

## PRORAČUN PROPUSNE MOĆI PRUGE BEOGRAD-NIŠ PRIMENOM METODE UIC 406

Dragomir MANDIĆ<sup>1</sup>  
Predrag JOVANOVIĆ<sup>2</sup>  
Mirjana BUGARINOVIĆ<sup>3</sup>

**Rezime** – Metode za proračun propusne moći pruga zahtevaju precizne podatke o mnogim tehničkim i eksploatacionim parametrima, kako infrastrukture, tako i železničkih vozila. Ipak, dosadašnje metode nisu uzimale u obzir zahtevani nivo kvaliteta prevozne usluge u železničkom saobraćaju. U septembru 2004. godine Međunarodna železnička unija (UIC) je odobrila i preporučila upotrebu nove metode za proračun kapaciteta, koja u obzir uzima i ovaj značajan faktor. U ovom radu je dat kratak pregled dosada korišćenih metoda za proračun propusne moći, a zatim opisana nova metoda definisana fišom UIC 406, da bi, na kraju, nova metoda bila primenjena na pruzi Beograd-Niš i izvršena analiza dobijenih rezultata.

**Ključne reči** – kapacitet, propusna moć pruga, kvalitet prevozne usluge na železnici.

### 1. UVOD

Posle pojave železnice, a posle njene ekspanzije počelo se postavljati pitanje kapaciteta železničke infrastrukture. Tu se pre svega misli na propusnu moć pruga, odnosno deonica pruga. Vrlo brzo je ustanovljeno da propusna moć neke pruge zavisi od tehničkih elemenata, tj. njene opremljenosti, broja koloseka, vrste i serije vučnih i vučenih sredstava, ali i od usvojenog načina organizacije saobraćaja.

Iako se već jako dugo istražuju parametri koji utiču na maksimalnu propusnu moć, kolika treba da je rezerva u propusnoj moći, i danas se uglavnom određuje iskustveno. Ovo pre svega zbog dva različita koncepta prevoza. Naime, u razvijenim zemljama se sve više pažnje posvećuje kvalitetu prevozne usluge, dok se u zemljama sa slabo razvijenim ekonomijama više pažnje posvećuje što većem korišćenju raspoloživih kapaciteta, što znatno umanjuje kvalitet prevozne usluge. Kako je kvalitet uopšte poslednjih godina dobio na značaju samom činjenicom da je došlo do otvaranja tržišta i promene načina poslovanja, koje je sada tržišno orijentisano, došlo se i do promene u načinu razmišljanja o propusnoj moći pruga

#### 1.1. Kratak pregled najpoznatijih metoda za proračun propusne moći

Takozvana klasična metoda za proračun propusne

moći pruga razvijena je sredinom prošlog veka u SSSR-u. Propusna moć pruge, kroz izabrani način organizacije, zavisi od izabranog tipa grafikona saobraćaja, ali zavisi i od minimalnih staničnih intervala, intervala sleđenja uzastopnih vozova i od broja staničnih koloseka.

Kada je nastala klasična metoda nije uzimala u obzir period vremena koji se ne koristi za propuštanje vozova radi potrebe održavanja pružnih postrojenja, što je i predstavljalo najveći nedostatak ove metode. Takođe, u obzir nije uziman ni koeficijent pouzdanosti rada pružnih postrojenja.

Međunarodna železnička unija, UIC, pokušala je 1979. godine da uvede kvalitet prevozne usluge kao element za proračun propusne moći pruga. Tako je propusna moć definisana kao broj vozova koji se može propustiti po svakom koloseku pod određenim saobraćajnim i tehničkim uslovima, uzimajući u obzir zahteve kvaliteta prevozne usluge.

Ovom metodom propusna moć se proračunava za pojedine deonice pruge, pri čemu se dužina deonice određuje tako da se broj vozova po MSR sme razlikovati za najviše 10% i da se heterogenost saobraćaja ne sme menjati na posmatranoj deonici.

Od sredine prošlog veka na nemačkim železnicama, za proračun propusne moći polazilo se od toga da je poznat način organizacije saobraćaja, odnosno načini i učestalost sleđenja i ukrštavanja

<sup>1</sup> prof. Dragomir Mandić, dipl.inž.saob. Saobraćajni fakultet, V.Stepe 305, irata@ptt.yu;

<sup>2</sup> Predrag Jovanović, dipl.inž.saob. Saobraćajni fakultet, V.Stepe 305, pjovan@verat.net;

<sup>3</sup> mr Mirjana Bugarinović, dipl.inž.saob. Saobraćajni fakultet, V.Stepe 305, miras@sf.bg.ac.yu

vozova, prema kategorijama, na određenim MSR-ima.

U osamdesetim i devedesetim godinama dvadesetog veka dolazi do velike primene digitalnih računara, pa se proračun propusne moći na mnogim razvijenim železničkim upravama počinje utvrđivati korišćenjem teorije masovnog opsluživanja. Bilo da se radi o jednokolosečnim ili dvokolosečnim deonicama, uvek su u pitanju jednokanalni sistemi masovnog opsluživanja, jer se za dvokolosečne pruge propusna moć određuje za svaki kolosek posebno.

Međutim, nisu za sve modele dobijena egzaktna rešenja, već približna, koja za granične vrednosti stepena iskorišćenja,  $\rho=1$ , prelaze u egzaktna. Ipak, u eksploataciji su se i ova približna rešenja pokazala kao zadovoljavajuća.

Sa razvojem personalnih računara i poboljšanjem njihovih performansi, a posebno sa razvojem 32-bitnih računara, došlo se do toga da se sav saobraćaj vozova, realan ili pretpostavljen, na nekoj deonici može veoma lako i detaljno simulirati. Savremeni paketi programa za simulaciju železničkih operacija, kao što su *OpenTrack* i *RAILSIM*, osim mogućnosti utvrđivanja propusne moći na svim prugama, uključujući one sa veoma različitim kategorijama vozova ili sa različitim elementima infrastrukture, kao što su signalno-sigurnosni uređaji, pružaju mogućnost planiranja, kako infrastrukturnih projekata, tako i operativnog upravljanja.

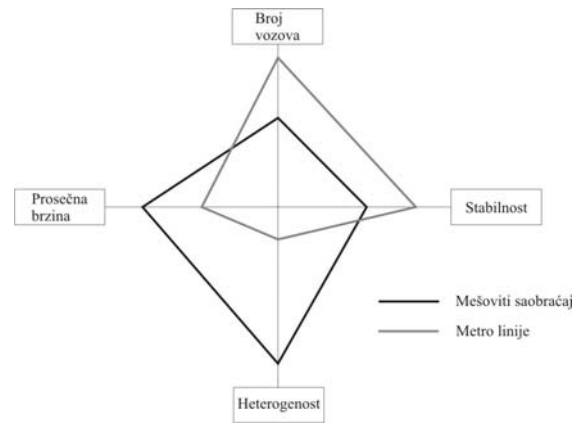
## 2. METODA ZA UTVRĐIVANJE KAPACITETA DEFINISANA FIŠOM UIC 406

Za proračun propusne moći dugo se nije uzimao u obzir kvalitet prevozne usluge na železnici, bar ne u zadovoljavajućem obimu. U eksploatacionom smislu ona se najbolje može pratiti preko zakašnjenja vozova.

Zakašnjenje jednog voza na posmatranoj deonici pruge se sada posmatra kroz dve celine. Prva predstavlja tzv. primarno kašnjenje, tj. ona kašnjenja koja su prouzrokovana spoljnim faktorima. Druga predstavlja sekundarna kašnjenja, kašnjenja koja nastaju usled interakcije primarnih kašnjenja i reda vožnje. Zbog smanjenja pouzdanosti železničkog sistema, kao i zbog rastućeg obima i saobraćaja, UIC je 2004. godine pokušao da izradi jedinstven metod za utvrđivanje raspoloživog kapaciteta pruga.

Ovaj metod polazi od toga da kapacitet kao takav, sam za sebe, ne postoji, tj. da kapacitet železničkih postrojenja zavisi od načina na koji se infrastruktura koristi.

Na određenoj pruzi, njen kapacitet je zasnovan na međuzavisnosti sledećih elemenata: broja vozova koji saobraćaju prugom u posmatranom vremenskom intervalu, prosečne brzine vozova, stabilnosti reda vožnje, puffer vremena, i heterogenost, odnosno raznorodnost kategorija vozova.



Slika 1. Balans kapaciteta između faktora

Kapacitet neke pruge, odnosno iskorišćenje kapaciteta je različito. Naime, različiti su zahtevi u pogledu iskorišćenja kapaciteta sa tačke gledišta korisnika prevoza, planiranja infrastrukture, planiranja i izrade reda vožnje i operatera, tj. prevozioca. Zahtevi korisnika prevoza za kapacitetom imaju ekstremne vrednosti, u pogledu broja vozova, njihove heterogenosti, prosečne brzine, odnosno vremena prevoza. Sa druge strane, vlasnik infrastrukture ima potrebu za prosečnim iskorišćenjem infrastrukture, takvim da mu garantuje profitabilno poslovanje. Potrebe reda vožnje se ogledaju kroz zahtevan broj trasa i nivo mešovitosti vozova, a u obzir se uzimaju stvarni, postojeći uslovi infrastrukture. Za operatera, iskorišćenje kapaciteta je permanentno promenljiva veličina, jer se ogleda kroz trenutni broj vozova, njihovu mešovitost, kašnjenja vozova prouzrokovana raznim razlozima, itd.

Sa druge strane, tehnički, teoretski ili maksimalan kapacitet neke pruge se posmatra kroz maksimalan broj vozova koji se mogu prugom propustiti u posmatranom vremenskom intervalu. Važno je znati da se ovakav kapacitet može izračunati samo za idealne uslove.

### 2.1. Proračun iskorišćenja kapaciteta prema metodi UIC 406

Osnovni i neophodan uslov za primenu ove metode je postojanje unapred konstruisanog reda vožnje vozova za posmatranu deonicu pruge. Analiza iskorišćenja kapaciteta na pruzi izvršava se na osnovu sabijanja vozova na ograničavajućem MSR, po redosledu datom u redu vožnje, i to svih vozova koji saobraćaju u vremenskom intervalu za koji se iskorišćenje kapaciteta računa. U obzir se ne uzimaju efekti sabijanja vozova na susednim međustaničnim rastojanjima.

Pruga se deli tako da se deonica završava tamo gde se značajno menja: mešovitost i/ili broj vozova, uslovi infrastrukture i/ili signalno-sigurnosni uređaji.

Pod značajnom promenom broja vozova podrazumeva se razlika od 10%.

Iskorišćenje kapaciteta varira u vremenu. Preporučuju se vrednosti vršnih sati u prosečnom danu u nedelji (najmanje jedan sat) ili period celog dana.

UIC fišom 451-1 iz 2000. godine se preporučuju vrednosti dopunskih vremena za neutralisanje manjih kašnjenja. Ono je različito za lokomotivski vučene vozove za prevoz putnika, motorne garniture i teretne vozove. Tako, npr. na švajcarskim železnicama, ova vremena imaju i više segmenata nego što se preporučuje od strane UIC-a: najpre tu je proporcionalni deo, 7% od čistog vremena vožnje za sve vozove za prevoz putnika, odnosno 11% za sve teretne vozove. Na holandskim železnicama princip je sličan, ali ne isti: za sve vozove za prevoz putnika dopunska vremena iznose 7% od čistog vremena vožnje, dok za teretne vozove ovaj procenat je manji, 5%.

Proračun ukupno vremena zauzeća ograničavajućeg MSR, može se izračunati kao:

$$k = A + B + C + D, \text{ (min)} \quad (1)$$

gde je:

*A*: zauzeće MSR svim vozovima i minimalnim intervalima između trasa,

*B*: suma pufer vremena pri sleđenju uzastopnih vozova,

*C*: suma pufer vremena pri ukrštavanju vozova,

*D*: dodatno vreme zauzeća MSR-a za održavanje koloseka i drugih elemenata infrastrukture.

Iskorišćenje kapaciteta u procentima se proračunava kao:

$$K = \frac{k \cdot 100}{U}, \quad (2)$$

gde je:

*U*: vreme za koje se iskorišćenje kapaciteta računa;

Neiskorišćen kapacitet se može sastojati od dva dela: neiskorišćenog kapaciteta koji je moguće iskoristiti i izgubljenog kapaciteta.

Ukoliko procenat iskorišćenja pruge prelazi tzv. tipičnu vrednost, tj. kada se zahtevi tržišta više ne mogu ispuniti, kažemo da je došlo do pojave uskog grla. Sa druge strane, ako „tipična vrednost” nije dostignuta, preostali kapacitet se može iskoristiti za uvođenje novih trasa vozova u skladu sa zahtevima tržišta.

Sumirajući ovu metodu jasno je da vrednosti koeficijenta iskorišćenja pruge zavise od mnogo faktora. Zbog svega toga, „tipična vrednost” procenta iskorišćenja ne može biti jedinstvena, pa je UIC uveo takozvanu „preporučenu vrednost”. Npr. za mešoviti saobraćaj dozvoljeni procenat zauzeća pruge u vršnom satu je 75% a za ceo dan 60% sa tendencijom porasta ako je mali broj vozova (manje od 5 vozova po satu) uz snažnu heterogenost.

### 3. PRIMENA METODE UIC DEFINISANE FIŠOM 406 NA PRUZI BEOGRAD - NIŠ

Za potrebe primene nove metode za ocenu iskorišćenja pruge Beograd-Niš razmatrana su dva slučaja: prvi, kada bi vozovi saobraćali brzinama za koje je pruga projektovana, i drugi, za postojeću situaciju, tj. kada vozovi saobraćaju brzinama unetim u red vožnje za 2006. godinu. Zbog karakteristika infrastrukture, kao i promena u broju i heterogenosti vozova na pruzi, u prvom slučaju analiza je izvršena na međustaničnim rastojanjima: Palanka-Mala Plana, Velika Plana-Markovac, Paraćin-Ćičevac, Stalać-Stevanac ukrsnica i Đunis-Korman, dok je pri primeni današnjih brzina saobraćaja vozova, zbog malih vrednosti brzina, došlo do promene ograničavajućeg MSR-a na prvoj deonici, pa je, za taj slučaj, analiza izvršena na međustaničnom rastojanju Mladenovac-Kovačevac. Propusna moć, odnosno iskorišćenje koloseka, računato je za period od 24 sata.

#### 3.1. Analiza dobijenih rezultata

Dobijeni rezultati pokazuju da, čak i u slučaju saobraćaja vozova projektovanim brzinama za posmatrane deonice, iskorišćenje MSR Stalać-Stevanac ukrsnica je najveće i znatno iznad predviđenih 60%. Naime, projektovana brzina na ovoj deonici jednaka je redovnoj brzini prema redu vožnje, 65 km/h, što znači da je iskorišćenje pruge u oba slučaja jednako i iznosi 80,104% (tabela 1).

Zbog ovako visokog procenta iskorišćenja, radi provere izvršen je i proračun propusne moći klasičnom metodom i on je takođe jako visok, 67,50%.

Iskorišćenje koloseka za sva MSR i za oba slučaja brzina vozova, je proračunato i ne uzimajući u obzir pufer vremena za održanje reda vožnje i ne uzimajući u obzir dva sata za redovno održavanje infrastrukture. Po odbijanju ovih vremena iz proračuna, iskorišćenje koloseka je jako blisko rezultatu dobijenom klasičnom metodom, 68,056%. Međutim, čak i kada bi se isključila pufer vremena, a zadržalo vreme predviđeno za redovno održavanje, iskorišćenje MSR Stalać-Stevanac ukrsnica iznosilo bi 71,771%, što je još uvek u sivoj zoni.

Osim ovog, kritičnog MSR, pri varijanti saobraćaja vozova redovnim brzinama iz reda vožnje, iskorišćenje od 60% je premašeno i na MSR Mladenovac-Kovačevac, kao i po levom koloseku deonica Velika Plana-Markovac i Paraćin-Ćičevac po oba koloseka. Međutim, na ova dva dela dvokolosečne pruge, posmatrajući samo koloseke čije iskorišćenje prevazilazi dozvoljenu vrednost, može se konstatovati da je broj vozova manji ili jednak broju od 5 vozova, pa se može dozvoliti prekoračenje od 60%, pri čemu kvalitet prevozne usluge ne bi trpeo.

Tabela 1. Broj vozova i iskorišćenje propusne moći, odnosno koloseka deonica u zavisnosti od uključenih elemenata, pri saobraćaju vozova projektovanim/redovnom(P/R) brzinama na pruzi

| Međustanično rastojanje                    | Broj vozova | Iskorišćenje propusne moći (%) | Iskorišćenje propusne moći (%) bez pufer vremena | Iskorišćenje propusne moći (%) bez vremena za održavanje |
|--|-------------|--------------------------------|--|--|
| Mladenovac-Kovačevac<br>Palanka-Mala Plana | 75/73       | 74,93/51,81                    | 66,60/43,47                                      | 64,03/40,97  |
| V. Plana-Markovac levi kol.                | 62/62       | 63,51/47,40                    | 55,17/39,06                                      | 53,06/36,94  |
| V. Plana-Markovac desni kol.               | 56/56       | 58,37/43,65                    | 50,04/35,31                                      | 48,13/33,40  |
| Paraćin-Čičevac levi kol.                  | 49/49       | 67,71/52,78                    | 59,38/44,44                                      | 57,71/42,78  |
| Paraćin-Čičevac desni kol.                 | 55/55       | 75,14/58,13                    | 66,81/49,79                                      | 64,93/47,92  |
| Stalać-Stevanac uk.                        | 108/108     | 80,11/80,104                   | 71,77/71,77                                      | 68,06/68,06  |
| Đunis-Korman levi kol.                     | 51/51       | 53,82/43,61                    | 45,49/35,28                                      | 43,75/33,54  |
| Đunis-Korman desni kol.                    | 57/57       | 58,54/47,08                    | 50,21/38,75                                      | 48,26/36,81  |

Deonica Mladenovac-Kovačevac, iako ima manje od pet vozova na sat, opterećena je sa čak 74,93%, ali osnovni razlog za to je smanjenje brzine na 50km/h, zbog lošeg stanja koloseka. Sanacijom gornjeg i donjeg stroja, tj saobraćaja vozova projektovanim brzinama, iskorišćenje bi palo ispod 55%.

Dovođenjem cele pruge Beograd-Niš, kao i kolskog i lokomotivskog parka, u takvo stanje da se omoguće vožnje vozova maksimalnim brzinama, jedino deonica od Stalaća do ukrsnice Stevanac ostaje sa iskorišćenjem većim od 60%, dok je iskorišćenje svih ostalih manje od te vrednosti. U ovom slučaju, izuzimajući navedeno MSR, najveće je iskorišćenje desnog koloseka deonice od Paraćina do Čičevca i iznosi 58,125%.

#### 4. ZAKLJUČAK

Iz dobijenih rezultata jasno je da je određeni broj MSR danas iskorišćen više od vrednosti koju preporučuje UIC. Posledica ovoga je da, u slučaju kada bi saobraćali svi vozovi predviđeni redom vožnje, red vožnje bi bio neodrživ. Ovaj problem će u budućnosti biti sve više aktuelan, posebno restrukturiranjem Železnica Srbije, odnosno javnom prodajom trasa vozova, što će, pretpostavlja se, dovesti do još većeg broja teretnih vozova na ovom pravcu Koridora X.

Problem iskorišćenja koloseka, odnosno deonica pruga, u skladu sa zahtevanim nivoom prevozne usluge, može se prevazići na više načina. Kod preopterećenih deonica dvokolosečne pruge sa stajalištima između stanica, moguće je smanjiti iskorišćenje koloseka svođenjem lokalnih vozova koji imaju bavljenje na tim stajalištima, na minimum. Povećanje maksimalne dopuštene brzine na vrednosti projektovane brzine, sigurno obezbeđuju iskorišćenje deonica manje od preporučene vrednosti, tj. manje od 60% u odnosu na ceo dan.

#### LITERATURA

- [1] Union Internationale des Chemins de Fer (UIC), Code 406 "Capacity", Paris, France, 2004.
- [2] Wahlborg M.: "Application of the UIC 406 capacity leaflet at Banverket", 1st International Seminar on Railway Operations Modelling and Analysis RailDelft2005, Delft, The Netherlands, 2005.

### CALCULATION OF BEOGRAD – NIŠ LINE CAPACITY BY USING UIC 406

Dragomir MANDIĆ<sup>1</sup>  
Predrag JOVANOVIĆ<sup>2</sup>  
Mirjana BUGARINOVIĆ<sup>3</sup>

*Abstract – Methods for line capacity calculation needs precise data, concerning many technical and exploitation parameters, about railway infrastructure, as well as railway vehicles. However, line capacity calculation so far did not consider demanding level of quality service at railway. In September 2004, International Railway Union (UIC) approved and recommended new capacity calculation method, which takes into account this important factor also. In this paper, survey of capacity calculation methods is been given, new method has been described, and, finally, new calculation method has been used at railway section Belgrade-Nis, and result analysis has been done.*

*Key words – capacity, line capacity, quality of service*