

## UTVRĐIVANJE FUNKCIJE ZAVISNOSTI VREMENA PUTOVANJA OD ODNOSA PROTOKA I KAPACITETA NA ULIČNOJ MREŽI NOVOG SADA

Nikola Pandžić BSc, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Departman za Saobraćaj e-mail: npan@uns.ac.rs

Vuk Bogdanović, PhD, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Departman za Saobraćaj e-mail: vuk@uns.ac.rs

Valentina Mirović, PhD, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Departman za Saobraćaj email: plast@uns.ac.rs

Nemanja Garunović, PhD, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Departman za Saobraćaj email: garunovic@uns.ac.rs

*Rezime: Zadatak transportnih modela je da na najbolji mogući način opišu tokove saobraćaja. U cilju raspodele tokova na mreže i primene postojećih modela raspodele poželjno je za mrežu, odnosno područje istraživanja, analizirati uticaj vremena putovanja na saobraćajne protoke određenih tipova deonica ulične mreže pri prosečnim brzinama saobraćajnog toka. Jedna od najvažnijih promenljivih modela jeste V/D funkcija (eng. Volume/Delay Function) koja definiše odnos vremena putovanja u zavisnosti od odnosa protoka i kapaciteta deonice. V/D funkcija je matematički model koji se koristi u saobraćajnim modelima za prognoze saobraćajne potražnje, kako bi se uzeo u obzir efekat povećanog protoka vozila na vreme putovanja između različitih tačaka na putnoj mreži. U ovom radu prikazani su rezultati istraživanja sprovedenog na određenoj deonici putne mreže u Novom Sadu, odnosno analiza osnovnih parametara saobraćajnog toka izmerena na području istraživanja.*

*Ključne reči: saobraćajni tok, protok, vreme putovanja, V/D funkcija*

### 1. UVOD

Transportni sistemi imaju značajne efekte na mobilnost stanovništva, ekonomski razvoj, životnu sredinu i generalno na kvalitet života. Stoga je potrebno mudro planirati i organizovati ove sisteme. Neuspeh u planiranju može da dovede do velikih saobraćajnih gužvi, sporog ekonomskog rasta gradova (ili države), negativnog uticaja na životnu sredinu i neefikasnog korišćenja kapitala i resursa. Planiranje i modelovanje transportnih sistema je proces koji treba da obezbedi podatke koji će pomoći u donošenju odluka o budućem razvoju i upravljanju ovih sistema.

### 2. SAOBRAĆAJNI MODELI

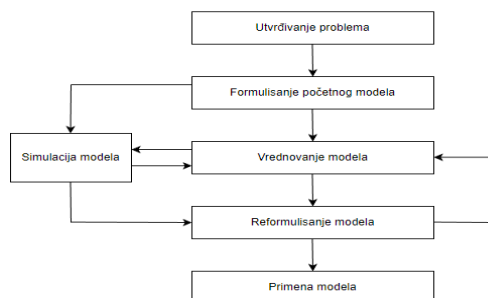
Modeli su uprošćeni prikazi dela stvarnosti. Njihova funkcija je da daju uvid u složene međudnose u stvarnom svetu i da omoguće izvođenje zaključaka o tome šta će se (najverovatnije) desiti ako dođe do promena određenih parametara posmatranog sistema [1]. Tokom njihovog definisanja, upotrebe i kalibracije, planeri mogu dosta naučiti o ponašanju, zakonitostima i unutrašnjem načinu funkcionisanja sistema koji se ispituje.

Saobraćajni modeli pomažu u [2]:

- Pronalasku alternativnih vidova prevoza

- Smanjenju zagušenja u saobraćaju
- Koordinaciji korišćenja zemljišta
- Smanjenju potrošnje goriva
- Boljem kvalitetu vazduha
- Većoj bezbednosti u saobraćaju
- Ekonomskom razvoju

Razvoj modela počinje sa formiranjem hipoteze za objašnjenje pojave ili sistema, sa određene tačke gledišta. Kao što se vidi na Slici 1. postupak razvoja modela ima cikličan karakter koji treba da omogući da se struktura modela tokom ponavljanja unapređuje do trenutka kada najviše odgovara pojavi koju opisuje.



Slika 1: Iterativni proces razvoja modela [1]

## 2.1. Četvorostepeni saobraćajni lanac modela

Najpopularniji pristup modeliranju transporta je korišćenje klasičnog četvorostepenog modela. Nastao je tokom 1960-ih godina i unapređivan je decenijama. Ovaj model predviđanja potreba za transportom je osnova planiranja saobraćaja u celom svetu. Primena ovih modela je sukcesivna, odnosno izlazni rezultati iz prve grupe modela primenjuju se kao ulazne veličine za drugu grupu modela i tako redom (Tabela 1). Upravo iz ovog razloga, skup ovih modela se naziva četvorostepeni lanac saobraćajnih modela.

Tabela 1: Međusobni odnosi ulaznih i izlaznih veličina [1]

| Vrsta modela                         | Ulazne veličine   | Izlazne veličine                      |
|--------------------------------------|---|---------------------------------------|
| Modeli nastajanja putovanja          | Pokazatelji korišćenja zemljišta<br>Socioekonomske karakteristike stan. | Broj krajeva putovanja                |
| Modeli prostorne raspodele putovanja | Broj izvornih i ciljnih putovanja                                       | Razmena putovanja između zona         |
| Modeli vidovne raspodele putovanja   | Matrica putovanja<br>Socioekonomske karakteristike                      | Matrica putovanja po vidovima prevoza |
| Modeli raspodele tokova na mreže     | Matrica putovanja po vidovima prevoza<br>Opis mreže                     | Tokovi saobraćaja                     |

Sa napretkom tehnologije, došlo se do stepena razvoja gde su, sa manje ili više izmena, ovi modeli implementirani u softvere, odnosno softveri za planiranje saobraćaja, prognoze i simulacije počivaju na osnovnim principima ovih modela.

### 3. MODELI RASPODELE TOKOVA NA MREŽE

U poslednjem modelu četvorostepenog lanca utvrđuju se raspodele tokova vozila ili putnika na mrežu, sa ciljem da se utvrdi da li postojeće saobraćajnice mogu i sa kakvim efektima da “prihvate” postojeće ili planirane tokove saobraćaja.

Metode raspodele tokova na alternativne puteve zasnivaju se na poređenju razlika ili odnosa putovanja ili vremena putovanja između dva puta koja povezuju posmatrane zone. Prilikom kretanja od izvora do cilja korisnik mreže bira jednu od mogućih putanja tako što vrednuje neke od njenih karakteristika ili sagledava više njih. Kako bi se što preciznije izrednovala putanja, definisan je “otpor” (trošak), koji predstavlja skup različitih karakteristika putanje. Ukoliko se zna “otpor” svake od mogućih putanja na celokupnoj mreži, može se izabrati putanja sa najmanjim “otporom”, odnosno sa najmanjim troškovima po samog korisnika [2].

Postoje 2 metode: Metoda sve ili ništa i Metoda kapacitetnog ograničenja.

#### 3.1. V/D funkcija

V/D funkcija se obično primenjuje kod statičkih makroskopskih raspodela saobraćaja na mrežu, sa ciljem da se opišu rezultujuća vremena putovanja na linkovima, koja su u funkciji protoka (rezultat raspodele tokova) i kapaciteta linkova i vremena putovanja vozila u slobodnom toku (dva parametra linka koja su konstantna). Ova funkcija dobija se na osnovu merenja vremena putovanja i protoka vozila. Kada je kriva funkcije jednaka 1, dobija se neometan tok, odnosno vozila putuju vremenom slobodnog toka  $t_0$ . Sa porastom protoka, raste i funkcija. Kada protok dostigne kapacitet linka, saturacija (stepen zasićenja) je 1, i nakon ove tačke, odnosno prelaska kapaciteta linka, funkcija značajnije raste [3].

U radu će biti korišćena BPR funkcija (1) (*Bureau of Public Roads*), koja je razvijena u SAD-u i koristi se u praksi širom sveta. Osnovna formula BPR funkcije:

$$t_{cr} = t_0 * \{1 + a * [q / (c * q_{max})]^b\} \quad (1)$$

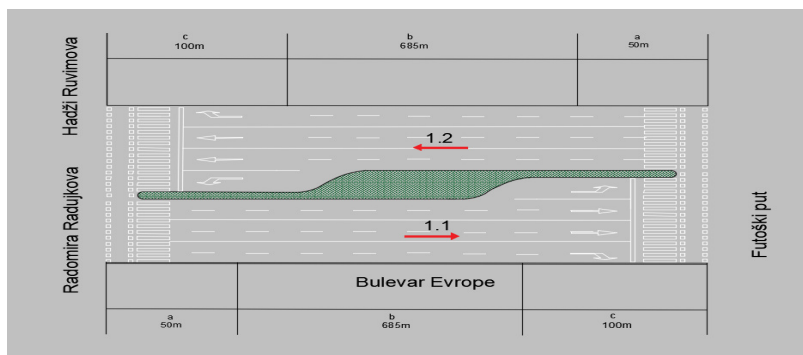
### 4. METODOLOGIJA

Analizirana deonica puta se nalazi u Novom Sadu (Republika Srbija), gradu sa oko 350.000 stanovnika. U pitanju je deonica Bulevara Evrope, odnosno deonica od raskrsnice Bulevara Evrope sa Futoškim putem sa jedne strane, do raskrsnice Bulevara Evrope i Hadži Ruvimove/Radomira Raše Radujkova sa druge strane (Slika 2).



Slika 2. Prikaz deonice na mapi [4]

Deonica ima 3 trake (dve za pravo i jednu za desna skretanja) i jednu dodatnu traku, koja počinje 75m od raskrsnice (oba smeru), za leva skretanja. Dužina, u jednom smeru, iznosi 835m. Deonica je podeljena u 3 sektora. Sektor *a*, na početku svakog smeru, je dužine 50m, i to je dužina koja je potrebna da vozilo osmatrač dostigne brzinu realnog saobraćajnog toka. 100m pre obe raskrsnice kreće sektor *c*, odnosno to je sektor na kom se "oseći" uticaj načina regulisanja (signalisane) raskrsnice na tok vozila. Između se nalazi sektor *b*, na kom se vozilo osmatrač kreće brzinom realnog toka (Slika 3).



Slika 3. Analizirana deonica sa označenim smerovima i sektorima

Prikupljanje podataka je izvršeno metodom pokretnog osmatrača, u više prolaza po svakom smeru deonice, tokom čega su zabeleženi kinematski parametri vozila pokretnog osmatrača uz istovremeno snimanje video zapisa.

Nakon analize video snimaka, izvučene vrednosti vremena putovanja i protoka su unošene u šablon gde je iz osnovne BPR funkcije izražen/izračunat parametar "b" (parametri  $a=1$  i  $c=1$ ), i prikazano je kako se ovaj parametar menja u zavisnosti od vremena putovanja i veličine protoka po smeru. Za potrebe ovog rada izabrana je analiza parametra "b", a predmet daljih istraživanja mogu biti i preostala dva parametra, koja su u ovom slučaju fiksirana, čime bi se kompleksnost analize produbila i proširila.

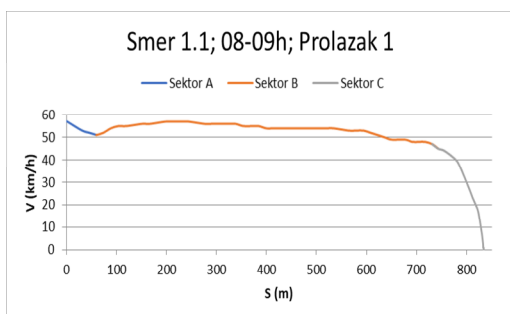
Izračunavanje parametra "b" iz BPR funkcije se odnosi na vreme putovanja na sektoru *b* analizirane deonice, odnosno u pitanju je  $V/D$  funkcija na deonici (linku). U smeru 1.1  $V_0$  iznosi 60 km/h (što je ujedno i maksimalna dozvoljena brzina), dok je za smer 1.2  $V_0$  povećano za 10% , odnosno sa 50 km/h (maksimalna dozvoljena brzina) na 55 km/h, jer realna brzina toka premašuje maksimalno dozvoljenu brzinu u tom smeru deonice. Usvojen je kapacitet deonice, odnosno  $q_{max}=1700$ voz/h, za oba smeru. Vrednosti izračunatog parametra "b" su unošene u Excel šablon koji se dobija uz softverski paket "PTV Visum". U ovaj Excel je implementirana osnovna BPR funkcija, za dobijanje  $V/D$  dijagrama.

## 5. REZULTATI

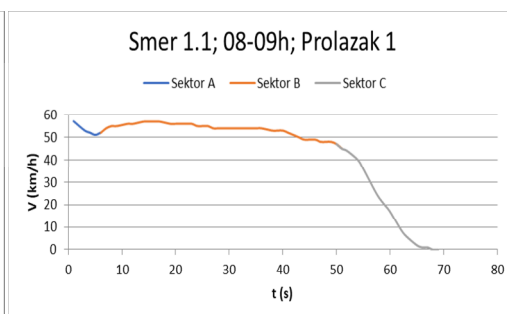
Rezultati su podeljena u dva segmenta. U prvom segmentu su prikazani parametri snimanja na deonici, odnosno prikazane su brzine, vremena putovanja i protoci, dok je u drugom delu prikazano menjanje parametra "b", iz osnovne BPR-ove  $V/D$  funkcije, u zavisnosti od promene parametara zabeležnih na analiziranoj deonici, kao i dijagram  $V/D$  funkcije formiran uz pomoć Visumovog Excel šablona, za oba smeru deonice.

### 5.1. Prikaz izmerenih parametara na analiziranoj deonici

Svaki smer deonice je analiziran 5 puta, odnosno izvršeno je 5 prolazaka po smeru, za oba sata istraživanja. Na graficima 2. i 3. je prikazan jedan primer dobijenih dijagrama za jedan prolazak nakon analize video snimaka.

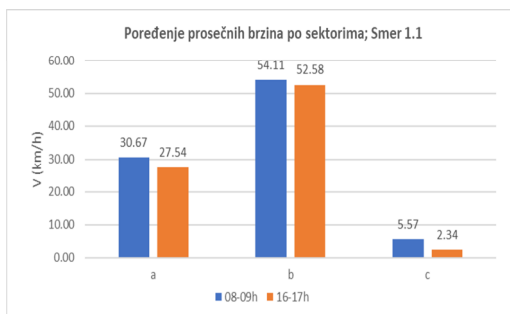


Grafik 1. Grafički prikaz odnosa brzina-put;

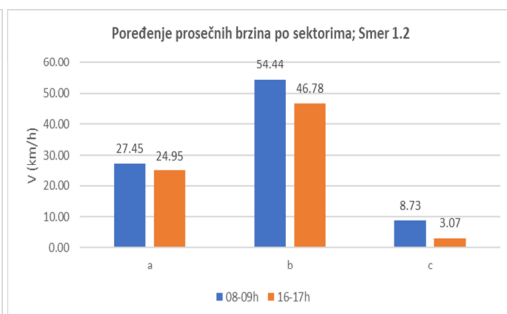


Grafik 2. Grafički prikaz odnosa brzina-vreme

Na grafiku 4. i 5. su prikazane zabeležene prosečne vrednosti brzina po sektorima deonice, za oba smer.

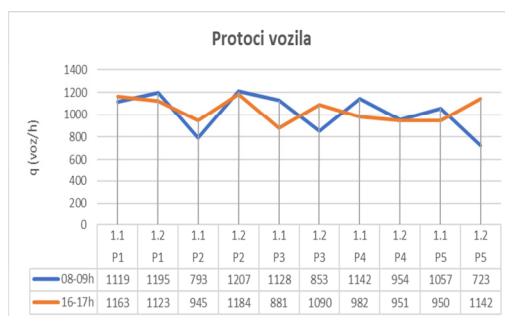


Grafik 3. Poređenje prosečnih brzina (1.1);



Grafik 4. Poređenje prosečnih brzina (1.2)

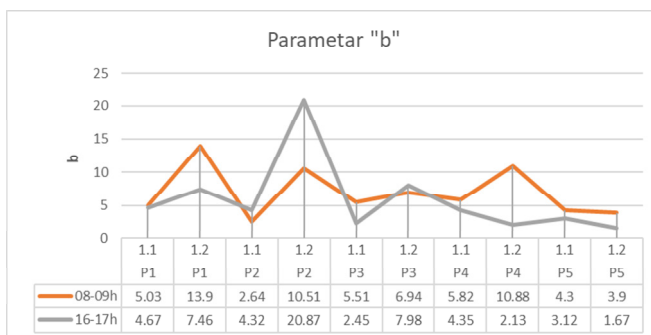
Na grafiku 6. su prikazani izmereni protoci, klasifikovani po prolasku, smeru i satu.



Grafik 5. Protoci vozila

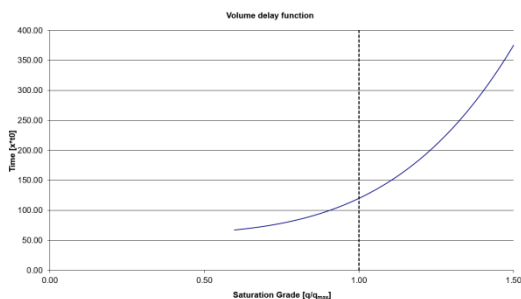
### 5.2. Parametar "b" i V/D dijagram

Grafik 7. prikazuje izračunate vrednosti parametra "b". Vrednosti su na grafiku klasifikovane po prolasku, smeru i satu.

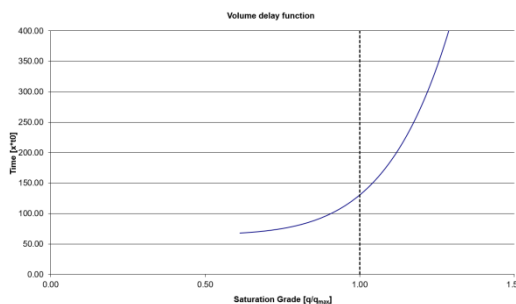


Grafik 6. Vrednosti parametra "b"

Prilikom formiranja dijagrama V/D funkcije, korišćene se prosečne vrednosti parametra "b" za svaki smer, za oba sata istraživanja. Za smer 1.1  $b=4.09$ , a za smer 1.2  $b=6.46$ . Takođe korišćene su prosečne vrednosti protoka za svaki smer, odnosno za 1.1  $q=1016$  voz/h, dok je za smer 1.2  $q=1042$  voz/h. Za navedene vrednosti formirana su dva dijagrama (grafici 8. i 9).



Grafik 7. V/D dijagram za smer 1.1;



Grafik 8. V/D dijagram za smer 1.2

## 6. ZAKLJUČAK

Saobraćajni (transportni) modeli, pored toga što predviđaju obrasce putovanja i potražnje za putovanjem, sadrže u sebi brojne matematičke jednačine za simulaciju ili prezentovanje načina kada, kako i zašto ljudi putuju, a sve u cilju poboljšanja kvaliteta mobilnosti stanovništva. To su prvenstveno matematički alati koji koriste kompjuterske softvere za predstavljanje stvarnog transportnog sistema, kao i za predviđanje obrazaca putovanja i tokova između izvora i cilja putovanja u budućnosti, raspoređujući svako putovanje prostorno i vidovno.

Iako je uobičajena praksa da se kod transportnih modela na makro nivou definiše jedna V/D funkcija po kategoriji saobraćajnice, u ovom radu su definisane dve V/D funkcije, po smeru deonice, što je podobno za mikro modeliranje.

V/D funkcija opisuje korelaciju između veličine trenutnog protoka vozila i maksimalnog kapaciteta linka, i kod modela raspodele tokova ne mrežu predstavlja sastavni deo metode kapacitetnog ograničenja. Cilj ovog istraživanja je bio da se na osnovu izmerenih vrednosti na deonici utvrdi kako oni utiču na parametar "b" i kako zatim njegove vrednosti utiču na formiranje V/D dijagrama.

## ZAHVALNICA

Ovo istraživanje (ovaj rad) je podržan(o) od strane Pokrajinskog sekretarijata za visoko obrazovanje i naučnoistraživačku delatnost kroz projekat broj 142-451-2690/2021-01/02 "Razvoj prostorno zasnovanog inteligentnog sistema upravljanja bezbednošću saobraćaja".

## LITERATURA

- [1] Mirović, Valentina. 2015. Modeli planiranja saobraćaja. Novi Sad: Fakultet tehničkih nauka.
- [2] Juan de Dios, Ortuzar & Luis, Willumsen. Modelling Transport, Fourth Edition. 2011. A John Wiley and Sons, Ltd., Publication
- [3] Rafał Kucharski and Arkadiusz Drabicki. 2017. Estimating Macroscopic Volume Delay Functions with the Traffic Density Derived from Measured Speeds and Flows (Volume 17). Poland.
- [4] a3.geosrbija.rs (Jul 2022)

## SUMMARY

### **DETERMINING THE TRAVEL TIME DEPENDENCE FUNCTION ON THE RATIO OF FLOW AND CAPACITY ON THE STREET NETWORK OF NOVI SAD**

*The task of transport models is to describe traffic flows in the best possible way. In order to distribute flows on the network and apply existing distribution models, it is desirable for the network, that is, area research, to analyze the impact of travel time on traffic flows of certain types of sections of the street network at average traffic flow speeds. One of the most important variables of the model is the V/D function (Volume/Delay Function), which defines the ratio of travel time depending on the ratio of flow and capacity of the section. The V/D function is a mathematical model used in traffic models to forecast traffic demand, to account for the effect of increased vehicle flow on travel times between different points on the road network.*

*This paper presents the results of the research carried out on a specific section of the road network in Novi Sad, that is, the analysis of the basic parameters of the traffic flow measured in the research area.*

*Keywords: traffic flow, volume, travel time, V/D function*