Definiranje parametara za analizu prometnih tokova u funkciji sigurnosti cestovnog prometa

Batinić, Martina

Master's thesis / Diplomski rad

2017

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:119:719303

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**

Repository / Repozitorij:

Faculty of Transport and Traffic Sciences - Institutional Repository

zir.nsk.hr

DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Martina Batinić

DEFINIRANJE PARAMETARA ZA ANALIZU PROMETNIH TOKOVA U FUNKCIJI SIGURNOSTI CESTOVNOG PROMETA

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, rujan 2017.

Sveučilište u Zagrebu
FAKULTET PROMETNIH
ZNANOSTI Vukelićeva 4, 10000
Zagreb
DIPLOMSKI STUDIJ

Diplomski studij: Fakultet prometnih znanosti
Katedra: Katedra za tehniku cestovnog prometa
Predmet: Sigurnost cestovnog i gradskog prometa III

ZADATAK DIPLOMSKOG RADA

Pristupnik: Martina Batinić
Matični broj: 0135219118
Smjer: Cestovni

Zadatak: Definiranje parametara za analizu prometnih tokova u funkciji sigurnosti cestovnog prometa

Engleski naziv zadatka: Define Parameters for Analysis Traffic Flows in Function Safety of Road Traffic

Opis zadatka:

Utvrđivanje uvjeta i načina kretanja vozila u prometu na cestama određuju promjenljivi parametri čije su veličine u međusobnom interakcijskom odnosu prometnih entiteta promjenljivi. Zbog toga, opisivanje zakonitosti kretanja entiteta u prometnom toku kao i opisivanje osnovnih veličina prometnog toka vrlo je složen proces. Znanstvenim istraživanjima utvrđeno je više od 200 elemenata i veličina značajnih za definiranje propusne moći i razine usluge cesta. Zbog optimiziranja procesa planiranja mjera za unaprjeđenje pojedine ceste i cestovne mreže, a s ciljem određivanja optimalne propusne moći i sigurnosti prometa na cestama, u diplomskom radu potrebno je definirati parametre prometnog toka koji određuju i utječu na definiranje optimalnog odnosa prometnog toka, propusne moći i sigurnosti prometa.

Nadzorni nastavnik:

doc. dr. sc. Rajko Horvat

Predsjednik povjerenstva za završni ispit

Djelovođa:

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

DIPLOMSKI RAD

DEFINIRANJE PARAMETARA ZA ANALIZU PROMETNIH TOKOVA U FUNKCIJI SIGURNOSTI CESTOVNOG PROMETA

DEFINING PARAMETERS FOR TRAFFIC FLOW ANALYSIS CONTRIBUTING TO SAFETY OF ROAD TRAFFIC

Mentor: Doc. dr. sc. Rajko Horvat

Student: Martina Batinić
JMBAG: 0135219118

Zagreb, rujan 2017.

SAŽETAK:

Utvrđivanje uvjeta i načina kretanja vozila u prometu na cestama određuju promjenjivi parametri čije su veličine u međusobnom interakcijskom odnosu. Zbog toga, opisivanje zakonitosti kretanja entiteta u prometnom toku kao i opisivanje osnovnih veličina prometnog toka vrlo je složen proces. Znanstvenim istraživanjima utvrđeno je više od 200 elemenata i veličina značajnih za definiranje propusne moći i razine usluge cesta. Zbog optimiziranja procesa planiranja mjera za unaprjeđenje pojedine ceste i cestovne mreže, a s ciljem određivanja optimalne propusne moći i sigurnosti prometa na cestama, u diplomskom radu potrebno je definirati parametre prometnog toka koji određuju i utječu na definiranje optimalnog odnosa prometnog toka, propusne moći i sigurnosti prometa.

KLJUČNE RIJEČI: prometni tok, parametri, gustoća, brzina, protok, modeli

SUMMARY:

Determining the conditions and modes of movement of vehicles in traffic on the roads determine the variable parameters whose sizes are in mutual interaction. For this reason, the description of the regularity of movement of the entity in the traffic flow as well as the description of the basic flows of the traffic flow is a very complex process. Scientific research has identified more than 200 elements and sizes of significance for defining permeable power and road level levels. Due to the optimization of the process of planning measures for the improvement of the road and the road network, in order to determine the optimal permeable power and road traffic safety, in the graduate work it is necessary to define traffic flow parameters that determine and influence the definition of optimum traffic flow, permeability and traffic safety.

KEYWORDS: traffic flow, parameters, density, speed, flow, models

SADRŽAJ:

1. UVOD 1
2. OSNOVNI PARAMETRI PROMETNOG TOKA 3
2.1. Definiranje prometnog toka 3
2.2. Osnovni parametri prometnog toka 3
2.2.1. Protok vozila 4
2.2.2. Gustoća prometnog toka 5
2.2.3. Brzina prometnog toka 6
2.2.4. Interval slijeđenja vozila 9
2.2.5. Razmak u slijeđenju vozila 11
3. ODREĐIVANJE OSNOVNIH ZNAČAJKI PROMETNOG TOKA 12
3.1. Složenost prometnog toka 12
3.2. Vrste i struktura prometnog toka 13
3.2.1. Podjela prometnog toka s obzirom na uvjete odvijanja prometa 13
3.2.2. Podjela prometnog toka prema sastavu ili strukturi 15
3.3. Vremenska neravnomjernost protoka vozila 18
3.3.1. Satna neravnomjernost u periodu jednog dana 18
3.3.2. Satna neravnomjernost protoka vozila u periodu cijele godine 19
3.3.3. Dnevna neravnomjernost protoka vozila u periodu sedam dana 20
3.3.4. Dnevna neravnomjernost protoka vozila u periodu jednog mjeseca 20
3.3.5. Dnevna neravnomjernost protoka vozila u periodu jedne godine 20
3.3.6. Mjesečna neravnomjernost protoka vozila u periodu godine 20
3.3.7. Neravnomjernosti protoka po manjim vremenskim jedinicama od jednog sata 21
4. MODELI ORGANIZACIJE PROMETNIH TOKOVA 22
4.1. Analiza odnosa između prometnih tokova 22
4.2. Model organizacije prometnih tokova 22
4.2.1. Usmjerenost prometnih tokova 23
4.2.2. Vođenje tokova informativnim sredstvima 24
4.3. Pokazatelji kvalitete organizacije prometnih tokova 24
4.3.1. Utjecaj prometne mreže na količinu konflikata 25
4.3.2. Utjecaj organizacije prometnih tokova na količinu konflikata između prometnih tokova 25
4.4. Elementi organizacije prometnih tokova 26
4.4.1. Raskrižja, ulice i usmjeravanje prometnih tokova 26

4.4.2. Regulacija prometnih tokova na ulicama i raskrižjima 26
4.4.3. Rekonstrukcija čvorova i mreža 28
5. TEORIJSKE RELACIJE IZMEĐU OSNOVNIH PARAMETARA PROMETNIH TOKOVA 29
5.1. Empirijski modeli ovisnosti srednje prostorne brzine toka o gustoći toka 29
5.1.1. Linearni model brzina - gustoća 29
5.1.2. Logaritamski model brzina - gustoća 30
5.1.3. Eksponencijalni model brzina - gustoća 30
5.2. Empirijski modeli ovisnosti protoka o gustoći 31
5.2.1. Parabolični model tok - gustoća 32
5.2.2. Model tok - gustoća temeljene na logaritamskoj i eksponencijalnoj ovisnosti brzine i gustoće 33
5.2.3. Model tok - gustoća na prometnici na kojoj postoji usko grlo 34
5.3. Empirijski modeli zavisnosti srednje prostorne brzine od protoka 35
5.3.1. Parabolični model brzina - tok 36
5.3.2. Relacije brzina- tok koje se koriste u inženjerskoj praksi 36
5.4. Makroskopski modeli 37
5.4.1. Simulacijski alati zasnovani na makroskopskom modelu 39
5.5. Mikroskopski modeli 40
5.5.1. Simulacijski alati zasnovani na mikroskopskom modelu 41
5.5.2. Računalni programi za simuliranje prometnih sustava 43
6. DEFINIRANJE PARAMETARA KOJI UTJEČU NA ORGANIZACIJU I SIGURNOST PROMETNIH TOKOVA 45
6.1. Utjecaj parametara prometnog toka na organizaciju i sigurnost prometnog toka 45
6.2. Definiranje parametara koji utječu na organizaciju i sigurnost prometnih tokova na primjeru Naplatna postaja Zagreb - Lučko 46
7. ZAKLJUČAK 49
LITERATURA 50
POPIS SLIKA 52
PRILOZI 53

1. UVOD

Razvoj prometa kao dijela tercijarne gospodarske djelatnosti povećao je složenost interakcijskih odnosa pojedinih prometnih grana, pojačao međuovisnost unutar prometnog sustava i sustava u njegovom okruženju.

Složenost tih odnosa uzrokovala je potrebu da se planovi o izgradnji prometnog sustava razmatraju kao cjelina, a prometni sustav pak kao dio šireg ekonomskog i društvenog sustava. Zbog toga, ali i potrebom za izgradnjom novih i modernizacijom postojećih cesta i cestovnog sustava u cilju udovoljavanja zahtjevima prometne potražnje za što je potrebno izdvojiti znatna financijska sredstva na dulji vremenski rok uz razmjerno nisku stopu financijske rentabilnosti, definiranje parametara za analizu prometnih tokova ima posebni značaj.

Definiranje parametara za analizu prometnog toka značajan je planerski alat u postupku pronalaska odgovarajućih kriterija uz pomoć kojih se određuju mjerodavni elementi za dimenzioniranje prometno - oblikovnih elemenata ceste i optimalna vršna satna količina prometa.

Materija diplomskog rada sastavljena je od sedam poglavlja:

1. Uvod
2. Osnovni parametri prometnog toka
3. Određivanje osnovnih značajki prometnog toka
4. Modeli organizacije prometnih tokova
5. Teorijske relacije između osnovnih parametara prometnog toka
6. Definiranje parametara koji utječu na organizaciju i sigurnost prometnih tokova
7. Zaključak

U uvodnom poglavlju prezentirane su osnovne postavke i problematika istraživanja diplomskog rada koje su razrađene u pojedinim poglavljima rada.

U drugom poglavlju definirani su osnovni parametri prometnog toka koji služe za opisivanje prometnih tokova i zakonitosti kretanja motornih vozila u prometnim tokovima na cestovnim prometnicama.

U trećem poglavlju navode se osnovne značajke prometnog toka koje služe za opisivanje relacija između osnovnih parametara prometnog toka i za rješavanje konkretnih prometnih problema.

U četvrtom poglavlju navedeni su i objašnjeni modeli organizacije prometnih tokova koji su zasnovani na pravilima odvijanja prometa.

Peto poglavlje odnosi se na teorijske relacije između osnovnih parametara prometnog toka koje su temeljene na istraživanjima zavisnosti brzine vozila u toku o gustoći toka te istraživanjima o ovisnosti brzine vozila u toku o protoku vozila u realnim uvjetima.

U šestom poglavlju definiraju se parametri koji utječu na organizaciju i sigurnost prometnih tokova.

U zaključku je na sustavan, koncizan i jezgrovit način izložena sinteza svih relevantnih spoznaja, informacija, stavova, znanstvenih činjenica, teorija i zakona koji su opširnije elaborirani u analitičkom dijelu diplomskog rada.

2. OSNOVNI PARAMETRI PROMETNOG TOKA

2.1. Definiranje prometnog toka

Prometni tok je istodobno kretanje više prometnih entiteta na prometnoj infrastrukturi prema određenim zakonitostima. Zbog velikog broja interakcija između prometnih entiteta, opisivanje kretanja prometnog toka vrlo je složeno pa se za to koriste modeli i simulacije. [1]

Za opisivanje prometnih tokova i zakonitosti kretanja motornih vozila u prometnim tokovima na cestovnim prometnicama neophodno je definirati pokazatelje. Ti se pokazatelji, u teoriji prometnog toka nazivaju osnovni parametri prometnog toka ili osnovne veličine prometnog toka. [2]

2.2. Osnovni parametri prometnog toka

Za opisivanje prometnih tokova i zakonitosti kretanja motornih vozila u prometnim tokovima neophodno je definirati pokazatelje. Ti se pokazatelji, u teoriji prometnog toka, nazivaju osnovni parametri prometnog toka ili osnovne veličine prometnog toka. Osnovna razlika u uvjetima kretanja vozila u prometnim tokovima u odnosu na uvjete kretanja pojedinačnog vozila je što u prometnom toku na kretanje vozila djeluje i međusobna interakcija vozila. [2]

Glavni pokazatelji za opisivanje prometnih tokova su:

- protok vozila, q (voz/h)
- gustoća prometnog toka, g (voz/km)
- brzina prometnog toka, v (m/s)
- vrijeme putovanja vozila u toku, t (s)
- jedinično vrijeme putovanja vozila u toku
- vremenski interval slijeđenja vozila u toku, th (s)
- razmak slijeđenja vozila u toku, sh (m)

2.2.1. Protok vozila

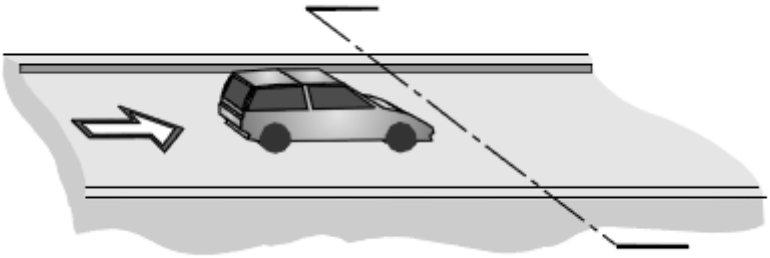
Protok je broj prometnih entiteta (vozila/pješaka/) koji protječu kroz jedinicu površine/prolaze kroz zadani presjek prometnice u jedinici vremena (najčešće jednog sata). [3]

Sa gledišta realnih tokova, ovisno o načinu promatranja u odnosu na prostor razlikuje se:

a) protok vozila na presjeku (dijela ili dionice) ceste predstavlja protok koji se ostvaruje na promatranom presjeku (dijela ili dionice) ceste u jedinici vremena što je vidljivo na Slici 1.

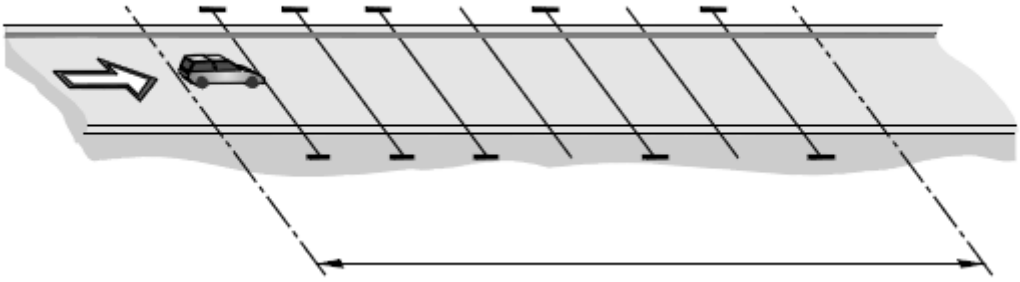
$Q = G * V\ (\frac{voz}{h})$ [2]

gdje je:
Q – protok vozila (voz/h)
G – gustoća (voz/km)
V – brzina vozila (m/s)



Slika 1. Protok vozila na presjeku
Izvor: [2]

b) protok vozila na dijelu ili dionici ceste predstavlja aritmetičku sredinu protoka na n - presjeka na dijelu ili prometnoj dionici, gdje n → ∞, kao što je prikazano na Slici 2.



Slika 2. Protok vozila na dionici

Izvor: [2]

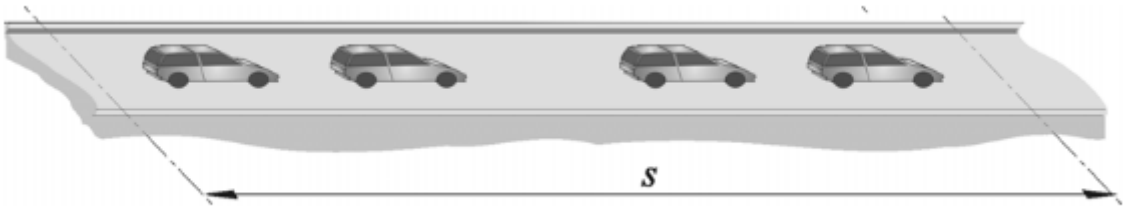
Relacije se odnose na protok na dijelu u jednom pravcu u jednom nizu i u jednom smjeru. Osnovna jedinica za iskazivanje protoka vozila je broj vozila u jedom satu (voz/h). U praksi se koriste i veće vremenske jedinice od jednog sata, kao što je dan (voz/24h).

Uz osnovni simbol za označavanje protoka, također se koriste i simboli PGDP[1] zatim PDP[2] kao i DP[3]. Za iskazivanje protoka u vremenskim jedinicama manjim od 1 sata, tj. reda minute, često se koriste simboli: N, X i dr. Za iskazivanje protoka u vremenskim jedinicama manjim od jedne minute tj. reda sekundi često se koriste simboli: λ (voz/s); x (voz/10, 15, 20, 30 s) i dr. [2]

2.2.2. Gustoća prometnog toka

Gustoća prometa predstavlja broj vozila ili pješaka koji zauzimaju promatranu duljinu traka ili ceste u određenom trenutku što je vidljivo na Slici 3. Izražava se u vozilima po kilometru (voz/km). S obzirom na komplicirano izračunavanje gustoće direktnim mjerenjem, proračunava se pomoću prosječne brzine putovanja i prometnog opterećenja. [4]

[1] PGDP - prosječni godišnji dnevni promet (voz/dan)
[2] PDP - prosječni dnevni promet (voz/24h)
[3] DP - dnevni promet (voz/24h)



Slika 3. Gustoća prometnog toka

Izvor: [2]

$$G = \frac{N}{s} \left(\frac{voz}{km}\right) \quad [2]$$

gdje je:

N - broj vozila u prometnom toku na promatranom dijelu puta u određenom trenutku

s - duljina dijela u kilometrima

2.2.3. Brzina prometnog toka

Brzina je također bitan parametar za određivanje kvalitete prometne usluge. Kod proračuna se najčešće koristi prosječna brzina putovanja, jer se jednostavno računa analizom kretanja vozila u prometnom toku i najviše je statistički relevantna u odnosu na druge varijable. Prosječna brzina putovanja određuje se dijeljenjem promatrane duljine dionice ceste s prosječnim vremenom putovanja vozila u prometnom toku. Vrijeme putovanja uključuje i vrijeme stajanja uzrokovanih zastojima u prometnom toku. [4]

$$S = \frac{nL}{\sum_{i=1}^{n} ti} \quad [4]$$

gdje je:

S - prosječna brzina putovanja (km/h)

L - duljina promatrane dionice ceste (km)

ti - vrijeme putovanja i - tog vozila u prometnom toku (s)

n - ukupan broj promatranih vremena putovanja

Ovisno o načinu promatranja protoka u odnosu na prostor i vrijeme, a obzirom i na značenja pojmova protoka vozila i gustoće toka, u teoriji prometnog toka su uspostavljena dva pojma za definiranje brzine prometnog toka kao odgovarajuće srednje vrijednosti brzina svih vozila koja čine promatrani prometni tok. Ti pojmovi su:

a) srednja prostorna brzina toka, koja je analogno gustoći prostorno vezana za odsjek puta (S), a vremenski za trenutak

b) srednja vremenska brzina toka, koja je analogno protoku vozila prostorno vezana za presjek puta, a vremenski za period promatranja (T). [2]

2.2.3.1. Srednja prostorna brzina prometnog toka

Srednja prostorna brzina prometnog toka predstavlja aritmetičku sredinu trenutnih brzina svih vozila u prometnom toku na promatranom odsjeku puta kao što je prikazano na Slici 4:

$$\overline{v_s} = \frac{\sum_{i=1}^{n} v_i}{n}$$ [2]

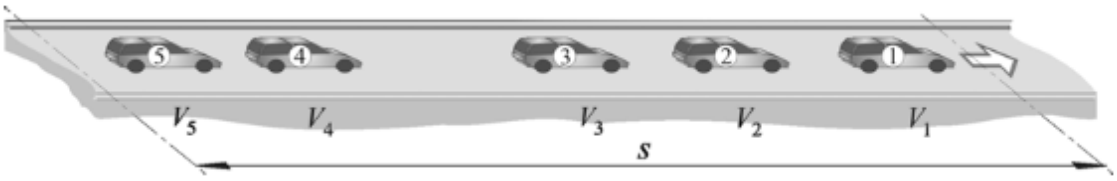
gdje je:

v_s - srednja prostorna brzina prometnog toka

v_i – trenutne brzine svih vozila

n – broj vozila

Ova brzina se u stručnoj literaturi naziva i srednja trenutna brzina. Srednja prostorna brzina toka, s gledišta prostornog promatranja predstavlja brzinu na dionici ceste, a s gledišta vremenskog promatranja predstavlja trenutnu brzinu toka. U stručnoj literaturi se mjerenje srednje prostorne brzine često naziva trenutno promatranje (mjerenje) na odsjeku puta. [2]



Slika 4. Srednja prostorna brzina

Izvor: [2]

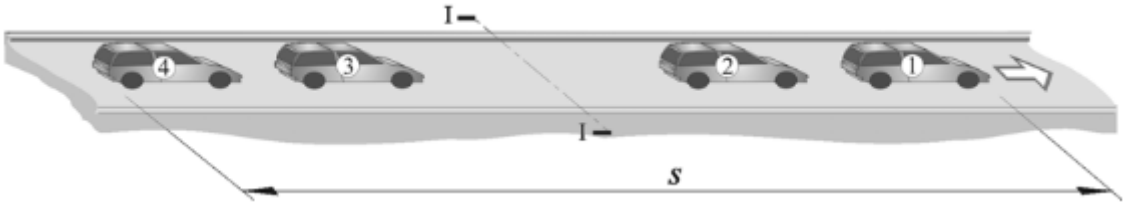
2.2.3.2. Srednja vremenska brzina prometnog toka

Srednja vremenska brzina prometnog toka predstavlja aritmetičku sredinu brzina svih vozila u prometnom toku koja prolaze kroz promatrani presjek puta, u određenom periodu vremena kao što je prikazano na Slici 5. [2]

$$\bar{v}_t = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} v_i$$ [2]

gdje je:

v_t - srednja vremenska brzina



Slika 5. Srednja vremenska brzina

Izvor: [2]

2.2.3.3. Brzina prometnog toka s obzirom na vrste prometnih tokova

U ovisnosti o uvjetima kretanja vozila u prometnom toku obzirom na stupanj interakcijskog utjecaja pri približno idealnim prometnim i putnim uvjetima srednja prostorna i srednja vremenska brzina prometnog toka dobivaju sljedeće specifične nazive [2]:

a) brzina slobodnog toka; vezana je za slobodan tok i podrazumijeva da se sva vozila u prometnom toku na promatranom odsjeku kreću u identičnim ili bliskim uvjetima kretanja koja odgovaraju kretanju pojedinačnih vozila na dotičnom odsjeku vs i vt

b) brzina normalnog toka (stabilan, polustabilan i nestabilan); pojam brzine normalnog toka vezan je za stabilan, polustabilan i nestabilan prometni tok u kome na uvjete kretanja vozila djeluje i interakcija između vozila u toku vs i vt

c) brzina zasićenog toka, koju predstavlja brzina pri kapacitetu; vezana je uz zasićen prometni tok u kome se sva vozila kreću uz potpuno ili približno potpuno djelovanje interakcije između vozila u toku. U uvjetima zasićenog toka sva vozila se kreću približno istom brzinom, što znači da ne postoji gotovo nikakva kvantitativna razlika između srednje prostorne i srednje vremenske brzine prometnog toka

d) brzina forsiranog (prisilnog) toka, pojam brzine forsiranog toka vezan je za prisilan prometni tok. U uvjetima forsiranog (prisilnog) toka vozila se kreću približno istom brzinom koja, promatrana u prostoru i vremenu. [2]

2.2.4. Interval slijeđenja vozila

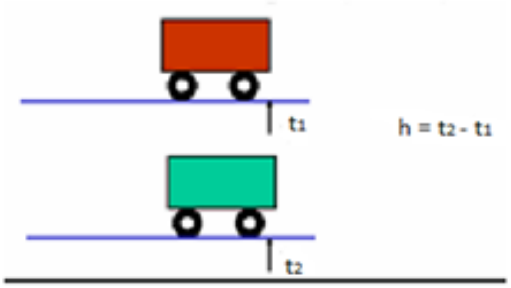
Interval slijeđenja vozila ima veliki značaj za opisivanje uvjeta odvijanja prometa na cestama, ne samo kao osnovni pokazatelj za teorijska uopćavanja međuovisnosti u prometnom toku, već i u inženjerskoj praksi kao osnovni indikator kvaliteta prometnog toka. [2]

Interval slijeđenja vozila u prometnom toku predstavlja vrijeme između prolaska dva uzastopna vozila kroz zamišljeni presjek promatranog odsjeka puta (čeoni prolazak vozila).

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

- interval praćenja pojedinačno za N vozila koja u periodu vremena T prođu promatrani presjek (odsjeka ili dionica) puta

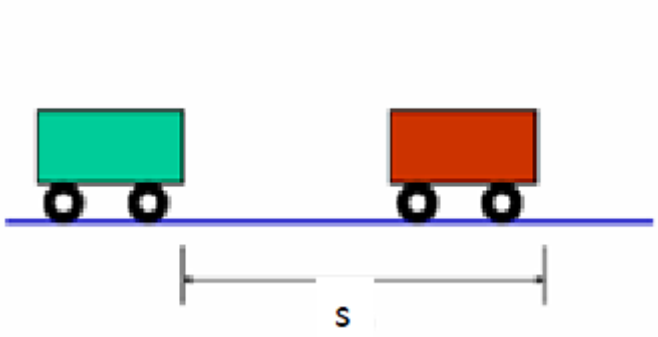
- srednju vrijednost intervala praćenja na promatranom presjeku puta za N vozila u vremenu T



Slika 6. Vremenski interval slijeđenja vozila

Izvor: [1]

- interval slijeđenja na dionici puta, kao aritmetički prosjek srednjih vrijednosti intervala praćenja na m promatranih presjeka puta u vremenu T



Slika 7. Prostorni interval slijeđenja vozila

Izvor: [1]

Interval praćenja vozila na presjeku puta predstavlja vrijeme prolaska prednjeg kraja uzastopnih vozila preko promatranog presjeka puta. Interval praćenja na odsjeku ili dionici puta predstavlja aritmetičku sredinu intervala praćenja na n - presjeka odsjeka ili dionice za promatrani prometni tok. Osnovna jedinica za iskazivanje intervala praćenja vozila je sekunda. Najčešći simbol za označavanje intervala praćenja vozila je th. [2]

GAP – je vremenski razmak/praznina (time gap) ili prostorni razmak / praznina (space gap ili clearance) između dva uzastopna vozila (pješaka) koja prolaze kroz jednu točku mjereno od zadnje najisturenije točke/ branika/prvog vozila (pješaka) i prednje najisturenije točke/branika/ uzastopnog vozila.

2.2.5. Razmak u slijeđenju vozila

Razmak slijeđenja vozila predstavlja prostorni razmak između dva uzastopna vozila u prometnom toku i najčešće se označava sa sh, a izražava u metrima. 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.

Razlikuju se:

- udaljenosti između pojedinih vozila u prometom toku koja su se našla u određenom trenutku na promatranom odsjeku ili dionici puta; shi, gdje je i = 1,2,....n
- srednja vrijednost trenutnih razmaka između svih vozila u prometnom toku koja su se našla u određenom trenutku na promatranom odsjeku ili dionici puta sh
- aritmetički prosjek m - srednjih trenutnih razmaka utvrđenih na promatranom odsjeku u periodu vremena T [2]

3. ODREĐIVANJE OSNOVNIH ZNAČAJKI PROMETNOG TOKA

U važnije osobitosti prometnog toka, značajnih za opisivanje zakonitosti kretanja vozila u prometnim tokovima na cestovnim prometnicama i za sadržajnije opisivanje osnovnih parametara prometnog toka, prije svega protoka vozila, uključena je složenost prometnog toka, opći uvjeti odvijanja prometa, sastav ili struktura prometnog toka i vremenska neravnomjernost prometnog toka.

3.1. Složenost prometnog toka

Sa stajališta složenosti prometnog toka, prometni tok može biti: jednostavan i složen tok. Jednostavan prometni tok sastoji se od jednog niza vozila koja se kreću u jednom pravcu i u jednom smjeru. Najmanji broj vozila koja s obzirom na interakcijsku međuovisnost u kretanju, mogu činiti jednostavan prometni tok, iznosi dva vozila. Jednostavan prometni tok predstavlja osnovu, tj. ima značenje baznog (mjerodavnog) toka, za definiranje fundamentalnih - teorijskih relacija između osnovnih parametara prometnog toka. [2]

Složen prometni tok se sastoji od dvaju ili više jednostavnih prometnih tokova koji s obzirom na međusobne odnose nizova i smjerova, može biti:

- složen tok od dvaju ili više jednostavnih tokova međusobno paralelnih u istom ili suprotnom mjeru
- složen tok od dvaju ili više jednostavnih tokova koji se međusobno isprepliću
- složen tok od dvaju ili više jednostavnih tokova koji se međusobno sijeku, ulijevaju ili odlijevaju

Realni prometni tokovi najčešće pripadaju grupi složenih prometnih tokova. Zbog toga kada je riječ o realnom prometnom toku, pojam protoka vozila kao i pojmovi ostalih osnovnih parametara moraju biti obogaćeni objašnjenjem o kakvom se prometnom toku radi, obzirom na prednju klasifikaciju, kao i s obzirom na raspodjelu protoka po smjerovima, nizovima i pravcima. [2]

3.2. Vrste i struktura prometnog toka

S obzirom na uvjete odvijanja prometa prometni tokovi mogu biti: neprekinuti, neprekinuti ali djelomično ometani i povremeno prekinuti tokovi.

3.2.1. Podjela prometnog toka s obzirom na uvjete odvijanja prometa

U svrhu analize različitih elemenata prometne infrastrukture prema različitim priručnicima u obzir se najčešće uzima njegov kontinuitet. S obzirom na uvjete odvijanja prometa prometni tok može se podijeliti na neprekinuti, neprekinuti ali djelomično ometani i povremeno prekinuti tokovi.

a) **Neprekinuti prometni tok**

Neprekinuti prometni tok karakterističan je po tome što nema statičnih elemenata kao što su prometni znakovi ili prometna svjetla izvan prometnog toka koji mogu prouzročiti njegov prekid. Autoceste i njihove komponente najjednostavniji su oblik neprekinutog prometnog toka koji je prikazan na Slici 8. Ne samo da nema prekida toka već je pristup kontroliran i ograničen na ulazima. [5]

Slika 8. Primjer oblika neprekinutog prometnog toka

Izvor: [14]

Višetračne i dvotračne ceste primjeri su neprekinutog prometnog toka u dugim segmentima između točaka prekida (semaforizirana, nesemaforizirana i kružna raskrižja). Kod višetračnih i dvotračnih cesta često je potrebno analizirati točke prekida (raskrižja) jednako kao i segmente neprekinutog prometnog toka. [5]

b) **Prekinuti prometni tok**

Objekti prekinutog prometnog toka imaju kontrolirane i nekontrolirane pristupne točke koje mogu prekinuti prometni tok. Te pristupne točke podrazumijevaju prometne znakove, prometna svjetla ili ostale tipove znakova koji zaustavljaju promet periodično (ili usporavaju) bez obzira na količinu prometa.

Primjeri prekinutog prometnog toka uglavnom su glavne i sporedne gradske ceste gdje je kretanje ograničeno raskrižjima upravljanim prometnim svjetlima i pješačkim prijelazima što je vidljivo na Slici 9. Tranzitni, pješački i biciklistički promet također se smatraju prekinutim, a neprekinuti tok moguće je ostvariti samo u zonama s dugim pješačkim otocima i hodnicima. [5]

Slika 9. Primjer prekinutog prometnog toka

Izvor: [15]

Kada se govori o razlikama između prekinutog i neprekinutog prometnog toka važno je spomenuti kako oni opisuju tip prometnog objekta, a ne kvalitetu prometnog toka u bilo kojem trenutku. Npr. autocesta koja je suočena s ekstremnim zagušenjima još uvijek je objekt neprekinutog prometnog toka jer su uzroci zagušenja unutarnji, a ne vanjski.

c) **Neprekinuti ali djelomično ometani tokovi**

Neprekinuti ali djelomično ometani tokovi su tokovi kod kojih na uvjete kretanja vozila, pored njihove međusobne interakcije, utječu i promjene prometne trake u kretanju vozila zbog ulijevanja ili izlijevanja. Uvjete za neprekinute ali djelomično ometane tokove pružaju dionice na kojima se prepliću, ulijevaju ili izlijevaju tokovi u zonama prometnih čvorišta gdje su križanja pravaca koji se sijeku denivelirani. [4]

d) **Povremeno prekinuti tokovi**

Povremeno prekinuti tokovi su tokovi kod kojih na uvjete kretanja vozila, pored njihove međusobne interakcije, utječu i potrebe za vremenskom podjelom prava korištenja istih prometnih površina, od strane vozila iz raznih pravaca kretanja, koji se međusobno sijeku.

3.2.2. Podjela prometnog toka prema sastavu ili strukturi

S obzirom na sastav ili strukturu, prometni tok može biti: homogeni i nehomogeni tok. Uz navedenu klasifikaciju, za potrebe rješavanja praktičnih zadataka koristi se i pojam uvjetno homogen tok. [4]

a) **Homogen tok**

Homogen tok je sastavljen od jedne vrste motornih vozila, kao npr. tok putničkih automobila, tok autobusa, tok teretnih vozila itd. kao što je prikazano na Slici 10.

Slika 10. Primjer homogenog prometnog toka

Izvor: [1]

Naime, sa stajališta uvjeta kretanja vozila u prometnom toku karakteristika sastava toka ima vrlo kompleksnu ulogu, jer izražava utjecaje velikih razlika koje postoje u domeni vrste i stanja vozila i domeni psihofizičkih osobina, osposobljenosti i motiviranosti vozača. Ako je homogen tok sastavljen od putničkih automobila potpuno istih tehničko-eksploatacijskih karakteristika kojima upravljaju vozači potpuno istih psihofizičkih osobina i potpuno iste motiviranosti za vožnju, naziva se idealan - homogen tok. [6]

Idealan - homogen prometni tok praktično ne postoji. Značajno je istaknuti da idealan - homogen prometni tok ima značenje baznog (mjerodavnog) toka za definiranje fundamentalnih relacija između osnovnih parametara prometnog toka.

Tok sastavljen 100 % od putničkih automobila često se naziva približno idealan tok, ili homogen tok i kao takav ima značenje baznog (mjerodavnog) toka u domeni praktičnog tretmana utjecaja sastava toka na uvjete kretanja vozila u prometnom toku. [6]

Stupanj homogenosti prometnog toka izražava se postotnim udjelom putničkih automobila u prometnom toku. Postotni udio putničkih automobila PpA u prometnom toku iznosi:

$$P_{pA} = \frac{q - q_{kv}}{q} \cdot 100 \quad [\%]$$ [1]

gdje je:

p_{pA} – postotni udio putničkih automobila (%)

b) **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 tehničke - eksploatacijske karakteristike i kojima upravljaju vozači različitih osobina i sposobnosti. [1]

Stupanj nehomogenosti prometnog toka izražava se postotnim udjelom ostalih vozila (autobusa, kamiona i auto - vlakova) u prometnom toku. Postotni udio ostalih vozila Pkv u prometnom toku iznosi [7]:

$$P_{k_v} = \frac{q - q_{pA}}{q} \cdot 100 \quad [\%]$$ [1]

gdje je:

P_{kv} – postotni udio ostalih vozila (%)

Pretvaranje nehomogenog toka u uvjetno homogen tok radi se preko određenih ekvivalenata (Ei) kojima se množe pojedine vrste vozila iz sastava toka. Veličina ekvivalenata je u funkciji vrste vozila, dužine vozila, vozno-dinamičkih karakteristika vozila, karakteristika puta i praktičnog zadatka koji se rješava.

Relativne vrijednosti ekvivalenata pomoću kojih se pojedine vrste vozila transformiraju u ekvivalentne jedinice putničkih automobila su [2]:

- za motocikle (E < 1)
- za putničke automobile (E = 1)
- za sva ostala vozila (E > 1).

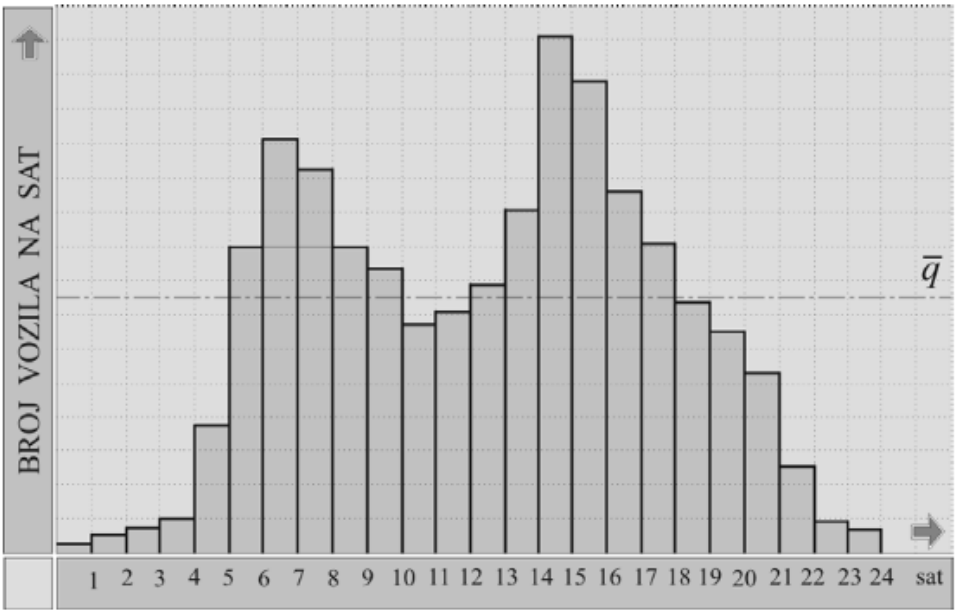
3.3. Vremenska neravnomjernost protoka vozila

Zakonitosti vremenske neravnomjernosti protoka vozila s ovog stajališta iskazuju se kroz [5]:

- satnu neravnomjernost u tijeku jednog dana (24 sata)
- satnu neravnomjernost u tijeku cijele godine (8760 sati)
- dnevnu neravnomjernost u tijeku tjedna (7 dana)
- dnevnu neravnomjernost u tijeku mjeseca
- dnevnu neravnomjernost u tijeku cijele godine
- mjesečnu neravnomjernost u tijeku cijele godine
- neravnomjernost protoka po manjim vremenskim jedinicama od jednog sata u okviru vršnog sata

3.3.1. Satna neravnomjernost u periodu jednog dana

Satna neravnomjernost u periodu jednog dana predstavlja variranje protoka po pojedinim satovima u periodu cijelog dana, tj. u periodu 24 sata kao što je prikazano na Slici 11. Ova neravnomjernost se iskazuje odnosom između protoka u pojedinim satima i srednjeg satnog protoka u periodu cijelog dana. [5]



Slika 11. Raspodjele satnih protoka vozila u periodu dana

Izvor: [2]

Za praktične odluke značajne su maksimalne i minimalne vrijednosti fai[4] i brojna zastupljenost sati s ovim vrijednostima faktora. Zato se po ovoj karakteristici u principu razlikuju tokovi s obzirom na vrijeme promatranja (radni dan, dan vikenda, zimski dan, ljetni dan i sl.) i s obzirom na prostor, tj. obzirom na funkciju puta kome pripada promatrana dionica (izvangradski put, prigradski put, gradska prometnica i sl.). [2]

3.3.2. Satna neravnomjernost protoka vozila u periodu cijele godine

Satna neravnomjernost protoka u periodu cijele godine predstavlja variranje protoka vozila po pojedinim satovima u tijeku cijele godine, tj. u tijeku 8.760 sati.

Kriterij “30-og sata” se održao dugi niz godina, kao mjerodavni satni protok, a u dosta zemalja i danas egzistira. Teorijski promatrano još od prvih dana uspostavljanja ovog kriterija bilo je nesporno da on ima značenje samo orijentacijske mjere, a nikako značenje apsolutne istine koja proizlazi iz značenja mjerodavnog protoka za planiranje, projektiranje i vrednovanje putova. [5]

[4] faktor neravnomjernosti

3.3.3. Dnevna neravnomjernost protoka vozila u periodu sedam dana

Dnevna neravnomjernost protoka u periodu sedam dana predstavlja variranje protoka vozila po pojedinim danima u razdoblju od sedam dana. Ova neravnomjernost se iskazuje odnosom između protoka vozila u pojedinim danima i srednjeg dnevnog protoka promatranog sedmodnevnog perioda. [2]

3.3.4. Dnevna neravnomjernost protoka vozila u periodu jednog mjeseca

Dnevna neravnomjernost protoka vozila u periodu jednog mjeseca predstavlja variranje protoka vozila po pojedinim danima u tijeku promatranog mjeseca. Ona se iskazuje odnosom između protoka vozila u pojedinim danima i srednjeg dnevnog protoka u periodu promatranog mjeseca. [2]

3.3.5. Dnevna neravnomjernost protoka vozila u periodu jedne godine

Dnevna neravnomjernost protoka vozila u periodu jedne godine predstavlja variranje veličine prometnog toka po pojedinim danima u periodu godine. Iskazuje se odnosom između protoka vozila u pojedinim danima i prosječnog godišnjeg dnevnog prometa. [2]

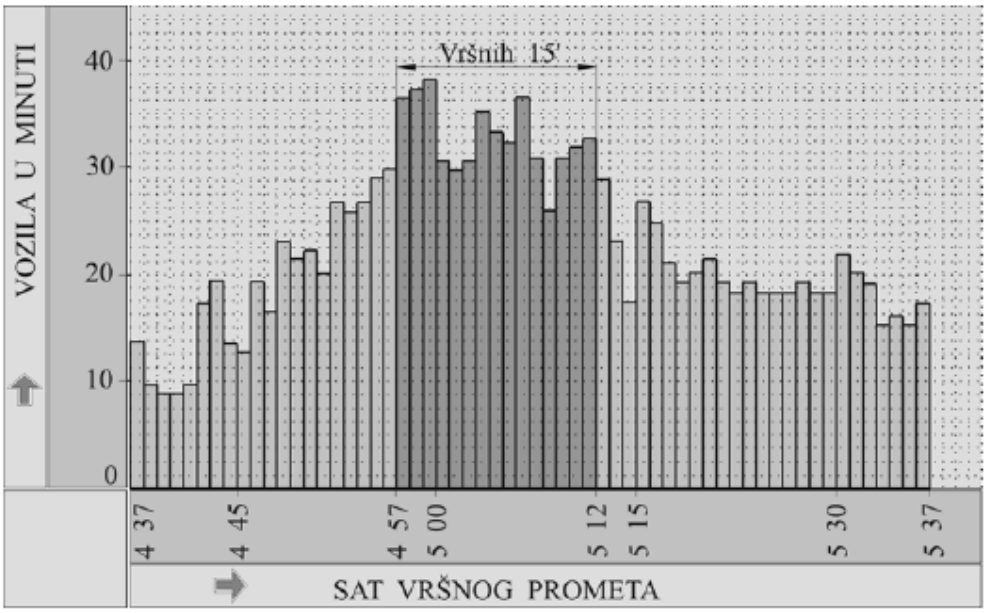
3.3.6. Mjesečna neravnomjernost protoka vozila u periodu godine

Mjesečna neravnomjernost protoka vozila u periodu godine predstavlja variranje prosječnog dnevnog prometa po mjesecima u periodu godine, tj. u periodu od 12 mjeseci. Ona se iskazuje odnosom između prosječnog dnevnog prometnog toka po mjesecima i prosječnog godišnjeg dnevnog prometa. [2]

3.3.7. Neravnomjernosti protoka po manjim vremenskim jedinicama od jednog sata

U stvaranju modela neophodnih za praktičnu primjenu u planiranju, projektiranju i upravljanju prometom, nametnula se potreba za poznavanjem karakteristika neravnomjernosti protoka po manjim vremenskim jedinicama od jednog sata i to prije svega u okviru vršnog sata.

FVS[5] izražava se kao odnos protoka u vršnom satu ∑ Xi (voz / h) i ekspandiranog vršnog t = minutnog protoka x max (voz/h) kaošto je prikazano na Slici 12. Najveća vrijednost ovog faktora može biti jednaka jedinici. Ovaj faktor je uveden zbog toga što je osnovna vremenska jedinica za mjerenje protoka i kapaciteta, koja iznosi jedan sat, dosta gruba u smislu potpunog prezentiranja karakteristika toka. [2]



Slika 12. Vršni promet u tijeku promatranog sata

Izvor: [2]

[5] Faktor vršnog sata

4. MODELI ORGANIZACIJE PROMETNIH TOKOVA

Osnova svake organizacije, pa tako i organizacije prometnih tokova su točno određena pravila. Prvo i najznačajnije pravilo organizacije prometnih tokova određeno je stranom kretanja, vožnja desnom ili lijevom stranom. Bez tog pravila bila bi gotovo blokirana svaka mogućnost organizacije prometnih tokova. Nakon toga dolaze pravila odvijanja prometa na raskrižjima te mnoga druga pravila odvijanja prometa čiji su bit i osnovni elementi dogovoreni raznim međunarodnim konvencijama. [8]

4.1. Analiza odnosa između prometnih tokova

Nužno je, međutim, utvrditi mjesta (točke u mreži) negativnih odnosa između prometnih tokova. To je moguće utvrditi različitim metodama od kojih su najpovoljnije:

- spekulativna analiza odnosa između prometnih tokova na osnovi usmjerenosti ulične mreže
- istraživanje odnosa između prometnih tokova na raskrižjima
- istraživanje odnosa između prometnih tokova utvrđivanjem putanje vozila
- istraživanje pomoću ankete vozača
- istraživanje intenziteta negativnih odnosa između prometnih tokova u mreži pomoću uzorka

4.2. Model organizacije prometnih tokova

Model organizacije prometnih tokova upravo ima za cilj da kompleksnost utjecajnih elemenata iz praktičnog odvijanja prometa zamijeni najznačajnijim elementima mikroorganizacije prometnih tokova, odnosno njihovog usmjerenja u prometnoj mreži. Time se nalazi spoj između globalne organizacije prometnih tokova i regulacije, odnosno mikroorganizacije prometa. [8]

Osnovni elementi organizacije prometnih tokova su:

- analiza postojeće organizacije prometnih tokova (uočavanje bespotrebnih presijecanja i sl.),
- prognoza negativnih odnosa u postojećoj organizaciji prometnih tokova,
- poboljšanje organizacije prometnih tokova (smanjenje bespotrebnih presijecanja i sl.).

Analiza postojeće organizacije prometnih tokova može se raščlaniti na:

- usmjerenost prometnih tokova u mreži
- utvrđivanje mjesta bespotrebnih presijecanja u prometnoj mreži
- utvrđivanje uzroka bespotrebnih presijecanja
- istraživanje posljedica bespotrebnih presijecanja

Analiza postojeće organizacije prometnih tokova raščlanjuje se kako bi se kreirala prometna mreža koja bi omogućila optimalno ostvarivanje težnji za putovanjima uz minimum konflikata. Za modeliranje prometne mreže i usmjeravanja prometa treba voditi računa o postojećoj mreži i navedenim čimbenicima. [8]

4.2.1. Usmjerenost prometnih tokova

Razmotrit će se usmjerenost jednosmjernih ulica i organizacija prometnih tokova. Jednosmjerne ulice trebaju biti usmjerene tako da usmjerenost prometnih tokova u mreži ima što manje negativnih odnosa na raskrižjima. Iako jednosmjerne ulice, odnosno raskrižja parova jednosmjernih ulica povećavaju intenzitet konflikta nužno je između različitih mogućnosti usmjerenja odabrati ona rješenja koja daju minimum konflikta. [8]

Osnovno pravilo usmjeravanja prometnih tokova između para zona u cilju izbjegavanja bespotrebnog presijecanja prometnih tokova jest da tokovi koji se mimoilaze u odnosu na točku između njih čine moment usmjerenosti prometa suprotan smjeru kazaljke na satu kod pravila kretanja vozila desnom stranom, a obrnuto u smjeru kazaljke na satu kod kretanja lijevom stranom. Ova pravila provode se kako bi se mogla izvršiti usmjerenost ulične mreže te da bi se mogla grafički predstaviti organizacija prometnih tokova. [8]

4.2.2. Vođenje tokova informativnim sredstvima

Informativna sredstva posebno značajna za vođenje prometnih tokova su: informativni prometni znakovi, odnosno vizualne i druge informacije koje vozač ili pješak - sudionik u prometu neposredno dobiva od okoline i koje mogu utjecati na odluku vozača o odabiranju njegove putanje prema cilju, prethodne informacije, kao i edukacije su također izuzetno značajne za odabiranje putanja od strane vozača. [8]

Slika 13. Primjer vođenja prometnih tokova prometnim znakovima i informativnim sredstvima

Izvor: [16]

4.3. Pokazatelji kvalitete organizacije prometnih tokova

Na količinu konflikta u prometnoj mreži utječe mnogo faktora. Idealna količina konflikta je ujedno i minimalna moguća količina konflikta uz uvjet da ne postoje deniveliranе konfliktne točke.

Stvarni intenzitet konflikata ovisi o sljedećim faktorima:

- gustoći prometnog polja, odnosno intenziteta prometnih tokova
- obliku i gustoći prometne mreže u promatranom prostoru i primijenjenim čvorovima
- organizaciji prometnih tokova
- odnosu čovjeka - vozača (sudionika u prometu) i okoline

4.3.1. Utjecaj prometne mreže na količinu konflikata

U ovisnosti od oblika i gustoće mreže ovisi količina konflikata. Ona je znatno povećana u odnosu na idealnu količinu konflikata. Gušća prometna mreža smanjuje količinu konflikata dok je rjeđa povećava. Međutim, gusta prometna mreža omogućava mnogo više različitih putanja između ishodišta i odredišta.

Prometna mreža utječe na povećanje ukupnog intenziteta konflikata i produžava duljinu i vrijeme putovanja, ali utječe na smanjenje intenziteta presijecanja. Naime, mnoga presijecanja se djelovanjem prometne mreže transformiraju u ulijevanja i izlijevanja, odnosno preplitanja. U čvorovima se događa najveća količina konflikata. Međutim, od organizacije tokova u mreži ovisi intenzitet konflikata na raskrižjima, ali i na spojnim prometnicama između raskrižja. Deniveliranje pojedinih točaka presijecanja uvjetuje svakako smanjenje količine konflikata za onaj iznos koji bi se dogodio u tim točkama u razini. [8]

4.3.2. Utjecaj organizacije prometnih tokova na količinu konflikata između prometnih tokova

Usmjeravanje prometnih tokova usmjeravanjem ulične mreže te informacijama u prometu utječe na količinu konflikata između tokova. Ako su dobro usmjerene jednosmjerne ulice i ispravno osmišljena informativna signalizacija, bit će manja količina bespotrebnih presijecanja i samopresijecanja prometnih tokova. [8]

Slika 14. Primjer usmjeravanja prometnih tokova

Izvor: [18]

4.4. Elementi organizacije prometnih tokova

U praksi je nemoguće kvantificirati sve bitne elemente za organizaciju prometnih tokova u postojećim prometnim mrežama, kao i osnovne pristupe u prometnom i urbanističkom planiranju i specifičnim situacijama prijevoza u izvanrednim okolnostima.

4.4.1. Raskrižja, ulice i usmjeravanje prometnih tokova

Zbog nedovoljne propusne moći raskrižja dolazi do zastoja prometnih tokova što se očituje u smanjenju prosječnih brzina putovanja, duljeg čekanja na raskrižjima, povećanom zagađenju okoline i smanjenju sigurnosti prometa. S druge strane, zbog neusklađenosti propusne moći prometnica i raskrižja, prometnice se u gradu prekomjerno koriste za parkiranje, iako bi se mogla graditi znatno jeftinija parkirališta. Na raskrižjima se vrši distribucija prometnih tokova ulijevanjem i izlijevanjem te presijecanjem prometnih tokova. [8]

Denivelirana raskrižja se uvode zbog smanjenja ili potpunog uklanjanja presijecanja prometnih tokova, što znatno povećava propusnu moć i sigurnost odvijanja prometa na raskrižjima.

4.4.2. Regulacija prometnih tokova na ulicama i raskrižjima

Tek nakon optimalnog rješenja usmjerenja ulične mreže, treba prići regulaciji prometnih tokova u uličnoj mreži. Na raskrižjima je prvenstveni cilj smanjenje broja presijecanja točaka u istom vremenu. To se može postići na tri osnovna načina [8]:

a) <u>pravilom da se propuste sva vozila koja nailaze s desne strane</u>

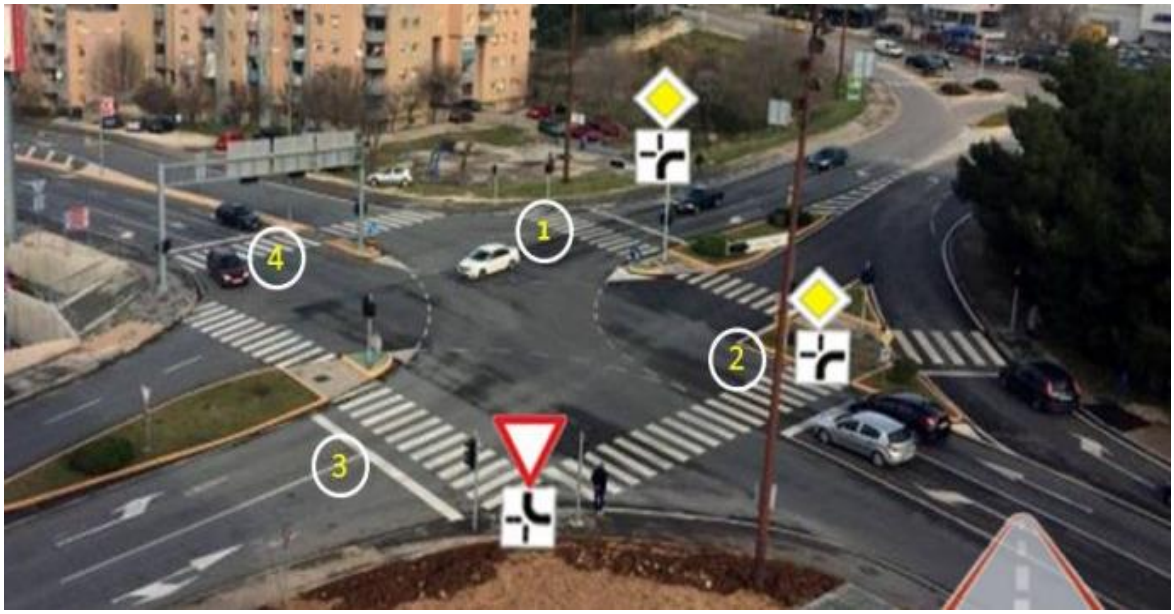
Taj način regulacije prometa je i prvi način koji se pojavio u praksi. Međutim, on ima više nedostataka koji se pokazuju kod malog povećanja intenziteta prometnih tokova na prilazu raskrižju. Svi tokovi koji prilaze raskrižju moraju se zaustavljati ili smanjivati brzinu vožnje, osobito na nepreglednim raskrižjima, čime se povećavaju troškovi i smanjuje

sigurnost odvijanja prometa. Prometna situacija složena je i za vozače iz svih prilaza, s većim brojem istovremenih konfliktnih točaka. Taj način regulacije prometnih tokova kod intenzivnijeg prometa često dovodi do potpunog zastoja u prometu, što se lako uočava kad prestane rad semafora na nekim raskrižjima, zbog čega se može primijeniti na preglednim raskrižjima u uličnoj mreži s vrlo malim intenzitetom prometa. [8]

b) <u>prometnim znakovima koji određuju prioritet prometnica</u>

Ovaj način se može uspješno primijeniti kada se na raskrižju presijecaju „slabiji“ s „jačim“ tokovima. U ovisnosti o preglednosti i razlike intenziteta prometnih tokova mogu se primijeniti znakovi obaveznog zaustavljanja ili prednosti za vozila koja se kreću ulicom u koju se ulazi kao što je prikazano na Slici 15. Takvo rješenje je znatno povoljnije, jer povećava sigurnost i smanjuje troškove odvijanja prometa.

Točke presijecanja su na neki način vremenski distancirane, jer sporedni tok čeka slobodan vremenski interval da bi se uključio u glavni. I ovaj način uključuje pravilo “desni prije lijevog”. [8]



Slika 15. Primjer prometnih znakova koji određuju prioritet prometnica

Izvor: [17]

c) <u>fiksno vremensko distanciranje presijecanja prometnih tokova ili dijela tokova prometa</u>

Može se obaviti na raskrižjima samo svjetlosnim prometnim znakovima (semaforima) ili ovlaštenim osobama. Regulacija prometnih tokova koju neposredno obavlja čovjek trebala bi biti izuzetak u određenim situacijama. Česti su slučajevi da pripadnici prometne policije reguliraju promet na raskrižjima, što je svakako znak loše organiziranosti prometnih tokova ili loše programiranih semaforskih uređaja.

Semaforska regulacija može dati i daje odlične rezultate samo u slučajevima dobro organiziranih prometnih tokova i dobre usmjerenosti prometne mreže. Međutim, prometni stručnjaci često griješe kada semaforskom regulacijom žele potpuno izbjeći konfliktne točke presijecanja između tokova vozila, ili između tokova vozila i pješaka. Takva težnja u pravilu ne dovodi do povećane sigurnosti pješaka i vozila, već često upravo suprotno. Osim toga, propusna moć čvora se znatno smanjuje uz dugo vrijeme čekanja. Takva se praksa uvođenja trofazne i četverofazne regulacije na raskrižjima nažalost udomaćila u mnogim gradovima u svijetu. [8]

4.4.3. Rekonstrukcija čvorova i mreža

Navedena rekonstrukcija se prvenstveno odnosi na čvorove gdje treba povećati radijuse skretanja, postaviti pješačke otoke ili dodati trake za prestrojavanje vozila na prilazima raskrižjima. U ovisnosti od stvarnih uvjeta ulične mreže ponekad se može pokazati kao potrebno i moguće da se postojećoj mreži dodaju novi dijelovi mreže da bi ukupni učinci bili znatno veći ili da bi ih uopće bilo moguće postići.

5. TEORIJSKE RELACIJE IZMEĐU OSNOVNIH PARAMETARA PROMETNIH TOKOVA

Osnovni rezultati empirijskih istraživanja izloženi su kroz empirijske modele ovisnosti srednje prostorne brzine toka o gustoći toka, empirijske modele ovisnosti protoka vozila o gustoći toka i empirijske modele ovisnosti srednje prostorne brzine toka o protoku vozila. [2]

5.1. Empirijski modeli ovisnosti srednje prostorne brzine toka o gustoći toka

5.1.1. Linearni model brzina - gustoća

Zavisnost između srednje prostorne brzine prometnog toka i gustoće toka polazi od općeg oblika linearne zavisnosti kao što je prikazano na Slici 16.

$$V_s = V_{sl} - \frac{V_{sl} g}{\max g}$$ [2]

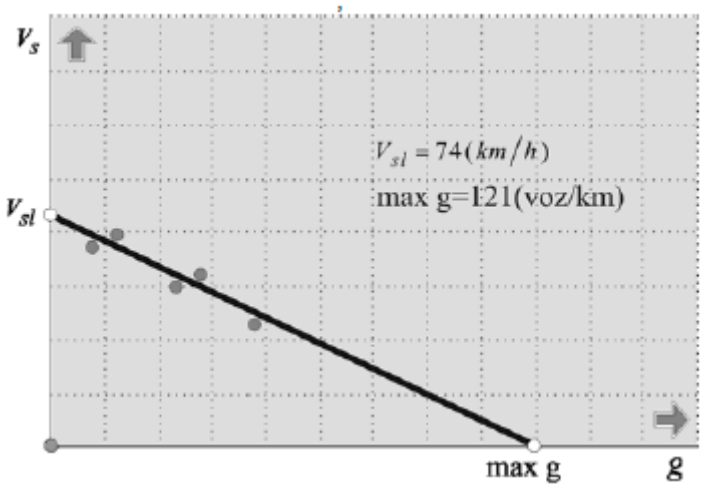
gdje je:

Vs – srednja prostorna brzina

g – gustoća prometnog toka

Na bazi empirijskih mjerenja dobivamo:

Vs= 74 – 0,612g



Slika 16. Linearni model brzina - gustoća

Izvor: [2]

5.1.2. Logaritamski model brzina - gustoća

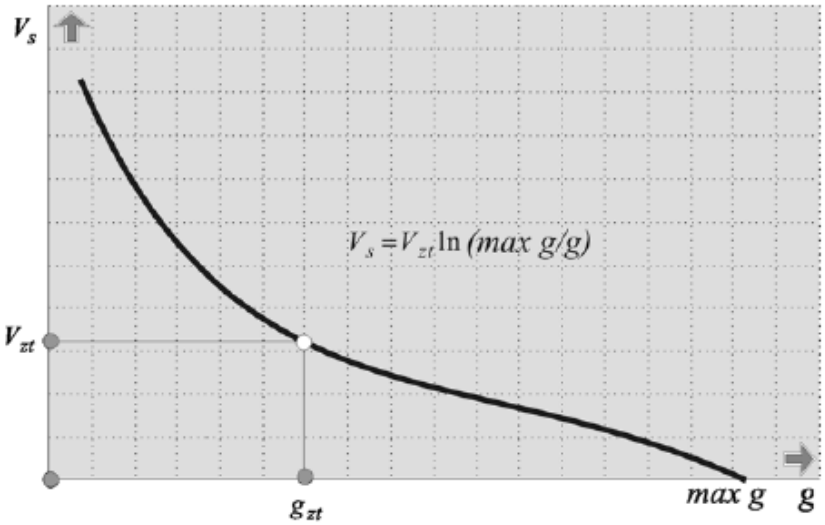
Opći oblik logaritamske zavisnosti brzine od gustoće (Slika17.), koja glasi:

$$V_s = V_{zt} \ln\left(\frac{\max\ g}{g}\right)$$

Vs = 27,7 * ln(141/g)

Vzt 27,7 (km/h)

Max g 141 (voz/km)



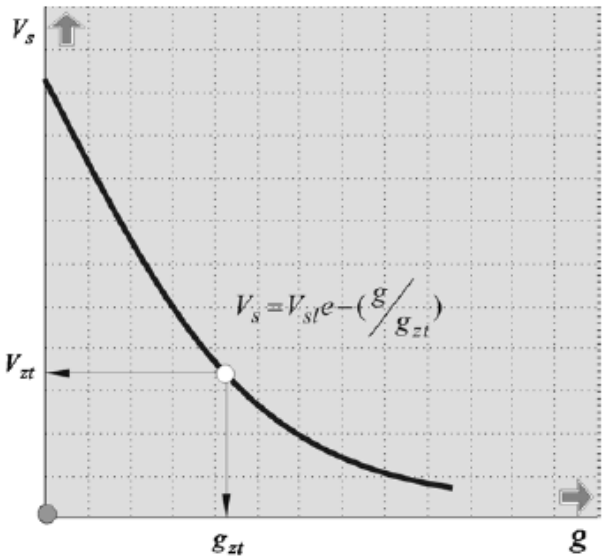
Slika 17. Logaritamski model brzina – gustoća

Izvor: [2]

5.1.3. Eksponencijalni model brzina – gustoća

Model ima nedostatak što pri ma koliko velikoj gustoći toka srednja prostorna brzina toka nije

nula, što nema logičku podršku (Slika 18). [2]

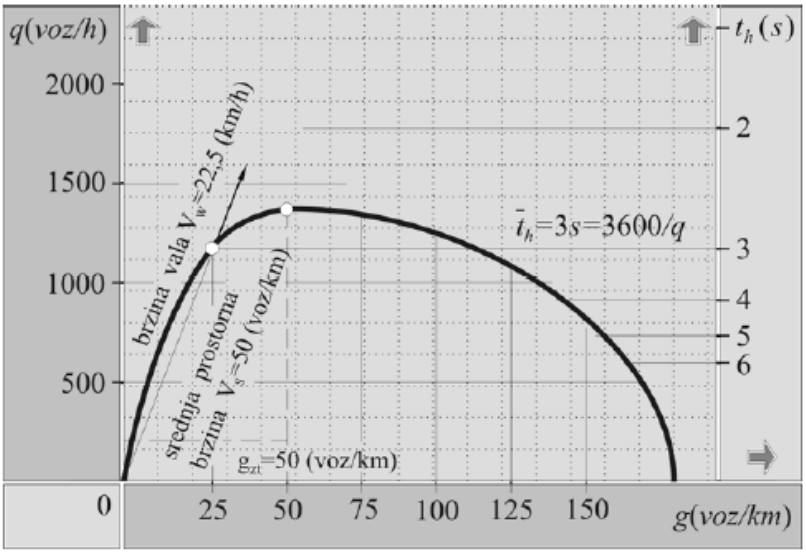


Slika 18. Eksponencijalni model brzina – gustoća

Izvor: [2]

5.2. Empirijski modeli ovisnosti protoka o gustoći

Rezultati istraživanja Lighthill-a i Whitham-a svestrano su analizirali Edie i Foot. Rezultati tih istraživanja i analiza prikazani su na Slici 19. Pruženi su detaljni podaci za jednu točku krivulje promatranog primjera, koja odgovara srednjoj prostornoj brzini od 40 (km/h) pri protoku od q=1200 (voz/h) i gustoći toka g =30 (voz/km). Interval praćenja bio je 3 (s). [2]



Slika 19. Model tok – gustoća kao osnovni dijagram prometa

Izvor: [2]

5.2.1. Parabolični model tok - gustoća

Parabolični model tok - gustoća temelji se na Greenshields-ovom linearnom modelu brzina - gustoća (Slika 20.) Relacije:

$$V_s = V_{sl}\left(1 - \frac{g}{\max g}\right)$$

$$q = V_s\ g$$

$$q = V_{sl}\ g\left(1 - \frac{g}{\max g}\right)$$

$$V_s = V_{sl}\ \left(1 - \frac{1}{\max g} \cdot \frac{q}{V_s}\right)$$

$$q = \max g \cdot V_s - \frac{\max g}{V_{sl}} \cdot V_s^2$$

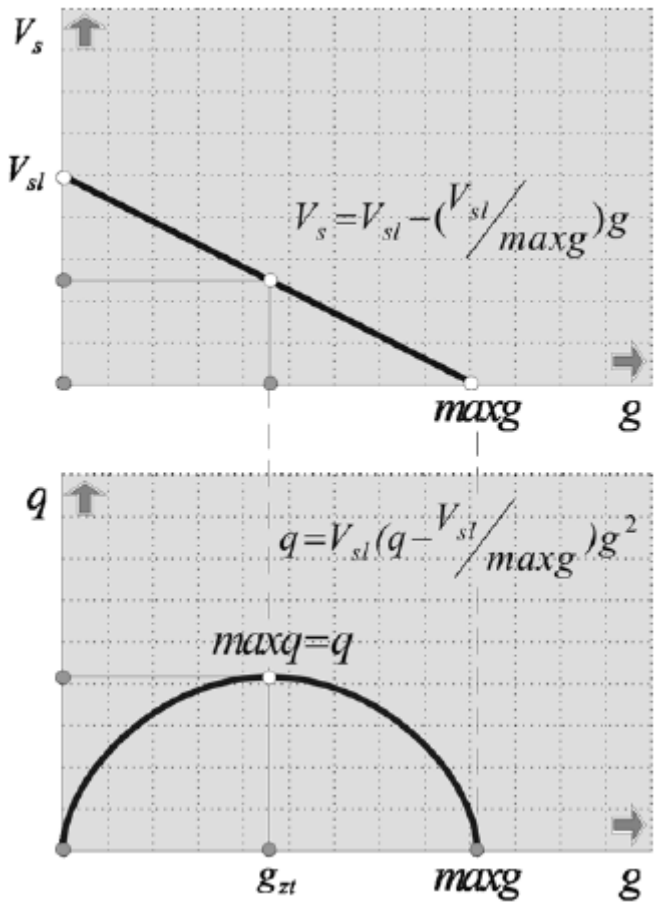
: [2]

gdje je:

Vs – srednja prostorna brzina

g – gustoća prometnog toka

q - protok



Slika 20. Parabolični model tok – gustoća

Izvor: Izvor: [2]

5.2.2. Model tok - gustoća temeljene na logaritamskoj i eksponencijalnoj ovisnosti brzine i gustoće

Ako se u osnovnu relaciju unese Greenbergovu logaritamski model brzina-gustoća [2]:

$$q = V_s \cdot g$$
$$V_s = V_{zt} \ln(\max\ g/g) \qquad [2]$$

gdje je:

Vs - srednja prostorna brzina

g - gustoća prometnog toka

q - protok

Dobiva se [2]:

$$q = g \cdot V_{st} \ln\left(\max\ g/\bar{g}\right)$$ [2]

gdje je:

Vs – srednja prostorna brzina

g – gustoća prometnog toka

q - protok

Uvođenjem Underwood-ove eksponencijalne relacije brzina- gustoća dobiva se relacija tok -gustoća koja glasi [2]:

$$q = V_s \cdot g$$

$$q = g \cdot V_{sl} \cdot e^{-(g/g_{st})}$$

$$V_{st} = \frac{V_{sl}}{e}$$

$$\max q = g_{st} \cdot \frac{V_{sl}}{e}$$

[2]

gdje je:

Vs - srednja prostorna brzina

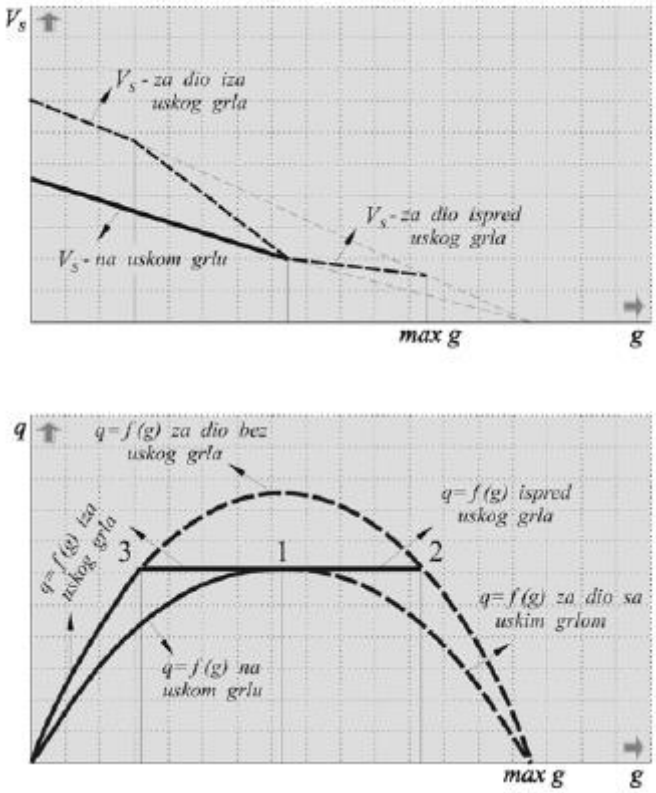
g - gustoća prometnog toka

q - protok

5.2.3. Model tok - gustoća na prometnici na kojoj postoji usko grlo

Usko grlo na cesti predstavlja dio ceste s relativno nepovoljnijim tehničko eksploatacijskim karakteristikama (suženje, uspon, zavoj, stanje kolnika), u odnosu na ostale dijelove (ispred i iza) ceste, koje utječu na pogoršanje osnovnih parametara prometnog toka, prije svega na smanjenje brzine i maksimalnog protoka, u odnosu na ove parametre kakve omogućavaju ostali dijelovi ceste kada ne bi postojalo usko grlo.

Uska grla mogu biti uzrokovana i nekom regulativnom mjerom, kao npr. ograničavanjem brzine na vrijednosti manje od brzine zasićenog toka pri kojoj se ostvaruje maksimalni protok (Slika 21). [2]



Slika 21. Model tok-gustoća na prometnici na kojoj postoji usko grlo

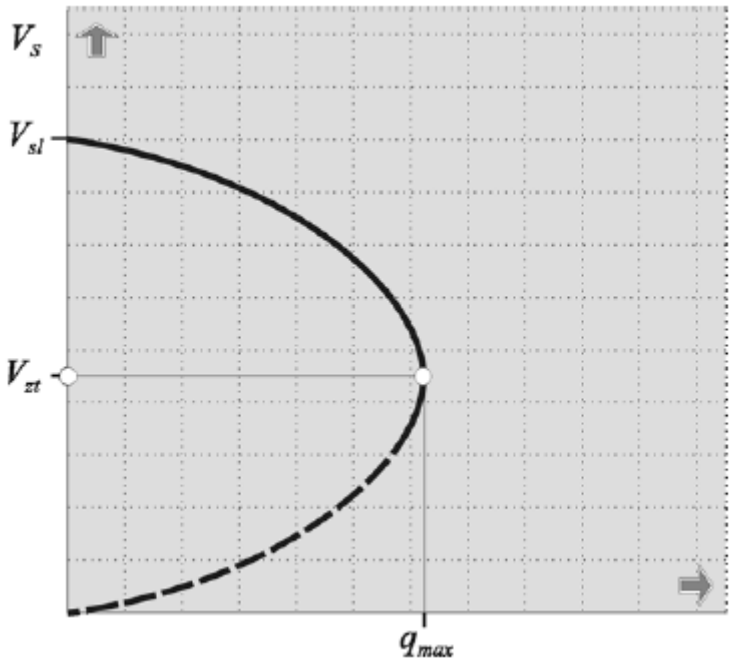
Izvor: [2]

5.3. Empirijski modeli zavisnosti srednje prostorne brzine od protoka

Na osnovu opće teorijske relacije između tri osnovna parametra prometnog toka i empirijski definiranog odgovarajućeg modela brzina-gustoća, može se formulirati i odgovarajući empirijski model brzina-tok. [2]

5.3.1. Parabolični model brzina-tok

Ako je relacija brzina - gustoća linija, rezultantna krivulja brzina - tok je parabola. Na Slici 22. dat je njen oblik.



Slika 22. Parabolični model brzina-tok

Izvor: [2]

5.3.2. Relacije brzina - tok koje se koriste u inženjerskoj praksi

Za potrebe inženjerske prakse razvijene su relacije između srednje prostorne brzine i protoka. Jedan od najistaknutijih stručnjaka koji je za potrebe inženjerske prakse razvijao relacije brzina-tok, bazirane na linearnoj interpretaciji bio je O. K. Normann. Empirijski obrasci, kojima se iskazuje srednja prostorna brzina toka u zavisnosti od veličine protoka preko linearne interpretacije, imaju sljedeći opći oblik [2]:

$$V_s = V_{sl} - K \cdot \bar{q}$$

gdje je:

Vsl - brzina u slobodnom toku (km/h)

q - protok vozila (voz/h)

K – koeficijent koji se određuje statističkim prilagođavanjem podataka mjerenja brzina i protoka sa zakonitostima pravca

Relacije između brzine i protoka na gradskim i izvangradskim prometnicama, za gradske brzine gdje je brzina manja od 40 (km/h) [2]:

- za prometnice gdje nema parkiranja;

$$V_s = 50 - \frac{q+430}{2(w-6)}(km/h)$$

- za prometnice s parkiranjem;

$$V_s = 50 - \frac{q+430}{2w}(km/h)$$

- za izvangradske putove gdje je brzina veća od 40 (km/h);

$$V_s = 65 - \frac{q+370}{13(w-18)}(km/h)$$

gdje je:
Vs (km/h) – srednja prostorna brzina
q (voz/h) – protok u oba smjera
W (Ft) – širina kolnika u stopama (0,3048m)

5.4. Makroskopski modeli

Makroskopski modeli opisuju ponašanje prometnog toka koristeći prosječne vrijednosti brzine, gustoće i intenziteta toka promatrajući ga kao kontinuiranu cjelinu, dok mikroskopski pristup polazi od promatranja zakonitosti kretanja pojedinih elemenata toka tj. pojedinih vozila i njihove interakcije. Potonji modeli kao parametre koriste brzine pojedinih vozila, udaljenost vozila i vrijeme slijeda. Pod makroskopskim modeliranjem prometnog toka podrazumijeva se definiranje odnosa između osnovnih parametara toka, a to su: brzina, gustoća i intenzitet toka. [9]

Razvoj modela prometnog toka obično zahtijeva definiranje sljedećih relacija:

- opće jednadžbe toka prema kojoj je prometni tok jednak umnošku brzine i gustoće
- jednadžbe očuvanja vozila prema kojoj razlika između broja vozila koja su ušla i onih koja su izašla s promatrane dionice ceste u nekom vremenskom intervalu mora odgovarati promjeni broja vozila duž promatrane dionice
- utvrđivanje odnosa između brzine i gustoće ili gradijenta odnosa toka i gustoće [9]

Makroskopski prometni modeli modeliraju prometni tok pod pretpostavkom da se prometni tok ponaša poput toka fluida. Takav pristup dozvoljava promatranje prometnog toka poput kontinuiranog procesa protjecanja vozila u jednom smjeru prometnice uz poštivanje činjenice da je svako vozilo individualno upravljano od strane vozača, odnosno poštujući stav da se svako pojedinačno vozilo u promatranom prometnom toku kreće isključivo po zakonitostima ukupnog toka.

Prvi značajni napredak u izgradnji makroskopskih modela postignut je korištenjem kinematičkih valova u oponašanju toka fluida, a kasnije je dopunjen uvođenjem šok - valova na autocesti. Na temelju toga nastao je Lighthill-Whitham-Richards model (LWR) koji opisuje vezu između očekivane brzine i gustoće, parcijalnim jednadžbama. [9]

Kasnije se pojavljuje Paynov model koji dodatno proširuje LWR dodatnom parcijalnom jednadžbom koja opisuje dinamiku brzine prometnog toka, a Helbingov model uvodi uz to i parcijalnu jednadžbu koja opisuje varijancu brzine. [9]

U red najznačajnijih polaznih uvjeta za analogno korištenje zakonitosti u protjecanju fluida pri opisivanju zakonitosti protjecanja prometnih tokova spadaju:

- prometni tokovi moraju biti jednosmjerni
- prometni tokovi moraju biti kontinuiran
- svako je vozilo individualno kontrolirano od strane vozača
- prometni tokovi moraju biti homogene strukture
- polazni stav je da se sva vozila kreću po zakonitostima cijeloga toka
- posljedica uvjeta pod (c) i (e) je da hidrodinamička analogija više odgovara tokovima velikih gustoća

Kako se najčešći problemi u protjecanju prometnih tokova javljaju pri većim gustoćama i kako su ti problemi različiti od onih pri manjim gustoćama, to je vrlo značajno dobro razumijevanje hidrodinamičkih analogija u opisivanju prometnih tokova. Mezoskopski simulacijski modeli su kombinacija dva prethodno spomenuta modela. Lako ih je opisati poput pojednostavljenog mikroskopskog simulacijskog modela. Pojednostavljenog zato što je zasnovan na cjelokupnoj strukturi mikroskopskog modela. [12]

5.4.1. Simulacijski alati zasnovani na makroskopskom modelu

Početak razvoja modeliranja prometnog toka veže se za tridesete godine prošlog stoljeća. Tada započinju nastojanja za utvrđivanjem matematičke veze između osnovnih makroskopskih parametara poput toka, brzine i gustoće. Prvi radovi bili su usmjereni na utvrđivanje funkcionalne zavisnosti između brzine i gustoće. [11]

Istraživanja su se fokusirala na jednorežimske modele u uvjetima nezasićenog toka kada je tok manji od kapaciteta, u uvjetima zasićenog toka kada tok nadilazi kapacitet te dolazi do zagušenja promatranog elementa prometnog sustava. Rezultati primjene jednorežimskih modela potakli su stručnjake da prikažu odnos između brzine i gustoće kombinacijom dvaju ili više modela. Posebna pozornost posvetila se domeni malih i velikih gustoća, što je dovelo do razvoja višerežimskih modela. [10]

Makrosimulacijski programi su:

- Aimsun
- DYNEV
- Emme
- OmniTRANS
- OREMS
- TransCAD
- TransModeler
- PTV Visum
- Cube Voyager
- VISUM

Makrosimulacije su, za razliku od toga, namijenjene proučavanju prometnih tokova, općenitijih procesa gdje nije bitno pojedino vozilo ili pješak već ukupan broj jedinica koji je prošao nekom prometnom dionicom. U modelu ne postoje individualna vozila već samo agregati kao što su razina toka, gustoća i brzina. Individualni manevri kretanja, poput promjene trake, ne mogu se modelirati. Za takve je modele potrebna manja razina detalja, što ih čini pogodnima za rad na većim područjima. [13]

5.5. Mikroskopski modeli

Mikroskopski modeli opisuju ponašanje jednog para vozila u toku, uz pretpostavku da se takvo ponašanje može primijeniti na sva ostala vozila. Zbog toga se koriste parametri koji opisuju kretanje na razini pojedinog vozila, a to su individualna brzina, vrijeme slijeđenja i razmak vozila.

Mikroskopski modeli opisuju način na koji vozilo slijedi vozilo ispred pa se nazivaju također i modelima slijeđenja vozila. Na njima se temelji logika mikroskopskih simulacijskih modela. Počeli su se razvijati početkom 50-ih godina prošlog stoljeća, a prve radove objavili su Reushcel i Pipes [2].

Radilo se o jednom od prvih mikroskopskih prometnih modela za detaljan opis kretanja pojedinačnih vozila u prometnoj traci. Doprinos daljnjem razvoju modela slijeda vozila dali su Forbes te General Motors grupa, koji su dali važan doprinos jer su pronašli i utvrdili matematičku vezu između mikroskopskih i makroskopskih parametara toka. Korištenjem jednadžbe slijeda vozila uz primjenu jednadžbi jednoliko ubrzanog kretanja može se za svako vozilo odrediti položaj, brzina i ubrzanje u svakom vremenskom trenutku čime se definira trajektorija vozila. Trajektorija vodećeg vozila ovisi o graničnim vrijednostima parametara (poput brzine, ubrzanja i usporenja) te o njoj ovise trajektorije vozila koji ga slijede. [12]

Simulacija kretanja omogućava se zahvaljujući upravo izračunatim podacima za svaki vremenski korak kretanja vozila duž prometnice. Daljnje razvijanje simulacijskih modela uključivalo je opise ponašanja vozila na izvangradskim i gradskim prometnicama. Model

promjene prometnog traka utvrđuje motiviranost vozača za promjenom traka te postojanje mogućnosti da se ono i izvrši.

Prvo je razvijen model izbora traka na prometnicama s više prometnih traka pri čemu se razlikuje promjena trake zbog želje da se prestigne sporije vozilo od potrebe za promjenom trake zbog skretanja na čvorištima. Kasnije su razvijeni i modeli ponašanja vozila na nesemaforiziranim i semaforiziranim raskrižjima. Današnji modeli imaju mogućnost opisivanja utjecaja dinamičke signalizacije i drugih mjera iz domene ITS[6] - a na odvijanje prometa te mogu simulirati posljedice zatvaranja pojedinih trakova zbog nesreće ili radova na cestama i dr. [10]

Mikroskopski modeli zasnivaju se na opisu pojedinačne interakcije među vozilima uvjetovanoj različitosti svojstava vozača i vozila. Ovi modeli su po naravi stohastički. [9]

5.5.1. Simulacijski alati zasnovani na mikroskopskom modelu

Početci uporabe mikrosimulacije u prometu potječu iz 1955. godine (Gerlough, 1955.). Mikrosimulacijski modeli su se najprije razvijali u svrhu testiranja pojedinih prometnih rješenja, s namjerom poboljšanja kapaciteta raskrižja u urbanom okruženju. Danas, uz veliki napredak tehnologije računala precizno obrađuju 100 km mreže s više od 200 raskrižja i desetak tisuća vozila bez većih poteškoća. [11]

Osnovni dio svakog projektnog simulatora je matematički model koji generira rezultate na osnovu ulaznih podataka i izrađene simulacije. Većina mikrosimulacijskih programa za izlazne podatke daje parametre kao: brzina, trajanje putovanja, zasićenje, dužina kolone vozila i sl. s različitom preciznošću. [12]

Najčešće se radi o specijaliziranim komercijalnim programima u kojima je unošenje cestovne mreže predviđeno grafičkim putem preko korisničkog sučelja pomoću točaka i/ili mreže iz postojećih baza podataka. Većina modela je adaptivna i omogućava unos i promjene nekih parametara koji imaju ključno značenje za reprezentativno odvijanje simulacija, a kao

[6] Inteligentni transportni sustavi

rezultat mikrosimulacija većina ih obrađuje prometnu učinkovitost prema parametrima koji se najčešće upotrebljavaju u analizi propusne moći poput: brzine, trajanja putovanja, zasićenja, dužine repa itd. Programi omogućuju vizualno promatranje simulacije, tj. animaciju, dok nekomercijalni najčešće nemaju takve mogućnosti i rezultate prikazuju u alfanumeričkom obliku. Simulation of Urban Mobility (SUMO) je jedan od poznatijih mikrosimulacijskih alata koji se koriste u prometu. [13]

SUMO je besplatan alat koji je dostupan od 2001. godine i omogućuje modeliranje intermodalnog prometnog sustava uključujući cestovna vozila, javni prijevoz i pješake. SUMO ima široku podršku različitih dodataka poput pronalaženja putova, vizualizacija, uvoz mreže i izračun emisije. Značajke SUMO simulacijske platforme su mikroskopska simulacija, online interakcije, simulacija multimodalnog prometa, prilagodba signalnih planova, te nema ograničenja na veličinu mreže i broju simuliranih vozila. [13]

MOTUS je simulacija prometnog toka otvorenog kôda programiranog u Javi. Ciljana grupa korisnika su istraživači kojima je potreban cijeli spektar znanja simulacije i također mogućnost da se mogu proširiti opcije s novim tehnologijama, algoritmima ili modulima. MOTUS je rađen s idejom da svaki dan tehnologija napreduje, pa tako simulacijski alat mora biti u stanju pratiti promjene i nova dostignuća. Dodajući mogućnost proširivanja simulacijskog alata novim Java klasama tvorci alata proširili su životni vijek samog programa i podržali mogućnost njegove nadogradnje kako bi mogao biti nadograđivan u trendu s novim postignućima. [10]

Ostali mikrosimulacijski programi su:

- Aimsun
- CityTrafficSimulator
- CORSIM
- Cube Dynasim
- DRACULA
- PTV VISSIM
- MATSim
- Open Traffic
- PARAMICS

- RoadTrafficSimulator
- Sidra Intersection
- UAF
- Quadstone
- Paramics

Ponašanje vozača opisano je velikim skupom „if-then“ pravila i podešavanjem velikog broja parametara. Primjerice, vrijeme reakcije i vrijeme kretanja vozila iz stanja mirovanja su dva, vrlo bitna parametra koja snažno utječu na kretanje vozila i kapacitet prometne mreže. Iz ponašanja i karakteristika vozila, za svaki se vremenski korak simulacije računaju položaj, brzina i ubrzanje vozila. Jezgra svake simulacije prometnih tokova su modeli koji „upravljaju“ kretanjem i prestrojavanjem vozila:

1) **Model slijeda vozila** - koristi jednadžbu slijeda vozila uz primjenu jednadžbi jednolikog ubrzanog kretanja. Na taj se način može za svako vozilo odrediti položaj, brzina i ubrzanje u svakom vremenskom trenutku čime se definira trajektorija vozila. Trajektorija vodećeg vozila ovisi o graničnim vrijednostima parametara (brzine, ubrzanja i usporenja) te o njoj ovise trajektorije vozila koji ga slijede. [13]

2) **Model promjene prometnog traka** - utvrđuje motiviranost vozača za promjenom traka te postojanje mogućnosti da se ono i izvrši. Prvo je razvijen model izbora traka na višetračnim cestama pri čemu se razlikuje izbor promjene prometne trake u želji da se prestigne sporo vozilo (slobodan izbor) od izbora odgovarajućeg traka radi skretanja na čvorištima (nužan izbor). [13]

5.5.2. Računalni programi za simuliranje prometnih sustava

Potrebe različitih korisnika mikrosimulacijskih modela mogu se razlikovati. Svaki mikrosimulacijski alat ima svoje prednosti i mane pa je odabir prikladnog računalnog programa za provedbu simulacijskog postupka, također, bitan. Primjerice, ponašanje vozača koji se približavaju kružnom raskrižju razlikuje se od ponašanja pri prolazu drugim vrstama

raskrižja. U skladu s tim, model koji želi simulirati promet na kružnom raskrižju mora sadržavati parametre za podešavanje odgovarajućeg ponašanja vozača, koje karakteriziraju postupci poput [13]:

- smanjenja brzine
- prestrojavanja vozila u odgovarajuću traku na ulazu u raskrižje ili kružnom kolničkom traku, prema željenom izlaznom privozu (u slučaju višetračnog kružnog raskrižja i/ili ulaznog privoza)
- davanja prednosti prolaska vozilima unutar kružnog raskrižja, osim ako oznake na kolniku sugeriraju drugačije
- obraćanja pozornosti na pješake te vozila unutar kružnog raskrižja, posebice bicikliste i motocikliste
- ostavljanja dovoljno prostora dugim, odnosno velikim motornim vozilima zbog drukčije putanje ili mogućeg otežanog prolaska kružnim raskrižjem (naprimjer, mini kružna raskrižja s provoznim središnjim otokom)

6. DEFINIRANJE PARAMETARA KOJI UTJEČU NA ORGANIZACIJU I SIGURNOST PROMETNIH TOKOVA

Definiranje parametara prometnog toka bitno utječe na ukupnu propusnu moć prometne mreže, kao i na druge aspekte odvijanja prometa kao što su brzina kretanja i vrijeme putovanja vozila te sigurnost odvijanja prometa.

6.1. Utjecaj parametara prometnog toka na organizaciju i sigurnost prometnog toka

Parametri prometnog toka i njihovi modeli primjenjuju se u :

- za analizu prometnih radnji unutar prometnog toka
- u prometnom planiranju i projektiranju
- u prometnim simulacijama za dimenzioniranje pješačkih objekata i izradu LOS- a
- za proračun signalnih faza rada semafora
- za vođenje i upravljanje prometnih tokova putem naprednih tehnologija

Svrha mjerenja parametara prometnog toka:

- upravljanje prometnim tokom
- povećanje protočnosti
- povećanje sigurnosti
- povećanje brzine
- smanjenje zastoja
- smanjenje potrošnje goriva
- smanjenje zagađenja

Prometnim parametrima opisuju se prometni tokovi i zakonitosti kretanja motornih vozila na cestovnim prometnicama. Promjenu vrijednosti određene skupine prometnih parametara sudionici u prometu izravno doživljavaju kao promjenu kvalitete usluge. Tim parametrima može se izraziti kvaliteta usluge koju nudi prometni sustav. U pokazatelje kvalitete usluge mogu se ubrojiti: trenutačna brzina, srednja vremenska brzina, srednja prostorna brzina, gustoća, zauzeće, kašnjenja i zaustavljanja.

6.2. Definiranje parametara koji utječu na organizaciju i sigurnost prometnih tokova na primjeru Naplatna postaja Zagreb – Lučko

Prilikom definiranja parametara koji utječu na organizaciju i sigurnost prometnih tokova kao primjer analizirana je 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.

Slika 23. Prikaz naplatne postaje Zagreb - Lučko

Izvor: [14]

Vozila prema naplatnoj postaji Lučko dolaze iz smjera:

- 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

- 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

- 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

Slika 24. Naplatna postaja Lučko

Izvor: [19]

Visoki stupanj homogenizacije prometnog toka na analiziranoj naplatnoj postaji moguće je postići 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 šokvalova, 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 izmeću 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 u svakom trenutku može prilagođavati ograničenje brzine ovisno o uvjetima na cesti, a samim time moguć je utjecaj na homogenizaciju prometnog toka.

Sustav naplate u cilju povećanja sigurnosti na analiziranoj naplatnoj postaji može se poboljšati:

- ugradnjom 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

- semaforski 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 tako 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 sustav.

7. ZAKLJUČAK

U radu su analizirani osnovni parametri prometnog toka za određivanje mjerodavnih elemenata za dimenzioniranje prometno - oblikovnih elemenata ceste u svrhu ostvarenja bolje protočnosti i sigurnosti cestovnog prometa za planirano vremensko razdoblje.

Ujedno svrha i cilj istraživanja usmjeren je prema odabiru prometno - oblikovnih elemenata ceste i cestovne infrastrukture u skladu s realnim prometno - ekonomskim parametrima, odnosno stupnju ekonomske opravdanosti predloženih tehničko - tehnoloških rješenja u promatranom vremenskom razdoblju.

Izrazito povećanje obujma prijevoznih usluga u svijetu stvorilo je potrebu velikih ulaganja u cestovnu prometnu infrastrukturu. Zato je potrebno utvrditi njezine propusne moći i stvarni učinak u pripadajućem prometno - tehnološkom procesu. Propusna moć je temelj za sve intervencije i zahvate na prometnoj mreži. Točno dimenzioniranje propusne moći cesta i čvorišta, kao i svih pratećih infrastrukturnih objekata, u svojoj konačnosti utječe na povećanje tehničke, pa tako i komercijalne brzine kretanja transportnog supstrata. Time se smanjuju gužve na prometnicama te vozila ne provode vrijeme u čekanju.

Zbog velikog broja interakcija između prometnih entiteta opisivanje kretanja prometnog toka vrlo je složen proces pa se za to koriste modeli i simulacije. Osnovni zadatak upravljanja prometom je da na što racionalniji i efikasniji način iskoristi kapacitivne mogućnosti raspoložive prometne mreže s ciljem kvalitetnog opsluživanja aktualnoga prometnog zahtjeva. Cilj upravljanja prometom je neprekidno djelovanje k postizanju ravnoteže između prometne potražnje i mogućnosti postojećega prometnog sustava da tu potražnju zadovolji.

LITERATURA

1) Pravilnici i priručnici:

[1] Bošnjak I., Badanjak D.: Osnove prometnog inženjerstva, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2005.

[2] Dadić, I., Kos, G., Ševrović, M.: Teorija prometnog toka, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb 2014.

[3] Bilješke s predavanja kolegija Osnove prometnog inženjerstva, akademska godina 2010./2011

[4] Horvat,R., Kos, G., Ševrović, M.: Traffic Flow Modelling on the Road Network in the Cities, Technical Gazette, Tehnički vjesnik (Technical Gazette): znanstveno-stručni časopis tehničkih fakulteta Sveučilišta u Osijeku. Vol. 22, No. 2, 2015 , p. 475 – 486, ISSN 1848-6339.

[5] Dadić, I., i suradnici: Teorija i organizacija prometnih tokova, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb 2014.

[6] Hozjan, D., Novačko, L.: Cestovne prometnice II: Interna skripta za izradbu seminarskog rada, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2009

[7] National Research Council: Highway Capacity Manual (HCM) 2000, Transportation Research Board (TRB), National Academies of Science, Washinghton DC, United States, 2000.

[8] Cvitanić D.: Prometna tehnika, Građevinsko-arhitektonski fakultet, Split, 2010.

[9] Korent N.: Mogućnosti primjene Matsim simulatora cestovnih prometnih mreža, Zagreb, 2015.

[10] Šraml, M.; Jovanovi, G.: Mikrosimulacije u prometu, Maribor, 2014.

[11] Kolak I.: Usporedba varijantnih rješenja raskrižja primjenom mikrosimulacijskog modela, Osijek, 2015.

[12] Šurdonja S., Nežić D.:Mikrosimulacijski model proračuna kružnog raskrižja, Građevinski fakultet, Rijeka, 2015.

[13] Breški, D. Cvitanić, D., Lovrić, I.: Analiza osjetljivosti parametara simulacijskog modela CORSIM, Građevinar 58 -7, Zagreb, 2006, p. 539-548.

2) Web izvori:

[14] http://hac.hr/

[15] https://www.google.hr/gradske ceste

[16] http://www.signal.hr/hr/prometni-znakovi

[17] http://www.sibenik.in/sibenik/infografika

[18] http://www.mbspot.hr/prometnao.html

[19] https://www.google.hr/map

POPIS SLIKA:

Slika 1. Protok vozila na presjeku 4

Slika 2. Protok vozila na dionici 5

Slika 3. Gustoća prometnog toka 6

Slika 4. Srednja prostorna brzina 8

Slika 5. Srednja vremenska brzina 8

Slika 6. Vremenski interval slijeđenja vozila 10

Slika 7. Prostorni interval slijeđenja vozila 10

Slika 8. Primjer oblika neprekinutog prometnog toka 13

Slika 9. Primjer prekinutog prometnog toka 14

Slika 10. Primjer homogenog prometnog toka 16

Slika 11. Raspodjele satnih protoka vozila u periodu dana 19

Slika 12. Vršni promet u tijeku promatranog sata 21

Slika 13. Primjer vođenja prometnih tokova prometnim znakovim i informativnim sredstvima 24

Slika 14. Primjer usmjeravanja prometnih tokova 25

Slika 15. Primjer prometnih znakova koji određuju prioritet prometnica 27

Slika 16. Linearni model brzina - gustoća 29

Slika 17. Logaritamski model brzina – gustoća 30

Slika 18. Eksponencijalni model brzina – gustoća 31

Slika 19. Model tok – gustoća kao osnovni dijagram prometa 31

Slika 20. Parabolični model tok – gustoća 33

Slika 21. Model tok-gustoća na prometnici na kojoj postoji usko grlo 35

Slika 22. Parabolični model brzina-tok 36

Slika 23. Naplatna postaja Zagreb - Lučko 46

Slika 24. Naplatna postaja Lučko 47

PRILOZI:

Prilog 1. Ukupni mjesečni promet NP Lučko

I Z L A Z : NP LUČKO (ZAGREB) (BM 1913)							
UKUPNI MJESEČNI PROMET							
Mjesec	Skupina vozila						
	Ukupno	IA	I	II	III	IV	IX
I	271.385	25	214.971	15.701	14.259	21.474	4.955
II	249.247	19	191.792	15.768	14.279	22.646	4.743
III	330.216	212	256.243	21.485	17.371	28.569	6.336
IV	389.458	685	308.716	25.152	18.839	28.881	7.185
V	455.610	2.510	359.213	32.927	21.996	30.808	8.156
VI	552.986	4.780	442.918	40.301	24.398	31.747	8.842
VII	786.910	4.505	654.175	49.739	27.680	38.072	12.739
VIII	960.009	5.231	827.742	55.073	26.975	30.911	14.077
IX	585.965	2.903	473.621	43.167	23.991	32.379	9.904
X	420.187	603	328.508	30.151	21.197	32.347	7.381
XI	353.136	268	272.513	24.503	18.209	31.285	6.358
XII	351.214	43	274.633	23.260	17.369	30.285	5.624
Sveukupno	**5.706.323**	**21.784**	**4.605.045**	**377.227**	**246.563**	**359.404**	**96.300**
PGDP	**15.634**	**60**	**12.616**	**1.033**	**676**	**985**	**264**
Udjel (%)	100,00	0,38	80,70	6,61	4,32	6,30	1,69
PLDP	**28.176**	**157**	**23.900**	**1.691**	**882**	**1.113**	**433**
Udjel (%)	100,00	0,56	84,82	6,00	3,13	3,95	1,54

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
10000 Zagreb
Vukelićeva 4

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj diplomski rad isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu što pokazuju korištene bilješke i bibliografija.

Izjavljujem kako nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, niti je prepisan iz necitiranog rada, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava.

Izjavljujem također, kako nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu diplomskog rada pod naslovom **Definiranje parametara za analizu prometnih tokova u funkciji sigurnosti cestovnog prometa** na internetskim stranicama i repozitoriju Fakulteta prometnih znanosti, Digitalnom akademskom repozitoriju (DAR) pri Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu.

Student/ica:

U Zagrebu, 18.9.2017

Martina Batinić
(potpis)