovima pojave masovnih tokova tereta i putnika. Znatno uticaj na izbor načina organizovanja železničkog saobraćaja u datim uslovima ispoljavaju pojedini elementi obima prevoženja, i to: zahtevi nadležnih komandi za prevoženjem, tereti i merodavna masa voza, živa sila i broj putničkih mesta u vozu, kao i dužina prevoznog puta-pruge.

Sama priroda definisanih uslova rezultira potrebu za obezbeđenjem većeg broja vučnih i vučenih sredstava u relativno kratkom vremenu i na ograničenim pružnim kapacitetima. Broj vučnih i vučenih vozila određen je potrebnim obimom prevoženja. Usklađenost tih kapaciteta osnovni je preduslov racionalne organizacije saobraćaja vozova.

Na izbor načina organizovanja železničkog saobraćaja u datim uslovima značajan uticaj ispoljavaju određena ograničenja koja proizilaze iz samih faktora organizovanja. Kao značajnija ograničenja mogu se pojaviti pojedini elementi pruge, njeni tehničko-tehnološki parametri, i sl.

Literatura:

- [1] Čičak, M. i Eror, S.: Organizacija železničkog saobraćaja, Naučna knjiga, Beograd, 1978.
- [2] Uputstvo o tehničkim normativima i podacima za izradu i izvršenje voznog reda, ZIŽ, Beograd, 1988.
- [3] Kovačević, P.: Eksploatacija železnica, Zavod za NIP delatnost JŽ, Beograd, 1988.

- [4] Eror, S.: Organizacija železničkog saobraćaja I, Saobraćajni fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, 1989.
- [5] Jovanović, D.: Optimizacija organizacije železničkog saobraćaja pri masovnim prevoženjima za potrebe Oružanih snaga, doktorska disertacija, CVTŠ KoV JNA-Zagreb, Zagreb, 1991.