

UTICAJ ISKORIŠĆENJA KAPACITETA NA ODREĐIVANJE NAKNADE ZA ŽELEZNIČKU INFRASTRUKTURU

Predrag JOVANOVIĆ¹
Mirjana BUGARINOVIĆ²
Pavle KECMAN³

Rezime – Nakon promene načina funkcionisanja železnice i prelaskom na tržišni način poslovanja, održavanje stabilnosti reda vožnje i zadovoljenje dodatnih zahteva operatora za korišćenjem infrastrukture se postavlja kao prioritetan zadatak za "novog" upravljača infrastrukturom (UI). Uvođenje novog voza u red vožnje, u periodu maksimalne preporučene iskorišćenosti kapaciteta, imaće za posledicu i povećanje verovatnoće nastanka sekundarnih kašnjenja i njihovo prostiranje kroz red vožnje. Sa druge strane, zadovoljenje ovakvih zahteva, stvara troškove UI koji bi trebali da budu pokriveni a nastali su kao posledica povećanja iskorišćenja infrastrukture i njenog dovođenja u stanje zasićenja. U radu je simuliran saobraćaj vozova pri maksimalnom preporučenom iskorišćenju kapaciteta i nakon uvođenja dodatnog voza u red vožnje. Simulacija je urađena za različita međustanična rastojanja, u zavisnosti od tehničke opremljenosti pruga. Simulacija je izvedena korišćenjem računarskog simulacionog jezika GPSS. Dobijeni rezultati koeficijenta iskorišćenja kapaciteta, kao i verovatnoće prosečne vrednosti sekundarnih kašnjenja su iskorišćeni za određivanje parametara neophodnih za izračunavanje naknade za korišćenje železničke infrastrukture. U sistemu naknada, ova naknada predstavlja dodatak za korišćenje železničke infrastrukture u periodu njenog zasićenja

Ključne reči - stabilnost reda vožnje, iskorišćenost kapaciteta, naknada za zasićenje, simulacija

1. UVOD

Položaj železnice na transportnom tržištu u Evropi u prethodnom periodu bio je veoma nepovoljan. Zemlje EU preuzele su odgovarajuće mere s ciljem da povrata položaj železnice na tržištu. Polazne mere su bile: povećanje kvaliteta i obima usluga i smanjenje troškova poslovanja. Jedan od načina sprovođenja ovih mera je pružanjem usluga preko stabilnog reda vožnje, sa zadovoljenjem dodatnih zahteva za korišćenjem infrastrukture i uvođenjem naknade za korišćenje infrastrukture. Sa druge strane kapacitet i naknade su dva ključna elementa koja karakterišu tržišno orjentisanu železnicu. Izračunavanje naknade u zavisnosti od promene iskorišćenosti kapaciteta, uslovljene dodatnim zahtevima operatora, je jedan od prioritarnih zadataka za upravljača infrastrukture.

2. POSTAVKA PROBLEMA

Kapacitet železničke infrastrukture posmatra se kroz propusnu moć pruga ili njihovih deonica i prevoznu moć pruga. Pod propusnom moći pruga, podrazumevamo broj

vozova koji se može propustiti njome u posmatranom vremenskom intervalu, s obzirom na tehnička ograničenja infrastrukture i voznih sredstava. Međutim, poslednjih godina, odnosno od 2004. godine, kada je Međunarodna železnička unija (UIC) izdala objavu 406, kapacitet pruga se posmatra u širem smislu. Naime, UIC sugeriše da kapacitet pruge zavisi i od načina na koji se pruga koristi, tj. da osim već navedenih ograničenja infrastrukture i vozila, u obzir moramo uzimati i sam red vožnje, kao i zahtevani nivo tačnosti vozova.

Red vožnje, kao konkretan plan saobraćaja vozova, osim od tehničkih ograničenja, u velikoj meri je zavisn od zahteva korisnika prevoza. Osim kroz željena vremena saobraćaja vozova, kroz poželjne polaske i dolaske, korisnici usluga ocenjuju kvalitet pružene prevozne usluge, između ostalog, i kroz stabilnost reda vožnje.

Stabilnost reda vožnje se ogleda kroz verovatnoću njegove održivosti, odnosno kroz tačnost saobraćaja vozova. Kako za tačnost saobraćaja vozova ne postoje propisima utvrđene granične vrednosti, svaka železnička uprava ih sama za sebe određuje.

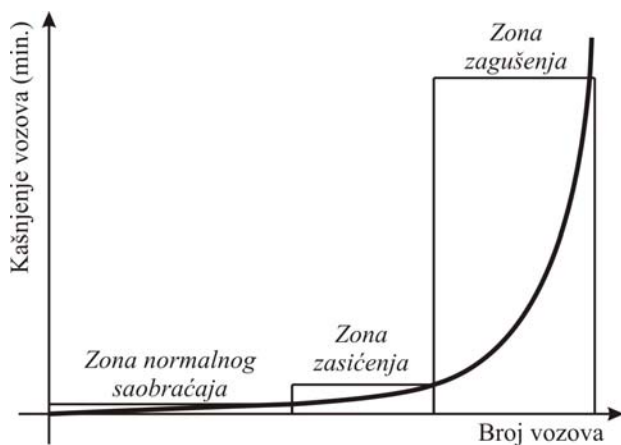
¹ Predrag Jovanović, dipl.inž. saob. Saobraćajni fakultet, Vojvode Stepe 305, Beograd, p.jovanovic@sf.bg.ac.yu

² mr Mirjana Bugarinović, dipl.inž. saob. Saobraćajni fakultet, Vojvode Stepe 305, Beograd, mirab@sf.bg.ac.yu

³ Pavle Kecman, dipl.inž. saob. Saobraćajni fakultet, Vojvode Stepe 305, Beograd, pavlekecman@yahoo.com

Red vožnje je striktno izrađen i njime nisu predviđena nikakva odstupanja u vremenima vožnje vozova. Sa druge strane, poremećaji u hodu vozova, odnosno zakašnjenja, su stohastične pojave. Razlikuju se primarna i sekundarna kašnjenja [3]. Primarna kašnjenja su devijacije, poremećaji, koji nastaju u procesu saobraćaja jednog, odnosno voza. Sekundarna kašnjenja su poremećaji u redu vožnje koja su posledica interakcije sa trasama drugih vozova na pruži. Samim tim, sekundarna kašnjenja se lančano prostiru kroz deo planiranog reda vožnje. Važan faktor stabilnosti reda vožnje predstavlja i vreme trajanja poremećaja, odnosno mesto u njemu kada se, ako do toga uopšte može doći, sistem vraća u projektovano stanje.

Veću između stabilnosti reda vožnje i iskorišćenja kapaciteta pruge je izuzetno teško odrediti, posebno u slučajevima kada se posmatra budući red vožnje, koji još nije izrađen. U skladu sa tim, na razvijenim železnicama Evrope je ustaljeno mišljenje da je kapacitet potpuno iskorišćen kada dolazi do drastičnog pada tačnosti vozova, tj. kada drastično opada procenat vozova koji saobraćaju na vreme. Tada se kaže da je došlo do zagušenja na deonici. Pri nešto manjim vrednostima procenta iskorišćenja kapaciteta, kada postaje primetno da vozovi kasne, a kašnjenja se povećavaju sa svakim narednim vozom uvedenim na deonicu, kaže se da je iskorišćenje kapaciteta u zoni zasićenja. U zoni normalnog saobraćaja, kašnjenja vozova nema, ili je ono zanemarljivo, što je prikazano na slici 1.



Slika 1. Zavisnost ukupnog vremena kašnjenja vozova na pruži od iskorišćenja kapaciteta pruge

Kako bi se izbeglo kašnjenje vozova, odnosno kako bi se omogućila veća stabilnost reda vožnje prema vrednosti koeficijenta iskorišćenja propusne moći, UIC je objavom 406 preporučio vrednosti procentualnog iskorišćenja pruge, odnosno deonice pruge, u zavisnosti od tipa linije, tj. u zavisnosti od kategorija vozova koji prugom saobraćaju. Ove vrednosti date su u tabeli 1.

U budućnosti, nakon procesa restrukturiranja železničkog sistema, postojaće nezavisna preduzeća za prevoze i upravljanje infrastrukturom. U takvim uslovima poslovanja, red vožnje, kako njegova izrada, tako i izvršenje, kao i iskorišćenje propusne moći

pruga biće u isključivoj nadležnosti preduzeća za infrastrukturu, koje će trase vozova iz izrađenog reda vožnje nuditi na prodaju različitim operatorima, tj. prevoznicima, koji će kroz naknadu upravljaču infrastrukturom (UI) plaćati za njeno korišćenje.

Tabela 1. Preporučene vrednosti iskorišćenja kapaciteta pruga

Tip linije	Preporučeni procenat iskorišćenja kapaciteta	
	u vršnom satu	u celom danu
Linije za prigradski putnički saobraćaj	85%	70%
Linije za vozove velikih brzina	75%	60%
Linije za mešoviti saobraćaj	75%	60%

Ako se ovo ima u vidu, jasno je da će se, na zahtev operatora, u već postojeći red vožnje unositi dodatne trase vozova. S obzirom na sve do sada rečeno, to može dovesti do zasićenja kapaciteta na pojedinim deonicama, a samim tim i do nastanka i prenošenja sekundarnih kašnjenja prethodno unetih vozova.

Dodatna trasa voza povećava troškove upravljaču infrastrukture jer neće moći da ostvari predviđeni red vožnje. Ti troškovi mogu biti uključeni u osnovnu naknadu, u okviru troškova kretanja vozova raspoređeni na sve vozove, a mogu biti definisani u obliku posebne naknade. Imajući u vidu transparentnost naknada većina UI se opredeljuje za posebno definisane naknade. Ove naknade se definišu u zavisnosti od vremenskog perioda i deonica gde je zasićenje kapaciteta očekivano.

3. REŠENJE PROBLEMA

Kako JP Železnice Srbije danas predstavlja jedinstveno preduzeće za pružanje usluga prevoza, kao i za današnji obim saobraćaja na mreži, ne postoje deonice pruga koje funkcionišu na granici zasićenja. Iz tog razloga, za potrebe rada, simuliran je saobraćaj na međustaničnim rastojanjima, uzevši u obzir vozove koji su uneti u red vožnje za 2008. godinu, a zatim su dodavani vozovi, sve dok se nije pojavilo kašnjenje bilo koje kategorije vozova.

Zbog karakteristika mreže pruga JP Železnica Srbije, u radu su posmatrane tri različite pruge, odnosno karakteristična međustanična rastojanja na njima. U obzir su uzete:

- jednokolosečne pruge na kojima se saobraćaj reguliše u staničnoj zavisnosti, (posmatrano je međustanično rastojanje Priboj – Bistrica na Limu),
- jednokolosečne pruge na kojima se saobraćaj reguliše u APB-u, (posmatrano je međustanično rastojanje Stalać – Stevanac ukrsnica) i
- dvokolosečne pruge sa APB-om, bez obostranog

saobraćaja (posmatrano je međustanično rastojanje Sremska Mitrovica – Martinci).

Simulacija saobraćaja vozova na međustaničnom rastojanju Sremska Mitrovica – Martinci urađena je posebno za svaki kolosek, zbog činjenice da nije izvršena rekonstrukcija desnog koloseka i da je značajna razlika u brzinama saobraćaja vozova u jednom i drugom smeru.

Za simulaciju je iskorišćen simulacioni jezik GPSS, odnosno simulacioni program „GPSS for Windows”.

U modelu je pretpostavljeno da saobraćaj vozova prema izrađenom redu vožnje ne izaziva primarno kašnjenje niti jednog voza. Takođe, smatra se da su posmatrana međustanična rastojanja u stanju projektovanog reda vožnje, tj. da nema laganih vožnji ili ograničenih brzina koje bi bile uvedene nakon stupanja na snagu objavljenog reda vožnje.

Simulacija je vršena za jedan sat, i to uvek za sat sa najvećim brojem vozova na deonici (vršni sat).

Nakon propuštanja vozova, kao izlaz iz simulacionog modela, dobijena su kašnjenja svih vozova na deonici, pri čemu je kašnjenjem smatrano produženje vremena putovanja, bez obzira da li se radi o čekanju na otpremu ili na produženje vremena vožnje.

Za proračun iskorišćenja kapaciteta, iako je kao osnov korišćena metoda iz objave UIC 406, nisu uzimana u obzir nikakva dodatna vremena, niti u staničnim intervalima ni u vremenima vožnje vozova, već je pretpostavljeno da ih je Služba reda vožnje uzela u obzir pri konstrukciji. Takođe, vozna vremena korišćena za proračun iskorišćenja su ona iz simulacionog modela, a ovo iz razloga što se za novouvedene vozove drugačije nije moglo odrediti vreme putovanja.

Definisana međustanična rastojanja karakteriše dovoljan broj vozova, korišćenje različitih signalno sigurnosnih sistema i uređaja, različita regulacija saobraćaja što kao posledicu ima generisanje različitih troškove koji nastaju usled kretanja dodatnog voza odnosno kašnjenja izazvanog uvođenjem dodatnog voza. Praćenje i proračun jediničnih troškova voza po deonicama na JP Železnice Srbije još uvek nije zaživelo, pa je u ovom radu korišćen model koji je razvio UI Velike Britanije, Network Rail [4]. Povezanost između procenta iskorišćenja kapaciteta, kašnjenja voza i određivanja naknade za voz koji se dodatno uvodi u red vožnje je:

$$T_{ij} = \Delta D_{ij} \cdot N_{ij} \cdot PR_{ij} \cdot F_{ij} \quad (1)$$

gde je

T_{ij} - naknada u periodu zasićenja za dato međustanično rastojanje (i) u vremenskom periodu (j)

ΔD_{ij} - porast zakašnjenja uvođenjem dodatnog voza na datom međustaničnom rastojanju (i) u vremenskom periodu (j)

$$\Delta D_{ij} = A_i \cdot e^{(\beta \cdot C_{ij})} - A_i \cdot e^{(\beta \cdot C_{ij})} \quad (2)$$

A_i - konstanta, karakteristika svakog međustaničnog rastojanja i

β - konstanta, karakteristika kategorije trase

C_{ij} - procenat iskorišćenja kapaciteta

međustaničnog rastojanja (i) u vremenskom periodu (j)

N_{ij} – broj vozova na međustaničnom rastojanju (i) u vremenskom periodu (j)

PR_{ij} - prosečan trošak jednog minuta zakašnjenja na međustaničnom rastojanju (i) u vremenskom periodu (j)

F_{ij} - procenat penala koji operator treba da podnese u funkciji od kategorije voza.

Kao što se može uočiti naknada reflektuje troškove nastale kao rezultat saobraćanja marginalnog voza.

4. ANALIZA DOBIJENIH REZULTATA

Dobijeni rezultati simulacije dati su u tabeli 2.

Od tri dodata voza na međustaničnom rastojanju Stalać – Stevanac ukrsnica, dva su teretna voza, dok je treći ekspresni. Sva tri voza su iz pravca Stalaća, ka Stevanacu. Na desnom koloseku međustaničnog rastojanja Sremska Mitrovica – Martinci, dodata su dva teretna i tri ekspresna voza. Po levom koloseku, od dodatih sedam vozova, pet su teretni. Kod međustaničnog rastojanja Priboj – Bistrica, dodat je teretni voz iz Priboja.

Tabela 2. Rezultati simulacije

Rezultati simulacije bez dodatnih vozova			
MSR	Broj vozova u vršnom satu	Ukupno kašnjenje (min)	Procenat iskorišćenja kapaciteta (C_{ij})
Priboj-Bistrica	3	0	73,33%
S. Mitrovica-Martinci (D)	5	0	45,00%
S. Mitrovica-Martinci (L)	5	0	26,67%
Stalać-Stevanac	7	0	58,33%
Rezultati simulacije nakon uvođenja dodatnih vozova			
MSR	Broj dodatih vozova	Ukupno kašnjenje (min)	Procenat iskorišćenja kapaciteta (C_{ij})
Priboj-Bistrica	1	15	95,00%
S. Mitrovica-Martinci (D)	5	7	71,67%
S. Mitrovica-Martinci (L)	8	12	61,67%
Stalać-Stevanac	3	15	71,67

Kada je u potpuno istom trenutku simuliran

saobraćaj suprotnog putničkog voza, iz Bistrice ka Priboju, dobijene su vrednosti kašnjenja od 21 minuta, a procenat iskorišćenja se povećao na čak 98,33%. Kako su ovo izuzetno velike vrednosti, jasno je da je uvođenje četvrtog voza gotovo nemoguće, pa je simulacija urađena i za slučaj redovnog saobraćaja dva voza u toku sata. Uz smanjenje iskorišćenosti kapaciteta na 73,33%, kašnjenje se neznatno uvećalo na 23 minuta.

Ovo pokazuje da kašnjenje nastalo uvođenjem novog voza u red vožnje nije zavisno samo od koeficijenta iskorišćenja kapaciteta, već i od položaja trase novog voza u redu vožnje.

Posmatrajući striktno određeno međustanično rastojanje, vreme pojavljivanja novouvedenih vozova na njemu je zavisno od potreba korisnika prevoza, odnosno od vremena polazaka i dolazaka vozova u krajnje stanice.

Imajući u vidu sličnosti između karakteristika deonica definisanih na mreži Velike Britanije i izabranih deonica u modelu, kao i u pogledu iskorišćenja kapaciteta, usvojene su prosečne vrednosti troškova jednog minuta zakašnjenja, kao i procenat učešća u penalima koje snosi operator pa je naknada usled zasićenja kapaciteta:

$$T_{ij} = \Delta D_{ij} \cdot N_{ij} \cdot 2 \quad (3)$$

Dobijeni rezultati za teretne vozove prikazani su u tabeli 3.

Tabela 3. Naknade usled zasićenja kapaciteta

MSR	T_{ij} (€)
Priboj-Bistrica na Limu	6,00
Stalac-Stevanac uk.	5,00
S. Mitrovica-Martinci (L)	2,33
S. Mitrovica-Martinci (D)	7,80

5. ZAKLJUČAK

Uvođenje dodatnog voza u planirani red vožnje, može izazvati poremećaje i smanjenje stabilnosti reda vožnje. Kada je procenat iskorišćenja kapaciteta blizak maksimalnoj preporučenoj vrednosti, ovo se reflektuje u vidu troškova zasićenja. Naknada za korišćenje infrastrukture u uslovima zasićenja kapaciteta treba da stimuliše operatore da prevoze obavljaju u manje opterećenim vremenskim intervalima. Tržišno orijentisani UI i operatori će tada težiti da naknade zadovolje interese krajnjih korisnika prevoza.

LITERATURA

- [1] Joern Pacht: "Railway Operation and Control", Vtd Rail Pub, Mountlake Terrace, WA, USA, 2002.
- [2] Kozan E., Burdett R.: "A railway capacity determination model and rail access charging methodologies", Transportation planning and technology, Vol.28, No.1, pp27-45, Routledge, Taylor and Francis Group, 2005.

- [3] Alex Landex, Anders Kaas & Sten Hansen: "Railway Operation", Technical University of Denmark, Centre for Traffic and Transport, 2006.
- [4] Faber Maunsell: "Capacity Charge tariff PR2008", Network Rail, 2007.

INFLUENCE OF CAPACITY UTILIZATION ON ACCESS CHARGES FOR RAILWAY INFRASTRUCTURE

Predrag JOVANOVIĆ
Mirjana BUGARINOVIĆ
Pavle KECMAN

Abstract – After the changes of railway functioning and starting with market oriented bussiness, keeping the stable timetable and fullfil of operators addition requests for infrastructure using become priority task for "new" infrastructure manager (UI). Introduction of new train in timetable, in interval of maximum recomend capacity utilization, will result in increase of probability of origination secondary delays and there propagation throught timetable. On the other side, accomplishing of these requirements, create costs to UI which should be covered, as thay are result of infrastructure utilization increase and scarcity. In paper is done simulation of traffic in interval of maximum recommended capacity utilization and with introduction of one additional train in time table. Simulation was done by GPSS software, for three diferent sections, depending of the technical equipement of line. Achived results of capacity utilization index, as well probability of average value of secondary delays, are used for defining of parameters needed for calculation of access charges for using of infrastructure. In charging system, this charge is addition charge for use of infrastructure in scarcity period.

Key words – timetable stability, capacity utilization, scarcity charges, simulation