Dr Dragutin Jovanović,
major, dipl. inž.

TROŠKOVI PREVOŽENJA KAO KRITERIJUM OPTIMIZACIJE ORGANIZOVANJA ŽELEZNIČKOG SAOBRAĆAJA

Jedan od mogućih kriterijuma za optimizaciju organizovanja železničkog saobraćaja u uslovima masovnog prevoženja može se definisati kriterijum troškova prevoženja. Iz navedenih razloga u ovom radu se daju karakteristike kriterijuma troškova prevoženja i definiše model za njegovo određivanje.

Uvod

Za prevoženje masovnih tokova tereta i putnika železnicom poznati su mogući načini (oblici) organizovanja železničkog saobraćaja, što znači da se izbor načina organizovanja železničkog saobraćaja u tako specifičnim uslovima ima više rešenja-varijanata. Da bi se izabralo optimalno rešenje potrebno je sve oblike organizovanja železničkog saobraćaja na adekvatan način vrednovati, međusobno uporediti i rangirati, a potom izabrati najbolje.

Da bi se uporedili načini organizovanja potrebno je najpre definisati potrebne kriterijume. Oni se utvrđuju na osnovu cilja optimizacije organizovanja železničkog saobraćaja u uslovima masovnih tokova tereta i putnika. Pošto je organizovanje železničkog saobraćaja posledica raznovrsnih potreba to znači da cilj proizilazi iz nekog višeg cilja. Kao viši cilj može se definisati prevoženje masovnih tokova tereta i putnika (žive sile) iz pozadine prema frontu i obratno, manevar snagama, manevar rezervama i dr.

Zavisno od postavljenog cilja, kao jedan od mogućih kriterijuma za rangiranje a time i optimizaciju organizovanja železničkog saobraćaja u uslovima masovnih prevoženja, može se definisati kriterijum troškova prevoženja.

Sa tim ciljem u ovom radu se daju karakteristike kriterijuma troškova prevoženja i definiše model za njegovo određivanje.

Karakteristike kriterijuma troškova prevoženja železnicom

Metodologija procene troškova prevoženja masovnih tokova tereta železnicom koja će se prezentirati u ovom radu, prvenstveno je namenjena rangiranju različitih varijanata organizovanja železničkog saobraćaja radi izbora najpovoljnije, a ne za određivanje apsolutnih vrednosti troškova.

Svi načini (varijante) organizovanja železničkog saobraćaja radi prevoženja masovnih tokova tereta povezani su sa različitim vremenom prevoženja. Zato se nameće potreba iznalaženja načina svođenja troškova na jedinicu vremena prevoženja.

Troškovi prevoženja železnicom, (transportni troškovi) shodno opštoj definiciji troškova kao ekonomske kategorije, predstavljaju prenetu vrednost odgovarajućeg trošenja transportnih sredstava (vučna i vozna sredstva, infrastruktura i sl.), pogonske energije i ostalog materijala kao predmeta rada, usluga, novu vrednost dodatog živog rada u procesu prevoženja.

Radi adekvatnijeg sagledavanja troškova prevoženja, kao jednog od kriterija organizovanja železničkog saobraćaja, nameće se potreba za utvrđivanjem troškova voza. Voz kao pokretna jedinica sastoji se od lokomotive, kola i voznog osoblja a svaki od tih elemenata ima svoje troškove koji se nazivaju direktnim troškovima voza. Čine ih troškovi:

- pogonske energije i maziva,
- vučna vozila (lokomotiva),
- vučenih vozila (kola),
- voznog osoblja.

Druga vrsta su stalni troškovi, koji se pomoću odgovarajućih »ključeva« svode na voz. Njih čine sledeći troškovi [1, 2]:

- pruge,
- signalno-sigurnosnih postrojenja,
- pomoćnih vozila, postrojenja za vuču, nekih manipulativnih postrojenja, mreže i uređaja jake struje,
- saobraćajne službe,
- režije radnih jedinica i neki zajednički troškovi.

Definisanje modela za određivanje troškova prevoženja

Pri definisanju modela za određivanje troškova mora se poći od činjenice da jedan deo troškova (stalni i neke vrste direktnih) koji ostaju jednaki u svim razmatranim načinima organizovanja železničkog saobraćaja, nemaju uticaja na relativno upoređivanje odnosno rangiranje, pa se zato ne uzimaju u obzir kod uporednih troškova prevoženja.

Kod različitih načina organizovanja železničkog saobraćaja u uslovima masovnih prevoženja postoje različiti režimi rada vučnih vozila a time i različita potrošnja pogonske energije. Pre-

ma različitim režimima rada (vožnja voza, zadržavanje u stanicama i vučnim jedinicama i manevrisanje voznom lokomotivom) mora se utvrditi i potrošnja pogonske energije.

Potrošnja pogonske energije pri vožnji voza, s obzirom na moguće vidove vuče u našim uslovima, utvrđuje se posebno za dizel i elektro vuču. U izvoru [1] data je metodologija za utvrđivanje te potrošnje. Za *dizel-vuču potrošnja goriva* može se izračunati na osnovu snage na vratilu dizel-motora i dijagrama njegove specifične potrošnje. Potrošnja goriva dizel-lokomotive obično se daje u zavisnosti od pozicije kontrolora kojim se reguliše njena snaga. Tako se u vremenskom intervalu t minuta pri »k«-poziciji kontrolora potrošnja goriva može dobiti pomoću izraza:

$$\Delta G = g(k) \cdot \Delta t, \text{ kg}, \quad (1)$$

gde je:

$g(k)$ — potrošnja goriva,
»k« — pozicija kontrolora, kg/min.

Potrošnja goriva kod dizel-lokomotive može se sa relativno dovoljnom tačnošću odrediti na osnovu mehaničkog rada koji se ostvari pri kretanju jednog voza pomoću izraza:

$$\alpha = \frac{1 \cdot 10^6}{427 \cdot D \cdot \eta_d}, \text{ kg/tkm}, \quad (2)$$

gde je:

D — kalorična moć dizel-goriva, J/kg,

η_d — koeficijent iskorišćenja dizel-lokomotive; obično se uzima $\eta_d = 0,27 \div 0,28$,

427 — fizički ekvivalent jednog J u kgm.

Elementarnu potrošnju dizel-goriva moguće je izračunati prema izrazu:

$$\Delta G = \frac{F_{sr}^k \cdot \alpha_d}{10^6} \Delta l, \text{ kg}, \quad (3)$$

gde je:

F_{sr_k} — vučna sila koja odgovara srednjoj sili na dužini puta Δl , kp,

Δl — priraštaj puta (deonice), m.

Ukupna potrošnja u toku vožnje dobija se kao suma elementarne potrošnje dizel-goriva, pomoću izraza:

$$G_v = \Sigma \Delta G, \text{ kg.} \quad (4)$$

Potrošnja pogonske energije kod elektrovođe izračunava se pomoću izraza:

$$A = \frac{U_k}{60} \int_{t_p}^{t_k} I_e dt, \text{ wh.} \quad (5)$$

gde je:

U_k — napon kontaktne mreže, V,

I_e — intenzitet struje u A u funkciji od vremena.

Ako se integral zameni sumom konačnih priraštaja i Wh pretvore u KWh dobija se sledeći izraz:

$$A = \frac{U_k}{60 \cdot 1000} \int_{t_p}^{t_k} I_e(sr) \Delta t, \text{ KWh.} \quad (6)$$

Za određivanje veličine $I_e(sr)$ potrebno je kontrolisati krivu $I_e = f(l)$ tj. krivu potrebnog intenziteta struje lokomotive u funkciji puta.

Potrošnja električne energije kod elektrolokomotiva može se proračunati sledećim izrazima:

— za jednosmernu struju pri naponu kontaktnog voda

$$U_k = 3000 \text{ V,}$$

$$A = \frac{U_k}{60} 10^{-3} \Sigma I_{e(sr)} \cdot \Delta t = \frac{3000}{60} \cdot 10^{-3}$$

$$\Sigma I_{e(sr)} \Delta t = 0,05 \Sigma I_{e(sr)} \cdot \Delta t, \text{ kWh,} \quad (7)$$

— za naizmeničnu struju pri naponu voda

$$U_k = 25000, \text{ V}$$

$$A = \frac{25000}{60} 10^{-3} \Sigma I_{a(sr)} \cdot \Delta t = 0,417 \Sigma I_{a(sr)} \cdot \Delta t, \text{ kWh.} \quad (8)$$

Potrošnja električne energije kod elektrolokomotiva može se odrediti na osnovu mehaničkog rada koji se ostvari pri kretanju jednog voza, pa je tako za jedan tkm potrebna sledeća energija:

— kod jednosmerne struje:

$$\alpha_{ej} = \frac{2,725}{\eta_l \cdot \eta_k \cdot \eta_{ps}} = \frac{2,725}{0,89 \cdot 0,90 \cdot 0,05} = 3,6, \text{ kWh/tkm.} \quad (9)$$

— kod naizmenične struje:

$$\alpha_{en} = \frac{2,725}{\eta_l \cdot \eta_k \cdot \eta_{ps}} = \frac{2,725}{0,82 \cdot 0,95 \cdot 0,98} = 3,5, \text{ kWh/tkm.} \quad (10)$$

gde je:

2,725 — fizički ekvivalent jednog tkm mehaničkog rada, kWh,

$\eta_l, \eta_k, \eta_{ps}$ — koeficijenti korisnog dejstva elektrolokomotive, kontaktne mreže i podstanice.

Priraštaj potrošnje električne energije u slučaju malog priraštaja puta određuje se izrazom:

$$\Delta A = \frac{F_{sr_k} \cdot \Delta l}{1000} \alpha_e, \text{ kWh.} \quad (11)$$

Za vreme zadržavanja voza u stanicama potrošnja pogonske energije određuje se izrazima:

$$A_b = \frac{E_b}{60} t_b, \text{ kWh.} \quad (12)$$

— kod dizel vuče:

$$G_b = \beta \frac{N_b}{60} t_b, \text{ kg.} \quad (13)$$

gde je:

- E_b — potrošnja električne energije za jedan čas zadržavanja voza u stanicama, kWh/h,
 t_b — vreme zadržavanja voza u stanicama, min,
 β — koeficijent potrošnje dizel-goriva pri radu motora kad vozilo stoji. Za dizel lokomotive uzima se $\beta=0,06$,
 N_b — snaga dizel vučnog vozila, kW.

Pored potrošnje pogonske energije za vreme vožnje i za vreme zadržavanja voza u stanicama, može se govoriti još o potrošnji pri manevrisanju vozom lokomotivom i pri zadržavanju u vučnoj jedinici. Tako se potrošnja pogonske energije pri manevrisanju elektrolokomotivom može utvrditi izrazom:

$$A_m = \frac{E_m}{60} t_m, \text{ kWh}, \quad (14)$$

a dizel-lokomotivom:

$$G_m = \beta_1 \frac{N_b}{60} t_m, \text{ kg}, \quad (15)$$

gde je:

- E_m — potrošnja električne energije za jedan čas čiste manevre, ne računajući vreme stajanja lokomotive, kWh/h,
 t_m — čisto vreme manevrisanja, min,
 β_1 — koeficijent potrošnje dizel-goriva pri manevrisanju, obično se uzima $\beta_1=0,12$.

Prema tome, ukupna potrošnja pogonske energije utvrđuje se kao zbir potrošnji po pojedinim fazama rada i to:

— elektrovuča:

$$A = A_v + A_b + A_m, \text{ kWh} \quad (16)$$

— dizel-vuč:

$$G = G_v + G_b + G_m, \text{ kg}. \quad (17)$$

Na osnovu utvrđene cene energije utvrđuju se troškovi prema izrazu:

— elektrovuča:

$$T_{ec} = A \cdot C_e, \text{ dinara}, \quad (18)$$

— dizel-vuč:

$$T_{ed} = G \cdot C_d, \text{ dinara}, \quad (19)$$

gde je:

C_e — cena električne energije, dinara/kWh,

C_d — cena dizel-goriva, dinara/kg.

Za proračun troškova maziva potrebno je poznavati specifičnu potrošnju i prosečnu cenu maziva kao i dužinu pruge za koju se troškovi proračunavaju.

Tako se troškovi maziva utvrđuju izrazom:

— elektrovuča:

$$T_{me} = m_e \cdot C_{me} \cdot l_s, \text{ dinara}, \quad (20)$$

— dizel-vuč:

$$T_{md} = m_d \cdot C_{md} \cdot l_s, \text{ dinara}, \quad (21)$$

gde je:

m_e, m_d — specifična potrošnja normalnog maziva, kg/km,

C_{me}, C_{md} — prosečna cena jednog kg maziva, din/kg,

l_s — stvarna dužina pruge — deonice za koju se utvrđuju troškovi, km.

Troškovi vučnih vozila (lokomotiva) obuhvataju sledeće troškove:

— snabdevanja i pripreme vučnih vozila,

— amortizacije,

— premije osiguranja,

— investicionog održavanja,

— tekućeg održavanja.

S obzirom na to da se kod svih razmatranih načina organizovanja železničkog saobraćaja ne koristi isti broj

lokomotiva to ovi troškovi imaju uticaja na relativno upoređivanje i rangiranje.

Troškovi snabdevanja i pripreme za jedan voz (T_{vs}) dobijaju se množenjem broja lokomotiva u službi kod jednog voza sa specifičnim troškovima ove grupe po jednoj izdatoj lokomotivi.

Troškovi amortizacije lokomotiva (T_{va}) obračunavaju se na osnovu vremenske amortizacije. Ukupne troškove amortizacije potrebno je svesti na vreme putovanja voza. Oni se mogu utvrditi izrazom:

$$T_{va} = \frac{\gamma_l \cdot Q_l \cdot p_a^l \cdot T_p}{8760 \cdot 100 \cdot t_p^o} t_p, \text{ dinara, (22)}$$

gde je:

- γ_l — koeficijent kojim se uvećava radni park lokomotiva na inventarski park,
- Q_l — osnovica za amortizaciju (nabavna vrednost) lokomotive, dinara,
- p_a^l — amortizaciona stopa, %,
- T_p — puni obrt lokomotive sa pranjem i pregledima, h,
- t_p — vreme putovanja voza, h,
- t_p^o — vreme putovanja lokomotive u toku punog obrta, h,

8760 — broj časova u godini.

Troškovi premija za osiguranje (T_{vo}) svode se na jedan voz i proračunavaju pomoću izraza:

$$T_{vo} = \frac{\gamma_l \cdot Q_l \cdot p_{os}^l}{8760 \cdot 1000} \left(1 - \frac{x_1}{n_s^1}\right) \frac{T_p}{t_p^o} t_p, \text{ dinara (23)}$$

gde je:

- p_{os}^l — stopa za osiguranje, %,
- x_1 — starost vučenog vozila, godina,
- n_s^1 — vek trajanja vučenog vozila, godina.

Troškovi investicionog održavanja lokomotiva (T_{vi}) mogu se utvrditi pomoću izraza:

$$T_{vi} = \frac{C_i^l}{L_{km}^l} n_{km}^l, \text{ dinara, (24)}$$

gde je:

- C_i^l — prosečno koštanje jedne investicione opravke u ciklusu odgovarajuće vrste lokomotive, dinara,
- L_{km}^l — prosečno pređeni put u kilometrima između dve investicione opravke, km,
- n_{km}^l — lokomotivski kilometri ostvareni kod voza.

Troškovi tekućeg održavanja lokomotiva (T_{vt}) svedeni na jedan voz obično se utvrđuju na osnovu specifičnih troškova po jednom lokomotivskom kilometru i broja ostvarenih lokomotivskih kilometara kod posmatranog voza:

$$T_{vt} = \frac{T_{vt}^u}{N_{km}^l} n_{km}, \text{ dinara, (25)}$$

gde je:

- T_{vt}^u — ukupni godišnji troškovi tekućeg održavanja, dinara,
- N_{km}^l — ukupni lokomotivski kilometri ostvareni za period utvrđivanja ukupnih troškova.

Kod svih razmatranih načina organizovanja železničkog saobraćaja, da bi se ostvario zadati obim prevoženja koristi se isti broj kola tako da u njihovom rangiranju nemaju uticaja.

S obzirom na mogućnost upotrebe različitih načina organizovanja železničkog saobraćaja nameće se potreba utvrđivanja *troškova lokomotivskog osoblja (T_{ol})*. Ti troškovi svedeni na voz utvrđuju se izrazom:

$$T_{ol} = T_{ol}^l + T_{ol}^k = \alpha_l \frac{P_m + P_p}{T_{nm}} \cdot \frac{T_{rad}}{t_p^o} t_p + n_{os}^l \cdot n_{km} \cdot C_{km}^l, \text{ dinara, (26)}$$

gde je:

- T_{ol}^l — bruto lična primanja osoblja, dinara,
- T_{ol}^k — ostvareni kilometri osoblja, km,
- α_l — koeficijent rastura osoblja (odmori, bolovanja i sl.),
- P_m — prosečna mesečna bruto lična primanja mašinovođe, dinara,
- P_p — prosečna mesečna bruto lična primanja pomoćnika mašinovođe, dinara,
- T_{nm} — mesečni normalni rad (182 časa),
- T_{rad} — rad osoblja u časooovima za vreme jednog punog obrta lokomotive,
- n_{os}^l — broj lokomotivskog osoblja kod jednog voza,
- n_{km} — broj ostvarenih vozni kilometara u toku jednog vučnog turnusa,
- C_{km}^l — normirna cena kilometraže kod osoblja u dinarima po kilometru puta voza, din/km.

Na osnovu izloženog može se dati konačni model za utvrđivanje uporednih troškova prevoženja, kod različitih načina organizovanja železničkog saobraćaja, svedenih na jedan vozni sat:

$$E_{pr}^v = T_{pe} + T_{vv} + T_{ol}, \text{ dinara/voz.sat,} \quad (27)$$

gde je:

- T_{pe} — troškovi pogonske energije i maziva, dinara/voz.sat,
- T_{vv} — troškovi vučnih vozila, dinara/voz.sat.
- T_{ol} — troškovi lokomotivskog osoblja, dinara/voz.sat.

Opšti model utvrđivanja troškova za elektrovuču može se prikazati izrazom:

$$E_{pr}^{ve} = T_{ec} + T_{me} + T_{vs} + T_{va} + T_{vo} + T_{vi} + T_{vt} + T_{vl}, \text{ dinara/voz.sat,} \quad (28)$$

a kod dizel vuče:

$$E_{pr}^{vd} = T_{ed} + T_{md} + T_{vs} + T_{va} + T_{vo} + T_{vi} + T_{vt} + T_{ol}, \text{ dinara/voz.sat.} \quad (29)$$

Radi upotrebne vrednosti u ovom radu ovako utvrđene troškove voza treba na određeni način svesti na jedinicu vremena prevoženja, jer se i za vreme stajanja vozova, radi obavljanja određenih operacija po službenim mestima, stvaraju određeni troškovi. Tada bi troškovi u toku vremena prevoženja iznosili:

$$E_{pr} = E_{pr}^v \cdot N_v \cdot T_{pr}, \text{ dinara,} \quad (30)$$

gde je:

N_v — broj angažovanih vozova za prevoženje.

Zaključak

Troškovi prevoženja masovnih točkova tereta železnicom u ovom radu su posmatrani preko troškova voza i to njegovih stalnih i određenih direktnih troškova koji imaju uticaja na relativno upoređivanje, odnosno rangiranje varijanata organizovanja železničkog saobraćaja.

Tako su razmatrani troškovi: pogonske energije, vučnih vozila, maziva, snabdevanja i pripreme, amortizacije lokomotiva, premija osiguranja, investicionog i tekućeg održavanja lokomotiva i troškovi lokomotivskog osoblja.

U cilju što objektivnije optimizacije prema definisanom kriterijumu troškova prevoženja, nameće se potreba daljeg istraživanja i ugradnje u model eksternih troškova koje trpi privreda

neodvikanjem železničkog saobraćaja za svoje potrebe zbog obavljanja masovnih prevoženja za potrebe VJ. Pored ove vrste eksternih troškova interesantne

su za dalja istraživanja i druge vrste eksternih troškova (troškovi zagađenja životne sredine, troškovi saobraćajnih nezgoda i dr.).

Literatura:

- [1] Čičak, M. i Eror, S.: Organizacija železničkog saobraćaja, Naučna knjiga, Beograd, 1978.
- [2] Kolarić, V.: Ekonomika železničkog saobraćaja, knjiga II, Zavod za NIP delatnost JZ, Beograd, 1968.

- [3] Jovanović, D.: Železnički saobraćaj i transport, skripta, CVTŠ KoV JNA, Zagreb, 1989.
- [4] Jovanović, D.: Optimizacija organizacije železničkog saobraćaja pri masovnim prevoženjima za potrebe OS, doktorska disertacija, CVTŠ KoV JNA, Zagreb, 1991.