

## PRIMENA INTEGRACIJE PTV EPICS, PTV BALANCE I SAUS SOFTVERA U ADAPTIBILNOM UPRAVLJANJU SAOBRAĆAJEM NA KORIDORU

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

Stefan Mladenović, ElcomBgd d.o.o, Beograd, stefan.mladenovic@elcombgd.rs

*Rezime: Napredak tehnike i tehnologije sa sobom povlači inovativnosti u raznovrsnim oblastima, među kojima su i sistemi za adaptibilno upravljanje. Adaptibilni sistemi upravljanja predstavljaju sveobuhvatni pristup u poboljšanju uslova u saobraćajnim tokovima na koridorima ili u zonama, uz pomoć simulacije. Koristi koje proizilaze iz adaptibilnih sistema upravljanja (kraće vreme putovanja, manja potrošnja goriva, manji negativni uticaj na životnu sredinu, veće zadovoljstvo korisnika) ukazuju na značaj primene ovih sistema. U ovom radu predstavljena je uporedna analiza nekoliko različitih varijanti adaptibilnog upravljanja na koridoru Sarajevske ulice u Beogradu. Takođe, dat je opis softvera uz pomoć kojih je rađena simulacija adaptibilnog režima – PTV Epics i PTV Balance modula u integrisanom radu za istovremeno upravljanje na mikro i makro nivou, kao i SAUS softvera uz pomoć koga je izvršena analiza parametara kvaliteta opsluge i prikaz istih. Cilj ovog rada jeste ukazati na efikasnost postupka simulacije kao poželjnog alata u upravljanju saobraćajem kroz analizu parametara efikanosti, kao rezultat koji proizilazi iz integrisanog rada više softvera.*

*Ključne reči: adaptibilno upravljanje, mikrosimulacije, upravljanje saobraćajem*

### 1. UVOD

Mikrosimulacioni modeli imaju značajnu ulogu u razumevanju pokazatelja uslova u saobraćajnom toku na mreži ulica. Napredne računarske tehnologije i razvoj novih matematičkih modela doveli su do velikih nadogradnji mikrosimulacionih modela u cilju što pouzdanijeg prikaza realnih uslova u saobraćajnom toku [1]. Simulacija kao alat, može se koristiti za testiranje različitih scenarija i vizualizaciju trenutnih uslova u saobraćaju. Pored toga, simulacije su bezbednije, jeftinije i brže nego istraživanja na terenu, te se često koriste kao alternativni način sprovođenja eksperimenata i analiza [2]. Platforme za mikrosimulaciju saobraćaja zauzimaju značajno mesto u sistemima adaptibilnog upravljanja u potrazi za optimizovanim rešenjima.

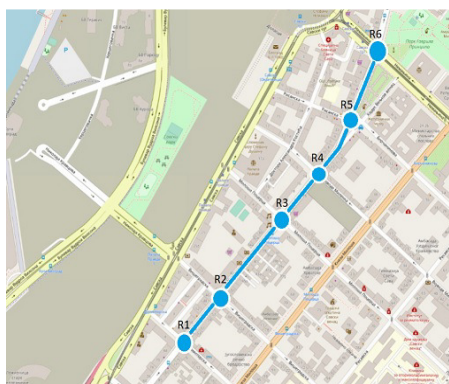
Za primenu adaptibilnog sistema upravljanja neophodno je da svi prilazi raskrsnici budu pokriveni detektorskim resursima za detekciju saobraćajnog zahteva (motornih vozila, pešaka i tramvaja). Kako je proces instalacije induktivnih petlji veoma složen jer zahteva pribavljanje neophodnih dozvola od nadležnih institucija, sečenje kolovoza, kopanje kanalizacije i privremenu promenu režima saobraćaja, postavlja se pitanje da li se na pojedinim jednostavnijim potezima/koridorima može postići ista efikasnost u upravljanju svetlosnim signalima sa manjim brojem induktivnih petlji u odnosu na slučaj potpune pokrivenosti istim? Upravo je u ovom radu, uz pomoć PTV VISSIM simulacionog modela u integrisanom radu PTV Balance i PTV Epics modula, kao i SAUS softvera,

izvršeno testiranje mogućih scenarija upravljanja sa različitim brojem i dispozicijom detektora motornih vozila na potezu Sarajevske ulice u Beogradu.

## 2. POLOŽAJ I FUNKCIONALNE KARAKTERISTIKE

Sarajevska ulica nalazi se na teritoriji grada Beograda. Prostire se od ulice Drinska do ulice Nemanjina, u smeru ka Zelenom vencu. Svojim položajem, daje značajan doprinos opsluživanja saobraćajnih tokova koji iz smera Bulevara vojvode Mišića ili sa autoputa (od denivelisane raskrsnice „Mostar“) gravitiraju centru grada, tačnije takozvanom „Savskom amfiteatru“. U režimskom pogledu, njena uloga je da, skupa sa Savskom ulicom rastereti Ulicu kneza Miloša (u smeru ka centru grada). Sarajevska ulica predstavlja jednosmeran linijski koridor u smeru ka Nemanjinoj ulici, koji čine šest raskrsnica i niz bočnih prilaza, od kojih je većina jednosmerna. Raskrsnice koje formiraju koridor Sarajevske ulice su:

- R1: Sarajevska – Durmitorska,
- R2: Sarajevska – Višegradska,
- R3: Sarajevska – Miloša Pocerca,
- R4: Sarajevska – Vojvode Milenka,
- R5: Sarajevska – Risanska,
- R6: Sarajevska – Nemanjina.



*Slika 1: Prostorni obuhvat Sarajevske ulice*

Prilaze duž Sarajevske ulice formiraju tri saobraćajne trake, od kojih je krajnja desna žuta traka namenjena kretanju vozila javnog gradskog prevoza putnika. Svojim položajem i funkcionalnošću, Sarajevska ulica predstavlja pogodan poligon u ispitivanju hipoteze da se na tako relativno jednostavnom potezu sa manjim brojem detektora za detekciju motornih vozila ne naruši efikasnost u upravljanju svetlosnim signalima. Efekte takvog pristupa u upravljanju signalima omogućavaju takozvani logički (virtuelni detektori), uz pomoć kojih se podaci sa detektora o vremenu putovanja vozila na jednoj raskrsnici prosleđuju semaforskom uređaju na narednoj raskrsnici. Na slici 1 prikazan je prostorni obuhvat poteza Sarajevske ulice.

## 3. PROGRAMSKI MODULI PTV EPICS I PTV BALANCE

PTV EPICS (Entire Priority Intersection Control System) je programski modul integrisan u savremeni semaforski uređaj KSS-1.2 koji poseduje mogućnost optimizacije signalnih

planova u vrlo kratkom roku (do sto sekundi). PTV EPICS svake sekunde prognozira saobraćaj i optimizira upravljanje za narednih 100 sekundi na osnovu trenutnog saobraćajnog zahteva na svakoj od saobraćajnih traka raskrsnice, trenutne dužine redova, informacija o javnom prevozu i najave pešaka na tasterima. Podaci se prikupljaju pomoću detektora. [3].

PTV BALANCE (Balancing Adaptive Network Control Method), za razliku od PTV Epics, predstavlja modul za upravljanje integrisanim sistemom raskrsnica na uličnoj mreži. Softver procenjuje saobraćajni zahtev na osnovu podataka sa detektora i vrši optimizaciju u koraku od pet minuta. Na osnovu saobraćajnog zahteva, PTV Balance vrednuje pokazatelje efikasnosti upravljanja (vremenske gubitke, broj zaustavljanja i dužinu redova) za različite kombinacije trajanja ciklusa, ofseta i preraspodelu zelenog vremena u ciklusu za svaku signalnu grupu ponaosob u obliku „Performance Index” - a (PI), kao pokazatelja efikasnosti upravljanja čiju vrednost treba minimizirati. PI se računa na osnovu formule:

$$PI(x) = \sum_{sg \in SG} \alpha_{sg} (a * D_{sg}(x) + b * L_{sg}(x) + c * S_{sg}(x)) \quad (1)$$

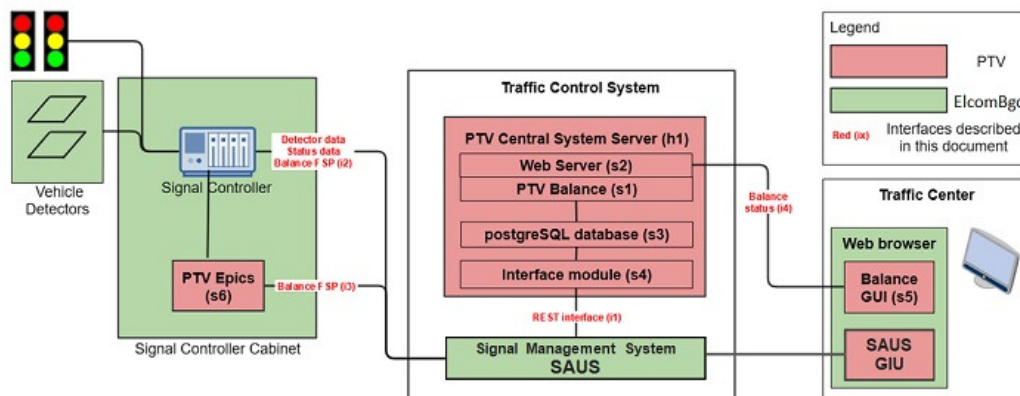
Gde su:

- x - Signalni plan;
- sg - Signalna grupa;
- $\alpha$  - Težinski faktor signalne grupe;
- D - Vremenski gubici;
- L - Dužina reda vozila;
- S - Broj zaustavljanja vozila;
- a, b i c - težinski faktori pokazatelja. [4]

PTV Epics i PTV Balance princip optimizacije upravljanja ogleda se u sledećem:

- U PTV VISSIM softveru je pripremljen detaljan saobraćajni model referentne ulične mreže;
- Iz PTV VISUM softvera se konsultuje dinamička baza podataka o referentnom saobraćajnom zahtevu;
- Detekcijom i najavom korisnika se u realnom vremenu sagledava aktuelan saobraćajni zahtev;
- PTV EPICS optimizira signalni plan individualne raskrsnice na osnovu njenim prilazima detektovanog saobraćajnog zahteva i prognoze njegove kratkoročne promene (u narednih 100 s);
- PTV Balance na osnovu aktuelnog saobraćajnog zahteva i podataka iz VISUM dinamičke baze vrši estimaciju saobraćajnog zahteva za narednih pet minuta, koriguje PTV EPICS „signalne planove” svih individualnih raskrsnica i međusobno ih sinhronizuje, kako bi realizovao mrežni pristup;
- Parametri upravljanja simulacije sa minimalnim PI se posredstvom EPICS – a šalju uređajima na izvršenje.

Na slici 2 prikazana je PTV BALANCE – EPICS arhitektura na kojoj su crvenom bojom označene PTV komponente hardvera i softvera, dok su zelenom bojom označe ElcomBgd komponente, o kojima će u nastavku biti više reči.



Slika 2: PTV BALANCE – EPICS arhitektura

#### 4. PARAMETRIZACIJA VISSIM MODELA

Za izradu VISSIM modela korišćena je aCAD podloga na kojoj je ucrtana sveobuhvatna geometrija koridora, uključujući saobraćajne trake, broj i širinu traka, horizontalnu saobraćajnu signalizaciju i dispoziciju signala. Nakon formiranja inicijalne geometrijske podloge, za svaki krak pojedinačne raskrsnice u potezu definisana je zona za koju se vezuje I-C (Izorno – ciljna) matrica putovanja u cilju opterećenja mreže i formiranja prostorne raspodele kretanja. I-C matrica je formirana za ukupno 22 zone na osnovu podataka iz Transportnog modela grada Beograda, za period od 07:00 do 08:00. Za izabrani period je uočeno da je upravo taj period najopterećeniji u toku dana. Isti vremenski okvir je izabran i za period realizacije VISSIM simulacije.

Sljedeći korak u izradi modela je kreiranje semaforских uređaja (kontrolera) za svaku od raskrsnica, koje podrazumeva sledeće korake:

- Kreiranje naziva uređaja prema raskrsnici kojoj pripadaju;
- Izbor tipa rada kontrolera (Epics/Balance-Local);
- Definisane signalnih grupa;
- Unos prethodno proračunate matrice zaštitnih vremena;
- Kreiranje faza i signalnih programa;
- Definisane prelaznih sekvenci.

Sve raskrsnice su u modelu opremljene odgovarajućim detektorskim resursima za detekciju saobraćajnog zahteva (motornih vozila, pešaka, tramvaja) u realnom vremenu. Uobičajenom klasičnom tehnologijom detekcije – induktivnim petljama u kolovozu opremljene su sve prilazne trake bočnih prilaza i raskrsnica R1, R3 i R5 (Sarajevska – Durmitorska, Sarajevska – Miloša Pocerca i Sarajevska – Nemanjina). Tasteri za najavu pešaka su postavljeni na svim prelazima preko glavnog saobraćajnog toka poteza i na prelazima preko Nemanjine ulice, a detektori najave i odjave tramvaja su primenjeni duž Nemanjine ulice.

##### 4.1. Logički „virtuelni“ detektori

Zahvaljujući režimskoj i funkcionalnoj jednostavnosti predmetne saobraćajne mreže (jednosmeran potez sa nizom jednosmernih poprečnih veza), kao racionalno rešenje se pokazala primena „virtuelnih detektora“ na pojedinim mikro-lokacijama glavnog pravca.

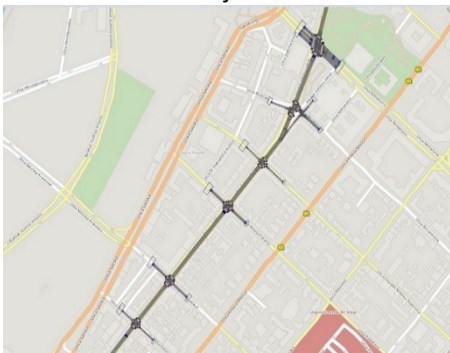
Na saobraćajnim trakama Sarajevske ulice kojima se prilazi raskrsnicama R2, R4 i R5 (Sarajevska – Višegradska, Sarajevska – Vojode Milenka i Sarajevska – Risanska) implementirani su u okvirima softvera za adaptibilno upravljanje logički (virtuelni detektori) vozila. Njihova primena je takva da se isti unose u PTV VISSIM model kao i svi drugi detektori za detekciju motornih vozila. Logički detektori se dodele pripadajućem kontroleru i signalnoj grupi uz definisanje njihovih težinskih faktora i vremena putovanja od pozicije detektora do linije zaustavljanja, pri usvojenoj brzini od 50 km/h (ova vrednost može biti promenljiva). Ovi detektori se ne postavljaju u realnim uslovima na terenu, već samo u modelu u cilju formiranja .sig fajla koji se šalje kontrolerima na izvršenje.

Definisani signalni planovi (120, 110, 100 i 90s) predstavljaju osnovne, fiksne planove namenjene funkcionisanju projektovanog sistema svetlosne saobraćajne signalizacije u periodu neposrednog sistemskog prikupljanja informacije o saobraćajnom zahtevu, i služiće kao polazna osnova za dalju sistemsku razradu adaptibilnog upravljanja na predmetnom saobraćajnom objektu.

Pojedina stanja u funkcionalnom ciklusu rada signala na raskrsnici mogu biti produžavana ili skraćivana u interesu opsluge korisnika ili bolje sinhronizacije sa referentnim susednim objektima, ali i izostati ukoliko za njihovom primenom nema inicijalnog saobraćajnog zahteva.

Prelazne sekvence između svih predviđenih kombinacija prelaska iz jedno u drugo stanje definisane su fiksno i, kao činilac osnovne bezbednosti saobraćajnog procesa, ne menjaju se pod uticajem bilo kog od činilaca fleksibilnog upravljanja.

Posredstvom težinskih faktora jasno se definiše i modelira relativan prioritet pojedinih prilaza, smerova ili saobraćajnih traka u okviru raskrsnice. Na slici 3 prikazan je PTV VISSIM model Sarajevske ulice.



Slika 3: PTV VISSIM model Sarajevske ulice

## 5. ANALIZA REZULTATA

Za ceo potez od šest raskrsnica je napravljen detaljan saobraćajni model u PTV VISSIM softveru, u kome su testirane i verifikovane primenjene upravljačke varijante. Takođe, za svako od tih rešenja je napravljen i PTV VISUM model, koji je neophodan za pokretanje PTV Balance instance i evaluaciju vrednosti PI indexa.

Pored rezultata iz PTV VISSIM i PTV VISUM simulacije, za praćenje rada kontrolera i detektora u realnom vremenu korišćen je i SAUS softver (ElcomBgd). SAUS softver namenjen je daljinskom nadzoru funkcionalnosti i ispravnosti i upravljanju radom semaforских uređaja KSS-1.2. U cilju posmatranja PTV Balance optimizacije, uz pomoć

SAUS softvera praćen je rad signala, konfiguracija kontrolera, zauzetost detektora, trenutni aktivni programi kao i PV (Prostor – vreme) dijagram zelenog talasa.

Varijante koje su razmatrane razlikuju se u broju i dispoziciji induktivnih petlji duž Sarajevske ulice.

Varijanta 1 podrazumeva postavljanje detektora na prilazu Durmitorske ulice na 35m od zaustavne linije i na 1m od zaustavne linije na prilazu Nemanjine ulice.

Varijanta 2 podrazumeva da su isti postavljeni na prilazima Durmitorske na 35m od zaustavne linije, Miloša Pocerca i Nemanjine ulice na 1m od zaustavne linije. Informacija sa detektora na raskrsnici Durmitorske ulice prosleđivala bi se na kontroler susedne Višegradske ulice, dok bi se informacija sa detektora na Miloša Poceraca prosleđivala kontrolerima na naredne dve raskrsnice (Vojvode Milenka i Risanka).

Varijanta 3 se razlikuje od Varijante 2 u dispoziciji detektora na prilazu raskrsnice Miloša Pocerca. U ovoj varijanti, ideja je bila da se detektori postave po prolasku prethodne raskrsnice R2 (Sarajevska – Višegradska), pri čemu bi služili za istovremenu odjavu sa R2 i najavu za narednu R3 raskrsnicu (Sarajevska – Miloša Pocerca).

*Tabela 1: Rezultati PTV VISSIM simulacije*

Raskrsnica	VARIJANTA 1			VARIJANTA 2			VARIJANTA 3		
	NU	QLen (m)	VehDelay (s/veh)	NU	QLen (m)	VehDelay (s/veh)	NU	QLen (m)	VehDelay (s/veh)
R1	B	15.57	18.24	B	13.28	15.92	B	15.53	18.24
R2	A	10.47	6.38	A	9.19	5.41	A	10.5	6.3
R3	B	8.04	11.35	A	6.83	9.39	B	8.92	11.37
R4	A	3.75	7.27	A	3.92	4.83	A	4.76	6.61
R5	C	11.94	30.07	A	3.33	5.57	A	4.29	7.55
R6	E	38.91	55.43	C	17.12	27.77	C	21.23	30.41

Rezultati PTV VISSIM (PTV EPICS) simulacije za nekoliko upravljačkih varijanti prikazani su u tabeli 1. Kao pokazatelji efikasnosti korišćeni su nivo usluge (NU), dužina reda (QLen) i vremenski gubici (VehDelay) za svaku od raskrsnica.

Sve tri varijante za prve četiri raskrsnice u koridoru (R1, R2, R3 i R4) pružaju nivo usluge A i B, kao najviši nivo kvaliteta opsluge. Raskrsnice R5 (Sarajevska – Risanska) i R6 ( Sarajevska – Nemanjina) svojim složenijim geometrijama i primenjenim režimima predstavljaju „kritične“ raskrsnice, na kojima se zapravo vidi razlika u kvalitetu opsluge svake od varijanti.

Varijanta 1 na raskrsnici sa Nemanjinom ulicom proizvodi velike vremenske gubitke (55.43 s/veh) i dužinu reda (11.94 m), koji rezultiraju najlošijim kvalitetom opsluge E, dok na raskrsnici sa Risanskom ulicom pruža prihvatljiviji nivo usluge C.

Varijanta 2 daje slične rezultate kao i Varijanta 3, ali ono po čemu se ove dve varijante razlikuju je nivo usluge na R3 (Sarajevska – Miloša Pocerca), pri čemu Varijanta 2 pruža nivo usluge A, dok Varijanta 3 za istu raskrsnicu pruža nivo usluge B. Takođe, primećeno je i da iz Varijante 2 proizilazi manja dužina reda na raskrsnici sa Nemanjinom ulicom.

Nivo usluge C na R6 (Sarajevska – Nemanjina) je prihvatljiva vrednost kao rešenje, uzimajući u obzir da se Sarajevska ulica tretira kao sporedni pravac na raskrsnici sa Nemanjinom ulicom.

Na osnovu analize rezultata, usvojena je Varijanta 2, za koju je napravljena i PTV VISUM simulacija u cilju pokretanja PTV Balance instance. Na slici 4 prikazan je PTV VISUM model Sarajevske ulice za usvojenu varijantu rešenja.

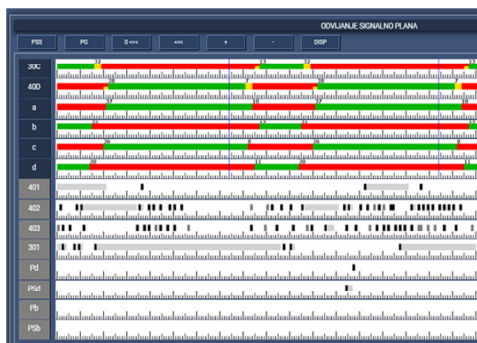
U PTV VISUM modelu mogu se videti rezultati PTV Balance optimizacije, kao što su i vizuelni prikaz LOS – a (Level of Service – Nivo usluge), saturacija signala, vremenski gubici, trenutno aktivni signalni program, prosečna brzina kretanja za svaku od signalnih grupa i ono ključno, grafička intepretacija vrednosti PI indeksa pre i nakon optimizacije.



Slika 4: PTV VISUM model Sarajevske ulice

Kriterijum PTV Balance optimalnog signalnog plana je minimalna vrednost PI indeksa, koja se određuje vrednovanjem velikog broja simulacija opsluživanja prognoziranog saobraćajnog zahteva uz kombinaciju promene trajanja ciklusa, ofseta i raspodele konkurentnih zelenih vremena. Na grafiku slike 4 žutom bojom je prikazana vrednost PI indeksa pre PTV Balance optimizacije (60,201), dok je plavom bojom prikazana vrednost posle optimizacije (53,853). Parametri upravljanja simulacije sa minimalnim PI se posredstvom EPICS – a šalju uređajima na izvršenje.

Za dodatnu kontrolu i praćenje rada uređaja korišćen je SAUS softver. Na slici 5 prikazan je plan odvijanja signalnih programa i zauzetost detektora u SAUS softveru. Pored ovih parametara, praćen je i razvoj PV dijagrama, kao i istorijski pregled rada kontrolera.



Slika 5: Plan odvijanja signalnih programa i zauzetost detektora u SAUS softveru

## 6. ZAKLJUČAK

Jedan od ciljeva ovog rada bio je prikaz primera integrisanog rada PTV Epics, PTV Balance i SAUS softvera u adaptibilnom upravljanju saobraćajem na koridoru Sarajevske ulice uz dodatno ispitavanje hipoteze, da se na tako jednostavnijim potezima/koridorima kao što je Sarajevska ulica, sa manjim brojem detektora za detekciju motornih vozila ne naruši efikasnost u adaptibilnom upravljanju saobraćajem, kao u slučaju potpune pokrivenosti istim.

U konkretnom primeru analiza rezultata pokazala je da se primena logičkih (virtuelnih) detektora pokazala kao racionalno rešenje. Usvojena Varijanta 2 pruža zadovoljavajuće rezultate u kvalitetu opsluge.

Konačno, na saobraćajnim inženjerima je da kontinuiranim praćenjem rada sistema, posredstvom težinskih faktora, dodele prioritet pojedinim prilazima, smerovima ili saobraćajnim trakama i da na taj način dodatno poboljšaju kvalitet u opsluživanju.

### LITERATURA

- [1] Narayana, R. Haneen F. (2021). Evolution of Traffic Microsimulation and Its Use for Modeling Connected and Automated Vehicles Narayana Raju and Haneen Farah.
- [2] Stanković, S. Čelar N. Kocić A. (2018). Kalibracija Vissim -a za nezaštićeno levo skretanje na signalisanim raskrsnicama u Beogradu.
- [3] PTV EPICS manual, 2016.
- [4] PTV BALANCE manual, 2017.

### SUMMARY

## IMPLEMENTATION OF INTEGRATION OF PTV EPICS, PTV BALANCE AND SAUS SOFTWARE IN ADAPTIVE TRAFFIC CONTROL ON THE CORRIDOR

*Abstract: Advancement of technic and technology is bringing innovation in many areas, also including system of adaptive traffic control system. Adaptive traffic control system represents solution for improvement of traffics flows in traffic corridors or zones with use of simulation. The improvements that come from adaptive traffic control (shorter time of travel, better fuel economy, decreasing the bad impact to the environment, better happiness of users) is showing the importance of usage of these kinds of systems. In this study we are presenting comparative analysis of several different variants of adaptive traffic control on corridor of Sarajevska street in Belgrade. Also, there is the description of the software that were used for simulation of adaptive control mode – PTV Epics and Balance modules in integrated workflow for traffic control on micro and macro level, and SAUS software for analysis of the parameters of quality of service and visual display of the same. Main goal of this study is display of effectiveness of simulation as desirable tool for traffic control trough analysis of parameters of efficiency, which are produced by integrated work of multiple software tools.*

*Key words: adaptive control, microsimulation, traffic control*