

Primena i analiza rada PTV Balance softverske instance u uslovima realnog saobraćajnog sistema⁹

Smiljana Pavlović, ELCOM BGD DOO, Beograd, smiljana.pavlovic@elcombgd.rs

Margareta Ilić, ELCOM BGD DOO, Beograd, margareta.ilic@elcombgd.rs

Stamenka Stanković, Saobraćajni fakultet, Beograd, s.stankovic@sf.bg.ac.rs

Konstantan rast saobraćajnih zahteva nameće potrebu za efikasnijim, bezbednijim i ekološki prihvatljivijim načinima upravljanja saobraćajem. Uvođenjem svetlosnih signala i semaforizacijom raskrsnice obezbeđuje se maksimalan kapacitet i efikasno iskorišćenje raspoložive saobraćajne infrastrukture. Na najvišem hijerarhijskom nivou upravljanja saobraćajem primenjuje se adaptibilno upravljanje grupom raskrsnica u okviru definisane zone ili koridora, sa ciljem ostvarivanja koordinisanog rada pojedinačnih sistema upravljanja i poboljšanja performansi saobraćajne mreže u celini.

Jedan od softverskih paketa koji omogućava primenu adaptibilnog sistema na mreži je PTV Balance modul koji je namenjen upravljanju na makro nivou. U ovom radu biće prikazane mogućnosti Balance instanci implementiranih u realnim uslovima, odnosno na mreži saobraćajnica u Kotoru i Beogradu, sa posebnim osvrtom na uticaj kritičnih čvorova na preostale raskrsnice obuhvaćene Balance sistemom. PTV Balance je integrisan sa simulacionim softverima PTV Visum i PTV Vissim, stoga je izbor upravljačkih parametara zasnovan na rezultatima simulacionog modela i minimizaciji vrednosti PI indeksa kao funkcije kvaliteta saobraćajnog procesa. Simulacioni modeli izrađeni u PTV Vissim softveru omogućili su analizu i poređenje izvedenih i potencijalnih rešenja, kao i vrednovanje njihovih efekata u cilju odabira optimalnih rešenja. Cilj rada je da se kroz analizu ulaznih podataka, izlaznih pokazatelja efikasnosti i istorijskih podataka o radu semaforских kontrolera, prikaže princip funkcionisanja PTV Balance modula i utvrdi njegova sposobnost prilagođavanja upravljačkih parametara promenama saobraćajnih zahteva u realnom vremenu.

Ključne reči: adaptibilno upravljanje, PTV Balance, simulacija

1 UVOD

U savremenom urbanom okruženju, efikasno upravljanje saobraćajnim tokovima predstavlja jedan od ključnih preduslova za unapređenje mobilnosti i pouzdanosti transportnog sistema. Sa porastom stepena motorizacije i intenziteta saobraćaja, razvijena su različita rešenja za upravljanje, kako pojedinačnim raskrsnicama, tako i grupama raskrsnica u realnom vremenu. Najviši hijerarhijski nivo upravljanja podrazumeva koordinisan rad dve i više raskrsnica pozicioniranih u zoni ili koridoru. Cilj ovakvog načina upravljanja je da korišćenjem detektorskih resursa optimizuje parametre rada svetlosnih signala uključujući dužinu ciklusa, raspodelu zelenih vremena i pomak istih.

⁹ CC-BY licenca

U cilju analize, simulacije i optimizacije različitih strategija upravljanja, primenjuju se brojni softverski alati za modeliranje saobraćajnih sistema. PTV Vision predstavlja integrisani softverski paket koji obuhvata PTV Visum za makroskopsko modeliranje i PTV Vissim za mikro simulaciju saobraćajnih tokova. U oblasti adaptibilnog upravljanja, poseban značaj imaju PTV Epics i PTV Balance, koji omogućavaju optimizaciju rada svetlosne signalizacije.

Simulacija saobraćajnih tokova predstavlja polaznu osnovu za analizu i vrednovanje različitih strategija upravljanja, dok primena adaptibilnog sistema u realnim uslovima podrazumeva kontinuiranu razmenu podataka između detektorskih sistema, kontrolera i algoritma upravljanja, kao i prilagođavanje upravljačkih parametara promenljivim uslovima saobraćajnog toka. U ovom radu posebna pažnja je posvećena analizi sistema u kojima je primenjen PTV Balance modul, sa ciljem sagledavanja njegovog načina rada, uslova primene i uticaja na funkcionisanje koordinisanog sistema svetlosne signalizacije. Fokus rada usmeren je na pojedinačne raskrsnice u Kotoru i Beogradu, koje zajedno sa ostalim raskrsnicama pozicioniranim u okviru iste zone, čine deo jedinstvene PTV Balance instance. Prilikom analize posmatran je rad kontrolera tokom različitih nivoa saobraćajnog opterećenja, pri čemu su praćene promene realizovanih upravljačkih parametara i njihov uticaj na pokazatelje fiksasnosti.

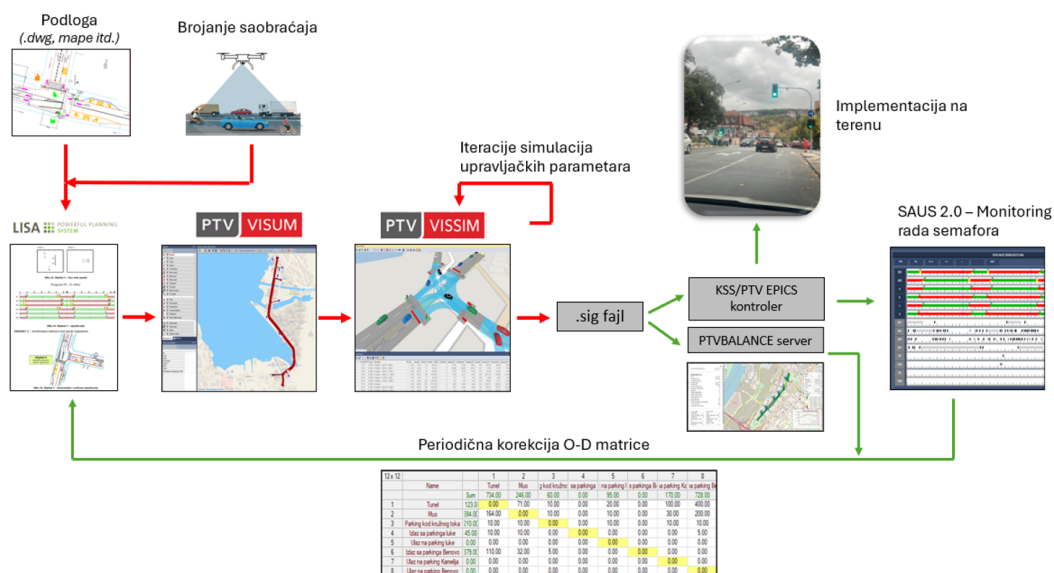
2 PTV BALANCE

PTV Balance (Balancing Adaptive Network Control Method) predstavlja softver za adaptibilno upravljanje integrisanim sistemom signalisanih raskrsnica na nivou zone ili koridora. Njegov rad zasniva se na prikupljanju i obradi podataka o aktuelnom saobraćajnom zahtevu putem detektorskih resursa. U zavisnosti od konfiguracije sistema, registruju se različite vrste zahteva učesnika u saobraćaju – motornih vozila, pešaka, biciklista i vozila javnog prevoza – čiji se podaci koriste kao ulaz za optimizaciju upravljačkih parametara. Posebnu mogućnost predstavlja primena logičkih, odnosno virtuelnih detektora, koji se fizički ne postavljaju na terenu, već se definišu u simulacionom modelu i dodeljuju odgovarajućim kontrolerima i signalnim grupama. Na taj način moguće je preneti informaciju o saobraćajnom zahtevu, odnosno vremenu putovanja vozila sa jedne raskrsnice ka narednoj, čime se obezbeđuje najavljivanje saobraćajnog toka bez dodatne fizičke detekcije na terenu. Za svaku signalnu grupu mogu se definisati težinski faktori, a za svaki detektor vreme putovanja do linije zaustavljanja, čime se uticaj pojedinih detektorskih informacija prilagođava strukturi i potrebama sistema.

Na osnovu aktuelnog saobraćajnog zahteva i podataka iz dinamičke baze PTV Visum, PTV Balance vrši procenu saobraćajnih tokova i petominutnim intervalima optimizuje parametre signalnih planova. Za različite kombinacije dužine ciklusa, pomaka zelenih vremena i njihove raspodele izračunava se Performance Index (PI), koji predstavlja meru kvaliteta upravljanja i čija se vrednost nastoji minimizirati. U formiranju PI indeksa uzimaju se u obzir vremenski gubici, dužine redova i broj zaustavljanja, uz primenu odgovarajućih težinskih faktora po signalnim grupama. Izabrano optimalno rešenje, odnosno kombinacija upravljačkih parametara sa minimalnom vrednošću PI indeksa, prosleđuje se sistemu za izvršenje, čime se omogućava kontinuirano prilagođavanje rada koordinisanog sistema promenama saobraćajnog zahteva.

U nastavku, na slici 1 prikazan je celokupan proces implementacije i monitoringa adaptibilnog sistema – od prikupljanja podataka, definisanja signalnih planova, formiranja

modela i simulacija u PTV softverskim paketima, do integrisanja .sig fajla sa KSS semaforiskim uređajem putem EPICS modula, pokretanja Balance instance, monitoringa putem SAUS 2.0 servera i periodične korekcije O-D matrice u skladu sa aktuelnim promenama na terenu.



Slika 1. Proces implementacije i monitoringa adaptibilnog sistema

3 ANALIZA PRIMENE SISTEMA ZA ADAPTIBILNO UPRAVLJANJE SAOBRAĆAJEM

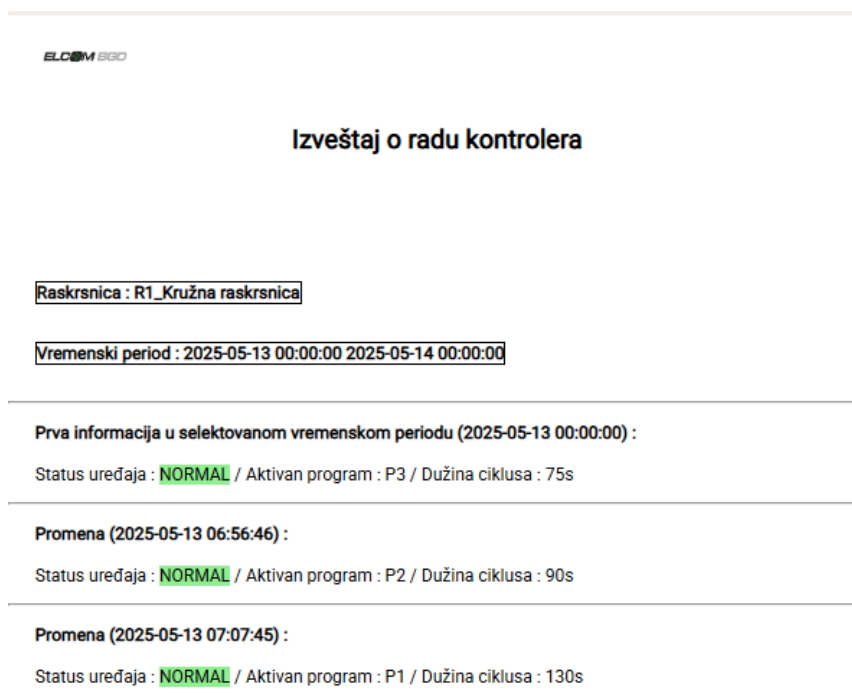
Primena adaptibilnog upravljanja saobraćajem u ovom radu razmatra se kroz prikaz primenjenog sistema u Kotoru na magistralnom putu M1 i u Beogradu u zoni „Novosadski put“. Posebna pažnja posvećena je odnosu između saobraćajnog zahteva i parametara rada svetlosnih signala: dužine ciklusa, trajanja zelenog vremena i rasporeda opsluge signalnih grupa. Analiza ovih parametara omogućava sagledavanje načina na koji se upravljanje prilagođava promenljivim uslovima saobraćajnog toka.

3.1 Primena sistema PTV Balance u Kotoru

PTV Balance softver primenjen je na magistralnom putu M1 u Kotoru, pri čemu Balance instanca obuhvata devet raskrsnica na predmetnom koridoru. Za detaljniju evaluaciju odabrana je kružna raskrsnica, koja predstavlja merodavnu raskrsnicu posmatrane mreže. Analiza rada sistema izvršena je za dan kada je saobraćajni kontroler radio u normalnom režimu rada, odnosno bila su primenjena tri vozačka signalna pojma. Projektom su definisane tri vozačke i dve pešačke signalne grupe. Na prilazima raskrsnici na pravcu M1 pozicionirane su po dve induktivne petlje na prilazima i jedna na izlazu, dok se na pravcu iz Njegoševe ulice instalirane tri detektorske petlje na prilazu i jedna na izlazu iz raskrsnice.

Analiza podataka za period od 06.00h do 23.00h pokazuje da je PTV Balance tokom posmatranog vremena primenio tri različite dužine ciklusa na kružnoj raskrsnici, prateći porast saobraćajnog zahteva. Pri nižim vrednostima protoka, primenjivan je ciklus od 75

sekundi. Sa porastom protoka, trajanje ciklusa je povećano na 90 sekundi, da bi pri daljem, iako znatno manjem porastu protoka vozila, sistem birao ciklus od 130 sekundi, koji je ostao nepromenjen tokom čitavog dana, u skladu sa velikim vrednostima saobraćajnog zahteva. Oko 22.00 časa, dogodila se promena signalnog programa, odnosno uređaj je radio u ciklusu od 75 sekundi. Ovakva progresija potvrđuje da PTV Balance dužinu ciklusa dinamički prilagođava intenzitetu saobraćajnog zahteva, birajući kraći ciklus u periodima manjih saobraćajnih opterećenja, a duži ciklus kada sa porastom saobraćajnih zahteva. U nastavku je prikazan izveštaj o radu kontrolera generisan u sistemu za automatsko upravljanje saobraćajem (SAUS 2.0).



Slika 2. Izveštaj iz kontrolera o promenama ciklusa (SAUS 2.0, ElcomBgd)

U tabeli 1 prikazane su vrednosti protoka po signalnim grupama na osnovu kojih je Balance menjao dužine ciklusa i vreme promene zabeleženo u kontroleru.

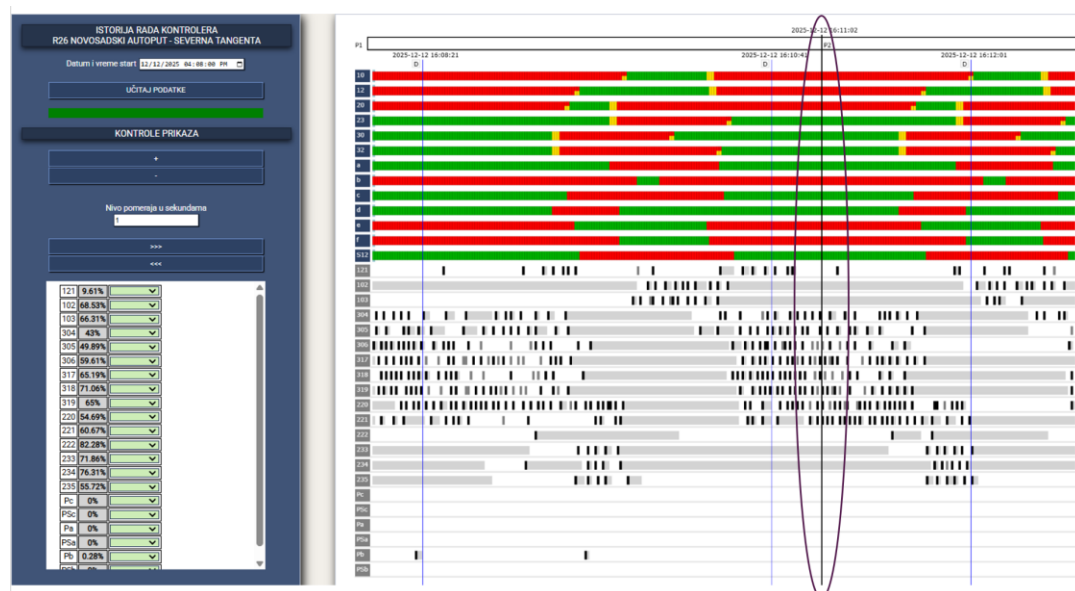
Tabela 1. Vrednosti protoka prema signalnim grupama i trenuci izmene ciklusa

Vreme (čas)	Protok V1 (voz/h)	Protok V2 (voz/h)	Protok V3 (voz/h)	Ciklus (s)	Promena
06.55	377	69	296	75	Pre promene
06.56	428	84	379	90	75 s - 90 s
07.06	737	210	739	90	Pre promene
07.07	740	205	726	130	90 s – 130 s
21.57	343	88	327	130	Pre promene
21.59	320	114	335	75	130 s – 75 s

3.2 Primena sistema PTV Balance na Novosadskom putu, Beograd

PTV Balance instanca implementirana zoni „Novosadski put“ obuhvata 11 raskrsnica koje čine jednu koordinacionu grupu. U cilju detaljnijeg prikaza rada PTV Balance sistema, analiziran je rad sistema na raskrsnici Novosadski put – Severna tangenta. Na prilazu ka Pupinovom mostu formirane su dve saobraćajne trake za smer pravo (SG30) i dve saobraćajne trake za skretanje levo (SG32). Na suprotnom prilazu nalaze se dve saobraćajne trake za kretanje pravo (SG10) i jedna saobraćajna traka za kanalisano desno skretanje (SG12). Na prilazu sa Novosadskog puta definisane su dve signalne grupe – SG20 za saobraćajne tokove levo i SG23 za tokove desno.

Sposobnost PTV Balance modula da sagleda stanje na susednim raskrsnicama, a ne samo lokalnu potražnju posmatrane signalne grupe, ilustruje primer zabeležen na raskrsnici "Lakat krivina", neposredno pre Pupinovog mosta. Iako je signalna grupa u posmatranom trenutku beležila visok broj detektovanih vozila, Balance je doneo odluku da joj skрати zeleno vreme, prepoznavši istovremeno visoku zauzetost detektora na susednim prilazima. Poređenjem sa istim danom u nedelji (petak) i istim vremenskim periodom, utvrđeno je da je sistem u uobičajenim uslovima toj istoj signalnoj grupi dodeljivao znatno veći udeo zelenog vremena, što dodatno potvrđuje da je skraćivanje predstavljalo direktnu reakciju na zabeleženo stanje na susednim prilazima, a ne uobičajen obrazac rada. Ovakvo ponašanje proizilazi iz same prirode Balance algoritma — s obzirom da modul upravlja celom koordinacionom grupom raskrsnica kao jedinstvenim sistemom, prilikom optimizacije PI indeksa uzima u obzir podatke sa detektora čitave instance, a ne isključivo prilaza kojim se u datom trenutku upravlja.



Slika 3. Istorijski prikaz rada kontrolera na raskrsnici Novosadski put – Severna tangenta SAUS 2.0

4 ZAKLJUČAK

Adaptibilno upravljanje saobraćajem predstavlja značajan pristup unapređenju rada svetlosnih signala u uslovima promenljivog saobraćajnog opterećenja. Mogućnost prilagođavanja dužine ciklusa, trajanja zelenog vremena i rasporeda opsluge signalnih grupa omogućava fleksibilnije upravljanje i bolje usklađivanje rada svetlosnih signala signalnog sa aktuelnim saobraćajnim zahtevima. Prikazani primeri ukazuju na značaj sagledavanja lokalnih uslova prilikom primene ovih sistema. Karakteristike saobraćajne mreže, raspodela opterećenja i kvalitet prikupljenih podataka predstavljaju važne preduslove za odgovarajuće podešavanje i pouzdan rad adaptibilnog upravljanja. Njegova primena zahteva kontinuirano praćenje i vrednovanje rezultata, uz mogućnost daljeg prilagođavanja parametara sistema.

LITERATURA

- [1] Čelar N, Stanković S, Kajalić J 2018. Osnove upravljanja svetlosnim signalima. Beograd: Saobraćajni Fakultet.
- [2] Ilić M, 2023. Primena integracije PTV Epics, PTV Balance i SAUS 2.0 softvera u adaptibilnom upravljanju saobraćajem na koridoru

SUMMARY

Implementation and Operational Analysis of a PTV Balance Software Instance in a Real-World Traffic System

Abstract: The continuous growth in traffic demand calls for more efficient, safer, and environmentally sustainable traffic management. Traffic signal control enables the effective use of available road infrastructure and maximizes intersection capacity. At the highest hierarchical level, adaptive traffic control is applied to groups of intersections within a defined area or corridor to coordinate individual control systems and improve overall network performance.

PTV Balance is a software module designed to provide adaptive traffic control at the macroscopic level. This paper presents the capabilities of PTV Balance implementations operating in real-world conditions in the road networks of Kotor and Belgrade, with particular emphasis on the influence of critical nodes on other intersections within the controlled network. PTV Balance is integrated with PTV Visum and PTV Vissim, enabling the selection of control parameters based on simulation results and the minimization of a performance index (PI) representing traffic operational quality. Simulation models developed in PTV Vissim enabled the analysis and comparison of implemented and proposed solutions, as well as the assessment of their effects to identify optimal alternatives. Through the analysis of input data, performance indicators, and historical traffic signal controller records, this paper aims to explain the operating principles of PTV Balance and assess its ability to adjust control parameters to changes in traffic demand in real time.

Keywords: adaptive traffic control, PTV Balance, simulation