

Metodologija vrednovanja kvaliteta upravljanja saobraćajnim tokovima primenom Normalne (Gausove) raspodele

Margareta Ilić, ElcomBgd d.o.o, Beograd, margareta.ilic@elcombgd.rs

Anđela Lazarević, ElcomBgd d.o.o, Beograd, andjela.lazarevic@elcombgd.rs

Aleksandra Kovač, ElcomBgd d.o.o, Beograd, aleksandra.kovac@elcombgd.rs

Rezime: Upravljanje saobraćajnim tokovima je jedan od ključnih elemenata za očuvanje i poboljšanje mobilnosti u urbanim sredinama, čime se direktno utiče na produktivnost i vitalnost gradskih sredina. Efikasno upravljanje saobraćajem ne obuhvata samo tehničke aspekte, već i minimizaciju negativnih posledica po životnu sredinu i ljudsko zdravlje. Da bi se ocenila efikasnost strategije upravljanja, neophodna je kvantifikacija efekata njene primene. Ova kvantifikacija je često zanemarena, iako je ključna za donošenje odluka o budućim investicijama i za monitoring sistema. Osnovni pokazatelji efikasnosti poput prosečne brzine, vremenskih gubitaka, dužine reda itd. ne pružaju uvek potpuni uvid u uslove u saobraćajnom toku. U ovom radu kao alat za dodatnu analizu i vrednovanje kvaliteta upravljanja saobraćajem primenjena je Normalna (Gausova) raspodela, koja omogućava bolje razumevanje uslova u saobraćajnom toku na osnovu analize podataka sa detektorskih petlji pri različitim strategijama upravljanja. Analizom trajanja detektorskog zauzeća može se imati uvid u to koji su prosečni uslovi u toku sa najvećom verovatnoćom događaja, a takođe prisustvo onih koji odstupaju od proseka, što ukazuje na nivo neravnomernosti toka. Cilj rada jeste pronalaženje verodostojnih pokazatelja efikasnosti upravljanja zasnovanih na pouzdanim podacima koje obezbeđuju savremene IT tehnologije koje se koriste u sistemima upravljanja saobraćajem.

Ključne reči: upravljanje saobraćajem, Normalna raspodela, detektorsko zauzeće, pokazatelji efikasnosti

1 UVOD

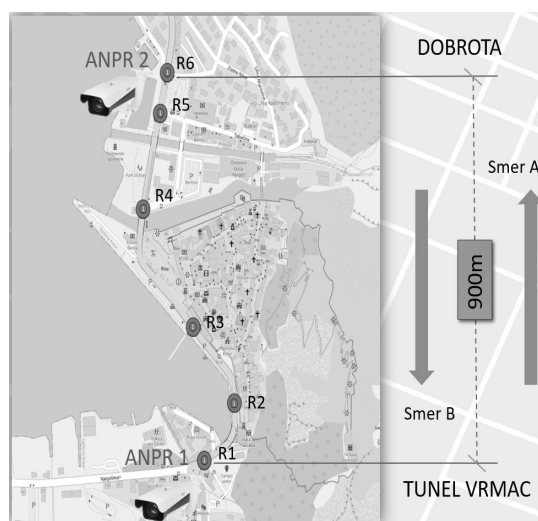
U savremenom urbanom okruženju, efikasno upravljanje saobraćajnim tokovima je instrument podrške mobilnosti urbane sredine. Optimalno korišćenje postojećih kapaciteta je suštinski cilj upravljanja saobraćajem [1]. Kako bi se za neku strategiju upravljanja moglo reći da je dovoljno efikasna potrebno je izvršiti kvantifikaciju doprinosa njene implementacije, kako bi se po potrebi korigovala, unapredila ili ako je dovoljno uspešna, odredila mera, odnosno stepen uspešnosti njene primene [2]. Iako su osnovni pokazatelji efikasnosti uobičajna sredstva vrednovanja, oni same po sebi nekada nisu dovoljni za sagledavanje varijabilnosti u realizaciji saobraćajnog procesa. Stoga postoji potreba za pronalaženjem dodatnih alata i metoda koje mogu pružiti dublje uvide u dinamiku saobraćajnog procesa na osnovu raspoloživih podataka kao što su podaci sa induktivnih petlji ili bilo koje druge tehnologije za detekciju vozila. Moguća je primena Normalne (Gausove) raspodele kao statističkog alata za evaluaciju kvaliteta primenjenih

upravljačkih mera. Normalna raspodela je pogodna za ovakav tip analize jer omogućava da se analiziraju odstupanja od prosečnih vrednosti i utvrde nivoi varijabilnosti u saobraćajnim tokovima. Korišćenje ove raspodele pomaže u identifikaciji obrazaca unutar podataka, kao što su odstupanja u detektorskom zauzeću koja mogu ukazati na neoptimalne dužine ciklusa ili raspodele zelenih vremena.

Konkretno, analizirana je vrednost detektorskog zauzeća i standardnog odstupanja na primeru osnovne saobraćajne mreže grada Kotor, gde je implementiran sistem adaptibilnog upravljanja na 6 raskrsnica. Utvrđuje se optimalna vrednost standardnog odstupanja za koju se može reći da predstavlja povoljne uslove u toku, odnosno koja je to granična (merodavna vrednost) uz pomoć koje bi se vrednovali efekti primenjenih upravljačkih sistema.

2 PROSTORNI OBUHVAT I KONFIGURACIJA UPRAVLJAČKOG SISTEMA

Zbog specifične geografske i urbanističke strukture, saobraćajna mreža grada ima vrlo ograničen kapacitet za realizaciju zahteva, što za posledicu ima formiranje redova i vremenske gubitke. Glavnu saobraćajnicu (magistralni put M1) kroz grad čini jedna kolovozna traka po smeru širine 3m sa nesignalisanim ukrštajima i pešačkim prelazima, gde je kao održivo rešenje sprovedena semaforizacija uz primenu adaptibilnih sistema. Implementiran je sistem upravljanja na šest raskrsnica u starom gradskom jezgru. Na slici 1 prikazan je prostorni obuhvat upravljačkog sistema.



Slika 1: Prostorni obuhvat upravljačkog sistema u gradu Kotoru

2.1 Faze implementacije upravljačkih rešenja

Implementacija adaptibilnog sistema upravljanja sprovedena je u nekoliko faza korišćenjem softverskih paketa PTV VISUM i VISSIM, uz pomoć modula EPICS i BALANCE za istovremeno upravljanje na mikro i makro nivou.

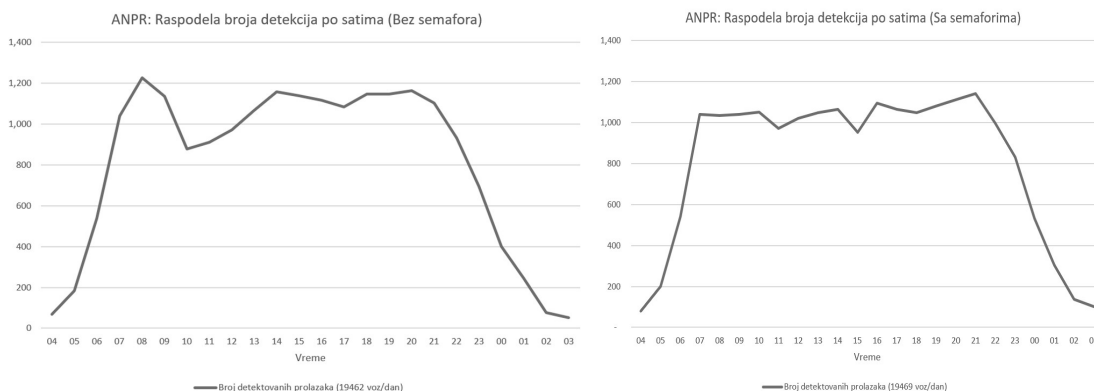
Početne faze implementacije sprovedene su korišćenjem EPICS modula za individualno upravljanje svakom raskrsnicom, dok su kasnije faze podrazumevale koordinisani rad uz pomoć BALANCE modula.

3 ANALIZA REZULTATA

Analizom podataka obuhvaćena je svaka faza implementacije, uključujući i period pre semaforizacije. Za analizu su korišćeni podaci sa induktivnih petlji i ANPR kamera za detekciju registarskih tablica.

3.1 Analiza podataka sa ANPR kamera

Analiza je započeta pregledom raspoloživih podataka sa ANPR kamera, koje pružaju podatke o registarskim tablicama, broju vozila, vremenu i brzini putovanja. Dobijeni podaci o broju detekcija u oba smera su pokazali da je realizovani protok saobraćaja u danima sa i bez semafora približno jednak, što ukazuje na to da je saobraćajni zahtev bez promena. U periodu bez semafora, uslovi u toku su bili neravnomerni, sa izraženim oscilacijama u protoku - što je delovalo kao dostizanje uslova zasićenog toka, posebno u vršnim periodima, kada se beleži nagli pad u broju detekcija. Nakon puštanja semafora, uočen je ravnomerniji tok u onim periodima kada je bez semafora dolazilo do značajnijeg smanjenja protoka. Podaci o vremenu i brzini putovanja su pokazali relativno slične vrednosti u danima bez i sa semaforima, čak je i u nekim periodima zabeleženo duže vreme putovanja u danima kada su radili semafori. Na grafiku 1 dat je prikaz raspodele broja detekcija sa ANPR kamera u danu bez semafora (levo) i u danu sa semaforima (desno). U danu bez semafora u periodu od 07h-10h, uočava se nagli pad u broju detekcija u odnosu na dan sa semaforima kada postoji izvesna kontinuiranost u broju vozila u istom periodu.

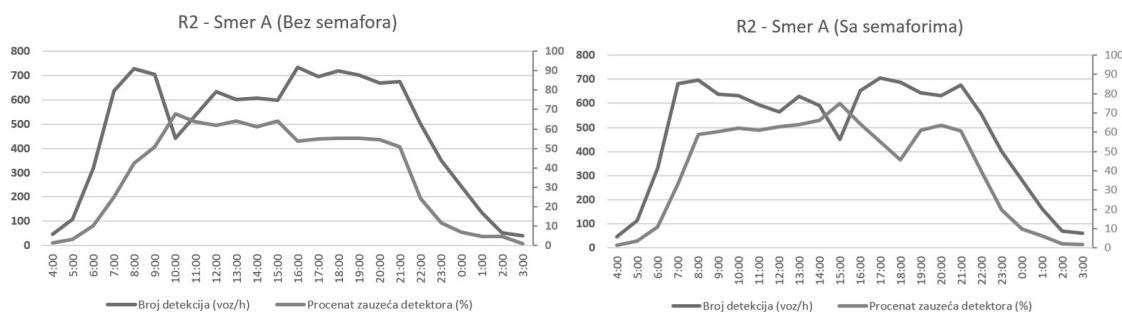


Grafik 1: Raspodela broja detekcija sa ANPR kamera bez semafora (levo) i sa semaforima (desno)

Iako su podaci sa ANPR kamera ukazali na određene razlike u pogledu raspodele broja detekcija i vremena putovanja, nije bilo moguće doneti konkretne i objektivne zaključke o efektima primenjenog sistema. Posebno se to odnosi na raspodelu broja detekcija, gde nije bilo moguće sa sigurnošću utvrditi da li je pad u broju detekcija posledica smanjenog broja vozila ili nastanka zastoja usled pojave zasićenog toka. Takođe, podaci sa ANPR kamera su pokazali da u strukturi toka dominiraju vozila KO registarskih tablica u periodu trajanja turističke sezone, iako je bilo očekivano da će dominirati vozila drugih registarskih tablica. Sa druge strane, korisnici sistema su imali subjektivni osećaj da je saobraćajni tok ravnomerniji, što je dovelo do potrebe da se uočene vizuelne promene i kvantitativno dokažu.

3.2 Analiza podataka sa induktivnih petlji

Drugi tip podataka korišćenih u analizi su podaci sa induktivnih petlji (broj detekcija i procenat zauzeća detektora/detektorsko zauzeće), kojima je svaka saobraćajna traka predmetne mreže opremljena. Detektorsko zauzeće predstavlja odnos vremena u toku jednog sata kada detektor detektuje signal (prelazak preko petlje/detektor je okupiran) i kada petlja nije okupirana. Procenat zauzeća omogućava praćenje učestalosti prolaska vozila preko detektora, kao i vremensko zadržavanje vozila na petlji i na taj način je moguće identifikovati periode u toku dana kada su zastupljeni uslovi bliski vrednosti zasićenog toka, pod uslovom da je istovremeno zabeležen i pad u broju detekcija. Analizom podataka sa svakog detektora, detektor na raskrsnici R2 u smeru ka Dobroti (Slika 1) pokazao se kao najmerodavniji jer zbog svoje lokacije predstavlja presečnu tačku preko koje pređe najveći broj vozila. Na grafiku 2 prikazana je raspodela broja detekcija u odnosu na procenat zauzeća detektora na nivou jednog sata u danu bez semafora (levo) i u danu sa semaforima (desno). Prikazani su isti dani kao i kod analize broja detekcija sa ANPR kamera.



Grafik 2: Raspodela broja detekcija i procenta zauzeća detektora u danu bez semafora (levo) i sa semaforima (desno)

Sa grafika 2 se vidi da kada se kriva broja detekcija i procenta zauzeća preklape (kriva procenta zauzeća raste, dok druga kriva opada), to znači da je pad u broju detekcija nastao usled zagušenja (vozila stoje u koloni ili se kreću sporije). Kada istovremeno obe krive rastu ili opadaju (paralelne krive) u tom slučaju realizovan je „stabilan” saobraćajni tok bez prisustva gužvi. Na grafiku se vidi da su nakon semaforizacije u jutarnjim satima, kada bi se ranije stvarale gužve, uslovi u saobraćajnom toku ravnomerniji, bez naglih oscilacija u protoku. Uslov za poređenje ova dva parametra su približno iste vrednosti u broju detekcija.

4 PRIMENA NORMALNE (GAUSOVE) RASPODELE U ANALIZI PODATAKA

Instalirani sistem za monitoring i upravljanje svetlosnim signalima na predmetnim raskrsnicama pored arhiviranja svake realizovane detekcije, pruža mogućnost prebrojavanja koliko je sekundi svako vozilo boravilo na petlji, što omogućava bolje razumevanje dinamike toka saobraćaja. Na osnovu ovih podataka moguće je ne samo analizirati opšte karakteristike saobraćaja, već i detaljno proučavati varijacije u vremenu prolaska vozila kroz raskrsnicu.

Normalnu raspodelu odlikuje sposobnost da opiše prirodne varijacije i obrasce u podacima, što pogoduje analizi saobraćajnih tokova. U pitanju je raspodela verovatnoće

koja je simetrična oko svoje srednje vrednosti. Dva osnovna parametra koji je definišu su srednja vrednost i standardno odstupanje. Srednja vrednost predstavlja tačku u horizontalnoj osi u kojoj je kriva najviša i označava prosečnu vrednost skupa podataka. Standardno odstupanje predstavlja meru rasipanja oko srednje vrednosti. Veća vrednost standardnog odstupanja znači da su podaci rasprostranjeni širom, dok manja vrednost znači da su podaci grupisani oko srednje vrednosti.

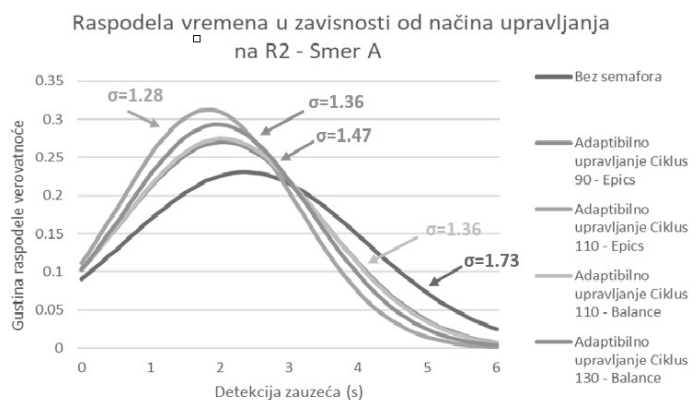
Za ukupan broj realizovanih zauzeća detektora u jednom danu izračunate su karakteristične vrednosti za Gausovu raspodelu i predstavljena je funkcija raspodele koja se računa pomoću sledeće formule:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad (1)$$

Pri čemu su:

- x – vrednost varijable (sekunda prelaska preko detektora);
- μ - srednja vrednost skupa podataka (matematičko očekivanje);
- σ - standardno odstupanje.

Za potrebe analize su uzeti podaci sa jednog od merodavnih detektora, pri čemu je posmatrana Gausova kriva u različitim uslovima – bez semafora i sa primenom različitih upravljačkih rešenja adaptibilnog upravljanja (Grafik 3). Primećeno je da je kriva bez semafora široka i plitka, dok se sa uvođenjem novih strategija povećava visina krive (došlo je do smanjenja vrednosti standardnog odstupanja), što u ovom slučaju ukazuje na poboljšanje uslova u saobraćajnom toku u smislu njegove ravnomernosti za oko 20%.



Grafik 3: Funkcija Normalne raspodele detektorskog zauzeća

Kod raspodele detektorskih zauzeća tokom celog dana, veći broj odstupanja od srednje vrednosti ukazuje na nepovoljne uslove u toku. Ako su odstupanja manja i većina njih je koncentrisana oko srednje vrednosti, to ukazuje na ravnomerniji tok saobraćaja. Veća je verovatnoća da će većina vozila imati brzinu kretanja bližu srednjoj vrednosti, što znači da poboljšanje u konkretnom slučaju nije povećati brzinu, već postići ujednačeno vreme prolaska za sva vozila. Što je kriva uža, to su ravnomerniji uslovi u toku, a taj efekat se postiže smanjivanjem vrednosti σ koliko god je moguće.

Standardno odstupanje se može računati za vremenske periode u kojima saobraćajni tok pokazuje ponovljiv obrazac, kao što su dan, nedelja ili mesec. Merodavna, odnosno

granična vrednost standardnog odstupanja zavisi od karakteristika posmatrane saobraćajne mreže i izračunava se na osnovu dana koji je imao najbolje uslove u saobraćajnom toku za približno jednak broj detekcija.

U konkretnom slučaju, praćenjem sistema uočeno je da su, u danu kada je bio državni praznik, kriva broja detekcija i procenta zauzeća tokom celog dana paralelne, iako je u toku zastupljeno samo 10% manje vozila u odnosu na ostale dane. Vrednosti μ i σ izračunate za taj dan uzete su kao merodavne vrednosti. Granična vrednost zatim služi kao referentna tačka za procenu kvaliteta realizacije toka saobraćaja. Kada standardno odstupanje u određenom periodu premaši ovu vrednost, to ukazuje na neoptimalan saobraćajni proces i prisustvo zagušenja, dok odstupanja koja su ispod ili blizu granične vrednosti sugerišu ujednačen saobraćajni tok, što takođe rezultuje stabilnim i predvidljivim kretanjem vozila.

5 ZAKLJUČAK

Jedan od ciljeva ovog rada jeste ukazivanje na upotrebnu vrednost podataka koje obezbeđuju savremene tehnologije detekcije vozila, kao što su podaci sa induktivnih petlji i ANPR kamera. Analizom saobraćajnih tokova u gradu Kotoru primenom Normalne raspodele, postignut je precizniji uvid u varijabilnost saobraćajnog procesa i efikasnosti upravljanja. Podaci prikupljeni sa detektorskih petlji, kao što su vremenska okupiranost detektora i frekvencija prolaska vozila, omogućuju bolji uvid primenom ove statističke metode. Normalna raspodela je korišćena kako bi se bolje analizirali podaci, identifikovali obrasci u saobraćajnom toku i utvrdile povoljnije vrednosti koje omogućavaju optimizaciju strategija upravljanja i donošenje odluka o daljim investicijama. Za buduća istraživanja, planira se testiranje i drugih statističkih raspodela kao što su Poasonova ili neka druga, koje bi mogle pružiti dodatni uvid u karakter saobraćajnog procesa i biti osnova za njegovo dodatno unapređenje.

LITERATURA

- [1] Vuchic, V. 2007. Urban Transit Systems and Tecnology.
- [2] Hohmann, S., Geistefeldt J. (2016). Traffic Flow Quality from the User's Perspective

SUMMARY

Methodology for evaluating traffic flow management quality using the Normal (Gaussian) distribution

Abstract: Traffic flow management is one of the key elements for preserving and improving mobility in urban environments. To assess the effectiveness of traffic management strategies, it is necessary to quantify their overall effects. This quantification is often neglected in practice, despite being crucial for investment decisions and system monitoring. Common measures of efficiency, such as average travel speed, vehicle delay, queue length, etc., do not always provide a complete insight into traffic flow conditions,

highlighting the need for additional statistical methods that can enhance traffic flow analysis. In this paper, the Normal distribution is used as a tool for further analysis and evaluation of traffic management quality. The Normal distribution allows a deeper understanding of traffic flow conditions based on the analysis of data from detector loops under different management strategies. Through analyzing detector occupancy using this distribution, insights can be gained into the average conditions with the highest probability, as well as the extent of deviations from the average, which can be the measure of flow uniformity. The aim of this paper is to find pragmatic indicators of management efficiency based on the reliable data provided by modern IT technologies used in traffic management systems.

Key words: traffic management, Normal distribution, detector occupancy, traffic efficiency indikator