Organizovanje železničkog saobraćaja u uslovima masovnih prevoženja posmatrano sa aspekta prevoznog puta — pruge

U radu se pruga posmatra kao faktor organizovanja železničkog saobraćaja u uslovima masovnih prevoženja putnika i tereta. Razmatra se sa aspekta ključnog elementa železničke infrastrukture, i sa aspekta njenih tehničko-tehnoloških parametara. Izvršena je identifikacija i analiza sledećih tehničko-tehnoloških parametara pruge: maksimalno dopušteno opterećenje, uzdužni profil, dopušteni gabariti vozila i tereta, maksimalno dopuštena brzina kretanja i propusna moć. U radu je sagledan njihov uticaj na izbor mogućih načina organizovanja železničkog saobraćaja.

Uvod

Organizacija železničkog saobraćaja obično se posmatra kao proces usmeren na usklađivanje brojnih činilaca radi ostvarivanja bezbednog kretanja železničkih vozila, a samim tim bezbednog prevoženja putnika i tereta. Može se takođe posmatrati i kao delatnost organizovanja rada, ljudi i tehničkih sistema u sistemu železničkog saobraćaja. Tako posmatrano organizovanje ima svoje sledeće elemente: cilj, zadatak, funkciju, ljude (kadrove), tehnička sredstva i sisteme.

Na izbor načina organizovanja železničkog saobraćaja u uslovima masovnih prevoženja utiče mnoštvo relevantnih faktora. Među tim faktorima posebno mesto zauzimaju pruge kao šinski put, njeni tehničko-tehnološki parametri, zahtevani obim prevoženja, raspoloživa vučna i vučena vozila, usklađenost radnih parkova, kao i mnogo-brojna ograničenja.

Način organizovanja železničkog saobraćaja u uslovima masovnih prevoženja, pored pruge kao ključnog elementa železničke infrastrukture, u dobroj meri određuju njeni brojni tehničko-tehnološki parametri, i to: vrsta pruge, maksimalna brzina kretanja vo-

zova, maksimalno dopušteno opterećenje pruge, uzdužni profil, dopušteni gabariti tereta i vozila, potrebna i postojeća propusna moć.

Pruga — kao faktor organizovanja železničkog saobraćaja u uslovima masovnih prevoženja

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 sledeći:

- 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 se definisati kao mesto formiranja — rasformiranja i pokretanja vozova. S obzirom na takvu definiciju, ono bi trebalo biti opremljeno:

- odgovarajućim staničnim kolo-secima;

— transportno-manipulativnim prostorima (platformama i utovarno-istovarnim rampama);

— pretovarnom mehanizacijom;

— odgovarajućom signalno-sigurnosnom i telekomunikacionom opremom, i sl.

Stanični koloseci sa odgovarajućim kolosečnim vezama i osiguranjima omogućavaju ukrštanje i preticanje vozova, te formiranje i pokretanje novih vozova. Stanice, zavisno od njihove namene i značaja, poseduju dve skupine koloseka: osnovne i pomoćne.

U osnovne koloseke spadaju:

— glavni prolazni koloseci, koji predstavljaju produžetak otvorene pruge;

— prijemno-otpremni 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 koji su namenjeni za utovar i istovar denčanih i kolskih pošiljaka.

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

Izuzetno bitna karakteristika staničnih koloseka je korisna dužina koloseka, jer se najveća dopuštena dužina voza koju mogu imati vozovi na nekoj pruzi određuje s obzirom na korisnu dužinu glavnih koloseka.

Pod korisnom dužinom koloseka treba podrazumevati dužinu između skretničkih medika, a to je dužina koloseka koja omogućava smeštaj voza određene dužine, pri čemu se ne ometa saobraćaj drugog voza na susednom ko-

loseku. Korisna dužina koloseka određuje se prema maksimalnom broju osovina u vozovima, koji saobraćaju na prugama koje vode ka stanici. Pri njenom određivanju uzima se u obzir dužina voznih lokomotiva, dodatna dužina (rezerva) od 10 m, kao i dodatna dužina uslovljena sistemom osiguranja stanice — signalno-sigurnosnim uređajima.

Korisna dužina staničnih koloseka može se utvrditi izrazom:

$$\begin{aligned} L_{sk} &= N_1 L_1 + n_0 l_0 + 2r_1, \text{ m,} \\ L_{sk} &= N_1 L_1 + N_k l_k + 2r_1, \text{ m,} \end{aligned} \quad (1)$$

gde je:

N_1 — broj lokomotiva,

L_1 — dužina lokomotive iznosi 20 do 25 m,

n_0 — broj osovina u vozu,

l_0 — prosečno rastojanje između osovina i za teretna kola se uzima $l_0 = 5$ m,

r_1 — rezervna dužina koja se mora obezbediti pri zaustavljanju voza ispred medika (ona obično iznosi 5 m za teretne vozove i 10 m za putničke vozove), m,

N_k — broj kola u vozu,

l_k — dužina jednih kola, m.

Najveća dopuštena dužina voza u stanici, s obzirom na korisnu dužinu staničnih 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 dobija se kada se od korisne dužine koloseka oduzme dužina od 25 m za smeštaj lokomotive i dužine od 10 m kao rezerva za smeštaj voza:

$$L_{vmax} = L_{sk} - L_1 - 2r_1, \text{ m.} \quad (2)$$

Ova dužina voza merodavna je za određivanje dužine voza samo u sluča-

ju ako je jednaka ili manja od dužine voza dobijene prema podacima datim u tabeli 1 [1].

Tabela 1

Najveći dopušteni broj osovina voza prema vrsti kočenja, vrsti i brzini voza

Vrsta kočenja	Vrsta voza	Brzina voza (km/h)	Najveći dopušteni broj osov. (osov.)
1	2	3	4
Kočenje brzog delovanja	putnički voz	do 140	80
	teretni voz	do 100	100
		100 do 120	80
Kočenje laganog delovanja ($V_{max} 80$ km/h)	teretni voz sastavljen od različitih kola	do 80	150
	teretni voz sastavljen od istovrsnih kola		180
Vazdušno kočenje mešovitog 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 dobija se sabiranjem dužina preko nesabijenih odbojnika svih vozila u vozu izuzev vozne lokomotive, čija je dužina uzeta u obzir pri određivanju najveće dopuštene dužine voza u stanicama, dok se kod višestruke vuče uzimaju u obzir dužine potiskivalice ili zaprežne lokomotive.

Najveća utvrđena dopuštena dužina voza obzirom na korisnu dužinu staničnih koloseka može se prekoračiti samo u slučajevima propisanim odredbama Saobraćajnog pravilnika [2].

Platforme i utovarno-istovarne rampe, kao transportno-manipulativni prostor, namenjeni obavljanju operacija utovara i istovara tereta, sastavni su deo većine stanica na mreži 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 se odrediti pomoću izraza:

$$L_{u-i} > = \frac{1}{n_{ds} \cdot n_d} \sum_{i=1}^k n_v \cdot l_v \quad (3)$$

gde je:

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

Deonica pruge predstavlja deo pruge, od jedne do naredne odvojne stanice, odnosno razdelne tačke, ili do neke usputne stanice, koja u uslovima ratne opasnosti može biti značajna za izvršenje prevoženja. Za svaku deonicu na svom području ŽTO utvrđuje propusnu moć u uslovima paralelnog — parnog grafikona na jednokolosečnim, a paralelnog na dvokolosečnim prugama i usklađuje ga sa susednim ŽTO.

Tehničko-tehnološki parametri pruge, kao faktori organizovanja železničkog saobraćaja

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 pruži saobraćaj se, po pravilu, organizuje u oba smera po istom koloseku, dok se na dvokolosečnoj, odnosno višekolosečnoj pruži, može organizovati na više načina, uz primenu različitih kombinacija, što, uglavnom, zavisi od obima saobraćaja po 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 po dužnom metru

uzima se manja vrednost izračunata na osnovu nosivosti gornjeg i donjeg stroja pruge.

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

$$P_{os} = \frac{G_v + G_t}{n_{os}} \quad (4)$$

gde je:

- G_v — vlastita masa vozila,
- G_t — masa tereta na vozilu,
- n_{os} — broj osovina na kolima.

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

$$P_{dm} = \frac{G_v + G_t}{l_v} \quad (5)$$

gde je:

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

Svaka pruga, zavisno od svoje sposobnosti da primi opterećenja od vozila (opterećenja izražena po osovini ili dužnom metru), razvrstava se u jednu od kategorija pruga prema tabeli 2.

Tabela 2

Najveće dopušteno opterećenje od vozila po osovini i po dužnom metru [1]

Kategorija pruge	Osovin-sko opterećenje (t/osov)	Odgovara-sili (KN)	Opterećenje po duž. metru (t/m)	Ukupna masa po vozilu (t)
1	2	3	4	5
A'	12	120	3,5	70
A''	14	140	4,0	80
A	16	160	4,8	96
B1	18	180	5,0	100
B2	18	180	6,4	128
C2	20	200	6,4	128
C3	20	200	7,2	144
C4	20	200	8,0	160

U mirnodopskim, a pogotovu u ratnim (vanrednim) uslovima, javiće se potreba da se izvesnom prugom preveze određeni teret koji prekoračuje najveće dopušteno opterećenje dato u tabeli 2. Tada se nameće potreba provere nosivosti koloseka radi donošenja odluke o dopuštanju prevoženja po težini predimenzionisanog tereta.

Nosivost koloseka može se utvrditi na osnovu naprezanja šine na savijanje i procene opštetehtničkog stanja elemenata gornjeg i donjeg stroja pruge.

Naprezanje šina može se proračunati prema izrazu [3]:

$$\delta = \frac{P \cdot L \cdot K \cdot \alpha}{W} \quad (6)$$

gde je:

- δ — naprezanje šina na savijanje,
- P — opterećenje točka,
- L — razmak između pragova,
- α — koeficijent zavisen od brzine vozila.

$$\alpha = 1 + \frac{V^2}{30.000} \quad (7)$$

- K — koeficijent čija veličina zavisi od razmaka merodavnih osovinu vozila,
- W — moment otpora šine.

Dopušteno naprezanje šina na savijanje za naše uslove iznosi $\delta_{dop} = 17$ KN/cm². U ratnim uslovima smanjenjem zahteva u pogledu ekonomičnosti održavanja pruga i udobnosti vožnje dopušta se povećanje dopuštenog naprezanja koloseka koji su kvalitetno održavani za 25% bez mogućnosti ugrožavanja bezbednosti odvijanja saobraćaja. To znači da je u tim uslovima $\delta_{dop} = 1,25 \times 17 = 21,25 \approx 21$ KN/cm².

Iz izraza 6 mogu se odrediti pojedine nepoznate veličine, i to:

— maksimalno opterećenje točka

$$P = \frac{\delta_{dop} \cdot W}{L \cdot K \cdot \alpha} \quad (8)$$

— maksimalni razmak pragova

$$L = \frac{\delta_{dop} \cdot W}{P \cdot K \cdot \alpha} \quad (9)$$

— maksimalni otpor šine

$$W = \frac{P \cdot K \cdot L}{\delta_{dop}} \quad (10)$$

— maksimalna brzina

$$V_{max} = \sqrt{30.000 \left(\frac{\delta_{dop} \cdot W}{K \cdot P \cdot L} - 1 \right)} \quad (11)$$

Maksimalna brzina kretanja vozova na određenoj pruzi, kao njen osnovni tehničko-tehnološki parametar, ograničena je i zavisi od maksimalnih brzina dobijenih s obzirom na:

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

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

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

Maksimalno dopuštena brzina, s brzinom na vrstu i karakteristike vozničkih sredstava (kola), podrazumeva najveću brzinu kola kojom se ona mogu kretati s obzirom na njihovu konstrukciju, tehničku ispravnost i opremu. Za putnička kola ta brzina određena je i naznačena na samim kolima. Teretna kola osposobljena su za brzinu od 60 do 120 km/h.

Maksimalno dopuštena brzina, s obzirom na karakteristike — sposobnost pruge, u suštini je određena:

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

Maksimalno dopuštena brzina, s obzirom na kočenje, predstavlja najveću brzinu kojom se voz može kretati na raznim nagibima pruge, uzimajući u obzir vrstu kočenja i dužinu zaustavnog puta. Lokomotiva može imati različit položaj u vozu, što je posebno izraženo kod prevoženja u vanrednim uslovima (višestruka vuča), od čega zavisi maksimalno dopuštena brzina. Njene vrednosti su date u literaturi [1].

Uzdužni profil pruge, kao njen parametar, sa svojim elementima: nagibom i krivinama ispoljava određeni uticaj na način organizovanja železničkog saobraćaja na dotičnoj pruzi. Osnovni elementi uzdužnog profila pruge (sl. 1) daju bitne informacije za proračun otpora uspona i otpora krivina i za određivanje potrebne kočne mase vozova.

Sl. 1 Uzdužni profil pruge

Otpor uspona čini komponenta sile težine vozila, paralelno sa ravni koloseka (1. 2).

Uspón je određen odnosom:

$$i = \frac{h}{l} 10^3, \text{ ‰}, \quad (12)$$

gde se visina h daje u metrima, a dužina l u kilometrima. Sa slike se vidi da je veličina sile W_i jednaka:

$$W_i = G \cdot \sin \alpha \quad (13)$$

Pošto je za male uglove sinus ugla približno jednak tangensu, a to se odnosi i na železničke pruge za uspone reda 25—30 ‰, imao:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{h}{l} = \frac{i}{10^3} \quad (14)$$

$$\sin \alpha \approx \operatorname{tg} \alpha$$

$$W_i = G \cdot \sin \alpha = G \cdot \operatorname{tg} \alpha = i \cdot G$$

Svedena sila otpora uspona je

$$W = \frac{W_i}{G} = i \quad (15)$$

Sl. 2 Grafčki prikaz komponenti otpora uspona

Kod vožnje na usponu ova sila je sila otpora, a kod vožnje na padu to je aktivna sila sa dejstvom u smeru kretanja.

Za proračun merodavnog otpora pruge, pored merodavnog uspona treba poznavati i otpor krivina na posmatranoj pruzi. Otpori krivina nastaju kao posledica čvrste veze između točkova i osovine jednog osovinskog sloga, paralelnosti osovina u postolju i dejstva centrifugalne sile. Osovinski slog sastoji se od dva točka koja su navučena na

zajedničku krutu osovinu, što znači da im obodne brzine i pređeni putevi moraju biti jednaki. Ta jednakost ne može se u potpunosti ispuniti 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 do 10 mm u pravcu i do 50 mm u krivini. Time se umanjuje trošenje venca točka i šine.

Između osovina i rama postolja postoji kruta osnova. To dovodi do složenog kretanja (kombinacija kotrljanja i klizanja), a pomeranje samog rama razlaže se na pravolinijsko i obrtno kretanje oko jednog trenutnog centra rotacije. Obrtanje vrše sile trenja stvorene pojavom klizanja [4]. Veličina ukupne sile trenja zavisi od koeficijenta trenja i bočnog pritiska na šinu.

Sl. 3 Dejstvo centrifugalne sile na vozilo u krivini

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

Na taj način se deo mase vozila svojom horizontalnom komponentom G_c suprotstavlja dejstvu centrifugalne sile, i ona iznosi:

$$G_c = G \cdot \operatorname{tg} \alpha = G \frac{h_k}{b_c} \quad (16)$$

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

$$F_c = \frac{G}{R_k} v^2 \quad (17)$$

Nekompenzirani deo centrifugalne sile iznosi:

$$F'_c = F_c - G_c = G \left(\frac{v^2}{R_k} - \frac{h_k}{b_c} \right) \quad (18)$$

Izdizanje spoljne šine u krivini u funkciji je maksimalne brzine kretanja voza. Za izračunavanje otpora krivine na našim železnicama upotrebljava se izraz:

$$W_k = \frac{560}{R-55} \quad (19)$$

Pod merodavnim otporom neke pruge podrazumeva se najveći uspon, odnosno zbir otpora najvećeg uspona i krivina najmanjeg poluprečnika. Za merodavni otpor pruge uzimaju se usponi duži od 1000 m. U slučaju postojanja manjih dužina uspona oni se redukuju na dužinu 1000 m:

$$i_r = i_s \frac{l_s}{1000}, \text{ ‰}, \quad (20)$$

gde je:

i_r — redukovana veličina uspona, ‰;

i_s — stvarna vrednost veličine uspona deonice, ‰;

l_s — stvarna dužina deonice, km.

Dužina l_s jednaka je:

$$l_s = \sum_{i=1}^n l_i = l_1 + l_2 + \dots + l_n \quad (21)$$

Nagib deonice dužine l , određen je jednakošću potrebnog rada za savladavanje otpora kretanja voza i izgleda (sl. 4).

$$i_s \cdot l_s = \sum i \cdot l = 1000 (H_B - H_A) \quad (22)$$

Sl. 4 Nagib deonice pruge

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:

$$i_s = 1000 \frac{H_B - H_A}{l_s}, \text{‰} \quad (23)$$

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:

$$i_m = \pm i_s + i_k, \text{‰} \quad (24)$$

Veličina fiktivnog uspona određuje se na principu jednakosti rada uvek pozitivnih sila otpora krivina i ravnomerno raspoređenih sila otpora na dužini deonice l , uspona i . Ta jednakost izgleda:

$$l \cdot i_k = \sum w_k \cdot l_k$$

$$w_k = \frac{560}{R_k - 55} \quad (25)$$

$$i_k = \frac{\sum w_k \cdot l_k}{l} = \frac{650}{1} \sum \frac{l_k}{R_k - 55}$$

Ukoliko je merodavni otpor negativan (preovladava pad pruge), prema njemu se vrši ograničenje mase vozova u padu radi provođenja kočnja.

Dopušteni gabariti vozila i tereta moraju biti u granicama kolskog, odnosno tovarnog profila. Tovarni profil zajedno sa slobodnim profilom čini prostor iznad i pored koloseka u kojem se ne smeju nalaziti nikakvi predmeti, da bi se lokomotive i kola sa svojim teretom mogli neometano kretati po koloseku (sl. 5).

Sl. 5 Slobodni i tovarni profil za pruge normalnog koloseka

Tovarni profil predstavlja prostor iz kojeg ne smeju izlaziti nikakvi delovi vozila ili tereta kada se nalazi u stanju mirovanja. U vanrednim uslovima tereti koji prekoračuju dopušteni profil mogu se primiti na prevoženje samo prema odredbama Uputstva 99 [5].

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 oprem-

ljenost pruge stabilnim tehničkim sredstvima, vučnim i vučenim sredstvima (vozilima).

Ona predstavlja jedan od načina iskazivanja kapaciteta železničke pruge. U praksi postoje slučajevi iskazivanja kapaciteta železničke pruge preko količine tereta (mase), pa se takav način iskazivanja kapaciteta naziva prevoznom moći. Najčešće jedinice iskazivanja prevozne moći su neto-tone i bruto-tone.

Propusna i prevozna moć (kapacitet) pruge najčešće se utvrđuje u odnosu na jedan 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 se utvrđivati i za period od jedne godine.

S obzirom na stanje tehničkih sredstava, mogućnost organizacije saobraćaja vozova i potrebe obezbeđenja određenog obima saobraćaja, propusna moć se može posmatrati kao:

- stvarna (postojeća) propusna moć;
- projektna (projektovana) propusna moć;
- potrebna propusna moć;
- maksimalno moguća propusna moć.

Stvarna propusna moć je sposobnost pruge da pri postojećem tehničkom obezbeđenju i primljenoj organizaciji saobraćaja, u određenom periodu, propusti odgovarajući broj vozova.

Projektovana propusna moć dobija se kao rezultat projektovanja pruge, tehničkih sredstava, i odgovarajuće organizacije saobraćaja vozova.

Potrebna propusna moć je ona kojom se obezbeđuje propuštanje određenog broja vozova, u bližoj ili daljoj perspektivi, raznih kategorija i masa i s neophodnom rezervom.

Maksimalna propusna moć je ona koja se dobije uz najbolje iskorišćenje

tehničkih sredstava i najpovoljniju organizaciju saobraćaja vozova.

Sa aspekta masovnih prevoženja za potrebe OS, s obzirom na karakteristike takvih prevoženja, posebno je značajna stvarna i potrebna propusna moć.

Propusna moć pruge utvrđuje se po deonicama, a kao merodavna usvaja se najmanja vrednost. Ona se utvrđuje u uslovima paralelnog parnog grafikona na jednokolosečnim prugama, dok se na dvokolosečnim prugama utvrđuje u uslovima paralelnog grafikona.

Propusna moć jednokolosečne pruge izračunava se na osnovu vrednosti perioda grafikona kod paralelnog grafikona, odnosno kod saobraćaja vozova istih brzina.

Period grafikona (T) čini vreme potrebno za kretanje jednog para vozova na određenom staničnom odstojanju.

Neujednačenost dužine staničnih razmaka, različitost tehničko-tehnoloških karakteristika pojedinih staničnih razmaka, rezultira različitim vremenima vožnje vozova između pojedinih stanica. Zato svaki stanični razmak ima svoj period grafikona. Stanični razmak koji ima najmanju propusnu moć naziva se ograničavajući stanični razmak.

Period grafikona svakog staničnog razmaka može se utvrditi ako su poznati sledeći elementi: čista vremena vožnje, dodatna vozna vremena i stanični intervale. Obično se onaj stanični razmak koji ima najveći zbir čistih vremena vožnje naziva najnepovoljniji stanični razmak. On je, najčešće, i ograničavajući. Ograničavajući stanični razmak, pored čistih vremena vožnje, obuhvata dodatna vozna vremena i stanične intervale.

Dodatna vozna vremena izražavaju se kao vremenski dodaci za polazak voza i razvijanje normalne brzine — tp, i kao vremenski dodaci za zaustavljanje voza — tz i to za svaki smer vožnje posebno.

Prema tome, period grafikona iznosi:

$$T = t' + t'' + t_{\text{dod}} + t_s, [\text{min.}] \quad (26)$$

gde je:

t', t'' — čista vozna vremena u jednom i drugom smeru, min;

t_{dod} — dodatna vozna vremena (t_p, t_z), [min];

t_s — stanični intervali (t_u, t_{nd}), [min].

Stanični intervali predstavljaju određena vremena u vidu normi, za obavljanje određenih operacija u stanici, čime se omogućava nesmetan prijem, otprema ili propuštanje voza kroz stanicu. Svojom veličinom stanični intervali utiču na vrednost perioda grafikona, a time i na vrednost propusne moći. U praksi je u primeni devet mogućih načina organizovanja saobraćaja vozova (sl. 6). U svakoj varijanti organizova-

Sl. 6 Moguće šeme organizacije saobraćaja vozila

nja figuriraju stanični intervali ukrštanja vozova (t_u) i stanični intervali nejednovremenog dolaska vozova u stanicu (t_{nd}).

Stanični interval ukrštanja (t_u) predstavlja vreme od momenta zaustavljanja ili prolaska voza kroz stanicu,

pa do momenta polaska voza iz suprotnog pravca (ukrsnog voza) iz iste stanice na istu prugu (sl. 7).

Sl. 7 Stanični interval ukrštanja

Za prva dva slučaja, prikazana na slici, kada se oba voza zadržavaju u stanici, stanični interval ukrštanja izračunava se pomoću izraza:

$$t_u = t_{\text{sp}} + t_{\text{op}}, [\text{min.}] \quad (27)$$

Kod druga dva slučaja prikazana na slici, kada voz iz suprotnog pravca prolazi stanicu bez zaustavljanja, stanični interval ukrštanja izračunava se pomoću izraza:

$$t_u = t_{\text{os}} + t_{\text{sp}} + t_{\text{ot}}, [\text{min.}] \quad (28)$$

gde je:

t_{sp} — vreme sporazumevanja staničnog osoblja i obavljanje svih potrebnih radnji za obezbeđenje puta vožnje radi izlaza voza, [min];

t_{ot} — vreme otpreme voza, [min];

t_{os} — vreme osmatranja prolazećeg voza, [min].

Vreme osmatranja prolazećeg voza obuhvata vreme potrebno otpravniku

Sl. 8 Pozicija voza izračunavanje vremena t_{os}

vozova za osmatranje prolazećeg voza sve dok poslednja kola ne prođu preko poslednje izlazne skretnice (sl. 8).

Ono se izračunava pomoću izraza:

$$t_{os} = \frac{0,017}{V_{sr}} \left(l_{iz} + \frac{l_n}{2} \right), [\text{min.}] \quad (29)$$

gde je:

V_{sr} — srednja brzina voza pri prolasku kroz stanicu m/s;

l_{iz} — rastovanje od ose stanice do vrha poslednje izlazne skretnice, m;

l_n — dužina voza, m.

Stanični interval nejednovremenog dolaska vozova u stanicu (t_{nd}) kao vreme od momenta dolaska voza u stanicu do momenta dolaska — prolaska voza iz suprotnog pravca kroz posmatranu stanicu, kada se putevi vožnje tih vozova ukrštaju, svojom vrednošću utiče na vrednost perioda grafikona (sl. 9).

Sl. 9 Stanični interval nejednovremenog dolaska vozova u stanicu

Interval t_{nd} obuhvata vreme sporazumevanja — t_{sp} i vreme ulaza (prolaza) — t_{ul} :

$$t_{nd} = t_{sp} + t_{ul}, [\text{min.}] \quad (30)$$

Vreme sporazumevanja — t_{sp} obuhvata vreme potrebno staničnom osoblju za sporazumevanje i obavljanje svih radnji neophodnih za obezbeđenje puta vožnje za ulaz voza iz suprotnog smera.

Vreme ulaza — t_{ul} obuhvata vreme koje je potrebno vozu iz suprotnog smera da prođe od momenta uočavanja predsignala do dolaska — prolaska voza kroz stanicu (sl. 10).

Sl. 10 Pozicija voza za izračunavanje vremena t_{ul}

Ono se izračunava pomoću izraza:

$$t_{ul} = \frac{0,017}{V_{sr}} = \frac{l_n}{2} \left(+ l_z + l_p + l_k + l_s \right), [\text{min.}] \quad (31)$$

gde je:

— srednja brzina voza od momenta kad je mašinovođa uočio predsignal do momenta zaustavljanja voza u stanici ili prolaska kroz stanicu, m/s;

l_n — dužina voza, m;

l_z — daljina uočavanja predsignala, m;

l_p — rastojanje od predsignala do ulaznog signala, m;

l_k — rastojanje od ulaznog signala do vrha prve ulazne skretnice, m;

l_s — rastojanje od prve ulazne skretnice do ose stanice, m.

Propusna moć jednokolosečne pruge izračunava se po merodavnim deonicama. Na JŽ ona se utvrđuje na osnovu propisa za utvrđivanje i evidenciju kapaciteta i organizaciju teretnog saobraćaja. Kod paralelnog parnog grafikona izračunava se izrazom:

gde je:

$$P_{pp} = \frac{1440}{T_{pp}}, \text{ pari vozova} \quad (32)$$

Kod paralelnog neparnog grafikona izračunava se izrazom:

$$P_{pp} = \frac{1440(N_v' + N_v'')}{T_{np}}, \text{ vozova} \quad (33)$$

T_{pp}, T_{np} — period grafikona za paralelni parni, odnosno neparni grafikon na ograničavajućem staničnom, odjavnom ili blokovnom razmaku, min;

N_v', N_v'' — broj vozova u tovarnom, odnosno netovarnom smeru.

U svetu, u drugim železničkim upravama, koriste se različite metode za utvrđivanje propusne moći [6], pa tako imamo da se po metodi UIC propusna moć pruge izračunava po karakterističnim deonicama gde se pod takvim deonicama podrazumeva pruga između dve značajne stanice namenjene za ukrštavanje i preticanje vozova. Deonica se sastoji od najmanje dva rastojanja. Prema toj metodi, propusna moć se izračunava pomoću izraza:

$$P_n = \frac{T}{I_{sm} + t_r + t_d} [\text{vozova/period vremena } T] \quad (34)$$

gde je:

T — period vremena za koje se proračunava propusna moć ($T=1440$ min za dan ili $T=60$ min za 1 sat);

I_{sm} — srednja vrednost minimalnog intervala sleđenja vozova, min;

t_r — rezervno vreme, min;

t_d — dopunsko vreme, min.

Pošto je interval vozova različit i zavisi od karakteristika i opremljenosti pruge, brzine kretanja prethodnog i uzastopnog voza i drugih faktora, neophodno je utvrditi srednju vrednost minimalnog intervala između dva uzastopna voza.

Cilj upotrebe rezervnog vremena jeste da se smanji rizik od pojave lančanih zakašnjenja koja utiču na kvalitet prevozne usluge. Prema preporukama UIC, ono treba da iznosi:

$$t_r = 0,67 \cdot I_{sm}, [\text{min/voz.}] \quad (35)$$

Cilj upotrebe dopunskog vremena jeste da se smanji uticaj povećanog broja međustaničnih razmaka na kvalitet prevozne usluge.

Ono treba da iznosi:

$$t_d = 0,25 \cdot a, [\text{min}] \quad (36)$$

gde je:

a' — broj međustaničnih rastojanja posmatrane deonice.

Zaključak

Pruga je u radu posmatrana kao merodavni faktor organizovanja železničkog saobraćaja u uslovima masovnih prevoženja tereta i putnika. Svojim tehničko-tehnološkim parametrima zauzima značajnije mesto zbog neravnomerne razmeštenosti mreže pruga na našoj teritoriji, što, samim tim, iziskuje potrebu sveobuhvatnijeg analiziranja parametara i iznalaženja takvog načina organizovanja koji će omogućiti maksimalno iskorišćenje njenih kapaciteta.

Dobar deo elemenata železničke infrastrukture u znatnoj meri predodređuje način organizovanja železničkog saobraćaja, kao, na primer, stanice, sa svojim pripadajućim kapacitetima. Ona se pojavljuje u ulozi mesta formiranja — rasformiranja i pokretanja vozova. Od tehničkih kapaciteta posebnu pažnju zaslužuju stanični koloseci, koji svojim karakteristikama određuju maksimalno dopuštenu dužinu voza na pruži, a time i mesta ukrštanja vozova.

Tehničko-tehnološki parametri pruge direktno utiču na izbor odgovarajućeg načina organizovanja železničkog

saobraćaja u konkretnim uslovima. Njihovim poznavanjem, pored toga što se omogućava izbor načina organizovanja,

doprinosi se bezbednijem odvijanju železničkog saobraćaja i manjim ukupnim troškovima prevoženja.

Literatura:

- [1] Uputstvo o tehničkim normativima i podacima za izradu i izvršenje voznog reda, ZJZ, Beograd, 1988.
- [2] Saobraćajni pravilnik, ZJZ, Zavod za NIP delatnost JZ, Beograd, 1987.
- [3] Pravilnik o funkcionisanju železničkog saobraćaja u ratu, Zavod za NIP delatnost JZ, Beograd, 1988.
- [4] Dinić, D.: Vuča vozova, Zavod za NIP delatnost JZ, Beograd, 1986.
- [5] Uputstvo za prevoz naročitih pošiljaka, ZJZ, Beograd, 1981.
- [6] Čičak M.: Metode za proračun propusne moći pruga i njihovog iskorišćavanja, »Železnice«, Zavod za NIP delatnost JZ, Beograd 45, 1989. 2.
- [7] Eror, S.: Organizacija železničkog saobraćaja I, Saobraćajni fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, 1989.
- [8] Jovanović, D. Optimizacija organizacije železničkog saobraćaja pri masovnim prevoženjem za potrebe oružanih snaga, doktorska disertacija, CVTŠ KoV JNA, Zagreb, 1991.