

Alternativna svetlosna signalizacija – alat dinamičkog upravljanja kapacitetom saobraćajnica³

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

Marko Cvetanović, ELCOM BGD DOO, Beograd, marko.cvetanovic@elcombgd.rs

Stefan Mladenović, ELCOM BGD DOO, Beograd, stefan.mladenovic@elcombgd.rs

Rezime: Savremeni gradovi suočavaju se sa porastom saobraćajne potražnje, dok su mogućnosti proširenja postojeće putne infrastrukture često ograničene. U takvim uslovima, alternativna svetlosna signalizacija sa izmenjivom srednjom saobraćajnom trakom omogućava preraspodelu raspoloživog kapaciteta između smerova kretanja bez značajnih građevinskih intervencija.

U radu su prikazani principi rada, sistemska struktura, bezbednosni zahtevi i pouzdanost alternativne svetlosne signalizacije, sa posebnim osvrtom na fazni prelaz između režima korišćenja srednje trake i primere realizovanih sistema. Kao pravac daljeg razvoja razmatra se dinamičko upravljanje, kod kojeg bi se režim prilagođavao detektovanim uslovima u saobraćajnom toku.

Ključne reči: alternativna svetlosna signalizacija, dinamičko upravljanje kapacitetom saobraćajnica, izmenjiva saobraćajna traka, pouzdanost sistema

1 UVOD

Razvoj inteligentnih transportnih sistema omogućio je da se upravljanje saobraćajem sve više zasniva na podacima prikupljenim neposredno sa saobraćajne mreže. Kontinuirano praćenje uslova u saobraćajnom toku omogućava prilagođavanje načina upravljanja stvarnim saobraćajnim zahtevima, što je posebno značajno na saobraćajnicama kod kojih se tokom dana menja odnos opterećenja između suprotnih smerova kretanja.

Jedno od rešenja za takve uslove jeste alternativna svetlosna signalizacija sa izmenjivom srednjom saobraćajnom trakom. Promenom smera njenog korišćenja moguće je menjati broj raspoloživih traka po smerovima, čime se kapacitet preraspodeljuje bez značajnih građevinskih intervencija [1].

Postojeći sistemi menjaju smer korišćenja srednje trake prema unapred definisanim vremenskim planovima, zasnovanim na očekivanoj dnevnoj raspodeli saobraćaja. Kako stvarni uslovi mogu odstupati od pretpostavljenih vrednosti, podaci prikupljeni u realnom vremenu omogućavaju razvoj dinamičkog upravljanja, pri kojem bi se režim prilagođavao detektovanim uslovima na osnovu definisanih parametara, graničnih vrednosti i upravljačke logike [2]. Promena smera istovremeno zahteva jasno definisane fazne prelaze i pouzdano funkcionisanje svih komponenti, zbog čega su u radu razmotreni saobraćajni aspekt upravljanja, sistemska struktura, bezbednosni zahtevi i primeri realizovanih sistema.

³ CC-BY licenca

2 ALTERNATIVNA SVETLOSNA SIGNALIZACIJA U FUNKCIJI UPRAVLJANJA KAPACITETOM SAOBRAĆAJNICA

Saobraćajni aspekt primene alternativne svetlosne signalizacije obuhvata izbor režima korišćenja srednje trake u skladu sa promenama saobraćajnih zahteva. Pri donošenju odluke o promeni režima potrebno je istovremeno sagledati uslove u oba smera kretanja, kako bi preraspodela raspoloživog kapaciteta odgovarala odnosu saobraćajnih zahteva po smerovima.

Za razvoj upravljanja prema detektovanim uslovima posebno je značajna gustina saobraćajnog toka, jer ukazuje na koncentraciju vozila duž posmatrane deonice i omogućava uočavanje promena koje ne moraju biti jasno izražene samo vrednošću protoka. U kombinaciji sa podacima o protoku i brzini, gustina može predstavljati jedan od ulaznih parametara za definisanje kriterijuma promene režima. Istraživanja u oblasti upravljanja izmenjivim trakama takođe razmatraju gustinu, odnosno zauzeće, kao osnovu za donošenje odluke o promeni smeru [1], [2].

Granične vrednosti merodavnih saobraćajnih parametara treba definisati u skladu sa karakteristikama konkretnog koridora i uslovima u oba smera kretanja. Odluka o promeni režima zato ne bi trebalo da se zasniva na pojedinačnoj vrednosti jednog parametra, već na zajedničkoj oceni uslova relevantnih za donošenje upravljačke odluke.

3 SISTEMSKA STRUKTURA ALTERNATIVNE SVETLOSNE SIGNALIZACIJE

Sistem alternativne svetlosne signalizacije čine međusobno povezane hardverske i softverske komponente namenjene nadzoru i upravljanju izmenjivom srednjom trakom. Hijerarhijska organizacija obuhvata lokalni i centralni nivo, čime su omogućeni razmena podataka o stanju sistema i uslovima u saobraćajnom toku, kao i prosleđivanje upravljačkih komandi kojima se određuju signalni pojmovi i režim korišćenja srednje trake.

3.1 *Hardverska struktura sistema*

Osnovne elemente opreme predstavljaju portali sa LED displejima raspoređeni duž posmatrane deonice. Signalnim pojmovima označavaju se dozvoljeno i zabranjeno korišćenje pojedinih traka, kao i obaveza napuštanja srednje trake tokom promene režima.

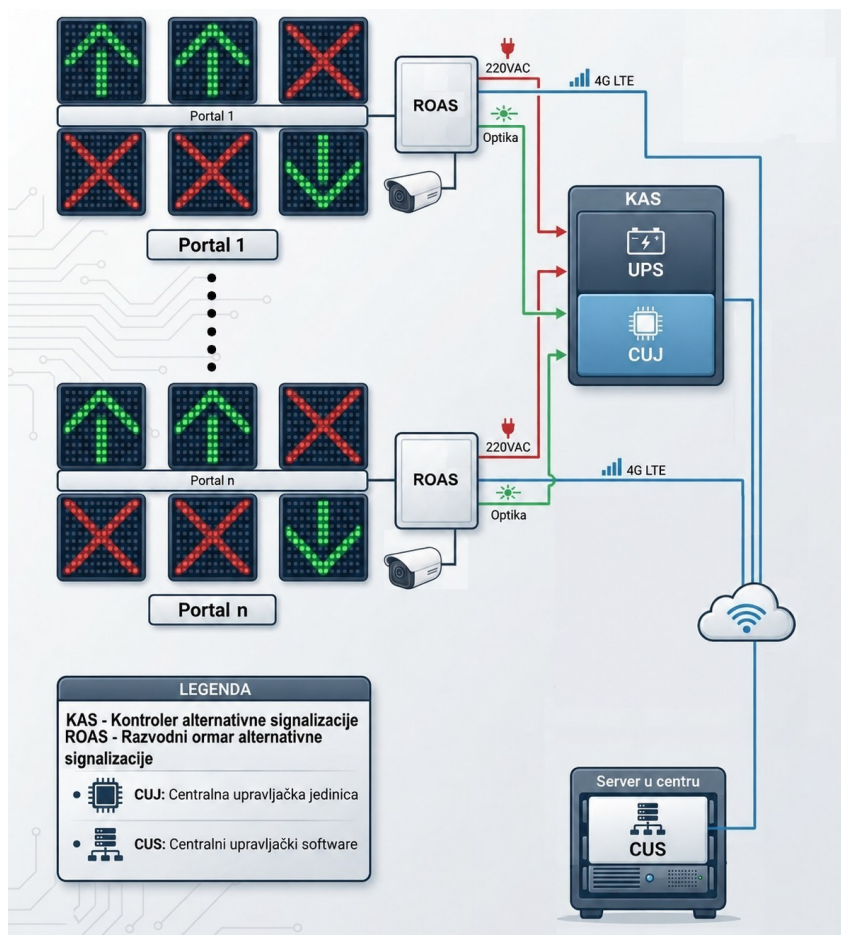
Na portalima su postavljene i kamere za detekciju saobraćaja, kojima se prikupljaju podaci relevantni za praćenje uslova u saobraćajnom toku i utvrđivanje zauzetosti srednje trake tokom promene režima njenog korišćenja.

Uz svaki portal nalazi se razvodni orman alternativne signalizacije (ROAS), preko kojeg se oprema pripadajućeg portala povezuje sa upravljačkim delom sistema. ROAS predstavlja lokalnu tačku povezivanja signalne i detekcione opreme portala.

Kontroler alternativne signalizacije (KAS) obuhvata centralnu upravljačku jedinicu (CUJ), koja omogućava izvršavanje upravljačkih komandi, kontrolu rada povezane opreme i razmenu podataka sa centralnim upravljačkim softverom (CUS). Komunikacija sa opremom pojedinačnih portala, povezanom preko pripadajućih ROAS-ova, ostvaruje se prvenstveno putem optičke mreže, dok 4G LTE predstavlja rezervni komunikacioni kanal.

Energetski deo sistema obuhvata napajanje opreme na portalima i centralne upravljačke opreme. U okviru KAS-a predviđen je UPS koji omogućava nastavak rada centralne upravljačke jedinice u slučaju prekida osnovnog napajanja.

Međusobna povezanost osnovnih hardverskih komponenti, komunikacionih veza i centralnog nivoa upravljanja prikazana je na Slici 1.

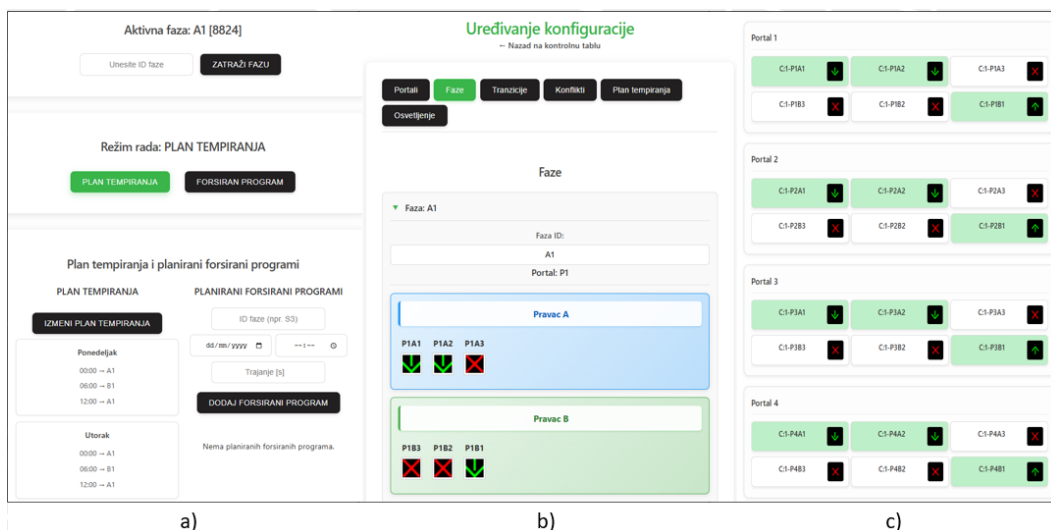


Slika 1: Sistemska struktura alternativne svetlosne signalizacije

3.2 Softverska struktura sistema

Centralni upravljački softver (CUS) predstavlja najviši nivo upravljanja i omogućava izbor režima rada, praćenje izvršenja komandi, pregled stanja opreme i komunikacije, kao i evidentiranje alarma i događaja. Objedinjavanjem podataka sa terena omogućavaju se celovit nadzor sistema i pravovremeno uočavanje nepravilnosti.

Osnovne funkcionalnosti korisničkog interfejsa — upravljanje režimima i vremenskim planovima (a), konfiguracija faza (b) i pregled signalnih pojmova na portalima (c) — prikazane su na Slici 2. Promena režima zahteva definisan redosled aktivnosti i potvrdu odgovarajućih stanja sistema, što predstavlja jedan od osnovnih bezbednosnih zahteva.



Slika 2: Prikaz osnovnih funkcionalnosti centralnog upravljačkog softvera (ELCOM BGD d.o.o., Beograd)

4 BEZBEDNOSNI ASPEKTI I POUZDANOST SISTEMA

Primena izmenjive srednje saobraćajne trake postavlja posebne bezbednosne zahteve, jer promena smera njenog korišćenja podrazumeva prelazak između dva suprotna režima. Bezbedno funkcionisanje sistema zasniva se na kontrolisanom prelasku između režima, usklađenom radu svih elemenata i definisanom postupanju u slučaju otkaza pojedinačnih komponenti.

4.1 Bezbedna promena smera korišćenja srednje trake

Promena smera korišćenja srednje trake realizuje se faznim prelazom, odnosno unapred definisanom sekvencom promena signalnih pojmova. Srednja traka najpre se zatvara za smer kojem je bila dodeljena, a njeno otvaranje za suprotni smer dozvoljava se tek nakon završetka procesa pražnjenja. Tokom prelaznog perioda duž deonice se postepeno aktiviraju žute trepćuće strelice usmerene ka susednoj traci, kojima se vozačima nalaže napuštanje srednje trake.

Redosled aktiviranja signalnih pojmova i vremenski intervali između promena definišu se u konfiguraciji tranzicija centralnog upravljačkog softvera. Time se sprečava istovremeno korišćenje srednje trake iz suprotnih smerova. Faze promene režima prikazane su na Slici 3.

Ukoliko su raskrsnice deo sistema, promena režima alternativne svetlosne signalizacije mora biti usklađena sa radom svetlosnih signala na njima. Aktiviranje novog režima korišćenja srednje trake podrazumeva primenu odgovarajućih faza i vremenskih planova na raskrsnicama, kako bi korišćenje saobraćajnih traka bilo usklađeno sa dozvoljenim smerovima kretanja. Promena režima može se izvršiti tek nakon uspostavljanja odgovarajućih uslova na svim povezanim delovima sistema.

Slika 3: Faze promene smera korišćenja izmenjive srednje saobraćajne trake (ELCOM BGD d.o.o., Beograd)

4.2 Pouzdanost i redundantnost sistema

Pouzdan rad sistema zahteva kontinuitet razmene podataka, prenosa upravljačkih komandi i napajanja opreme. Optička mreža predstavlja primarni komunikacioni kanal, dok 4G LTE omogućava održavanje veze u slučaju prekida optičke veze. Kontinuitet napajanja centralne opreme obezbeđuje se UPS uređajem. Gubitak veze, prekid napajanja ili neusaglašeno stanje elemenata ne smeju dovesti do situacije u kojoj smer korišćenja srednje trake nije jednoznačno definisan.

Izvršenje upravljačkih komandi i međusobna usklađenost elemenata neprekidno se kontrolišu. Ako se detektuje nepravilnost ili prekid veze, ili ako izostane potvrda izvršenja komande, promena režima se obustavlja. Kada uslovi za bezbedno izvršenje nisu ispunjeni, sistem prelazi u bezbedno stanje u kojem je korišćenje srednje trake onemogućeno.

5 REALIZOVANI SISTEMI ALTERNATIVNE SVETLOSNE SIGNALIZACIJE

Sistemi alternativne svetlosne signalizacije primenjeni su na više poteza u Beogradu na kojima se promenom smera korišćenja srednje trake omogućava preraspodela raspoloživog kapaciteta po smerovima kretanja. Među realizovanim sistemima su:

- Ulica Teodora Drajzera;
- Bulevar kneza Aleksandra Karađorđevića;
- Bulevar vojvode Mišića;
- Ulica Tošin bunar.



Slika 4: Primer primene alternativne svetlosne signalizacije u Ulici Teodora Drajzera u Beogradu (levo) i časovni protoci po trakama na sredini posmatrane deonice (desno) [3]

Za sistem alternativne svetlosne signalizacije u Ulici Teodora Drajzera, prikazan na Slici 4, analizirani su podaci dobijeni 24-časovnim merenjem na portalu postavljenom na sredini posmatrane deonice [3]. Prema prikazanoj obradi podataka, srednjom trakom ostvareno je približno 25% ukupnog dnevnog protoka smeru A i 21% smeru B. Referentni scenario podrazumeva saobraćajnicu bez srednje trake, sa jednom trakom po smeru. Opterećenje u ovom scenariju procenjeno je računskim dodavanjem izmerenog protoka srednje trake protoku stalne trake odgovarajućeg smeru u istom časovnom intervalu, uz pretpostavku nepromenjenog saobraćajnog zahteva. Tako dobijeno opterećenje dostiže približno 670 voz/h u smeru A i 750 voz/h u smeru B.

6 ZAKLJUČAK

Alternativna svetlosna signalizacija sa izmenjivom srednjom trakom omogućava preraspodelu raspoloživog kapaciteta između smerova u skladu sa promenama saobraćajne potražnje, čime se postojeća infrastruktura koristi efikasnije bez značajnih građevinskih intervencija. Bezbedna primena zahteva kontrolisanu promenu režima, usklađen rad svih elemenata i pouzdanu komunikacionu i energetska infrastrukturu. Uvođenju sistema treba da prethodi saobraćajna analiza kojom se utvrđuju opravdanost preraspodele kapaciteta i odgovarajući režimi korišćenja srednje trake.

Dalji razvoj može biti usmeren ka dinamičkom upravljanju, kod kojeg bi se promena režima, pored vremenskih planova, zasnivala i na detektovanim uslovima u saobraćajnom toku, uz jasno definisane kriterijume i bezbednosna ograničenja.

LITERATURA

- [1] Ampountolas, K., Furtado, H. S., & Carlson, R. C. (2018). Motorway tidal flow lane control. IFAC-PapersOnLine, 51(9), 279–284.
- [2] Li, W., Li, J., & Han, D. (2023). Dynamic lane reversal strategy in intelligent transportation systems in smart cities. Sensors, 23, 7402.
- [3] ELCOM BGD d.o.o. (2025). Analiza uticaja sistema alternativne signalizacije na saobraćaj u ulici Teodora Drajzera, Beograd.

SUMMARY**Reversible lane control – a tool for dynamic road capacity management**

Abstract: Modern cities are facing increasing traffic demand, while opportunities for expanding existing road infrastructure are often limited. Under such conditions, a reversible lane control system enables the redistribution of available capacity between opposing directions without significant construction interventions.

The paper presents the basic operating principles and system structure of reversible lane control, as well as system safety and reliability requirements, with particular emphasis on the phased transition between different operating modes of the reversible centre lane. Implemented systems are also presented. As a direction for further development, dynamic control is considered, in which decisions on changes in operating modes would be based on detected traffic flow conditions, enabling available capacity to be adjusted to changes in directional traffic demand.

Keywords: lane-use control signals, dynamic road capacity management, tidal-flow lanes, system reliability