

Upravljanje gustoćom prometa kontrolom razmaka između vozila

Glamuzina, Ivan

Master's thesis / Diplomski rad

2016

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Transport and Traffic Sciences / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:106946>

Rights / Prava: [In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-18**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Transport and Traffic Sciences -
Institutional Repository](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Ivan Glamuzina

UPRAVLJANJE GUSTOĆOM PROMETA KONTROLOM
RAZMAKA IZMEĐU VOZILA

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2016

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI
POVJERENSTVO ZA DIPLOMSKI ISPIT

Zagreb, 19. travnja 2016.

Zavod: Zavod za prometno planiranje
Predmet: Teorija prometnih tokova

DIPLOMSKI ZADATAK br. 3758

Pristupnik: **Ivan Glamuzina (0246037974)**
Studij: Promet
Smjer: Cestovni promet

Zadatak: **Upravljanje gustoćom prometa kontrolom razmaka između vozila**

Opis zadatka:

Utvrđiti osnovne parametre kretanja vozila u prometnom toku. Identificirati i opisati metode upravljanja razmakom između vozila u prometnom toku. Analizirati primjenjivost mjera upravljanja prometnim tokom u RH. Prikupiti i raščlaniti dosadašnja istraživanja vezana uz upravljanje gustoćom prometa. Ispitati zakonitosti u odnosima između gustoće prometa i njene ovisnosti o upravljanju prometom te u konačnici podastrijeti nova saznanja vezana uz temu.

Zadatak uručen pristupniku: 4. ožujka 2016.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za
diplomski ispit:

dr. sc. Marko Ševrović

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

DIPLOMSKI RAD

**UPRAVLJANJE GUSTOĆOM PROMETA
KONTROLOM RAZMAKA IZMEĐU VOZILA**

**MANAGING TRAFFIC DENSITY BY CONTROLLING THE
DISTANCE BETWEEN VEHICLES**

Mentor: dr. sc. Marko Ševrović

Student: Ivan Glamuzina, 0246037974

Zagreb, rujan 2016

Sažetak:

U ovom radu opisani su osnovni pojmovi i fraze kojima se bavi znanstvena disciplina Teorija prometnih tokova kao i povijest razvoja Teorije prometnih tokova. Također, obrađeni su i osnovni pokazatelji kretanja vozila uz pomoć kojih je moguće opisati način na koji se vozilo kreće po prometnici i njegov utjecaj na ostale sudionike u prometu. Osim navođenja pokazatelja definirani su osnovni odnosi između pokazatelja. Poseban naglasak stavljen je na dva pokazatelja koja imaju veliku važnost za ovaj rad, a to su slijeđenje i razmak između vozila. Utjecaj razmaka na gustoću prometnog toka razrađen je kroz metode upravljanja razmakom u stvarnim prometnim situacijama. Kroz analizu primjenjivosti mjera upravljanja prometnim tokom prikazane su mogućnosti korištenja metoda za upravljanjem prometom na hrvatskim cestama. Analizom su obuhvaćene zakonske mogućnosti i primjeri provedbe koji bi donijeli višestruke koristi cjelokupnom prometnom sustavu.

Ključne riječi:

Teorija prometnih tokova; Slijeđenje vozila; Razmak između vozila; Sustav upravljanja priljevnim tokovima;

Summary:

The subject of this work is a description of basic terms and phrases used by the scientific discipline '*Traffic flow theory*' as well as the history of the theory's development. Likewise, the work also encompasses basic indicators of vehicle movement, which are of aid in the description of vehicle movement along a motorway, as well as inter-vehicular relations in traffic. In addition to naming the indicators, the work defines basic relations between the indicators themselves. The work's main focus is two indicators of great significance; headway and gap. The latter's effect on traffic flow density is measured through methods of gap direction within actual traffic scenarios. Through analysis of traffic flow direction applicability, the work derives options capable of traffic direction on Croatian motorways. The analysis encompasses options provided by the law, examples of use of said legal options and eventual beneficial ramifications said options may bring to the collective traffic system.

Keywords:

Traffic flow theory; Headway; Gap; Rampmetering;

Sadržaj:

1. Uvod	1
2. Osnovni pokazatelji kretanja vozila u prometnom toku	2
2.1. Povijest i definicija	2
2.2. Osnovni pokazatelji.....	2
2.2.1. Protok vozila	3
2.2.2. Gustoća prometnog toka	5
2.2.3. Brzina prometnog toka	6
2.2.4. Vrijeme putovanja vozila u toku i jedinično vrijeme putovanja.....	8
3. Razmak između vozila.....	9
3.1. Slijeđenje vozila u prometnom toku.....	9
3.2. Razmak između vozila u prometnom toku	11
3.3. Odnos osnovnih pokazatelja prometnog toka	14
3.3.1. Odnos gustoće i protoka u prometnom toku.....	14
3.3.2. Odnos gustoće i razmaka između vozila u prometnom toku.....	16
4. Metode upravljanja razmakom između vozila u prometnom toku	17
4.1. Homogenizacija prometnog toka smanjenjem ograničenja brzine	17
4.2. Sustav upravljanja priljevnim tokovima prometa	19
4.2.1. Vrste upravljanja i strategije sustava upravljanja priljevnim tokovima prometa.....	21
4.2.2. Elementi sustava upravljanja priljevnim tokovima prometa	22
4.2.3. Primjeri sustava upravljanja priljevnim tokovima prometa.....	24
4.3. Eliminacija nastanka šok-vala.....	25
5. Analiza primjenjivosti mjera upravljanja prometnim tokom u RH.....	28
5.1. Podjela cesta.....	28
5.1.1. Podjela cesta prema količini motornog prometa.....	28
5.1.2. Podjela cesta prema ograničenju brzine.....	29
5.2. Zakonska regulativa	30

5.2.1. Zakon o sigurnosti prometa na cestama.....	31
5.2.2. Pravilnik o osnovnim uvjetima kojima javne ceste izvan naselja i njihovi elementi moraju udovoljavati s gledišta sigurnosti prometa	32
5.2.3. Pravilnik o uvjetima za projektiranje i izradu priključaka i prilaza na javnu cestu	32
5.2.4. Pravilnik o prometnim znakovima, opremi i signalizaciji na cestama	33
5.3. Primjer upravljanja prometnim tokom upravljanjem razmakom između vozila	35
5.3.1. Dionica Zagrebačka obilaznica – naplatna postaja Lučko.....	35
5.3.2. Obilaznica Rijeka	39
6. Zaključak.....	40
Literatura	42
Popis slika.....	44
Popis tablica	45

1. Uvod

Porast cestovnog prometa i nepredviđene situacije samo su neki od razloga za nastajanje gužvi koje se svaki dan mogu vidjeti na hrvatskim prometnicama, ali i na prometnicama puno razvijenih zemalja. Gradnja novih ili rekonstrukcija postojećih cesta zahtjeva velike financijske izdatke pa u većini slučajeva ne predstavljaju najoptimalnije rješenje. Od prometnih stručnjaka stoga se očekuje da uz pomoć vlastitih sposobnosti prilagode prometni sustav postojećoj situaciji.

Cilj ovog diplomskog rada je definirati i razraditi načine na koje je moguće poboljšati prometni sustav i odvijanje prometnog toka upravljanjem razmaka između vozila. Diplomski rad je podijeljen u šest cjelina koje se bave spomenutom tematikom. Početni dio rada, odnosno druga i treća cjelina, obrađuju pokazatelje kretanja vozila u prometnom toku. Definiran je i razvoj znanstvene discipline Teorije prometnih tokova, koja proučava zakonitosti i karakteristika prometnog toka. Prilikom obrađivanja pokazatelja kretanja vozila u prometnom toku poseban naglasak stavljen je na razmak između vozila. Radi se o pokazatelju koji ponajbolje definira odnos između sudionika u prometnom sustavu.

Izlaganje tematike obuhvaća metode upravljanja razmakom između vozila. Radi se o metodama koje uz pomoć suvremene tehnologije, odnosno inteligentnih transportnih sustava, u prvi plan stavljaju omjer iskoristivosti i sigurnosti prometnog sustava. Svaka od metoda upravljanja razmakom između vozila primjenjiva je na svoj način i svaka od njih koristi se u drugačijim uvjetima. Metoda na koju se stavlja poseban pozornost zahtjeva korištenje sustava za upravljanje priljevnim tokovima, takozvani rampmetering. Radi se o sustavu koji kontrolom priljevnim tokovima upravlja prometnom gustoćom na glavnom toku. Ovaj sustav kombinira prometnu signalizaciju, detektorske uređaje i računalne sustave, što za posljedicu ima optimalno rješenje prometne situacije.

Posljednji dio rada obrađuje mogućnosti primjene mjera upravljanja prometnim tokom u Republici Hrvatskoj. Kao polazišna točka postavljeni su zakonski temelji koji moraju omogućiti upravljanje prometom na ovaj način. Ovim radom definirano je područje primjene mjera upravljanjem prometom na području RH. Završni dio izlaganja tematike navodi dionice javnih cesta na kojima bi se mogle sprovesti mjere upravljanja prometnim sustavom. U diplomskom radu obrađena je mogućnost korištenja sustava za upravljanje priljevnim tokovima na hrvatskim prometnicama. Ovaj diplomski rad izrađen je korištenjem stručne literature i materijala dostupnih na internetu.

2. Osnovni pokazatelji kretanja vozila u prometnom toku

2.1. Povijest i definicija

Prometni sustav kakav danas poznajemo postupno se razvijao prateći razvoj motornih vozila. Zbog sve veće popularnosti automobila došlo je do potrebe za organiziranjem prometnog sustava kako bi se on mogao odvijati uz što manje probleme i sa što većim brojem prometnih entiteta.

Odgovor na potrebu za organizacijom prometnih tokova stigao je početkom tridesetih godina dvadesetog stoljeća kada nastaje nova znanstvena disciplina poznata kao Teorija prometnog toka. Jedan od začetnika Teorije prometnog toka je Bruce Douglas Greenshields. Doktor Greenshields je prometni tok izučavao mjerenjem protoka, gustoće i brzine vozila u prometnom toku metodom fotografskih snimaka. Kao posljedica istraživanja, Greenshields 1934. izdaje znanstveni rad pod nazivom "A Study Of Highway Capacity". U svom radu Greenshields postavlja niz teza potkrijepljenih fotografijama i grafovima koji su nastali kao posljedica istraživanja. Zanimljivo je primijetiti kako je i danas, nešto više od 80 godina od objave tog rada, veliki broj grafova potpuno primjenjiv i vrijedi za današnje prometne standarde.

Definicija prometnog toka nije se mnogo mijenjala kroz povijest i ona se vrlo malo razlikuje od autora do autora. Prometni tok možemo definirati kao istodobno kretanje više prometnih entiteta na prometnoj infrastrukturi prema određenim zakonitostima. Pri tome, prometnim entitetima smatramo automobile, vlakove, pješake i ostale sudionike u prometnim toku, a prometna infrastruktura je mreža cesta, željezničkih pruga, pješačkih staza itd.

2.2. Osnovni pokazatelji

Kretanje vozila moguće je opisati na dva načina uz pomoć niza pokazatelja. Prvi način je opisivanje kretanja pojedinačnog vozila, a pritom se ne uzima u obzir utjecaj ostatka prometnog toka i drugih vozila. Pokazatelji za opisivanje kretanja pojedinačnog vozila su vrijeme (t), put (s), brzina (v), ubrzanje (a) i impuls (k , a'). Opisivanje zakonitosti kretanja pojedinačnog vozila ostvaruje se definiranjem odgovarajućih analitičkih veza između osnovnih pokazatelja, najčešće polazeći od vremena, puta ili brzine kao varijabli.

Za potrebe razrade teme ovog diplomskog rada mnogo je važniji drugi način, a to je kretanje vozila u prometnom toku. Uz pomoć pokazatelja za kretanje vozila u prometnom toku utvrđujemo utjecaj entiteta prometnog toka na druge entitete, ali i na sami prometni tok. Zbog svega navedenog ovi pokazatelji se često nazivaju i glavni pokazatelji za opisivanje prometnih tokova. Glavni pokazatelji za opisivanje prometnih tokova su [1]:

- protok vozila
- gustoća prometnog toka
- brzina prometnog toka
- vrijeme putovanja vozila u toku
- jedinično vrijeme putovanja vozila u toku
- vremenski interval slijeđenja vozila u toku
- razmak slijeđenja vozila u toku

Navedene pokazatelje moguće je podijeliti na mikroskopske i makroskopske, pritom uz pomoć mikroskopskih pokazatelja promatramo pojedinačna vozila u prometnom toku, a uz pomoć makroskopskih promatramo prometni tok kao cjelinu.

U nastavku rada bit će pojedinačno opisan svaki od pokazatelja za opisivanje prometnih tokova.

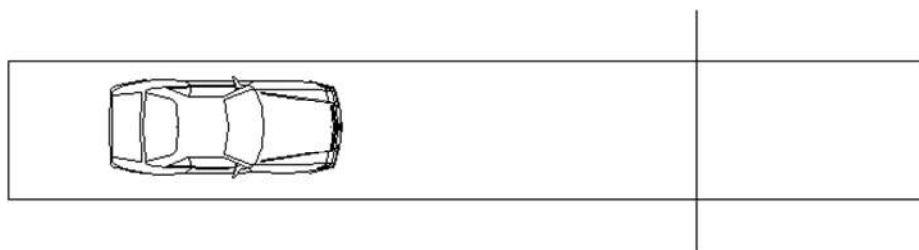
2.2.1. Protok vozila

Protok vozila prvi je od sedam pokazatelja za opisivanje prometnih tokova. Radi se o makroskopskom pokazatelju kojeg definiramo kao broj vozila koja prođu kroz promatrani presjek prometnice, u jedinici vremena u jednom smjeru za jednosmjerne prometnice ili u oba smjera za dvosmjerne prometnice.

Protok vozila najčešće se iskazuje brojem vozila u jednom satu (voz/h), a moguće je koristiti i veće vremenske jedinice od jednog sata, kao što je dan (voz/dan). Također se koriste i vremenske jedinice manje od jednog sata (voz/min ili voz/s). Osnovni simbol za označavanje protoka je q (voz/h). Protok vozila često se iskazuje i uz pomoć PGDP-a (prosječni godišnji dnevni promet), odnosno voz/dan.

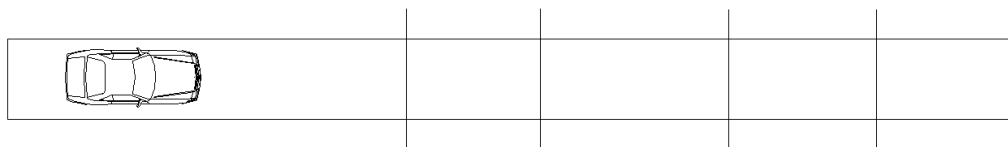
Kada je u pitanju promatranje, odnosno mjerenje protoka vozila onda možemo ustanoviti da postoje dva načina mjerenja protoka:

1. Protok vozila na presjeku – radi se o jednostavnijem načinu promatranja, naime u ovom slučaju promatra se broj vozila koja prođu kroz jedan presjek ceste u jedinici vremena.



Slika 1 - Protok vozila na presjeku

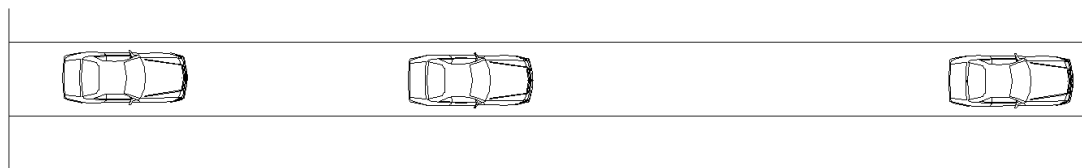
2. Protok vozila na dionici – radi se o aritmetičkoj sredini protoka na n-presjeka na dijelu ili prometnoj dionici. Broj će biti točniji što broj presjeka bude veći.



Slika 2 - Protok vozila na dionici

2.2.2. Gustoća prometnog toka

Gustoću prometnog toka možemo definirati kao broj vozila na jedinicu duljine prometnice. Dakle, radi se o broju vozila koja se nalaze na određenoj dionici prometnice. Prostorno gledajući gustoća je vezana za odsjek ili prometnu dionicu, a vremenski za trenutno stanje pa sukladno tome mjerenja gustoće najčešće se vrše uz pomoć fotografija navedene dionice ceste.



Slika 3 - Gustoća prometnog toka

Oznaka za gustoću je „g“, izražava se u broju vozila po kilometru (voz/km), a računa se prema formuli (1):

$$g = \frac{N}{s} \left[\frac{\text{voz}}{\text{km}} \right] \quad (1)$$

U navedenoj jednadžbi „N“ predstavlja broj vozila u prometnom toku na promatranom dijelu puta u određenom trenutku, a „s“ duljinu dionice izraženu u kilometrima. Točnu gustoću prometnog toka teško je procijeniti sa samo jednim promatranjem pa bi dobro bilo da konačna vrijednost bude aritmetička sredina više trenutnih promatranja u nekom vremenskom periodu.

Gustoća prometnog toka prema HCM-u [2] jedan je od osnovnih parametara za proračun razine usluge (LOS)¹. Gustoća varira između vrijednosti 0 i maksimalne vrijednosti gustoće. Vrijednost gustoće 0 se javlja kad nema vozila na promatranoj duljini prometnog traka, a maksimalna vrijednost gustoće se javlja prilikom potpunog zagušenja. U realnoj situaciji maksimalna gustoća predstavlja vrijednost od 185 do 250 vozila po milji na jednom prometnom traku.

2.2.3. Brzina prometnog toka

Brzina prometnog toka makroskopski je pokazatelj kretanja vozila u prometnom toku, a podrazumijeva srednju vrijednost brzina svih vozila koja sudjeluju u promatranom prometnom toku.

U prometnom toku brzinu ne možemo promatrati kao zasebnu vrijednost, stoga je promatramo u odnosu na protok vozila i gustoću prometnog toka. Sukladno navedenom, možemo definirati dvije vrste brzine:

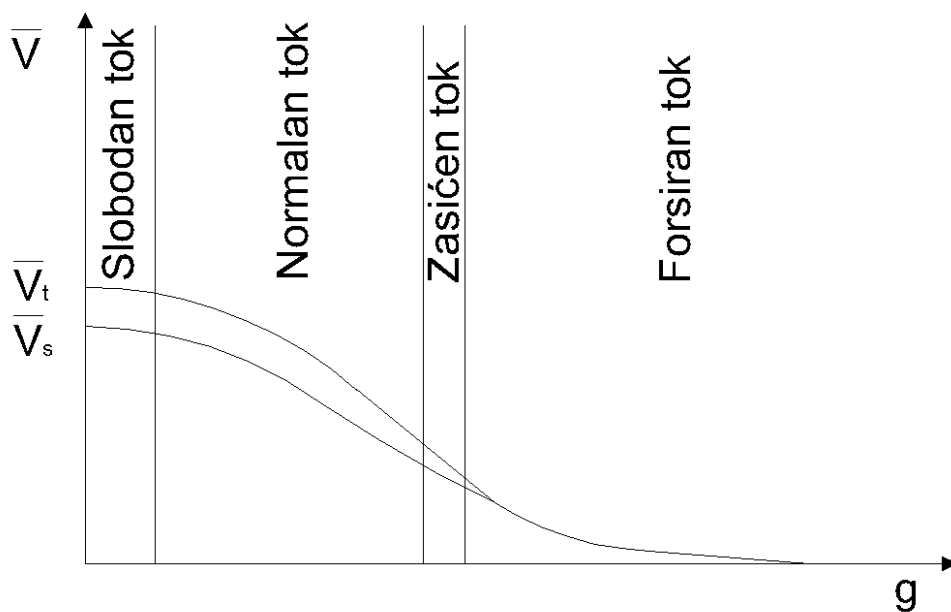
1. Srednja prostorna brzina toka (V_s) - utvrđuje se preko srednjeg vremena potrebnog da vozilo prijeđe neku udaljenost (harmonijska sredina). Srednja prostorna brzina toka promatra se u odnosu na gustoću te je prostorno vezana za odsjek puta, a vremenski za trenutak.
2. Srednja vremenska brzina toka (V_t) - trenutna brzina u određenoj točki izmjerena radarom u trenutku (aritmetička sredina). Srednja vremenska brzina toka mjeri se u odnosu na protok vozila te je prostorno vezana za presjek puta, a vremenski za period promatranja.

¹ LOS - predstavlja razinu operativnih uvjeta, odnosno niz karakteristika koje opisuju uvjete vožnje koji se pojavljuju na određenom potezu ceste (brzina, vrijeme putovanja, prekidi, sigurnost, udobnost vožnje, cijenu koštanja i dr.).

Proračunavanjem srednje prostorne i srednje vremenske brzine možemo doći do rezultata koji će biti točni samo ako su u pitanju idealni prometni uvjeti. U praksi je situacija nešto drugačija jer postoji jako puno elemenata koji mogu utjecati na prometni tok. Neki od njih su interakcijski utjecaj, gustoća prometa, stanje prometnice i tako dalje. Zbog toga se susrećemo s novim pojmovima:

1. Brzina slobodnog toka - sva vozila u prometnom toku na promatranom odsjeku kreću u identičnim ili bliskim uvjetima kretanja.
2. Brzina normalnog toka – radi se o stabilnom, polustabilnom i nestabilnom prometnom toku s utjecajem interakcije između vozila.
3. Brzina zasićenog toka – javlja se u uvjetima zasićenog prometnog toka u kome se sva vozila kreću uz potpuno ili približno potpuno djelovanje interakcije između vozila u toku.
4. Brzina forsiranog (prisilnog) toka – u ovim uvjetima vozila se kreću približno istom brzinom uz moguća zaustavljanja.

Četiri navedene brzine izuzetno su važne jer ovisno o brzini prometnog toka utječu na srednju prostornu i srednju vremensku brzinu. Slika broj 4 prikazuje utjecaj stanja prometnog toka na srednju vremensku i srednju prostornu brzinu.



Slika 4 - Utjecaj brzina prometnog toka na srednju vremensku i srednju prostornu brzinu, Izvor [1]

2.2.4. Vrijeme putovanja vozila u toku i jedinično vrijeme putovanja

Vrijeme putovanja makroskopska je karakteristika prometnog toka. Radi se o pokazatelju prometnog toka koji se uglavnom primjenjuje u gradskom prometu jer se pomoću ovog pokazatelja može utjecati na presijecanje dvaju ili više prometnih tokova, odnosno na odvijanje prometnog sustava. Veliki utjecaj na vrijeme putovanja ima vrijeme čekanja na pojedinim križanjima. Vrijeme putovanja i vrijeme čekanja moguće je analizirati prikupljanjem podataka nekom od sljedećih metoda:

1. Metoda snimanja tablica – bilježenjem registarskih oznaka vozila na nekoliko lokacija moguće je utvrditi koliko je bilo potrebno promatranom vozilu od točke A do točke B.
2. Metoda eksperimentalnog vozila - prikupljanje podataka o vremenu putovanja, vremenu čekanja i brzini vozila na način da se testno vozilo proveze od točke A do točke B.
3. Metode analize vremena čekanja na raskrižjima – jedna od najjednostavnijih metoda. Bilježi se čekanje vozila na kritičnim točkama.

Posljednja dva pokazatelja kretanja vozila u prometnom toku (vremenski interval slijeđenja vozila u toku i razmak slijeđenja vozila u toku) bit će detaljnije obrađeni kroz sljedeće poglavlje.

3. Razmak između vozila

Kada je u pitanju prometni tok važno je primijetiti da se prometni entiteti, odnosno vozila kreću u nizu. Vremenski i prostorni razmaci vozila mogu bili iskazani:

- Slijeđenjem vozila
- Razmakom između vozila

Za temu koja se obrađuje u ovom diplomskom radu razmak između vozila je važniji od slijeđenja vozila, ali zbog sličnosti ovih pokazatelja oni će biti obrađeni u zasebnoj cjelini u odnosu na ostale pokazatelje kretanja vozila u prometnom toku.

3.1. Slijeđenje vozila u prometnom toku

Kada je u pitanju slijeđenje vozila u prometnom toku onda ga možemo promatrati na dva načina:

- Interval slijeđenja vozila u prometnom toku – vremenski iskazano
- Razmak slijeđenja vozila u prometnom toku – prostorno iskazano

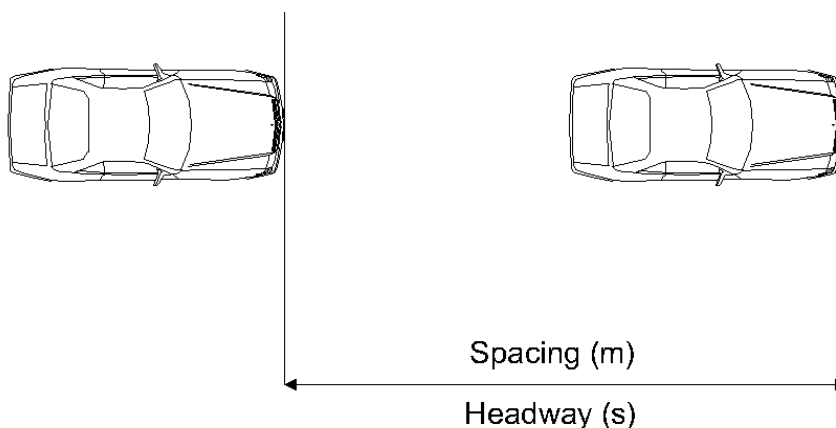
Vremensko slijeđenje vozila iskazuje se u jedinici vremena, a to je najčešće u sekundama, a prostorno slijeđenje vozila najčešće se izražava u metrima.

Interval slijeđenja vozila u prometnom toku možemo definirati kao vrijeme između prolaska dva uzastopna vozila kroz zamišljeni presjek promatranog odsjeka puta. Kad je u pitanju interval slijeđenja, vrijeme se mjeri od trenutka kada prvo vozilo svojim čeonim (prednjim) dijelom prođe kroz zamišljeni presjek do trenutka kada sljedeće vozilo prijeđe isti pravac svojim čeonim dijelom. Vremenski izraženo vrijeme slijeđenja označava se „th“ i izražava se u sekundama po vozilu (s/voz). Oznaka „th“ dolazi od engleskog izraza „*time headway*“.

Sa stajališta realnih prometnih tokova, ovisno o načinu promatranja toka u odnosu na prostor i vrijeme razlikuje se [3]:

- a) interval praćenja pojedinačno za N vozila koja u periodu vremena T prođu promatrani presjek (odsjeka ili dionica) puta
- b) srednju vrijednost intervala praćenja na promatranom presjeku puta za N vozila u vremenu T
- c) interval slijeđenja na dionici puta, kao aritmetički prosjek srednjih vrijednosti intervala praćenja na „n“ promatranih presjeka puta u vremenu T

Razmak slijeđenja vozila veoma je sličan intervalu slijeđenja samo što se ovdje radi o prostornom razmaku. Dakle, to je razmak između prednjeg dijela vozila A i prednjeg dijela vozila B. Razmak slijeđenja označava se „sh“ (engleski: *space headway*), a izražava se u metrima po vozilu (m/voz).



Slika 5 - Vremensko i prostorno slijeđenje vozila

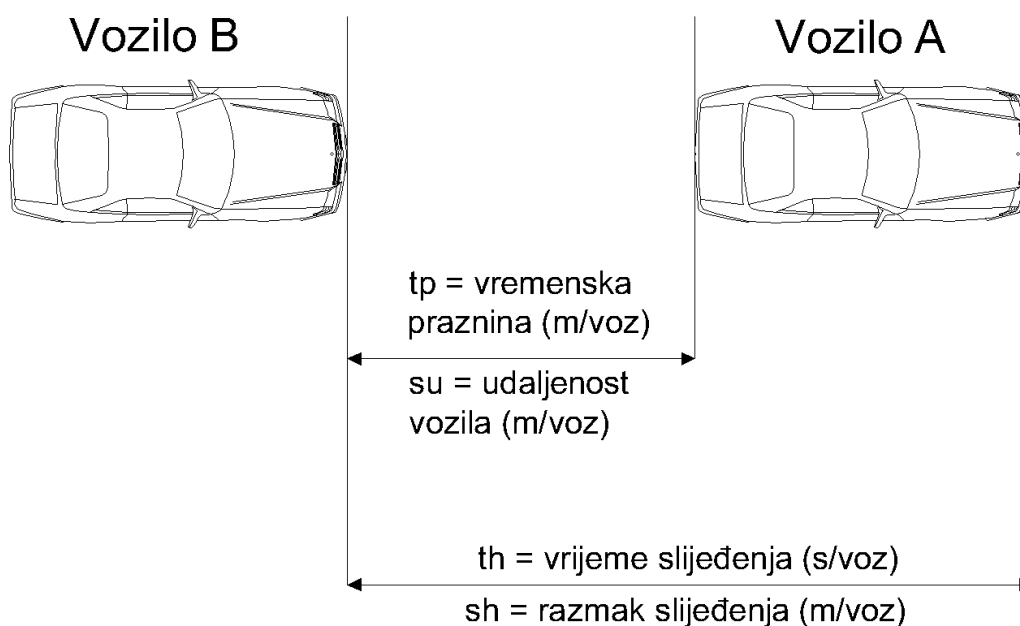
Sa stajališta realnih prometnih tokova na odsjeku puta, razmak u praćenju predstavlja srednju vrijednost svih razmaka praćenja između uzastopnih vozila u određenom toku na promatranom odsjeku ili dionici puta. [3]

3.2. Razmak između vozila u prometnom toku

Razmak između vozila u prometnom toku možemo definirati kao prostornu prazninu između dva uzastopna vozila. Razmak između vozila mjeri se od zadnjeg ruba prednjeg vozila (odbojnik) i čelone točke prvog sljedećeg vozila. Prostorni razmak između vozila naziva se i udaljenost između vozila koja se označava „su“ i izražava se u metrima po vozilu (m/voz).

Razmak između vozila često se promatra i vremenski pa se u tom slučaju radi o vremenskoj praznini između vozila. Vremenska praznina označava se s oznakom „tp“, a izražava se u sekundama po vozilu (s/voz).

Razliku između slijeđenja vozila i razmaka između vozila najbolje prikazuje slika broj 6. Dakle, slijeđenje se računa od čelone točke vozila A do čelone točke vozila B, dok se razmak između vozila računa od krajnje (zadnje) točke vozila A do čelone točke vozila B.



Slika 6 - Razlika između slijeđenja vozila i razmaka između vozila

Načelno gledajući najveća razlika između slijeđenja vozila i razmaka između vozila je ta što razmak slijeda uključuje i dužinu vozila. To možemo objasniti i uz pomoć sljedeće formule (2):

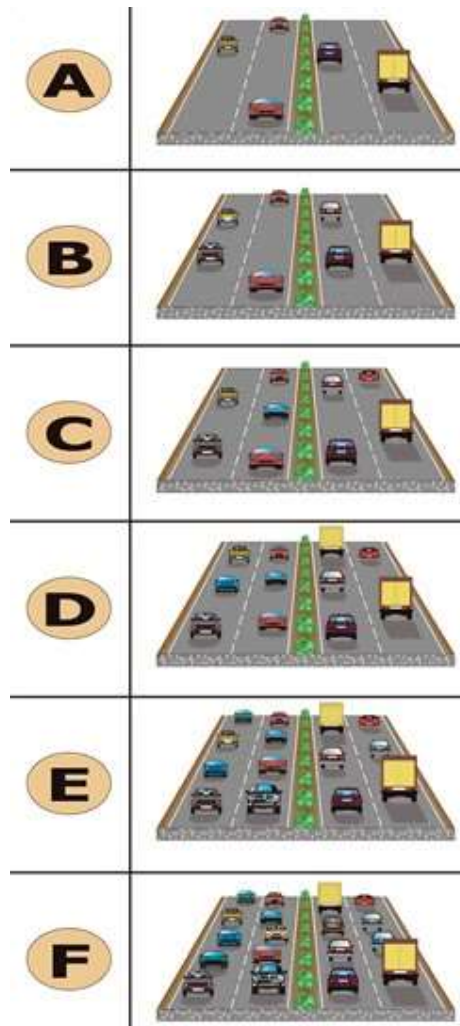
$$s_h = s_u + L \quad (2)$$

U formuli (2) izraz L označava duljinu vozila i mjeri se u metrima. Ukoliko nije dostupna točna duljina automobila onda se prilikom proračunavanja najčešće uzima vrijednost između 4 i 5 metara. Na primjer duljina automobila Audi A3 iz 2013. godine iznosi 4254 milimetra, dok duljina Audi A6 iz 2015. iznosi 4933 milimetra. [4]

Razmak između vozila ima izniman značaj na nekoliko karakteristika prometnog sustava, a neke od najznačajnijih su:

- **Sigurnost** – povećanjem razmaka između vozila vozači mogu reagirati i time izbjeći neželjene posljedice. Povećanjem razmaka između vozila smanjuje se pojava forsiranog kočenja, a povećava se slobodno kočenje čime se znatno podiže razina sigurnosti. Na sigurnost će utjecati i to što će vozači prilikom većeg razmaka između vozila promijeniti ponašanje što najčešće rezultira pouzdanijim reakcijama.
- **Gustoća prometnog toka** – što je veći razmak između vozila, to je gustoća manja. Gustoća može imati vrijednost od 0 do maksimalne vrijednosti. U realnoj situaciji maksimalna gustoća predstavlja vrijednost od 185 do 250 vozila po milji na jednom prometnom traku.

- **Razina usluge prometnog sustava** – razmak između vozila samo je jedan od parametara koji utječu na razinu usluge. Što je veći razmak između vozila bit će i razina usluge biti bolja, a ona se izražava slovima od A za uvjete slobodnog toka prometa i F za uvjete približno jednake potpunom kapacitetu prometnice.



Slika 7 - Utjecaj razmaka između vozila na razinu usluge, Izvor [5]

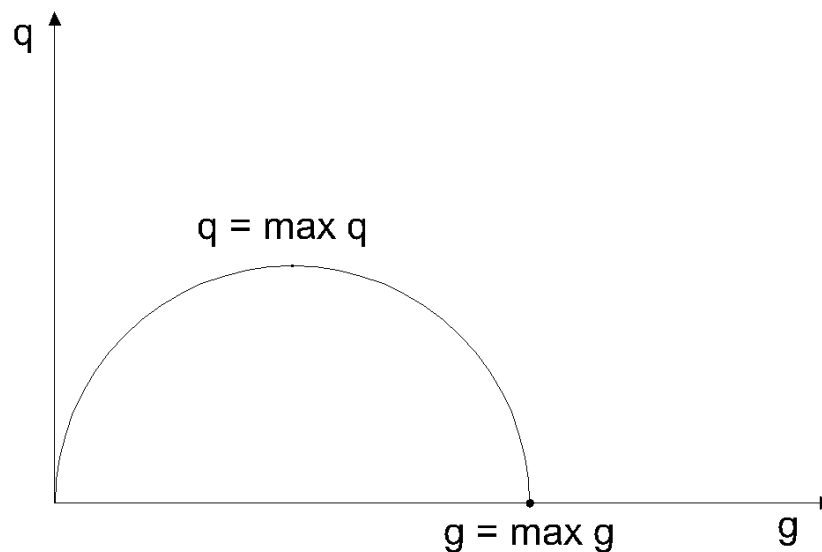
3.3. Odnos osnovnih pokazatelja prometnog toka

Slijeđenje i razmak između vozila u prethodnom dijelu ovog rada opisan je vremenski i prostorno, odnosno u sekundama i u metrima. Ako bismo željeli usporediti ta dva pokazatelja s gustoćom (glavna tema ovog rada) to ne bi bilo dovoljno jer je gustoća prostorni pokazatelj (broj vozila na odsječku prometnice). Prema tome, potreban nam je vremenski pokazatelj, a u ovom slučaju to je protok vozila (broj vozila koji prođu kroz zamišljeni presjek u određenom vremenskom periodu).

3.3.1. Odnos gustoće i protoka u prometnom toku

Na način kao što je napravljen odnos između vremenskog i prostornog slijeđenja, odnosno razmaka, u nastavku ovog rada bit će napravljena analiza odnosa gustoće prometnog toka s protokom vozila u prometnom toku.

O važnosti odnosa između ova dva pokazatelja najbolje govori činjenica da je dijagram koji opisuje odnos između ovih pokazatelja prozvan temeljnim (fundamentalnim) dijagramom cestovnog prometa.



Slika 8 - Parabolični dijagram protok-gustoća, Izvor [1]

Parabolični dijagram sa slike 8 prvi su objavili znanstvenici M.J. Lighthill i G.B. Whitham, a do njega su došli matematičkim proučavanjem prometa. Dijagram je vrlo jednostavno objasniti uz pomoć nekoliko pretpostavki:

- Krivulja počinje napredovati (rasti) kada se pojavi protok vozila.
- Protok će imati najveću vrijednost ($q = \max q$) onog trenutka kada gustoća ne bude ni minimalna ni maksimalna.
- Maksimalna gustoća ($g = \max g$) moguća je kada je protok jednak nuli. To u realnim uvjetima može biti kada se čeono vozilo zaustavi i pritom onemogućiti protok novih vozila.
- U stvarnoj prometnoj situaciji krivulja neće imati kontinuirano paraboličan oblik.

U stvarnoj situaciji prometni tok ne ovisi samo o gustoći i protoku, već je potreban i treći pokazatelj, a to je brzina prometnog toka. Upravo zbog toga nije moguće uz pomoć jednadžbi saznati gustoću ili protok ako nemamo brzinu (najčešće srednju prostornu brzinu). Iz svega toga proizlaze sljedeće formule (3 i 4):

$$q = g * v_s \quad (3)$$

$$g = \frac{q}{v_s} \quad (4)$$

U navedenim formulama „g“ označava gustoću prometnog toka (voz/km), „q“ označava protok vozila (voz/min), a „v_s“ srednju prostornu brzinu.

3.3.2. Odnos gustoće i razmaka između vozila u prometnom toku

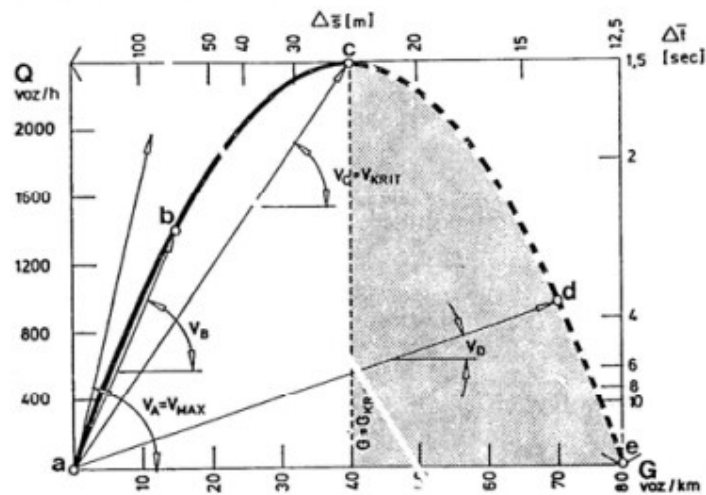
Odnos gustoće i razmaka između vozila u prometnom toku možemo definirati uz pomoć slijedećih formula (5 i 6):

$$g = \frac{1000}{s_h} = \frac{1000}{s_u + L} \quad (5)$$

$$s_h = s_u + L = \frac{1000}{g} \quad (6)$$

Oznaka „g“ u navedenim formulama predstavlja gustoću i izražava se u broju vozila po kilometru (voz/km), „s_h“ je prosječan razmak slijeđenja vozila (m), „s_u“ predstavlja razmak između vozila (m), L je duljina prosječnog automobila (m), dok broj 1000 predstavlja konstantu koja označava broj metara u jednom kilometru.

S obzirom da su gustoća, samim time i protok, samo jednom formulom vezani uz razmak između vozila, moguće je nadopuniti dijagram protok-gustoća na način da se pridodaju vremenski i prostorni razmak između vozila. Primjer takvog dijagrama prikazuje slika broj 9.



Slika 9 – Dijagram protok – gustoća te vremenski i prostorni razmak između vozila, Izvor [7]

4. Metode upravljanja razmakom između vozila u prometnom toku

Prometni stručnjaci godinama pokušavaju pronaći načine na koje mogu utjecati na prometni sustav zbog više razloga. Neki od njih su: povećanje sigurnosti, povećanje broja vozila, poboljšanje iskoristivosti prometnice i tako dalje.

Upravljanjem razmakom između vozila moguće je postići mnoge pozitivne efekte koji se direktno mogu odraziti na prometni sustav. U nastavku rada bit će objašnjene neke od metoda za upravljanje razmakom između vozila u prometnom toku.

4.1. Homogenizacija prometnog toka smanjenjem ograničenja brzine

Prometni tok možemo podijeliti na više načina, jedan od tih načina je podjela po strukturi ili sastavu prometnog toka. Prema ovoj podjeli prometni tok može biti:

1. **Homogeni prometni tok** – radi se o prometnom toku sastavljenom od jedne vrste vozila koja se po prometnici kreću po istim zakonitostima. Homogeni prometni tok sastavljen je samo od osobnih automobila ili samo od autobusa ili od neke treće vrste vozila. Ovakav prometni tok nije česta pojava i uglavnom ga možemo susresti na mjestima gdje se kanalizira prometni tok kao što su granični prijelazi ili u blizini naplatnih terminala na izlazima s autocesta.
 - **Idealan - homogen prometni tok** – homogeni prometni tok sastavljen od vozila potpuno istih tehničko-eksploatacijskih karakteristika kojima upravljaju vozači potpuno istih psihofizičkih osobina i potpuno iste motiviranosti za vožnju. Možemo reći da se radi se o podvrsti homogenog prometnog toka u kojoj su vozila još više homogenizirana po nekim dodatnim karakteristikama. Ovakav prometni tok u realnim situacijama ne postoji, ali je značajan za izračune i definiranje odnosa u prometnim tokovima.
2. **Nehomogeni prometni tok** – ovakav prometni tok često se naziva i mješoviti prometni tok, a može se još definirati i kao realni prometni tok. Dakle, radi se o prometnom toku kakvog možemo svakodnevno vidjeti na prometnicama. Sastoji se od vozila koja imaju različite tehničko-eksploatacijske karakteristike i kojima upravljaju vozači različitih osobina i sposobnosti.

Pojam homogenog prometnog toka ne odnosi se samo na vrstu vozila nego i na način kretanja tih vozila. Postoji niz prednosti homogenog prometnog toka. Neke od njih imaju znatan utjecaj na osnovne pokazatelje prometnog toka koji su navedeni na početku ovog rada. Povećanjem homogenizacije smanjuje se razlika u brzini između vozila u prometnom toku, čime se može postići sigurniji i stabilniji protok. Učinci homogenizacije prometnog toka su [8]:

- Blago smanjenje prosječne brzine i blagi porast gustoće
- Sigurniji i stabilniji prometni tok
- Ne dolazi do znatnijeg povećanja prometnog toka
- U teoriji, može odgoditi nastanak zagušenja, ali ne može suzbiti nastanak šok-valova.

Visoki stupanj homogenizacije prometnog toka moguće je postići i promjenom ograničenja brzine. Homogenizacija u tom slučaju znači stvaranje ravnomjernosti brzina vozila koji se nalaze u prometnom toku što u konačnici rezultira i smanjenjem rizika od nastanka šok-valova, sudara i prometnog zagušenja.

Povećanjem ravnomjernosti brzina postiže se stabilniji razmak između vozila. To je vrlo jednostavno objasniti na primjeru prometnog toka na autocestama: ako se autocestom kreće vozilo A brzinom 150 km/h i ispred njega vozilo B koje se kreće brzinom od 80 km/h onda će se razmak između vozila vrlo brzo smanjiti bez obzira koliko su oni udaljeni. Ravnomjernijim brzinama razmak će se smanjivati puno sporije i time će se znatno smanjiti mogućnost nastanka prometne nesreće.

Razvoj znanosti i razvoj inteligentnih prometnih sustava omogućio je da se uz pomoć promjenjive prometne signalizacije (Slika 10) u svakom trenutku može prilagođavati ograničenje brzine ovisno o uvjetima na cesti, a samim time moguć je utjecaj na homogenizaciju prometnog toka.



Slika 10 - Primjer promjenjive prometne signalizacije, Izvor [10]

4.2. Sustav upravljanja priljevnim tokovima prometa

Jedan od najvećih problema današnjih prometnih sustava definitivno je ubrzano povećanje broja vozila. Ovaj problem dovodi do svakodnevnih zagušenja jer prometni sustavi ne mogu podnijeti nekontrolirani priljev vozila. Unatoč tome, današnje se ceste projektiraju na način da mogu podržati velika opterećenja, ali gotovo svakodnevno možemo primijetiti da nastaju situacije kada čak i dobro dimenzionirani prometni sustavi trpe velike prometne zastoje.

Najbolji primjer su prometne gužve koje nastaju na Hrvatskim autocestama za vrijeme turističke sezone (Slika 11). Na autocesti A1² problemi se najčešće javljaju na pojedinim čvorovima i ulascima u tunele, a kolone često znaju biti duge i nekoliko desetaka kilometara. Opravdano je zapitati se ima li smisla propuštati nova vozila na autocestu u trenucima kada se ni vozila koja se nalaze na autocesti ne mogu bez poteškoća kretati.



Slika 11 - Zagušenje na autocesti A1 za vrijeme turističke sezone, Izvor [11]

Problemom priljeva vozila u prometne sustave bave se prometni stručnjaci već dugi niz godina. Sustavi upravljanja priljevom tokovima često se ujedanjuju pod engleskim nazivom – rampmetering. Takvi sustavi prvi put su se pojavili 60-ih godina prošlog stoljeća u SAD-u, a pojedine europske zemlje počele su ga primjenjivati dvadesetak godina kasnije.

² Autocesta A1: Zagreb-Split-Ploče

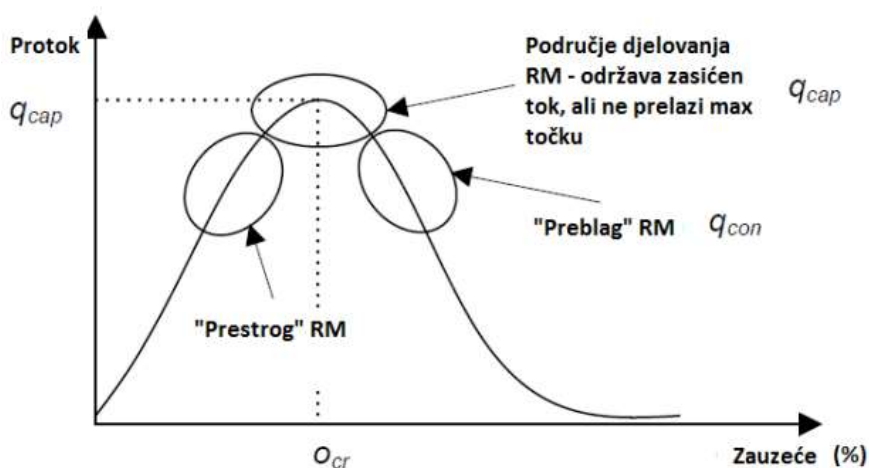
Sustav upravljanja priljevnim tokovima prometa predstavlja sustav koji prilikom prevelikog opterećenja na glavnom toku onemogućava vozilima priključivanje na glavni tok. Priključivanje je onemogućeno sve dok se situacija ne raščisti ili ako vrijeme čekanja na priljevnoj rampi prelazi prihvatljive granice čekanja vozača ili pak ako red čekanja na priljevnoj rampi postane predug. To je jedan od najučinkovitijih sustava upravljanja koji je zasnovan na stvarnovremenskom mjerenju prometnih parametara s područja inteligentnog transportnog sustava (ITS). [12]

U Europskoj uniji je 2001. godine pokrenut projekt pod nazivom CENTRICO kako bi bili procijenjeni sustavi upravljanja priljevnim tokovima ubrzanih autocesta te kako bi na temelju njih bio napravljen standard na cijelom području. [13]

Za razliku od većine prometnih rješenja koja problem nastoje riješiti na način da na kritičnim točkama povećavaju propusnost, sustav upravljanja priljevnim tokovima prometa fokusira se na upravljanje prometnom potražnjom. Pozitivni efekti ovakvog sustava su:

- Održavanje optimalnog prometnog toka u svim uvjetima
- Smanjenje broja prometnih nesreća
- Dodjeljivanje prioriteta pojedinim vrstama vozila (vozila javnog gradskog prijevoza, vozila hitnih službi...)
- Smanjenje negativnih utjecaja prometnog sustava na okoliš

Potreba za sustavom upravljanja priljevnim tokovima prometa javlja se prilikom povećanja protoka vozila, odnosno kada se broj vozila na prometnici počne približavati maksimalnom kapacitetu prometnice. Kao što prikazuje slika 13 optimalno bi bilo kada bi sustav upravljanja priljevnim tokovima prometa održavao prometni tok zasićenim, ali da on ne prijeđe iznad vrijednosti koje bi dovele do forsiranog prometnog toka.



Slika 12 - Područje djelovanja sustava upravljanja priljevnim tokovima prometa, Izvor [14]

4.2.1. Vrste upravljanja i strategije sustava upravljanja priljevnim tokovima prometa

Postoji više vrsta upravljanja sustavom upravljanja priljevnim tokovima prometa, a one se uglavnom razlikuju po načinu upravljanja, a to su [14]:

- Prometno ovisno upravljanje – upravljanje prometnim sustavom na temelju stvarnovremenskih podataka. Sustav se prilagođava trenutnoj situaciji na terenu i na temelju svojih algoritama odabire najoptimalniju varijantu koja će odgovarati trenutnoj prometnoj situaciji. Prometno ovisno upravljanje se može podijeliti na lokalno i sinkronizirano, ali postoje još dvije dodatne vrste upravljanja:
 - Restriktivno – broj vozila koji se propušta ispod je kapaciteta rampe.
 - Nerestriktivno – broj vozila koji se propušta blizu je kapaciteta rampe.
- Vremenski ovisno upravljanje – sustav na temelju povijesnih podataka ciklički upravlja propusnošću vozila na rampi. Radi se o načinu upravljanja koje se ne može primjenjivati uz veliku razinu pouzdanosti zato što mogu nastati neravnomjernosti koje mogu stvoriti još veći problem. Osim toga mogu nastati nepredviđene situacije što također može dovesti do još većeg problema u prometnom sustavu.
- Ručno upravljanje – ovo je vrsta upravljanja koja zahtjeva dodatne ljudske resurse, naime radi se o tome da operater bira plan upravljanja na temelju situacije koju prati u kontrolnom centru.

Osim vrsta upravljanja postoje i razne strategije propuštanja vozila. Ove ovise o prometnoj situaciji na području postavljanja ovakvog sustava, a neki od njih su [15]:

- Strategija s jednim prolaskom vozila za vrijeme trajanja zelenog svjetla – uključivanjem zelenog svjetla na priključnoj rampi dozvoljava se samo jednom vozilu da se uključi u glavni tok kretanja. Ovo je najčešća strategija, a njena glavna prednost je da se razbija kolona na priključnoj rampi. Nedostatak ovakve strategije je ograničen protok vozila koji se može priključiti na glavni tok.
- Strategija s prolaskom više vozila za vrijeme trajanja zelenog svijetla – ova strategija omogućava ulazak u glavni tok više vozila, odnosno onoliko koliko je to određeno (istaknuto) na priključnoj rampi. Strategija „N cars per green“ se često naziva i „platoon metering“.
- Strategija dvotračnog mjerenja – ova strategija zahtjeva dvije trake na prilaznoj rampi, a sustav vozila pušta na način da se nikad ne bi upalilo zeleno svijetlo u obje trake u isto vrijeme. Intervali između dva zelena indikatora su sinkronizirani kako bi osigurali stalni razmak između dva vozila u različitim trakama.

4.2.2. Elementi sustava upravljanja priljevnim tokovima prometa

Za ostvarivanje sustava upravljanja priljevnim tokovima prometa potrebno je više elemenata, a to su [14]:

1. Semafori na rampama – semafori uređaji za sustav upravljanja priljevnim tokovima prometa ovise o strategijama ovakvog sustava. Na slici 13 prikazan primjer semafori uređaja za strategiju s jednim prolaskom vozila za vrijeme trajanja zelenog svijetla na dvotračnoj rampi. Važno je naglasiti da semafori uređaje uvijek prate prometni znakovi i table koje sudionike u prometu upućuju na način propuštanja vozila na glavni tok.

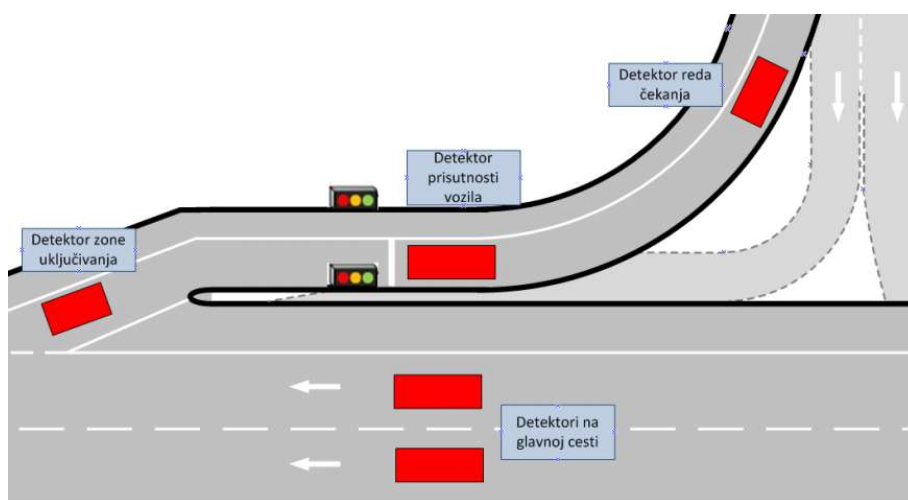


Slika 13 - Semafori uređaji za sustav upravljanja priljevnim tokovima prometa, Izvor [14]

2. Detektori na glavnoj prometnici i rampama – uzmemo li u obzir činjenicu da se sustav upravljanja priljevnim tokovima prometa temelji na visokoj tehnologiji i činjenicu da je uključivanje u tok s višom prednosti jedna od najrizičnijih radnji u prometu možemo zaključiti da ovaj sustav mora raditi bez greške. Da bi se osiguralo funkcioniranje bez prometnih nesreća važno je uzeti u obzir mnoštvo podataka koje skupljaju sljedeći detektori:

- 2.1. Detektori na rampi – radi se o detektorima koji prate dolazak vozila koja se žele uključiti u glavni tok prometa.
 - 2.1.1. Detektor prisutnosti vozila – ovaj detektor obavještava sustav da je jedno ili više vozila spremno za uključivanje u glavni tok prometa.
 - 2.1.2. Detektor zone uključivanja – radi se o detektoru koji se postavlja na područje gdje se prepliću glavni i sporedni tok prometa.
 - 2.1.3. Detektor reda čekanja – detektor koji prvi obavještava na dolazak vozila na priključnu rampu, ali primarni cilj mu je praćenje reda čekanja kako bi se sustav mogao prilagoditi novonastaloj situaciji.
- 2.2. Detektori na glavnoj prometnici – ovi detektori prikupljaju informacije o vozilima u glavnom toku poput njihove brzine i gustoće prometa.

Na slici 14 shematski je prikazan raspored pojedinih detektora. Kao što je vidljivo na slici s detektorima su pokrivena najvažnija područja priključne rampe i glavne ceste. Dobar raspored detektora ključaj je za funkcioniranje sustava.



Slika 14 - Shematski prikaz rasporeda detektora u sustavu upravljanja priljevnim tokovima prometa , Izvor [14]

3. Lokalni kontroleri – kao što svi semafori imaju uređaje za prikupljanje podataka i upravljanje križanjem tako ima i sustav upravljanja priljevnim tokovima prometa. Kod ovakvih sustava, lokalni kontroleri prikupljaju informacije od detektora i svih mjernih uređaja, a imaju još i zadatak da upravljaju semaforima i komuniciraju s udaljenim glavnim sustavom.
4. Računalni sustav – kontrolira cijeli sustav i u njega se prikupljaju sve dostupne informacije koje se na kraju obrađuju, a kao rezultat dobivamo funkcionalan prometni sustav.

4.2.3. Primjeri sustava upravljanja priljevnim tokovima prometa

Kao primjere naprednog sustava za upravljanje priljevnim tokovima navest ćemo sustave koji su implementirani u dva grada:

- Melbourne (Australija) - jedan od najvećih sustava upravljanja priljevnim tokovima prometa nalazi se na području grada Melbourne i njime su obuhvaćene 64 rampe na autocesti M1. Prema pojedinim izvorima [14] društvene, ali i prometne koristi su izrazito velike: 2 milijuna dolara uštede dnevno, 30% manje prometnih nesreća, 48% manje prosječno vrijeme putovanja i tako dalje.
- Teheran (Iran) – prema izvještaju iranskog ureda za statistiku iz 2015. godine u širem području glavnog i najvećeg grada Irana živi oko 15 milijuna stanovnika, a na gradskom području nalazi se oko 4 milijuna registriranih vozila i još mnoštvo neregistriranih. Prometnu situaciju iranske prijestolnice karakteriziraju nevjerojatne gužve i prometna kultura koja je za europske pojmove nezamisliva. Neovisno o broju iscrtanih traka sudionici u prometu formiraju zasebne kolone pa tako na tri iscrtane trake nerijetko možemo vidjeti pet kolona vozila. Jedan od izvođača sustava upravljanja priljevnim tokovima prometa u Teheranu je i hrvatska tvrtka Telegra³ koja vlastitim računalnim sustavom sudjeluje u ovom projektu. Ogroman problem za implementaciju ovakvog sustava stvara već spomenuta prometna situacija jer zbog izuzetno malih intervala slijeđenja sustavi detekcije ponekad ne mogu prepoznati svako vozilo. Sustav upravljanja priljevnim tokovima prometa postavljen je na Sadr Bridge vijaduktu koji služi kao priključak za Niayesh tunel. Spomenuti tunel dug je 6658 metara i jedan je od ključnih infrastrukturnih objekata u prometnom povezivanju istoka i zapada grada. Sustav upravljanja priljevnim tokovima prometa postavljen je na pet ulaznih rampi na Sadr Bridge, a osim prednosti za Sadr Bridge ovaj sustav uvelike utječe i na promet u Niayesh tunelu na način da je smanjio broj zaustavljanja kolona vozila što u konačnici ima jako veliki utjecaj na protok vozila i prometnu sigurnost.

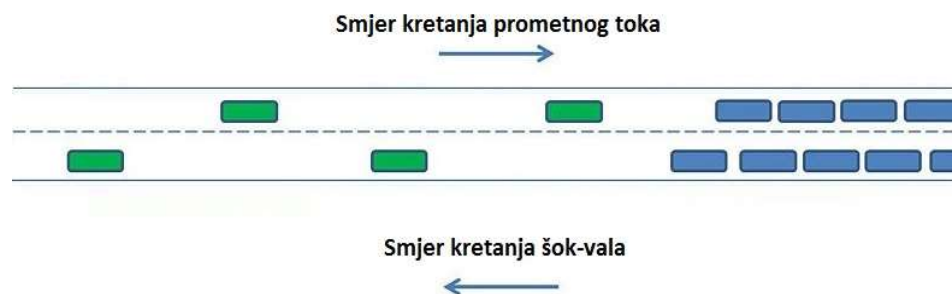
³ TELEGRA d.o.o. hrvatska je tvrtka za projektiranje, proizvodnju, ugradnju i održavanje inteligentnih prometnih sustava i telekomunikacijske infrastrukture. Sjedište tvrtke je u Svetoj Nedelji.

4.3. Eliminacija nastanka šok-vala

Polazeći od idealnih karakteristika prometnih tokova i osnovnog dijagrama prometnog toka, kontinuirane promjene koje se događaju u prometnom toku duž prometnice, tj. kontinuirane promjene osnovnih parametara prometnog toka, nošene su tzv. „valovima”, koji se kreću duž prometnice u pravcu kretanja prometnog toka ili suprotno od pravca prometnog toka ili pak natrag u odnosu na prometnicu. Ove kontinuirane promjene ne moraju izazivati krupnije poremećaje u odvijanju prometa. No, ako se ima na umu realan prometni tok, prije svega realne karakteristike sustava „vozilo-vozač”, onda je logično da u stvarnosti promjena osnovnih parametara prometnog toka uvijek znači i određene poremećaje u uvjetima odvijanja prometa. Duž puta u prometnom toku mogu se pojaviti i skokovite promjene u osnovnim parametrima prometnog toka. Takve promjene uvijek izazivaju nepovoljne poremećaje u odvijanju prometa duž prometnice. Slični poremećaji kod protjecanja fluida izazivaju turbulentna kretanja. [1]

Skokovite promjene osnovnih parametara prometnog toka duž prometnice praćene su tzv. „šok-valovima” ili „udarnim valovima”, koji se duž prometnice mogu kretati u smjeru prometnog toka, ali češće suprotno od smjera prometnog toka ili pak natrag i u odnosu na prometnicu. U realnim putnim i prometnim uvjetima promjene osnovnih parametara prometnog toka gotovo su uvijek praćene „udarnim valovima”. Promjene mogu nastati uslijed povećanja priljeva vozila na određenoj dionici ceste i pojave uskog grla na cesti (harmonizacija prometa na cesti). Povećanje priljeva vozila, ako je kontinuirano, praćeno je pojavom „vala”, a ako je skokovito onda je praćeno pojavom „šok-vala”. Pojava uskog grla na putu, po pravilu je praćena pojavom „šok-vala”. [1]

Primjer nastanka šok-vala prikazan je na slici 15. Naime vozila koja se kreću po prometnici nailaze na kolonu vozila koja se kreće manjom brzinom. Time kolona vozila postaje veća, a smjer povećavanja kolone obrnut je od smjera kretanja prometnog toka.



Slika 15 - Shematski prikaz nastanka i smjera kretanja šok-vala

Postoji više različitih mjera koje je moguće poduzeti u borbi protiv nastanka šok-vala. S obzirom da se radi o pojavi koja nije predvidiva, najučinkovitiji način za sprječavanje ili ublažavanje posljedica šok-vala je postavljanje promjenjivih prometnih znakova koji u kombinaciji s detektorskim uređajima prepoznaju nastanak ove pojave. Računalni sustav koji je povezan s detektorskim uređajima prima podatke o stanju na prometnici i odmah poduzima mjere koje ublažuju nastanak većih problema. Posljedica prepoznavanja ove pojave u većini slučajeva je smanjenje ograničenja brzine, a sudionicima u prometu promjena ograničenja brzine bude vidljiva na promjenjivim prometnim znakovima.

Kao primjer [17] postavljanja naprednog sustava za prepoznavanje nastanka šok-vala možemo navesti nizozemsku cestu A12, točnije dionicu od Bodegravena do Woerdena. Na navedenoj dionici testiran je projekt promjenjivih ograničenja brzine (engl. variable speed limit - VSL). Projektom je obuhvaćena dionica dugačka 16.5 km u jednom smjeru koji obuhvaća tri prometne trake, te se na početku dionice autoceste A12 spaja brza cesta N11 zbog čega i dolazi do pojave šok-valova koji se trebaju regulirati. Korisnici su bili obaviješteni o projektu na više načina. Postavljene su:

- table sa znakovima koji impliciraju na početak i kraj dionice obuhvaćene u projekt kao i razlozi implementacije VSL-a
- promjenjivi znakovi s informacijama o trenutnoj dopuštenoj brzini uključujući i razloge (npr. "prometno zagušenje" ili "sklizak kolnik") kao što je prikazano na slici 16.



Slika 16 – Primjer promjenjivih prometnih znakova na Nizozemskim cestama, Izvor [18]

U svrhu sprječavanja nastanka šok-vala korišten je algoritam za smanjenje šok valova koji poboljšava učinke u području redukcije šok valova, u slučaju zastoja prometa, postepenim smanjenjem ograničene brzine sa 120 km/h na 60 km/h (s ograničenim brzinama između 100 i 80 km/h), kako bi osigurao jednoličan prometni tok i time reducirali ili u potpunosti uklonili šok valovi. Algoritam može biti promjenjiv, a promjene ograničenja brzine mogu biti brze i uzastopne ovisno o situaciji. Rezultati ovog projekta su zadovoljavajući, naime u prosjeku je algoritam aktiviran 1.6 puta u danu što je rezultiralo reduciranjem 29 voznih sati kašnjenja po danu. Od svih šok valova njih 8% je uklonjeno u potpunosti. [16]

5. Analiza primjenjivosti mjera upravljanja prometnim tokom u RH

U posljednjem poglavlju ovog diplomskog rada naglasak će biti na provedivosti metoda upravljanja razmakom između vozila na hrvatskim prometnicama. S obzirom da se radi o upravljanju javnim dobrom posebna pozornost će biti na zakonskoj regulativi kao i na primjerima provedbe navedenih metoda.

5.1. Podjela cesta

S obzirom na veliki broj različitih tipova cesta nužna je temeljita podjela kako bi se omogućilo funkcionalno korištenje cesta. Važno je naglasiti da ceste nije moguće podijeliti samo prema jednom kriteriju. Neke od podjela su prema društveno-gospodarskom značenju, prema vrsti prometa, prema veličini motornog prometa, prema vrsti terena, prema funkciji, prema prostornim razlikama i tako dalje.

Za ovaj diplomski rad najvažnije podjele su prema količini motornog prometa i prema ograničenju brzine.

5.1.1. Podjela cesta prema količini motornog prometa

Podjela cesta prema količini motornog prometa klasificira ceste sukladno prosječnom dnevnom broju vozila koja prođu prometnicom u oba smjera. Prema Pravilniku o osnovnim uvjetima kojima javne ceste izvan naselja i njihovi elementi moraju udovoljavati s gledišta sigurnosti prometa [19] postoji šest vrsta ceste, a one se razlikuju po količini PGDP-a od najveće prema najnižim vrijednostima. Kao što je vidljivo u tablici 1 postoji šest vrsta cesta, prve su autoceste i brze ceste koje predstavljaju prometnice s najvećim prometnim opterećenjem. Nakon njih postoji još pet razreda čija se oznaka veličine prometa kreće od „jako velik“ do „vrlo malen“.

Tablica 1 - Podjela cesta s obzirom na količinu motornog prometa, Izvor [19]

Oznaka prema prometnoj podjeli	Oznaka veličine prometa	Ukupan broj vozila u 24 sata (PGDP)
Autoceste/brze ceste	Najveći	> 14 000
1. razred	Vrlo velik	> 12 000
2. razred	Velik	7 000 – 12 000
3. razred	Srednji	3 000 – 7 000
4. razred	Malen	1 000 – 3 000
5. razred	Vrlo malen	< 1 000

5.1.2. Podjela cesta prema ograničenju brzine

Podjela cesta prema ograničenju brzine druga je važna podjela, a ona je propisana Zakonom o sigurnosti na cestama. Kao što je vidljivo u tablici 2 ova podjela razlikuje četiri razreda ograničenja brzine koja ovise o vrsti prometnice i o njenom položaju u odnosu na naseljenost područja kojim cesta prolazi. Ograničenja se kreću od najnižeg, koji vrijedi za sve ceste u naselju i iznosi 50 km/h, do najvišeg koji se primjenjuje na autocestama i iznosi 130 km/h.

Tablica 2 - Podjela cesta prema ograničenju brzine, Izvor [20]

Područje	Vrsta ceste	Najveća dopuštena brzina kretanja (km/h)
U naseljenom području	Cesta u naselju	50 km/h
Izvan naselja	Ostale ceste izvan naselja	90 km/h
	Brze ceste	110 km/h
	Autoceste	130 km/h

5.2. Zakonska regulativa

Postavljanje prometne signalizacije, ograničenja brzine kretanja vozila, obilježavanje radova, upravljanje radnjama u prometu i tako dalje, samo su neke od mjera koje se gotovo svaki dan provode u prometnom sustavu. S obzirom da se radi o izmjenama na javnom dobru i o izmjenama koje imaju značajan utjecaj na sigurnost većeg broja osoba, provedba svih navedenih i navedenih mjera za poboljšanje prometnog sustava zahtijeva zakonsku podlogu. Ceste, kao osnova na kojoj se odvija promet, moraju se projektirati, izgrađivati, opremiti, održavati i štititi tako da odgovaraju svojoj namjeni i zahtjevima sigurnosti prometa u skladu s odredbama posebnog zakona i propisima donesenim na temelju toga zakona.

Prema [21] zakonski propisi iz područja cestovnog prometa u Hrvatskoj mogu se podijeliti u četiri kategorije:

- **Opći zakonski propisi** – u ovu kategoriju svrstavaju se zakoni i pravilnici koji nemaju izravan utjecaj na promet, već definiraju izgradnju i organizaciju svih građevina i objekata. Neki od propisa su: Zakon o zaštiti okoliša, Zakon o zaštiti zraka, Zakon o prostornom uređenju i gradnji, Pravilnik o procjeni utjecaja na okoliš i tako dalje
- **Propisi iz organizacije i tehnologije cestovnog prometa** – ova kategorija obuhvaća tri propisa, a to su: Zakon o prijevozu u cestovnom prometu, Pravilnik o tehničkim uvjetima vozila u prometu na cestama i Zakon o kombiniranom prometu.
- **Propisi iz infrastrukture cestovnog prometa** – ova grupa zakonskih propisa uključuje više pravilnika koji imaju direktan utjecaj na gradnju prometnica, a najvažniji propis je Zakon o cestama. [22] Ovaj zakon klasificira javne ceste, definira naknadu za korištenje javnih cesta, definira radove gradnje, održavanja i zaštite javnih cesta, propisuje odgovorne pravne osobe koje upravljaju javnim cestama itd.
- **Propisi iz sigurnosti cestovnog prometa** – za ovaj diplomski rad propisi iz sigurnosti cestovnog prometa najvažniji su zakonski akti. U nastavku rada bit će objašnjene zakonske mogućnosti koje čine pravnu podlogu za provođenje mjera upravljanja prometnim tokom i metoda upravljanja razmakom između vozila.

5.2.1. Zakon o sigurnosti prometa na cestama

Zakon o sigurnosti prometa na cestama [20] utvrđuje temeljna načela međusobnih odnosa sudionika u prometu na cestama, ponašanje sudionika i drugih subjekata u prometu na cesti, osnovne uvjete kojima moraju udovoljavati ceste s osnova sigurnosti prometa, pravila prometa na cestama, sustav prometnih znakova i znakova koje daju ovlaštene osobe, ukupnu masu i osovinsko opterećenje vozila, uvjete kojima moraju udovoljavati vozila u prometu na cestama i još niz drugih pravila obuhvaćenih zakonskih člancima.

Najvažniji članci koji imaju utjecaja na metode upravljanja razmakom između vozila su:

- Od članka 12 do članka 25 – navedeni članci sadrže opće odredbe o prometnim znakovima, svjetlosnim oznakama i oznakama na kolniku. Zakon o sigurnosti prometa na cestama ne definira izgled i položaj prometne signalizacije. Važno je naglasiti da su detaljniji opisi navedeni u Pravilniku o prometnim znakovima, opremi i signalizaciji na cestama.
- Od članka 51 do članka 55 – detaljno su objašnjene najveće dopuštene brzine kretanja vozila u prometu, a te brzine su već istaknute u tablici 2. Metode upravljanja razmakom između vozila uglavnom bi se provodile na autocestama ili brzim cestama tako da se može utvrditi da bi se najveće brzine kretanja na dionicama s upravljanjem razmakom kretale do 110 km/h. Zakon propisuje i minimalnu brzinu kretanja, citiram: „Vozač ne smije bez opravdanih razloga voziti tako sporo da bitno usporava prometni tok ili ugrožava druge sudionike u prometu.“
- Članci 109 i 110 – dva članka koja se direktno osvrću na razmak između vozila u vožnji. Prema Zakonu o sigurnosti prometa na cestama, citiram: „Vozač je dužan držati potreban razmak kad se kreće iza drugog vozila, tako da ne ugrožava sigurnost prometa.“ Ova dva članka ne propisuju minimalan razmak između vozila, osim u slučaju kada se jedno za drugim kreću motorna vozila čija je najveća dopuštena masa veća od 3.500 kg ili čija je duljina veća od 7 m (razmak od najmanje 100 m) i kada se u nizu kreću dva ili više vozila koja prevoze opasne tvari (razmak ne smije biti manji od 200 metara).
- Od članka 139 do članka 145 – u ovom dijelu zakona detaljno je objašnjeno prometovanje autocestom, brzom cestom i cestom namijenjenom isključivo za promet motornih vozila.

Ako uzmemo u obzir tri mjere za upravljanje razmakom između vozila (homogenizacija prometnog toka smanjenjem ograničenja brzine kretanja, sustav upravljanja priljevnim tokovima i eliminacija šok-vala) može se zaključiti da ne postoje prepreke za provedbu navedenih metoda. One nisu ni obuhvaćene ovim zakonom.

5.2.2. Pravilnik o osnovnim uvjetima kojima javne ceste izvan naselja i njihovi elementi moraju udovoljavati s gledišta sigurnosti prometa

Pravilnik o osnovnim uvjetima kojima javne ceste izvan naselja i njihovi elementi moraju udovoljavati s gledišta sigurnosti prometa [19] dijeli ceste prema:

- Društveno i gospodarskom značenju
- Vrsti prometa
- Veličini motornog prometa
- Zadaći povezivanja
- Vrsti terena

Ovaj pravilnik ima puno veći značaj za projektiranje ceste nego za organizaciju i upravljanje prometnim tokovima. Pravilnik propisuje širine kolnika ovisno o kategoriji, vrijednosti nagiba ceste, veličine pravaca i zavoja, definira opremu ceste i vrste projekata za ceste i tako dalje.

5.2.3. Pravilnik o uvjetima za projektiranje i izradu priključaka i prilaza na javnu cestu

Pravilnik o uvjetima za projektiranje i izradu priključaka i prilaza na javnu cestu [24] još je jedan od zakona koji ima puno veći značaj za projektiranje ceste nego za organizaciju i upravljanje prometnim tokovima.

Radi se o propisu kojim su utvrđeni minimalni uvjeti za projektiranje i izgradnju priključaka i prilaza na javnu cestu. Jedna od metoda upravljanja razmakom između vozila je sustav upravljanja priljevnim tokovima prometa, a radi se o sustavu koji se montira upravo na priključnim rampama. Uglavnom se radi o rampama s većim intenzitetom prometa, a ovaj pravilnik propisuje da se na takvim cestama radi priključak za samo jedan smjer. Citiram: „Priključci na cestama namijenjenim prometu motornih vozila, na cestama s po dvije vozne trake za svaki smjer prometa, na cestama s odvojenim kolnicima, te cestama s PGDP većim od 7000 vozila, izvode se samo za jedan smjer prometa javne ceste, odnosno u drugoj razini.“

Detalji o opremi kao što je oprema za sustav upravljanja priljevnim tokovima prometa nisu propisani ovim pravilnikom.

5.2.4. Pravilnik o prometnim znakovima, opremi i signalizaciji na cestama

Pravilnik o prometnim znakovima, opremi i signalizaciji na cestama [25] donesen je na temelju članka 31. stavka 2., Zakona o sigurnosti prometa na cestama. [20] Pravilnikom se propisuju: vrsta, značenje, oblik, boja, dimenzije i postavljanje prometnih znakova, signalizacije i opreme na cestama.

Prometne znakove, signalizaciju i opremu cesta prema Pravilniku o prometnim znakovima, opremi i signalizaciji na cestama čine [25]:

1. Prometni znakovi
 - a. znakovi opasnosti
 - b. znakovi izričitih naredbi
 - c. znakovi obavijesti
 - d. znakovi obavijesti za vođenje prometa
 - e. dopunske ploče
 - f. promjenjivi prometni znakovi
2. Prometna svjetla i svjetlosne oznake
3. Oznake na kolniku i drugim površinama
4. Prometna oprema cesta (oprema za označivanje ruba kolnika, oprema za označivanje vrha prometnog otoka, oprema, znakovi i oznake za označivanje radova, prepreka i oštećenja kolnika, svjetlosni znakovi za označivanje radova, drugih zapreka i oštećenja kolnika, oprema za vođenje i usmjerivanje prometa u području radova na cesti, prepreka i oštećenja kolnika, branici i polubranici, prometna zrcala, zaštitne odbojne ograde, ograde protiv zasljepljivanja, zaštitne žičane ograde, pješačke ograde, ublaživači udara, oznake za ručno upravljanje prometom)
5. Signalizacija i oprema za smirivanje prometa
6. Turistička i ostala signalizacija propisana je posebnim propisima.

Pravilnik o prometnim znakovima, opremi i signalizaciji na cestama propisuje prometne znakove, opremu i signalizaciju koju je moguće koristiti u pojedinim metodama za upravljanje razmakom između vozila:

- Homogenizacija prometnog toka smanjenjem ograničenja brzine – promjenjivim prometnim znakovima te signalizacijom i opremom za smirivanje prometa moguće je umiriti promet i smanjiti brzinu kretanja vozila, time bi se homogenizirao prometni tok po pitanju načina kretanja i brzine. Provedivost ove mjere može dovesti do povećanja sigurnosti i protoka vozila.
- Eliminacija nastanka šok-vala – iako je promjenjiva prometna signalizacija jedan od temeljnih elemenata sustava za eliminaciju i sprječavanje nastanka pojave šok-vala to nije dovoljno za normalno funkcioniranje ovakvog sustava. Potrebno je osigurati dostatan broj detektorskih uređaja koji bi prepoznali eliminaciju ove pojave.
- Sustav upravljanja priljevnim tokovima – suvremeni sustav koji propušta vozila iz sporednog u glavni tok prema hrvatskim zakonima nije posve provediv. Naime, ne postoji pravni akt ili propis koji bi omogućio uporabu detektora i opreme čija bi funkcija bila mjerenje brzine vozila i propuštanje u prometni tok. Također, u pravilniku o prometnim znakovima, opremi i signalizaciji nisu definirani ni semafori uređaji koji bi funkcionirali prema strategiji s jednim prolaskom vozila za vrijeme trajanja zelenog svjetla.

Važno je naglasiti da hrvatski zakoni propisuju Pravilnik o mjeriteljskim zahtjevima za mjerila brzine vozila u cestovnome prometu [26], ali on ne predviđa mogućnost stvarnovremenskog brojanja prometa uz pomoć detektora s ciljem upravljanja prometnim tokom. Pravilnik o mjeriteljskim zahtjevima za mjerila brzine vozila u cestovnome prometu propisuje samo mjerenje od strane službenih osoba s dozvolom Ministarstva unutarnjih poslova. Citiram: „Mjerenje brzine mogu obavljati samo za to osposobljene službene osobe koje imaju potrebno teoretsko i praktično znanje o postavljanju, radu i načinu uporabe svake pojedine vrste mjerila brzine i pripadnoga pribora. Osposobljavanje službenih osoba za rad s mjerilima brzine provest će mjerodavna služba Ministarstva unutarnjih poslova u suradnji s proizvođačem mjerila i Državnim zavodom za normizaciju i mjeriteljstvo.“

5.3. Primjer upravljanja prometnim tokom upravljanjem razmakom između vozila

Mjere i metode upravljanja razmakom između vozila najčešće se provode na dionicama javnih cesta čije prometno opterećenje zahtjeva korekciju postojećeg stanja. Navedene mjere nisu nužne ukoliko je prometnica dimenzionirana i izvedena na način koji bi omogućio normalno kretanje vozila. Dakle, radi se o mjerama koje je potrebno provesti na dionicama cesta koje nemaju mogućnost proširivanja ili ostalih građevinskih radova koji bi poboljšali prometnu situaciju.

U 4. poglavlju ovog diplomskog rada prilikom navođenja pojedinih mjera upravljanja razmakom između vozila navedeni su uspješni primjeri implementacije sustava izvan granica Hrvatske. Iako hrvatski zakoni i propisi ne pružaju dostatnu podlogu za provođenje pojedinih mjera za upravljanje razmakom između vozila, u nastavku rada bit će navedeno nekoliko primjera na kojima bi spomenute mjere mogle donijeti poboljšanje prometnog sustava. Uglavnom se radi o spojevima dviju ili više cesta s visokim intenzitetom prometa. Na takvim spojevima često dolazi do prometnih zagušenja koja onemogućavaju normalno odvijanje prometa.

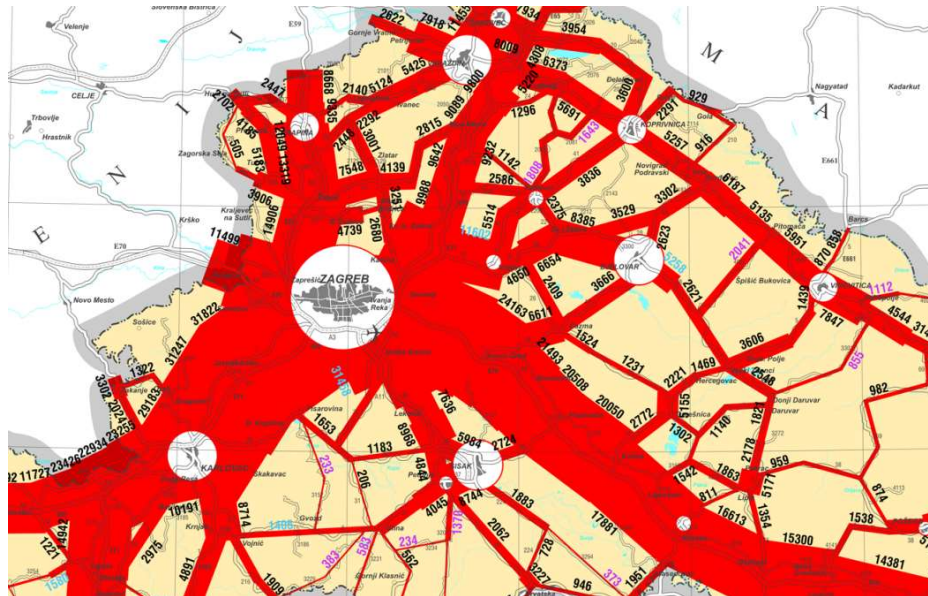
5.3.1. Dionica Zagrebačka obilaznica – naplatna postaja Lučko

Gradske cestovne obilaznice i dijelovi autocestovnih prometnih pravaca pokazuju se učinkovitim u izdvajanju tranzitnog prometa iz gradova i dijela njihove okolice, doprinoseći sigurnijem odvijanju ne samo cestovnog, nego i drugih oblika prometa. Na takvim prometnicama problemi nastaju prilikom slijevanja prometa na druge prometne pravce u vršnim satima. Jedan takav primjer je dionica ceste koja se proteže od zagrebačke obilaznice (čvor Lučko) do naplatne postaje Lučko. Na navedenoj dionici siječe se više prometnih pravaca, a uglavnom se radi o prometnim pravcima s visokom intenzitetom prometa. Vozila prema naplatnoj postaji Lučko dolaze iz tri smjera:

1. Zapadni dio zagrebačke obilaznice – vozila iz ovog smjera dolaze najčešće autocestom A3 (Bregana - Lipovac) ili A3 (Zagreb - Macelj). Radi se o prometnom smjeru koji dovodi značajan dio prometa na naplatnu postaju Lučko. Uglavnom se radi o vozilima koja prometuju iz središnje Europe i sjeverne Hrvatske.
2. Jadranska avenija – najznačajniji i glavni smjer koji ima prioritet na čvoru Lučko. Radi se o prometnom pravcu kojeg koriste vozači koji se kreću iz grada Zagreba prema naplatnoj postaji Lučko.

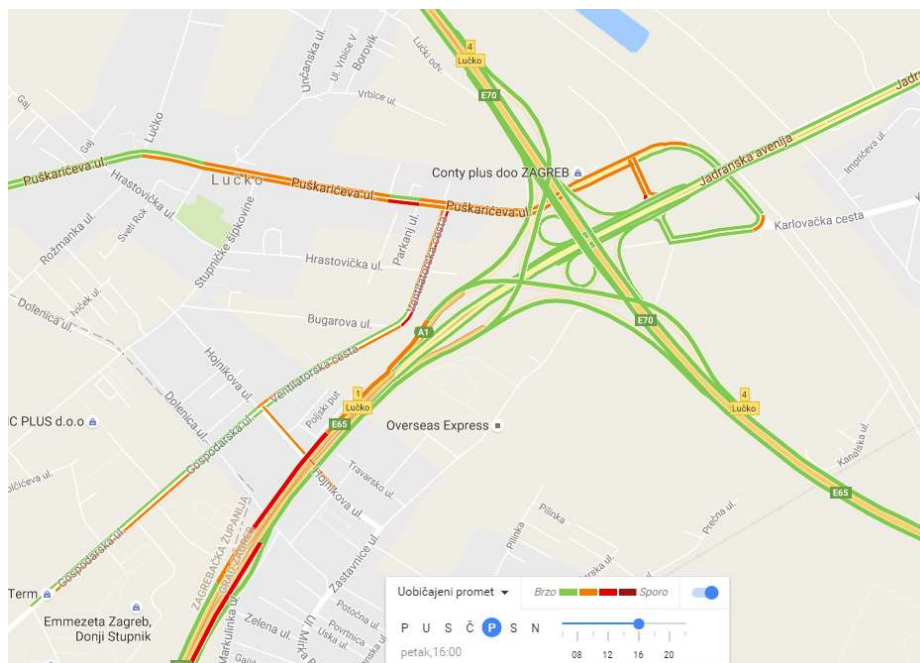
3. Istočni dio zagrebačke obilaznice – prometni pravac koji ima najmanji značaj, odnosno s njega se slijeva najmanje prometa prema autocesti A1. Iz ovog smjera slijevaju se vozila koja prometuju cestama A4 (Zagreb - Goričan), A3 (Bregana – Lipovac), ali i vozila iz istočnog dijela Zagreba koja se služe zagrebačkom obilaznicom.

Da se radi o prometnicama visokog intenziteta prometa najbolje prikazuje slika 17 koja prikazuje prometno opterećenje u okolini grada Zagreba.



Slika 17 -Prometno opterećenje u okolini Zagreba, Izvor [29]

Na slici 18 prikazana je lokacija sporne dionice ceste, a osim lokacije navedena slika prikazuje i stanje u prometu. Stanje u prometu dobiveno je na temelju značajke Google Traffic koja prikazuje informacije temeljem podataka od prijašnjeg perioda u isto doba dana. Zelena boja označava da promet ide jako brzo, žuto nešto manje, crveno da je sporo, a crno da je došlo do zastoja. Osim prometa „uživo” moguće je vidjeti i stanje prometa u specifična doba dana te specifične dane u tjednu, što omogućava procjenu trajanja putovanja. [30] Na slici 18 prikazano je stanje za petak u poslijepodnevnom satima, točnije u 16 sati.



Slika 18 - Lokacija provođenje mjera upravljanja prometnim tokom i prikaz opterećenja, Izvor [28]

Kao rješenje predloženo je uvođenje sustava za upravljanje priljevnim tokovima koje bi bilo implementirano na čvor Lučko, odnosno na rampe koje vode promet sa zagrebačke obilaznice prema naplatnoj postaji Lučko. Na slici 19 prikazan je shematski prikaz implementacije sustava.



Slika 19 – Prikaz pozicija elemenata sustava za upravljanje priljevnim tokovima

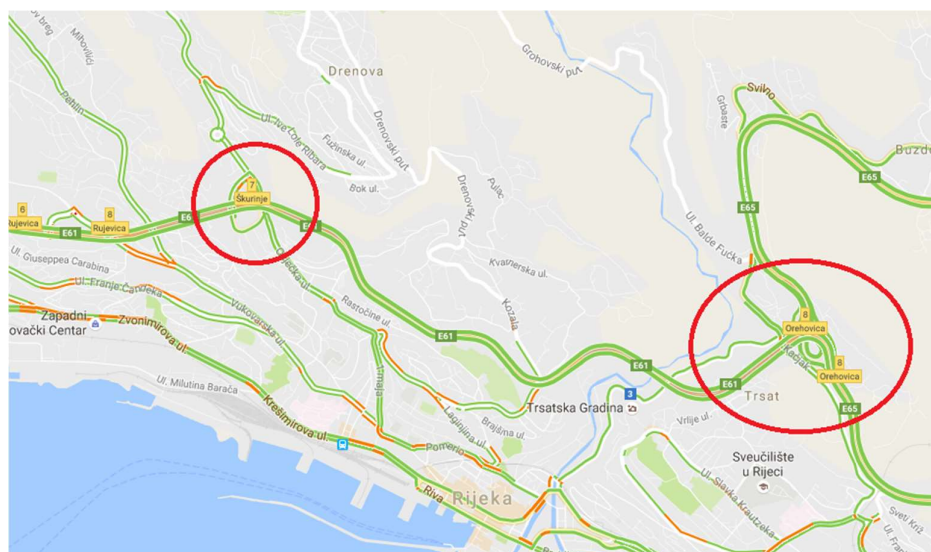
Rad sustava može se definirati kroz tri točke:

- Dvije vrste detektora ugrađuju se na priljevnim rampama (detektori prisutnosti i reda čekanja), dok se na glavnoj prometnici ugrađuje detektor koji prima informacije o prometu na glavnom toku.
- Semafori uređaji propuštaju vozila s priljevnih rampi ovisno o opterećenju na glavnom toku i na priljevnim rampama.
- Sustav kontrolira promet koji se kreće prema ulazu na autocestu i propušta 5% manje vozila od kapaciteta naplatne postaje Lučko

Implementacijom ovakvog sustava omogućava se manji intenzitet priljeva vozila prema naplatnoj postaji Lučno te se na taj način kontrolirano propuštaju vozila. Kao posljedica implementacije ovog sustava dobio bi se veći razmak između vozila koja se kreću prema ulasku na autocestu A1 što rezultira povećanjem stupnja sigurnosti i olakšava prestrojavanje i kanaliziranje vozila. Na taj način vozači se na vrijeme i bez ugrožavanja vlastite sigurnosti mogu prestrojiti ovisno o tome koriste li klasični način uključivanja na autocestu ili ENC sustav⁴.

5.3.2. Obilaznica Rijeka

Na riječkoj obilaznici prometno opterećenje ne stvara velike probleme kao na čvoru Lučko, ali postoje dva čvora na kojima se javljaju gužve. Gužve nastaju uglavnom u ljetnim mjesecima kada se velik broj vozila koristi riječkom obilaznicom u oba smjera. Sustav za upravljanje priljevnim rampama u ovom slučaju ne bi morao biti stalno aktivan, već samo kada se za njim javi potreba. Na slici 20 označena je lokacija spornih čvorova, a to su čvor Škurinje i čvor Orehovica.



Slika 20 - Lokacija čvorova Škurinje i Orehovica na riječkoj obilaznici, Izvor [28]

⁴ ENC (Elektronička naplata cestarine) metoda je beskontaktna naplata bez posredovanja blagajnika, a proces naplate cestarine odvija se pomoću ENC-uređaja smještenog na vjetrobranskom staklu vašeg vozila i antene na naplatnoj stazi. [31]

6. Zaključak

Ovim diplomskim radom kroz pet cjelina obrađeni su prometni pokazatelji kretanja vozila u prometnom toku i mogućnost utjecaja na te pokazatelje. Prva potreba za unaprjeđenjem prometnog sustava javila se početkom 20. stoljeća kada su motorna prijevozna sredstva postala dostupna širokim masama. Jedan od glavnih pokretača unaprjeđenja prometnog sustava je Bruce Douglas Greenshields koji je 1930-ih svojim radovima postavio temelje znanstvene discipline Teorije prometnih tokova. Radi se o disciplini koja se bavi proučavanjem uvjeta kretanja motornih vozila u prometnim tokovima na mreži cestovnih prometnica.

Teorija prometnih tokova do danas je iznjedrila mnoga poboljšanja prometnog sustava i definirala osnovne pojmove u prometnom toku. Kad su u pitanju pokazatelji za opisivanje kretanja pojedinačnog vozila onda govorimo o vremenu, putu, brzini, ubrzanju i impulsu, ali za potrebe razrade teme ovog diplomskog rada mnogo je važnije opisivanje kretanja vozila u prometnom toku. Uz pomoć pokazatelja za kretanje vozila u prometnom toku utvrđujemo utjecaj entiteta prometnog toka na druge entitete, ali i na sami prometni tok. Ti pokazatelji su: protok vozila, gustoća prometnog toka, brzina prometnog toka, vrijeme putovanja vozila u toku, jedinično vrijeme putovanja vozila u toku, vremenski interval slijeđenja vozila u toku te razmak slijeđenja vozila u toku. U ovom diplomskom radu prikazani su svi navedeni pokazatelji i definirani su odnosi među njima, a poseban naglasak stavljen je na razmak između vozila.

U nastavku rada veća pozornost stavljena je na metode upravljanja razmakom između vozila u prometnom toku. Upravljanjem razmakom između vozila moguće je postići mnoge pozitivne efekte koji se direktno mogu odraziti na prometni sustav. Kao primjeri metoda navedeni su homogenizacija prometnog toka smanjenjem ograničenja brzine, sustav upravljanja priljevnim tokovima prometa i eliminacija nastanka šok-vala.

Homogenizacija prometnog toka smanjenjem ograničenja brzine rezultira smanjenjem razlika u brzini između vozila u prometnom toku, čime se može postići sigurniji i stabilniji protok. Razvoj znanosti i razvoj inteligentnih prometnih sustava omogućio je da se uz pomoć promjenjive prometne signalizacije u svakom trenutku može prilagođavati ograničenje brzine ovisno o uvjetima na cesti, a samim time moguć je utjecaj na homogenizaciju prometnog toka.

Sustav upravljanja priljevnim tokovima prometa predstavlja sustav koji prilikom prevelikog opterećenja na glavnom toku onemogućava vozilima priključivanje na glavni tok. Priključivanje je onemogućeno sve dok se situacija ne raščisti ili ako vrijeme čekanja na priljevnoj rampi prelazi prihvatljive granice čekanja vozača ili pak ako red čekanja na priljevnoj rampi postane predug.

Kad je u pitanju smanjivanje posljedica šok-vala, postoji nekolicina mjera koje je moguće poduzeti. Najučinkovitija mjera koristi računalni sustav koji je povezan s detektorskim uređajima. On prima podatke o stanju na prometnici i odmah poduzima radnje koje ublažuju nastanak većih problema. U većini slučajeva sudionike u prometu obavještava se o promjeni uvjeta na cesti putem promjenjive prometne signalizacije.

U završnom poglavlju ovog diplomskog rada obrađena je mogućnost primjene navedenih metoda na hrvatskim prometnicama. S obzirom da se radi o izmjenama na javnom dobru i o izmjenama koje imaju značajan utjecaj na sigurnost većeg broja osoba, provedba svih navedenih mjera za poboljšanje prometnog sustava zahtijeva zakonsku podlogu. Ceste, kao osnova na kojoj se odvija promet, moraju se projektirati, izgrađivati, opreмати, održavati i štititi tako da odgovaraju svojoj namjeni i zahtjevima sigurnosti prometa u skladu s odredbama posebnog zakona i propisima donesenih na temelju toga zakona. Analizom mjerodavnih pravnih akata može se utvrditi da hrvatski zakoni omogućavaju pojedine mjere za upravljanje razmakom između vozila, ali kada je u pitanju sustav upravljanja priljevnim tokovima prometa ne postoji pravni akt ili propis koji bi omogućio uporabu detektora i opreme čija bi funkcija bila mjerenje brzine vozila i propuštanje u prometni tok.

U posljednjem dijelu zadnjeg poglavlja razrađen je primjer postavljanja sustava za upravljanje priljevnim tokovima na dionici ceste od zagrebačke obilaznice do naplatne postaje Lučko. Na navedenoj dionici siječe se više prometnih pravaca, a uglavnom se radi o prometnim pravcima s visokim intenzitetom prometa. Kao rješenje predloženo je uvođenje sustava za upravljanje priljevnim tokovima koje bi bilo implementirano na čvor Lučko, odnosno na rampe koje vode promet sa zagrebačke obilaznice prema naplatnoj postaji Lučko. Kao posljedica implementacije ovog sustava dobio bi se veći razmak između vozila koja se kreću prema ulasku na autocestu A1, što rezultira povećanjem stupnja sigurnosti i olakšava prestrojavanje i kanaliziranje vozila.

Literatura

- [1] Dadić, I., Kos, G., Ševrović, M.: TEORIJA PROMETNOG TOKA, Fakultet prometnih znanosti, Zavod za prometno planiranje, Zagreb, 2014.
- [2] Highway capacity manual, National research council, Washington, D.C., 2000.
- [3] Ševrović, M.: Predavanja iz kolegija Teorija prometnih tokova, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2014.
- [4] URL: <http://www.automobiledimension.com/audi-car-dimensions.html> (pristupljeno: kolovoz 2016.)
- [5] URL: <http://www.dot.ca.gov/ser/forms.htm> (pristupljeno: kolovoz 2016.)
- [6] Šimunović, Lj.: Predavanja iz kolegija Osnove prometnog inženjerstva, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2014.
- [7] Brozović, I.: Prometno i prostorno planiranje – II. dio – autorizirana i rezensirana predavanja, Veleučilište u Rijeci, Rijeka, 2009.
- [8] Jiang, R., Hu, M-B., Jia, B., Wang, R., Wu, Q-S.: ENHANCING HIGHWAY CAPACITY BY HOMOGENIZING TRAFFIC FLOW, Transportmetrica, Hong Kong, 2008.
- [9] Katava, D.: UPRAVLJANJE SIGURNOŠĆU PROMETA NA AUTOCESTAMA PROMJENJIVIM OGRANIČENJEM BRZINE, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2015.
- [10] URL: <http://www.prometna-signalizacija.com/vertikalna-signalizacija/promjenjiva-signalizacija/> (pristupljeno: kolovoz 2016.)
- [11] URL: <http://www.slobodnadalmacija.hr/novosti/hrvatska/clanak/id/321478/velike-guzve-na-cestama-prema-moru-pred-sv-rokom-kolona-29-kilometara-zatvoren-izlaz-ostrovica-na-a6> (pristupljeno: kolovoz 2016.)
- [12] Galić, I.: USPOREDBA METODA ZA UPRAVLJANJE PRILJEVNIM TOKOVIMA NA PRIMJERU ZAGREBAČKE OBILAZNICE, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2015.
- [13] URL: <http://www.transport-research.info/project/central-european-region-transport-telematics-implementation-project> (pristupljeno: kolovoz 2016.)
- [14] Šehagić, N.: Predavanja iz kolegija cestovna telematika, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2015.
- [15] Gregurić, M.: INTELIGETNO UPRAVLJANJE PRILJEVNIM TOKOVIMA AUTO-CESTE SA OSVRTOM NA MOGUĆNOST PRIMJENE NA ZAGREBAČKOJ OBILAZNICI, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2015.
- [16] Dedić, L.: INTELIGENTNO UPRAVLJANJE PROMETNIM TOKOVIMA UPORABOM KONCEPTA OGRANIČENJA BRZINE, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2015.

- [17] Stoelhorst, H., Schreuder, M., Polderdijk, S.: Summary results of Dutch field trials with dynamic speed limits (Dynamax), Rijkswaterstaat Centre for Transport and Navigation Delft, The Netherlands, 2010.
- [18] URL: <http://ops.fhwa.dot.gov/publications/fhwahop10023/chap4.htm> (pristupljeno: kolovoz 2016.)
- [19] Pravilnik o osnovnim uvjetima kojima javne ceste izvan naselja i njihovi elementi moraju udovoljavati sa stajališta sigurnosti prometa, Narodne novine 110/01, Zagreb, 2001.
- [20] Zakon o sigurnosti prometa na cestama, Narodne novine 64/15, Zagreb, 2015.
- [21] Horvat, R.: Predavanja iz kolegija Sigurnost cestovnog i gradskog prometa 2, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2014.
- [22] Zakon o cestama, Narodne novine 92/14, Zagreb, 2014.
- [23] Legac, I.: Cestovne prometnice 1, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2006.
- [24] Pravilnik o uvjetima za projektiranje i izgradnju priključaka i prilaza na javnu cestu, Narodne novine 95/14, Zagreb, 2014.
- [25] Pravilnik o prometnim znakovima, opremi i signalizaciji na cestama, Narodne novine 33/05, Zagreb, 2005.
- [26] Pravilnik o mjeriteljskim zahtjevima za mjerila brzine vozila u cestovnome prometu, Narodne novine 38/01, Zagreb, 2001.
- [28] URL: <https://maps.google.com/> (pristupljeno: rujan 2016.)
- [29] Brojenje prometa na cestama Republike Hrvatske za godinu 2015., Prometis d.o.o., Zagreb, 2016.
- [30] URL: <http://www.netokracija.com/google-maps-live-traffic-zagreb-46288> (pristupljeno: rujan 2016.)
- [31] URL: <http://hac.hr/hr/cestarina/enc/elektronicka-naplata-cestarine-enc-413> (pristupljeno: rujan 2016.)

Popis slika

Slika 1 - Protok vozila na presjeku	4
Slika 2 - Protok vozila na dionici	4
Slika 3 - Gustoća prometnog toka	5
Slika 4 - Utjecaj brzina prometnog toka na srednju vremensku i srednju prostornu brzinu, Izvor [1].....	7
Slika 5 - Vremensko i prostorno slijeđenje vozila	10
Slika 6 - Razlika između slijeđenja vozila i razmaka između vozila	11
Slika 7 - Utjecaj razmaka između vozila na razinu usluge, Izvor [5]	13
Slika 8 - Parabolični dijagram protok-gustoća, Izvor [1].....	14
Slika 9 – Dijagram protok – gustoća te vremenski i prostorni razmak između vozila, Izvor [7]	16
Slika 10 - Primjer promjenjive prometne signalizacije, Izvor [10].....	18
Slika 11 - Zagušenje na autocesti A1 za vrijeme turističke sezone, Izvor [11].....	19
Slika 12 - Područje djelovanja sustava upravljanja priljevnim tokovima prometa, Izvor [14] ..	20
Slika 13 - Semaforški uređaji za sustav upravljanja priljevnim tokovima prometa, Izvor [14].	22
Slika 14 - Shematski prikaz rasporeda detektora u sustavu upravljanja priljevnim tokovima prometa , Izvor [14]	23
Slika 15 - Shematski prikaz nastanka i smjera kretanja šok-vala	25
Slika 16 – Primjer promjenjivih prometnih znakova na Nizozemskim cestama, Izvor [18]	26
Slika 17 -Prometno opterećenje u okolici Zagreba, Izvor [29].....	36
Slika 18 - Lokacija provođenje mjera upravljanja prometnim tokom i prikaz opterećenja, Izvor [28].....	37
Slika 19 – Prikaz pozicija elemenata sustava za upravljanje priljevnim tokovima.....	38
Slika 20 - Lokacija čvorova Škurinje i Orehovica na riječkoj obilaznici, Izvor [28]	39

Popis tablica

Tablica 1 - Podjela cesta s obzirom na količinu motornog prometa, Izvor [19]29

Tablica 2 - Podjela cesta prema ograničenju brzine, Izvor [20]29