

# Istraživanje parametara prometnog toka

---

Skočić, Ivan

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

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://um.nsk.hr/um:nbn:hr:119:679167>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-11**



Repository / Repozitorij:

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



Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti

**ZAVRŠNI RAD**

**ISTRAŽIVANJE PARAMETARA PROMETNOG TOKA**

**RESEARCH OF TRAFFIC FLOW PARAMETERS**

Mentor: prof. dr. sc. Ljupko Šimunović

Student: Ivan Skočić

JMBAG: 0135252284

Zagreb, rujan 2023.

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**  
**ODBOR ZA ZAVRŠNI RAD**

Zagreb, 27. ožujka 2023.

Zavod: **Zavod za prometno planiranje**  
Predmet: **Osnove prometnog inženjerstva**

**ZAVRŠNI ZADATAK br. 7128**

Pristupnik: **Ivan Skočić (0135252284)**  
Studij: **Promet**  
Smjer: **Cestovni promet**

Zadatak: **Istraživanje parametara prometnog toka**

**Opis zadatka:**

U radu je potrebno analizirati osnovne makroskopske i mikroskopske parametre prometnog toka s ciljem razumijevanja učinkovitog kretanja prometa na mreži. To uključuje informacije o gustoći prometa, protoku vozila, brzinama, intervalima slijeđenja vozila i prekidima u prometnom toku. Mjerenjem će se prikupiti prometni podaci na dionici ceste, nakon toga statistički obraditi i analizirati, a potom izraditi modeli prometnog toka. Težište istraživanja su brzine prometnog toka.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za  
završni ispit:

---

prof. dr. sc. Ljupko Šimunović

## Sažetak

Opisivanje i modeliranje kretanja vozila u prometnom toku je složen proces koji uključuje mnoge promjenjive parametre i njihove međusobne interakcije. Ovi parametri i zakonitosti kretanja često se proučavaju u okviru područja prometnog inženjeringa i znanosti o prometu kako bi se bolje razumjela dinamika prometnih tokova i kako bi se razvile strategije za upravljanje prometom. U završnom radu definirani su osnovni parametri prometnog toka koji određuju i utječu na definiranje optimalnog odnosa prometnog toka, propusne moći i sigurnosti prometa. Provedena je analiza parametara prometnog toka na temelju prikupljenih podataka.

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

## Summary

Describing and modeling the movement of vehicles in a traffic flow is a complex process that includes many variable parameters and their mutual interactions. These parameters and patterns of movement are often studied within the fields of traffic engineering and traffic science to better understand the dynamics of traffic flows and to develop strategies for traffic management. The final paper defines the fundamental traffic flow parameters that determine and influence the definition of the optimal relationship between traffic flow and safety. An analysis of traffic flow parameters was carried out based on the collected data.

**KEY WORDS:** parameters, traffic flow, speed, density, flow

# SADRŽAJ

1. UVOD .....	1
2. OSNOVNI PARAMETRI PROMETNOG TOKA .....	3
2.1 Protok vozila .....	3
2.2 Gustoća prometnog toka .....	5
2.3 Brzina prometnog toka.....	5
2.3.1 Srednja prostorna brzina prometnog toka .....	6
2.3.2 Srednja vremenska brzina prometnog toka.....	7
2.3.3 Brzina prometnog toka s obzirom na vrste prometnih tokova.....	7
2.4 Interval slijeđenja vozila .....	8
2.5 Razmak u slijeđenju vozila .....	9
2.6. Teorijske relacije između osnovnih parametara prometnog toka .....	9
2.6.1 Empirijski modeli ovisnosti srednje prostorne brzine toka o gustoći toka .....	10
2.6.2 Empirijski modeli ovisnosti protoka o gustoći .....	12
2.6.3 Empirijski modeli zavisnosti srednje prostorne brzine od protoka.....	15
3. PRIKUPLJANJE PODATAKA.....	18
3.1 Metoda ručnog brojanja prometa .....	19
3.2 Metoda automatskog brojanja prometa.....	22
3.3 Metodologija istraživanja prometnog toka .....	26
4. ANALIZA PODATAKA.....	29
ZAKLJUČAK .....	34
LITERATURA .....	36
POPIS SLIKA .....	37
POPIS GRAFIKONA .....	38

# 1. UVOD

Razvoj prometa kao gospodarske djelatnosti povećao je složenost interakcija između različitih prometnih grana i međuovisnost unutar prometnog sustava. Složenost se dodatno povećava jer prometni sustavi često djeluju u urbanim sredinama gdje se susreću s urbanim planiranjem, građevinskim projektima, zahtjevima za očuvanjem okoliša i drugim faktorima. Osim toga, razvoj tehnologije, kao što su pametni prometni sustavi i informacijske tehnologije, također je promijenio način na koji prometni sustav funkcionira i kako ljudi koriste prijevoz. Planove o izgradnji prometnog sustava potrebno je gledati kao cjelinu, a prometni sustav kao dio šireg ekonomskog i društvenog sustava.

Analiza prometnih tokova i potražnje ključna je kako bi se osiguralo da prometna infrastruktura bude adekvatna i učinkovita. Ulaganja u izgradnju i modernizaciju cesta i prometne infrastrukture često zahtijevaju znatna financijska sredstva i dugoročno planiranje. Stoga je važno da se pravilno definiraju parametri za analizu prometnih tokova kako bi se osiguralo da investicije budu opravdane i da prometni sustav može udovoljavati rastućoj potražnji. Osim toga, analiza prometnih tokova može pomoći u identifikaciji problema u prometnom sustavu, pronalaženju rješenja za smanjenje zagušenja, poboljšanje sigurnosti i očuvanju okoliša. Sve te komponente zajedno doprinose boljoj kvaliteti života u urbanim sredinama i ekonomskom razvoju regija.

Cilj završnog rada je definirati i analizirati osnovne makroskopske i mikroskopske parametre prometnog toka. To uključuje informacije o gustoći prometa, protoku vozila, brzinama, intervalima slijeđenja vozila i prekidima u prometnom toku.

Završni rad strukturiran je u pet poglavlja:

- Uvod
- Osnovni parametri prometnog toka
- Prikupljanje podataka
- Analiza podataka
- Zaključak

Nakon uvodnog poglavlja u kojem su definirani svrha, cilj i struktura rada, u drugom poglavlju definirani su osnovni parametri prometnih tokova koji služe za opisivanje prometnih tokova i zakonitosti kretanja motornih vozila u prometnim tokovima na prometnicama.

U trećem poglavlju opisane su ručne i automatske metode brojanja prometa koje predstavljaju osnovicu za planiranje prometa. Brojanjem prometa dobiva se uvid u njegovo trenutno stanje, te podaci koji se koriste za potrebne rekonstrukcije, izgradnje novih prometnica i slično.

Četvrto poglavlje prikazuje provedenu analizu prikupljenih podataka, prikupljeni podaci su obrađeni statistički i analitički.

## 2. OSNOVNI PARAMETRI PROMETNOG TOKA

Prometni tok definiramo kao istodobno kretanje više vozila na putu u određenom poretku. Kako bi opisali prometni tok i zakonitosti kretanja vozila u prometnom toku potrebno je definirati pokazatelje. U teoriji prometnog toka te iste pokazatelje nazivamo osnovni parametri prometnog toka. [1]

Osnovni parametri prometnog toka koje koristimo za njegovo opisivanje su:

- protok vozila,  $q$
- gustoća prometnog toka,  $g$
- brzina prometnog toka,  $v$
- interval slijedeđenja vozila
- razmak u slijedeđenju vozila [1]

Glavna razliku u uvjetima kretanja vozila u prometnom toku u odnosu na uvijete kretanja zasebnog vozila je ta što na kretanje vozila u prometnom toku djeluje i međusobna interakcija vozila u prometu. [1]

### 2.1 Protok vozila

Pojam protok vozila se odnosi na broj vozila koja prođu kroz određeni promatrani presjek prometnice u određenoj jedinici vremena u jednom smjeru za jednosmjerne, odnosno u oba smjera za dvosmjerne prometnice.

$$q = g \cdot V \text{ [voz/h]}$$

Gdje je:

$q$  - protok

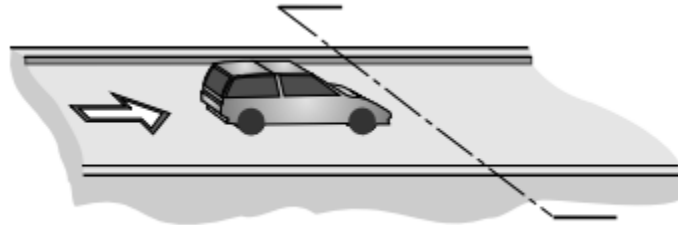
$g$  – gustoća prometnog toka

$V$  – brzina prometnog toka

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

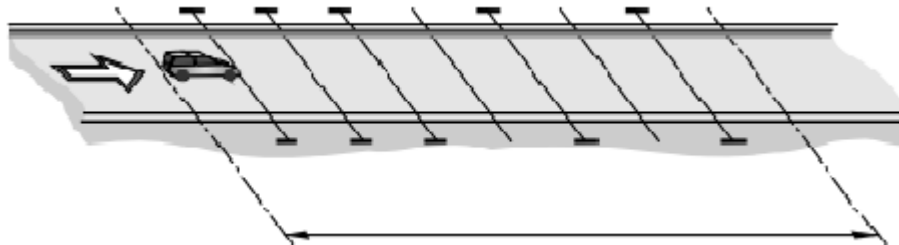


a) protok vozila na presjeku ceste predstavlja protok koji se ostvaruje na promatranom presjeku ceste u jedinici vremena



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

b) protok vozila na dijelu ili dionici ceste, koji predstavlja aritmetičku sredinu protoka na  $n$  – presjeka na djelu ili prometnoj dionici, gdje  $n \rightarrow \infty$



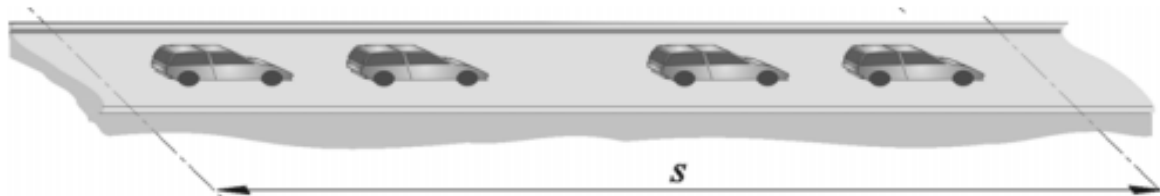
Slika 2. Protok vozila na dionici  
Izvor: [1]

Relacije se odnose na protok na dionici u jednom pravcu, jednom nizu i jednom smjeru. Osnovna jedinica za iskazivanje protoka vozila je broj vozila u satu (voz/h), također u praksi se koriste i veće ili manje vremenske jedinice od jednog sata, kao što su broj vozila na dan (voz/dan), ili broj vozila u minuti (voz/min). [2]

Osnovni simbol za označavanje protoka vozila je  $q$  (voz/h). U upotrebi su također simboli PGDP (prosječni godišnji dnevni promet), PDP (prosječni dnevni promet), te DP (dnevni promet). [1]

## 2.2 Gustoća prometnog toka

Gustoća prometnog toka označava broj vozila na jedinici duljine prometnice, po prometnoj traci, po smjerovima za jednosmjerne prometnice, odnosno u oba smjera za dvosmjerne prometnice (slika 2.). Pojam gustoće prostorno je vezan za prometnu dionicu ili odsjek, a vremenski je vezan za trenutno stanje.



Slika 3. Gustoća prometnog toka  
Izvor: [1]

S obzirom na vremenski period u kome se promatra, gustoća prometnog toka predstavlja:

a) broj vozila po jedinici dužine promatrane dionice u trenutku promatranja  $g$  (voz/km)

$$g = \frac{N}{s} \text{ (voz/km)}$$

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

$s$  – duljina dijela puta u kilometrima

b) broj vozila po jedinici duljine promatrane dionice kao aritmetička sredina više trenutnih promatranja u nekom određenom vremenskom periodu [1]

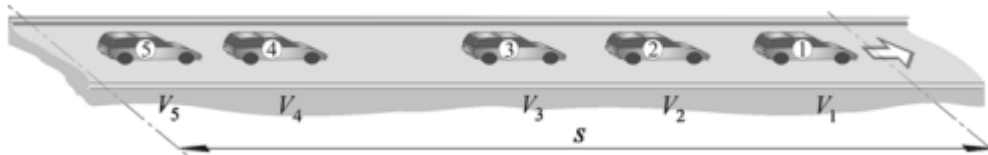
## 2.3 Brzina prometnog toka

Kad se govori o brzini prometnog toka misli se na određenu srednju vrijednost brzina svih vozila koja sudjeluju u prometnom toku. Ovisno o načinju promatranja prometnog toka u odnosu na prostor i vrijeme, uzimajući u obzir značenje pojmova protok vozila i gustoća prometnog toka, uspostavljenu su dva pojma za definiranje brzine prometnog toka kao odgovarajuće srednje vrijednosti brzina svih vozila koja čine 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  $T$  [1]

### 2.3.1 Srednja prostorna brzina prometnog toka

Srednja prostorna brzina prometnog toka predstavlja aritmetičku sredinu trenutnih brzina svih vozila koja se nalaze u prometnom toku na promatranoj dionici puta, prikazano na slici 3. Sa gledišta prostornog promatranja, srednja prostorna brzina prometnog toka označava brzinu na dionici puta, a sa gledišta vremenskog promatranja predstavlja trenutnu brzinu toka. U stručnoj literaturi se srednja prostorna brzina prometnog toka naziva i srednja trenutna brzina, te se mjerenje srednje prostorne brzine često naziva trenutno promatranje na dionici puta.



Slika 4. Srednja prostorna brzina prometnog toka  
Izvor: [1]

$$v_s = \frac{S}{\sum_{i=1}^N \frac{t_i}{N}} = \frac{NS}{\sum_{i=1}^N t_i}$$

gdje je:

$v_s$  – srednja prostorna brzina [km/h]

$S$  – duljina dionice [km]

$t_i$  – vrijeme putovanja i-tog vozila [h]

$N$  – broj promatranih vozila [3]

### 2.3.2 Srednja vremenska brzina prometnog toka

Srednja vremenska brzina prometnog toka predstavlja aritmetičku sredinu brzina svih vozila prometnom toku koja prolaze kroz promatrani presjek puta u određenom vremenskom periodu, prikazano na slici 4. U stručnoj literaturi se mjerenje brzina vozila na promatranom presjeku puta naziva lokalno mjerenje ili lokalno promatranje.

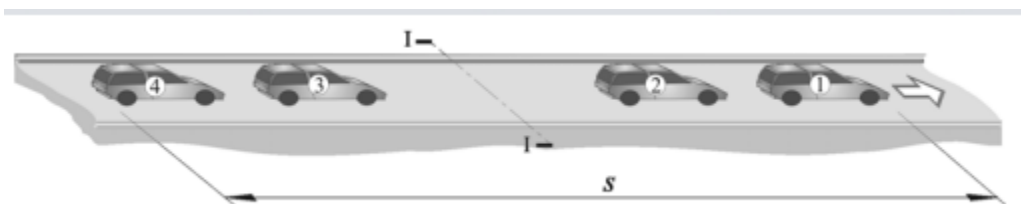
$$v_t = \frac{\sum_{i=1}^N v_i}{N}$$

Gdje je:

$v_t$  – srednja prostorna brzina (km/h)

$N$  – broj promatranih vozila

$v_i$  – brzina  $i$ -tog vozila [3]



Slika 5. Srednja vremenska brzina prometnog toka  
Izvor: [1]

### 2.3.3 Brzina prometnog toka s obzirom na vrste prometnih tokova

U ovisnosti i uvjetima kretanja vozila u prometom toku s obzirom na stupanj interakcijskog utjecaja pri približno idealnim prometnim i putnim uvjetima, srednja prostorna i srednja vremenska brzina prometnog toka dobivaju specifične nazive značajne za praksu, to su:

- a) brzina slobodnog toka – vezana je za slobodan tok, te podrazumijeva da se sva vozila koja se nalaze u prometnom toku na promatranom odsjeku kreću u istim ili vrlo sličnim uvjetima kretanja koja odgovaraju kretanju pojedinačnih vozila na tom odsjeku  $v_s$  i  $v_t$
- b) brzina normalnog toka (stabilan, polustabilan, nestabilan) – brzina normalnog prometnog toka vezana je za stabilna, polustabilna i nestabilna prometna toka u kojemu na uvijete kretanja vozila djeluje i interakcija između ostalih vozila u prometnom toku  $v_s$  i  $v_t$
- c) brzina zasićenog toka – naziva se i brzina pri kapacitetu, odnosi se na zasićeni prometni tok u kojemu se sva vozila kreću uz potpuno ili gotovo potpuno djelovanje interakcije između vozila u prometnom toku. U uvjetima zasićenog prometnog toka sva se vozila kreću približno jednakom brzinom, što upućuje na to da postoji izrazito mala razlika između srednje prostorne brzine i srednje vremenske brzine prometnog toka ( $v_{zt} \approx v_s \approx v_t$ ).
- d) brzina forsiranog toka – odnosi se na uvijete forsiranog ili prisilnog prometnog toka gdje se vozila kreću približno jednakom brzinom, koja oscilira između vrijednosti brzine zasićenog toka  $v_{zt}$  i 0 [1]

## 2.4 Interval slijeđenja vozila

U prometnom toku interval slijeđenja vozila predstavlja vrijeme proteklo između prolaska dva uzastopna vozila kroz zamišljeni presjek promatranog dijela puta. Interval praćenja vozila ima veliki značaj pri opisivanju uvjeta odvijanja prometa na cestama, te je jedan od osnovnih indikatora kvalitete prometnog toka.

Najčešći simbol u uporabi za označavanje intervala praćenja vozila je  $t_h$ , dok je osnovna jedinica za iskazivanje intervala slijeđenja vozila sekunda.

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

- a) Interval praćenja pojedinačno za N broj vozila koja u periodu vremena T prođu kroz promatrani presjek 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  $m$  promatranih presjeka puta u vremenu T

## 2.5 Razmak u slijeđenju vozila

Razmak u slijeđenju vozila predstavlja prostorni razmak između dva uzastopna vozila u prometnom toku. Sa stajališta realnih prometnih tokova na dionici puta razmak u praćenju vozila predstavlja srednju vrijednost svih razmaka praćenja između uzastopnih vozila na promatranoj dionici puta.

Razlikuju se:

- a) udaljenosti između pojedinih vozila u prometnom toku koja su se našla u određenom trenutku na promatranoj dionici puta,  $S_{hi}$ , gdje je  $i = 1, 2, \dots, n$
- b) srednja vrijednost trenutnih razmaka između svih vozila u prometnom toku koja su se u određenom trenutku našla na promatranoj dionici puta  $S_h$
- c) aritmetički prosjek  $m$ -srednjih trenutnih razmaka koji su utvrđeni na promatranoj dionici puta u nekom periodu vremena  $T$

Razmak u slijeđenju vozila označava se simbolom  $S_h$ , te se izražava u metrima.[1]

## 2.6. Teorijske relacije između osnovnih parametara prometnog toka

U stvarnome svijetu ne postoji niti jedan idealan prometni tok, stoga opće teoretske relacije između osnovnih parametara prometnog toka nemaju izravnu uporabnu vrijednost pri opisivanju uvjeta kretanja vozila u realnom prometnom toku. Brojna empirijska istraživanja su provedena u nadi pronalaska pogodnog načina da se opće teorijske relacije između osnovnih parametara prometnog toka primjene na realne uvijete prometnog toka. Empirijska istraživanja provedena su ponajviše o zavisnosti brzine vozila u toku o gustoći toka, te zavisnosti brzine vozila u toku o protoku vozila. Glavni cilj empirijskih istraživanja je bio provjeriti osnovne teorijske relacije između osnovnih parametara prometnog toka, stoga su istraživanja provedena u uvjetima što sličnijima onima za koje su formulirani teorijski odnosi između osnovnih parametara prometnog toka. Obično su empirijska istraživanja temeljena na približno idealnim uvjetima puta i ambijenta na jednosmjernom prometnom toku putničkih vozila. [1]

Rezultati empirijskih istraživanja predstavljeni su kroz empirijske modele zavisnosti srednje prostorne brzine toka o gustoći toka, empirijske modele zavisnosti protoka vozila o gustoći toka, te empirijske modele zavisnosti srednje prostorne brzine toka o protoku vozila. [1]

### 2.6.1 Empirijski modeli ovisnosti srednje prostorne brzine toka o gustoći toka

Linearni model brzina – gustoća, ili takozvani Greenshield model, po Greenshield-u koji je bio jedan od prvih stručnjaka koji se bavio istraživanjem zakonitosti i odnosa među osnovnim parametrima prometnog toka. Greenshield je zavisnost između srednje prostorne brzine prometnog toka i gustoće prometnog toka opisa polazeći od općeg oblika linearne zavisnosti.

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

Gdje je:

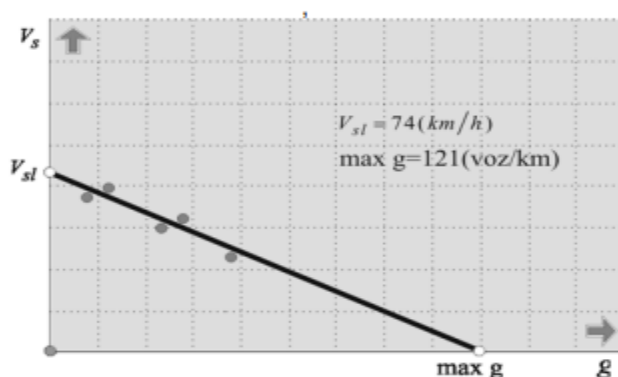
$V_s$  – srednja prostorna brzina

$V_{sl}$  – brzina slobodnog toka

$g$  – gustoća prometnog toka

$\max g$  – teorijski maksimalna gustoća toka pri kojoj prestaje kretanje

Na bazi empirijskih mjerenje je dobiveno  $V_s = 74 - 0,612g$



Slika 6. Linearni model brzina – gustoća

Izvor: [1]

Linearnim modelom brzina – gustoća ostvaruje se zadovoljavajuće podudaranje s empirijskim podacima za prometne tokove male i srednje gustoće toka. Drugim riječima, što je realan prometni tok sličniji idealnom prometnom toku, linearnost veze brzina – gustoća je čvršća. [1]

Logaritamski model brzina – gustoća, ili Greenberg model, zasniva se na općem obliku logaritamske zavisnosti brzine od gustoće.

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

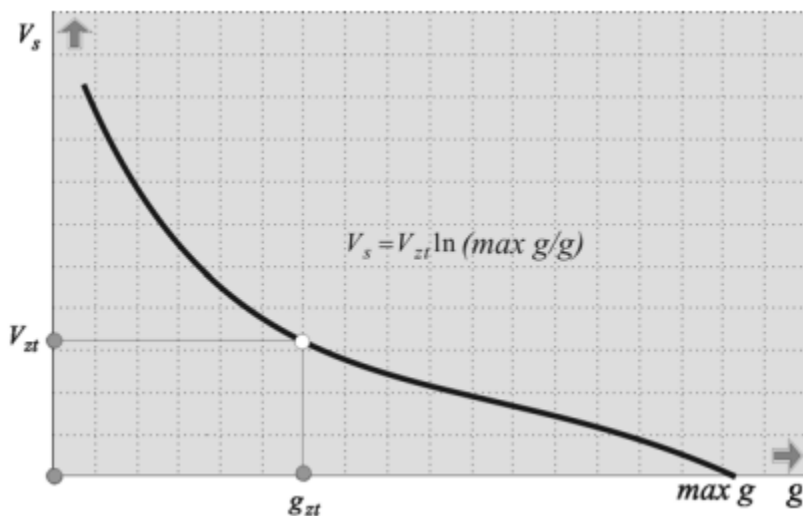
Empirijskim mjerenjima je dobiveno:  $V_s = 27,7 \cdot \ln(141/g)$

Gdje je:

$$V_{zt} = 27,7 \text{ (km/h)}$$

$$\max g = 141 \text{ (voz/km)}$$

Za tokove male gustoće logaritamski model ne daje zadovoljavajuće rezultate. Kad gustoća toka teži nuli, po logaritamskom modelu srednja prostorna brzina prometnog toka teži prema beskonačnosti što nije moguće u realnom prometnome toku. [1]

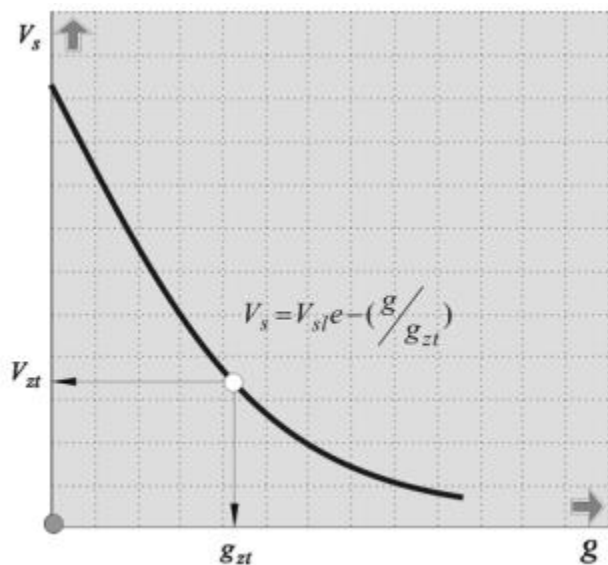


Slika 7. Logaritamski model brzina – gustoća

Izvor: [1]



Eksponecijalni model brzina – gustoća je formuliran od strane stručnjaka i istraživača Underwood-a. Nedostatak eksponecijalnog modela brzina – gustoća je taj što pri ma koliko velikoj gustoći prometnog toka, srednja brzina prometnog toka nije nula, što nema realnu podršku.

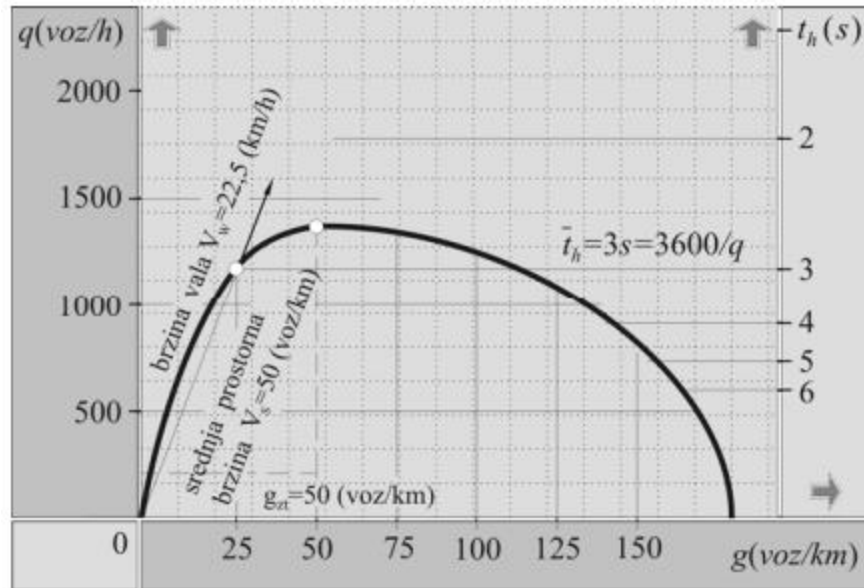


Slika 8. Eksponecijalni model brzina – gustoća  
Izvor: [1]

Od ostalih modela brzina – gustoća valja spomenuti Pipes-a i Munjal-a koji su relaciju brzine toka i gustoće toka opisali jednim modelom općeg oblika, te Drake-a koji je predložio zvonastu ili normalnu krivulju kao opći oblik modela za odnos brzine i gustoće prometnog toka. [1]

### 2.6.2 Empirijski modeli ovisnosti protoka o gustoći

Istraživačke rezultate stručnjaka Lighthill-a i Whitham-a analizirali su Stručnjaci Edie i Foo, te su pružili detaljne podatke za jednu točku krivulje promatranog primjera. Srednja prostorna brzina odgovara brzini od 40 km/h pri toku od 1200 voz/h, gustoći toka 30 voz/km, te je interval praćenja bio 3 s. Rezultati njihovih istraživanja vidljivi su na slici 14.



Slika 9. Model tok – gustoća  
Izvor: [1]

Parabolični model tok – gustoća temeljen je na Greenshield-ovom linearnom modelu brzina – gustoća.

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

$$q = V_s \cdot g$$

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

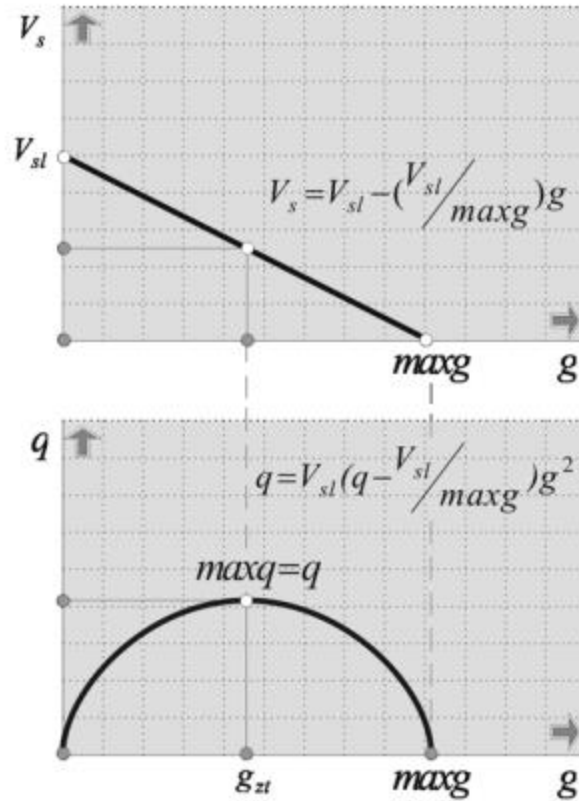
$$V_s = V_{sl} \left(1 - \frac{1}{\max g} \cdot \frac{q}{V_s}\right)$$

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

Gdje je: [1]

$V_s$  – srednja prostorna brzina

$q$  – protok



Slika 10. Parabolični model tok – gustoća

Izvor: [1]

Model tok – gustoća temeljen na logaritamskoj i eksponencijalnoj ovisnosti brzine i gustoće.

Ako u osnovnu relaciju unesemo Greenberg-ov logaritamski model brzina gustoća: [1]

$$q = V_s \cdot g$$

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

Gdje je:

$V_s$  – srednja prostorna brzina

$g$  – gustoća prometnog toka

$q$  – protok

Dobiva se: [1]

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

Gdje je:

$V_{zt}$  – brzina zasićenog prometnog toka

$g$  – gustoća prometnog toka

$q$  – protok

Uvođenjem Underwood-ovog eksponencijalnog odnosa brzina – gustoća dobiva se relacija tok – gustoća. [1]

$$q = V_s \cdot g$$

$$q = g \cdot V_{sl} \cdot e^{-\left(\frac{g}{g_{zt}}\right)}$$

$$V_{zt} = \frac{V_{sl}}{q}$$

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

Gdje je:

$V_s$  – srednja prostorna brzina

$V_{sl}$  – brzina slobodnog toka

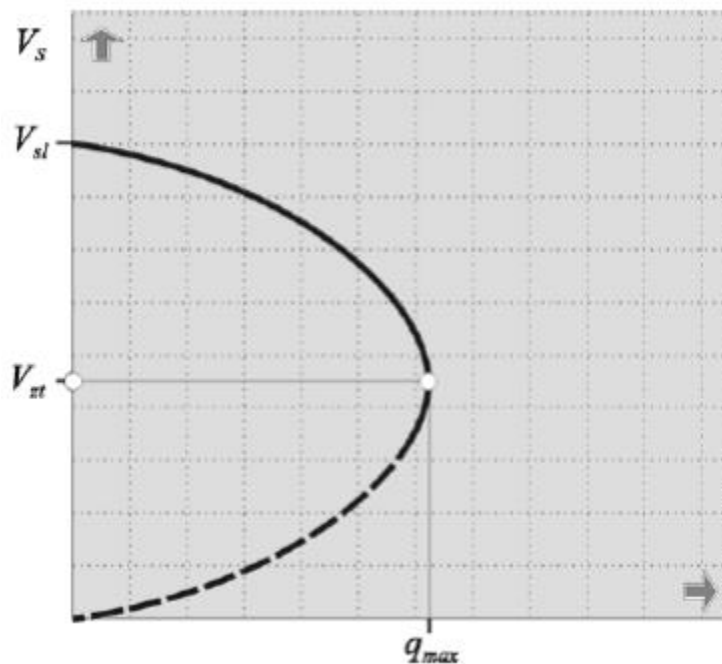
$q$  – protok prometnog toka

$g$  – gustoća prometnog toka

### **2.6.3 Empirijski modeli zavisnosti srednje prostorne brzine od protoka**

Osnovom opće teorijske relacija među tri osnovna parametra prometnog toka, te empirijski definiranog odgovarajućeg modela brzina – gustoća, moguće je formulirati i odgovarajući empirijski model brzina – tok. [1]

Ako je odnos između brzine i gustoće prometnog toka linija, to znači da je krivulja brzina – tok parabola.[1] Parabolični model brzina – tok prikazan je na slici 16.



Slika 11. Parabolični model brzina – tok

Izvor: [1]

Relacije brzina – tok koje se koriste u inženjerskoj praksi, odnosno za praktične potrebe, najznačajniju primjenu su dobile interpretacije linearnom zavisnošću, ponajviše zbog svoje jednostavnosti za primjenu. O. K. Normann bio je najistaknutiji stručnjak koji je za potrebe inženjerske prakse razvijao relacije brzina – tok temeljena na linearnoj interpretaciji. Empirijski obrasci kojima se iskazuje srednja prostorna brzina prometnog toka u zavisnosti veličine protoka preko linearne interpretacije imaju opći oblik: [1]

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

Gdje je:

$V_{sl}$  – Brzina u slobodnom toku (km/h)

$q$  – protok vozila (voz/h)

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

Linearnom interpretacijom zavisnosti srednje prostorne brzine od protoka bavio se i J. G. Wordrop koji je prema istraživanjima protoka na gradskim, te izvangradskim prometnicama izveo relacije između brzine i protoka. [1]

Za gradske prometnice gdje je brzina manja od 40 km/h:

- za prometnice gdje nema parkiranja:

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

- za prometnice s parkiranjem:

$$V_s = 50 - \frac{q + 430}{2w}$$

Za izvangradske putove gdje je brzina veća od 40 km/h

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

Gdje je:

$V_s$  – srednja prostorna brzina (km/h)

$q$  – protok u oba smjera (voz/h)

$w$  – širina kolnika u stopama (0,3048 m) [1]

### 3. PRIKUPLJANJE PODATAKA

Prikupljanje podataka o prometu provodi se pomoću brojanja ili snimanja prometa. Brojanje prometa prvobitno se izvodilo isključivo ručno, a kasnijim razvojem tehnologija pojavila se mogućnost da se brojanje prometa obavlja uz pomoć uređaja. Ti uređaji su omogućili da se brojanje prometa odvija u dužim vremenskim razdobljima, kao što su godine, što ručnim brojanjem nije bilo moguće. Prikupljanje podataka, odnosno brojenje prometa osnovica je za njegovo planiranje. Brojanjem prometa dobiva se uvid u trenutačno stanje, te se dobivaju podaci koji upućuju na moguću potrebu rekonstrukcije, izgradnju novih prometnih pravaca, te ostale mjere poboljšanja trenutnog i budućeg prometa. [5]

Prikupljanje podataka o prometu potrebno je radi:

- prometnog i urbanističkog planiranja
- planiranja perspektivne prometne mreže većeg područja ili oblikovanje nekog prometnog čvora
- eventualne rekonstrukcije postojeće prometne mreže i izgradnje novih prometnih pravaca [5]

Brojanje prometa se provodi ručnim brojanjem ili automatskim metodama brojanja prometa, gdje odabir načina brojanja prometa ovisi o vrsti podataka koja nam je potrebna, o dužini brojanja prometa, te o raspoloživim financijskim sredstvima. [4]

Brojanje prometa valja provoditi kada su uvjeti za korist od promatranja najveći:

- u poslovnim područjima za vrijeme radnog dana u tjednu
- ljeti na rekreacijskim rutama
- tijekom zime vikendom za rutu koja povezuje skijalište [4]

Prilikom organiziranja brojanja prometa promatrači uvijek moraju biti sigurni da normalni prometni uvjeti nisu ometeni nekim specijalnim događajem kao što je rekonstrukcija ceste, kulturni događaj ili važan državni sastanak. [4]

### 3.1 Metoda ručnog brojanja prometa

Ručno brojanje prometa je prva i najstarija metoda brojanja prometa. Ručno brojanje prometa se provodi u svrhu prikupljanja podataka o prometnim o prometnim opterećenjima tijekom kraćih vremenskih perioda kad upotreba automatske opreme za brojanje prometa nije dostupna ili ekonomski opravdana. Ručno brojanje prometa se provodi u vremenskim periodima kraćim od jednoga dana, a intervali ručnog brojanja prometa mogu biti 5, 10 ili 15 minuta. Ručno brojanje prometa obično se provodi radi prikupljanja podataka za utvrđivanje strukture prometnih tokova, udjela lijevih i desnih skretača na raskrižjima, smjera i intenziteta pješačkih tokova ili stupnja popunjenosti vozila u prometnom toku. [6]

Ručno brojanje prometa se obavlja uz pomoć takozvanih brojitelja prometa ili brojača. Broj brojača ovisi o nekoliko čimbenika kao što su vrijeme brojanja, veličina prometa, razini promatranja (brojanje lijevih i desnih skretača, vrste vozila). Ovisno o čimbenicima brojanja, za prikupljanje podataka može biti dovoljan i jedan brojač da provede brojanje na presjeku dvotračne ceste, dok će pri brojanju prometa na raskrižju biti potreban veći broj brojača. [4]

Ručno brojanje prometa provodi se s tri različita tipa opreme, to su:

- a) brojački listić, sat i štoperica
- b) mehanički brojač, zbirni listić, sat i štoperica
- c) elektronički brojač [4]

Prva metoda ručnog brojanja prometa je brojanje pomoću brojačkog listića ili obrasca, sata i štoperice. Prilikom ove metode brojanja prometa brojitelj prometa ili više njih bilježe prolazak vozila kroz dani presjek puta ili zadano raskrižje u brojački listić, pritom pazeći da ni na koji način ne ometaju normalno odvijanje prometa. Podaci koji se upisuju u brojački listić ovise o svrsi brojanja prometa. Na vrhu brojačkog listića trebaju biti upisani podaci o mjernom mjestu, odnosno nazivu raskrižja, te vrijeme u kojemu je provedeno brojanje prometa. U brojačkim listićima najčešće se bilježe podaci o broju i smjeru kretanja vozila koja su prošla kroz promatrano raskrižje, te vrsti i kategoriji tih vozila, kao što prikazuje slika 5. Brojitelji pomoću sata i štoperice određuju početak i kraj brojačkog perioda. [4]



**OBRAZAC ZA SNIMANJE PROMETNIH TOKOVA**

BROJAČKO Mjesto:  KRIŽANJE ULICE:

DATUM:  LJAH:  SAT (OD-DO):

min	osobna vozila	lakša teretna (do 6 tona)	teška teretna	bus	motocikli
15'					
30'					
45'					
60'					
15'					
30'					
45'					
60'					
15'					
30'					
45'					
60'					

Ime i prezime brojača: \_\_\_\_\_

**OBRAZAC ZA SNIMANJE PROMETNIH TOKOVA**

BROJAČKO Mjesto:  KRIŽANJE ULICE:  (GP Zvečje)

DATUM:  DAN:  SAT (OD-DO):

min	osobna vozila	teretna	bus	motocikli	bicikli
15'	12	11		1	
30'					
45'					
60'					
15'	11	11	2		
30'					
45'					
60'					
15'	11	1	1		1
30'					
45'					
60'					

Ime i prezime brojača: Danijel Dvornik

Slika 12. Obrazac za snimanje prometnih tokova  
Izvor: [4]

Druga metoda ručnog brojanja prometa se vrši pomoću mehaničkih brojača. Prolazak vozila kroz promatrano raskrižje se bilježi pritiskom jednog od gumbi na mehaničkom brojaču. Ovisno o vrsti, mehanički brojač može imati jedan ili više gumbi, obično 3 do 5, pomoću kojih se bilježe podaci brojanja prometa. Ograničeni broj gumbi na mehaničkom brojaču ograničava i ukupni broj mogućih klasifikacija vozila, prikazano na slici 6. Nakon obavljenog brojanja prometa podaci sa mehaničkog brojača se moraju upisati u završni formular, odnosno brojački listić. Prilikom brojanja prometa pomoću mehaničkog brojača potrebno je koristiti sat ili štopericu za mjerenje vremenskih intervala. Mehanički brojači se najčešće koriste kako bi se smanjila ljudska pogreška prilikom ručnog brojanja vozila. [6]



Slika 13. Primjer mehaničkih brojača  
Izvor: [4]

Treća metoda ručnog brojanja prometa obavlja se pomoću elektroničkog brojača. Elektronički brojači su manjih dimenzija, lakši su i praktičniji za uporabu od mehaničkih brojača. Podaci o prolasku vozila kroz promatrano raskrižje ili presjek puta bilježi se pritiskom odgovarajućeg gumba na elektroničkom brojaču. Elektronički brojači u sebi imaju ugrađeni sat za automatsku podjelu unesenih podataka po zadanim intervalima brojanja, te je stoga eliminirana potreba za korištenje sata ili štoperice. Elektronički brojači mogu sadržavati veći broj gumba od mehaničkih brojača (prikazano na slici 7.) što omogućuje prikupljanje većeg broja podataka. Također, na ploči elektroničkih brojača nalazi se skica raskrižja sa prikazom broja i namjene prometnih trakova što uvelike olakšava unos podataka. Podaci zabilježeni na elektronički brojač prilikom brojanja prometa se mogu izravno prenijeti na računalo što značajno smanjuje vrijeme obrade tih podataka. [6]



Slika 14. Elektronički brojač  
Izvor: [4]

### 3.2 Metoda automatskog brojanja prometa

Automatsko brojanje prometa omogućuje prikupljanje velike količine podataka o prometnim opterećenjima. Automatsko brojanje prometa se obavlja uz pomoć uređaja zvanih brojila prometa. Ti se uređaji postavljaju ili ugrađuju na samu prometnicu ili neposredno uz prometnicu. Automatsko brojanje prometa se obično provodi u intervalima od jednog sata tijekom promatranog dana, ali se mogu produžiti i na vremenski period trajanja jednog tjedna, mjeseca ili cijela godine. Na temelju cjelodnevnog automatskog brojanja prometa mogu se identificirati vršni periodi prometnih opterećenja. S obzirom na način brojanja automatsko brojanje se može podijeliti na povremeno i neprekidno brojanje prometa, a automatska brojila se prema tipu uređaja svrstavaju u stacionarna ili prenosiva brojila. [4][6]

Glavne prednosti automatskog brojanja prometa nad ručnim brojanjem su:

- mogućnost stalnog bilježenja podataka o prometnim kretanjama u dužem vremenskom periodu
- precizniji podaci o broju vozila, odnosno o opterećenosti prometnih tok
- uređaji za automatsko brojanje prometa mogu raditi u svim vremenskim uvjetima
- napredniji uređaji imaju mogućnost bilježiti strukturu toka, vremenske uvijete, brzinu kretanja vozila, te razmak između vozila [4]

Nedostatci automatskog brojanja prometu su:

- veliki troškovi pri nabavi i ugradnji uređaja za automatsko brojanje prometa
- stacionarni uređaji za brojenje zahtijevaju građevinske radove na samim prometnicama
- automatsko brojanje prometa ograničeno je samo na praćenje prometa na poprečnim presjecima [4]

Automatsko brojanje prometa provodi se jednom od sljedećih metoda:

- Primjenom prenosivih detektora
- primjenom neprenosivih ili stacionarnih detektora
- primjenom kamera, odnosno snimanjem prometa

U prenosive uređaje ili detektore za automatsko brojanje prometa ubrajaju se uređaji kao što su magnetsko brojilo, mikrovalni radar i pneumatsko brojilo prikazano na slici 9. Prenosiva brojila je poprilično lako za postaviti i ukloniti, te samim time omogućuju često mijenjanje lokacije brojanja. Prenosivim uređajima za brojanje se obavlja povremeno automatsko brojanje prometa.



Slika 15. Pneumatsko brojilo  
Izvor: [7]

Pneumatsko brojilo prikazano na slici 9. radi tako da je glavni mjerni uređaj spojen na gumene cijevi koje se postavljaju preko puta. Nailazeća vozila prelaskom preko gumenih cijevi stvaraju promjenu u tlaku u cijevima koje glavni uređaj bilježi. [4]

Primjer stacionarnog uređaja za automatsko brojanje prometa bi bila indukcijska petlja. Postavljanje indukcijske petlje zahtjeva građevinske radove na prometnici (slika 10.) što uvelike smanjuje životni tijek kolnika. Također, prilikom postavljanja stacionarnog uređaja kao što je induktivna petlja, mora se zatvoriti dio prometnice za promet. [4]



Slika 16. Indukcijska petlja  
Izvor: [6]

Induktivna petlja se ugrađuje u kolnik u obliku pravokutnika. Prilikom prolaska vozila preko induktivne petlje, dolazi do pada induktivnosti u petlji kojeg bilježi kontrolna jedinica. Petlje pružaju velik broj podataka o parametrima prometnog toka, mogu bilježiti protok, brzinu, interval slijeđenja i zauzetost prometnih trakova. [4]

Automatsko brojanje prometa primjenom kamera, odnosno snimanjem prometa, najmodernija je metoda brojanja prometa. Prilikom postavljanja kamera za snimanje prometa

valja voditi računa da se kamere nalaze iznad samo lokacije brojanja, odnosno iznad vozila na prometnici na sigurnoj udaljenosti, kako ne bi došlo međusobnog zaklanjanja vozila. [4] Brojanje prometa pomoću kamera se obavlja neposrednim opažanjem sa video snimke ili pomoću računalnih programa.

Prvi način brojanja prometa pomoću kamere je opažanje i prikupljanje podataka s video snimke. Kamera snima prometni tok u nekom određenom vremenskom intervalu, nakon čega osoba zadužena za brojanje prometa pregledava video snimku djelomično ili u cijelosti, te bilježi podatke o prometnom toku. Zapaženi podaci se upisuju u određene obrasce koji mogu biti papirnati ili digitalni. Na ovaj način prikupljeni podaci su vrlo slični podacima prikupljenim ručnim brojanjem prometa, razlika je ta što brojitelj podatke ne bilježi na lokaciji brojanja prometa, već ih opaža neposredno sa video snimke. Najveća prednost brojanja prometa kamerom nad ručnim brojanjem je mogućnost zaustavljanja i vraćanja snimke prilikom zapisivanja podataka, također se može smanjiti broj potrebnih brojitelja prometa. [4]

Druga metoda brojanja prometa kamerom uključuje primjenu računala i računalnih programa. Kamere koje snimaju promet izravno su povezane s računalima koja sadrže računalne programe koji omogućuju izravno opažanje vozila i ostalih prometnih veličina. Problem koji nastaje prilikom ovakve vrste prikupljanja podataka kamerom je raspoznavanje i praćenje vozila u pokretu. Postoje dvije metode za raspoznavanje vozila na video snimci, to su metoda izuzimanja pozadine, te metoda strojnog učenja. [8]

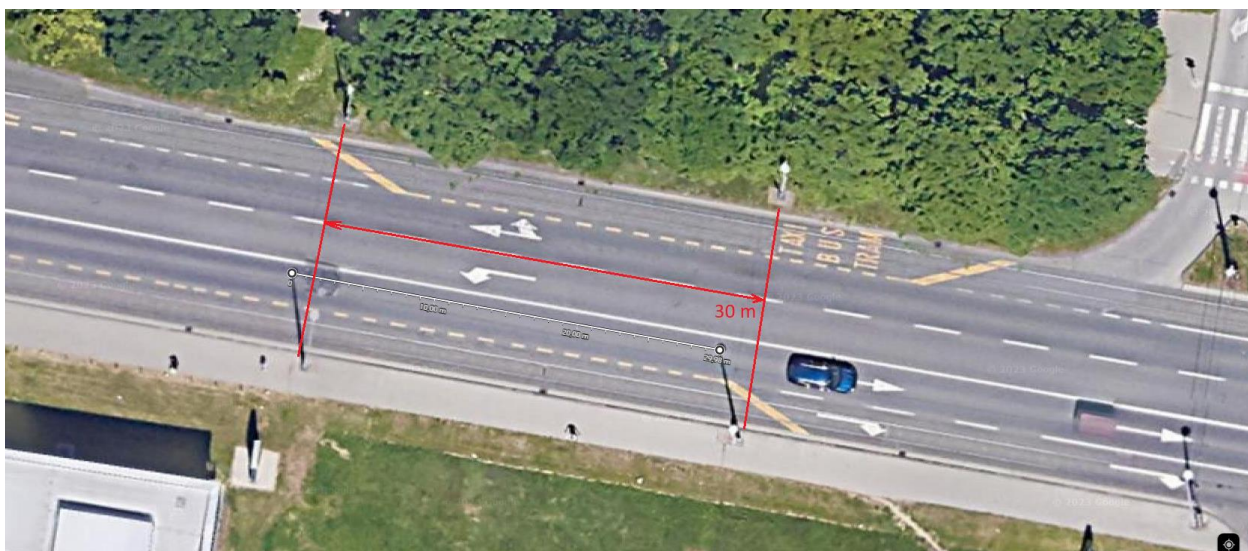
Metoda izuzimanja pozadine radi tako da algoritam uspoređuje fotografiju pozadine mjerne lokacije s trenutnom slikom mjerne lokacije na video snimci. Kako su vozila u pokretu jedina razlika na fotografijama, jednostavno ih je izdvojiti iz pozadine, pribilježiti kao vozilo u pokretu, te se o njima prikupiti željeni podaci. [8]

Metoda temeljena na strojnom učenju rješava problem raspoznavanja vozila na video snimci pomoću algoritama koji imaju mogućnost detektiranja vozila na temelju prethodno naučenih podataka. Program koji pregledava snimke s kamere i vrši brojanje prometa prethodno je treniran da pronalazi određene značajke na snimci, te ih klasificira kako bi odredio da li te značajke odgovaraju vozilu. Prethodno naučene značajke mogu biti informacije kao što su linije i

obrisi različitih vozila. Ako se trenutno prepoznate značajke sa video snimke podudaraju s prethodno naučenim značajkama, sustav ih klasificira kao vozilo te ga prati. [8]

### 3.3 Metodologija istraživanja prometnog toka

Brojanje i snimanje prometnog toka provedeno je u srijedu 3.9.2023. godine na dionici ceste Avenija Dubrava u smjeru zapad - istok. Duljina promatrane dionice je 30 metara. Brojanje i snimanje prometa obavljeno je u vremenskom periodu od 8:00 do 9:00 i od 16:00 do 17:00 sati. Prikupljanje podatak obavljeno je na terenu na promatranom području, te naknadnim pregledavanjem video snimke prometnog toka iz kojega su prikupljeni podaci o brzini, gustoći i protoku vozila. Na terenu je provedeno brojanje vozila, te dodatna mjerenja brzina pojedinih vozila pomoću štoperice. Prilikom pregledavanja snimke prometnog toka, zbog pojednostavljenja očitavanja trenutka ulaska i izlaska vozila kroz promatranu dionicu, linije koje označavaju početak i kraj dionice poistovjećene su sa stupovima javne rasvjete. Terenskim mjerenjem, te pomoću alata za mjerenje udaljenosti na servisu Google karta utvrđeno je da je udaljenost između stupova javne rasvjete jednaka 30 metara. (slika 17.)



Slika 17. Zračni prikaz dionice ceste  
Izvor: <https://www.google.com/maps>

Podaci o brzinama vozila dobiveni su zapažanjem i bilježenjem vremena ulaska i izlaska vozila kroz promatranu dionicu ceste. Vrijeme kad je prednji dio vozila došao u ravninu s linijom početka dionice označavao se simbolom  $t_1$  (slika 18.), a vrijeme kada je prednji dio vozila bio u

ravnini s linijom koja označava kraj promatrane dionice simbolom  $t_2$  (slika 19.). Vremena su se bilježila u tablice u programu Microsoft Excel, a brzine su izračunate po sljedećoj formuli:

$$v = \frac{s}{t_2 - t_1}$$

Gdje je:

$v$  – brzina vozila (m/s)

$s$  – duljina dionice (30 m)

$t_2$  - očitano vrijeme u trenutku kad je prednji dio vozila u ravnini s linijom koja označava početak dionice (s)

$t_1$  - očitano vrijeme u trenutku kad je prednji dio vozila u ravnini s linijom koja označava kraj dionice (s)



Slika 18. Trenutak prolaska vozila kroz prvu liniju dionice





Slika 19. Trenutak prolaska vozila kroz drugu liniju dionice

Gustoća prometnog toka određena je kroz niz slika promatrane dionice ceste. Gustoća je definirana kao broj vozila po jedinici duljine promatrane dionice kao aritmetička sredina više trenutnih promatranja u nekom određenom vremenskom periodu.[1] Snimka prometnog toka je zaustavljana svakih 30 sekundi, te su na trenutnoj slici snimke prebrojana vozila koja su se nalazila unutar promatrane dionice od 30 metara. Prosječna gustoća prometnog toka mjerena je u petominutnim intervalima, tako da je zbroj vozila na pojedinačnim zaustavljenim fotografijama unutar petominutnog intervala podijeljen duljinom dionice u kilometrima.

## 4. ANALIZA PODATAKA

Svrha svakog brojanja ili snimanja prometa i veličina koje ga opisuju su daljnje analize i obrade prikupljenih podataka o prometu. Analizom podataka dobivamo uvid u značenje prikupljenih podataka i o međusobnom odnosu među prometnim veličinama. Za obradu i analizu parametara prometnog toka postoje mnogi postupci i metode koji se koriste u praksi.

Podaci prikupljeni terenskim istraživanjem su pomoću programa Microsoft Excel grupirani, zatim obrađeni, te sortirani u tablice. Podaci o broju vozila, odnosno protoku, brzini i gustoći prometnog toka su podijeljeni u petominutne intervale za svaki sat za koji su podaci prikupljeni.

Prikupljeni, obrađeni i sortirani podaci o brzinama, gustoći i protoku prometnog toka prikazani su tablicom 1.

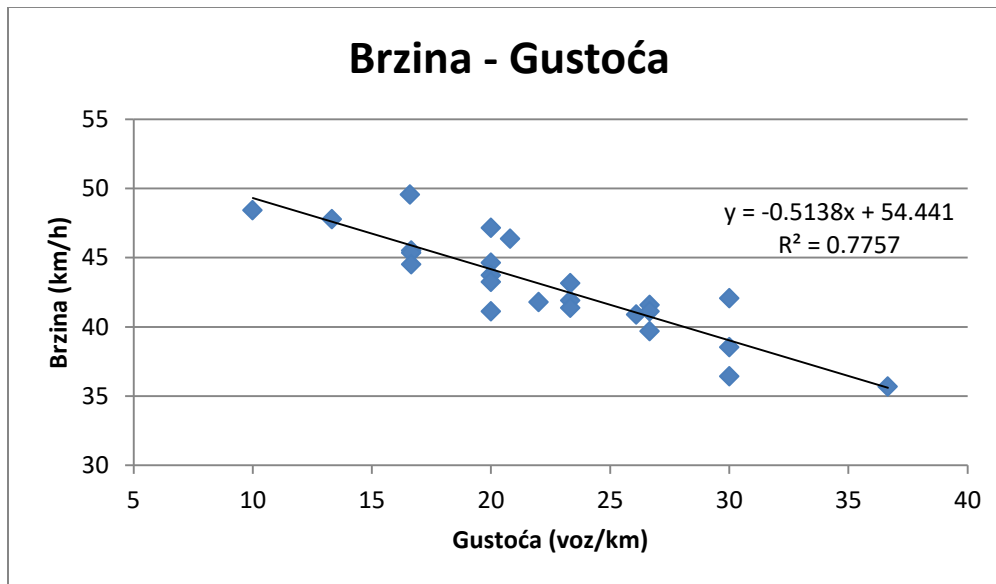
Tablica 1. Prikaz prikupljenih podataka o prometnom toku

Vremenski interval	Broj vozila	Protok (voz/h)	Brzina (km/h)	Gustoća (voz/km)
8:00 - 8:05	46	552	41.12	20
8:05 - 8:10	44	528	40.89	26.1
8:10 - 8:15	40	480	47.76	13.33
8:15 - 8:20	43	516	45.51	16.66
8:20 - 8:25	47	564	45.34	16.66
8:25 - 8:30	45	540	44.51	16.66
8:30 - 8:35	42	504	44.62	20
8:35 - 8:40	39	468	48.42	10
8:40 - 8:45	43	516	43.72	20
8:45 - 8:50	43	516	47.14	20
8:50 - 8:55	48	576	46.37	20.8
8:55 - 9:00	41	492	49.56	16.6
16:00 - 16:05	68	816	36.42	30
16:05 - 16:10	64	768	42.06	30

16:10 - 16:15	55	660	41.89	23.33
16:15 - 16:20	62	744	41.37	23.33
16:20 - 16:25	66	792	38.53	30
16:25 - 16:30	62	744	39.68	26.66
16:30 - 16:35	63	756	41.57	26.66
16:35 - 16:40	56	672	43.14	23.33
16:40 - 16:45	54	648	41.79	22
16:45 - 16:50	59	708	41.12	26.66
16:50 - 16:55	73	876	35.69	36.66
16:55 - 16:00	57	684	43.23	20

U nastavku analize su izrađeni grafikoni odnosa prometnih parametara čiji su podaci prikupljeni prilikom snimanja i brojanja prometa.

Na grafikonu odnosa brzine i gustoće prometnog toka prikazani su podaci prikupljeni prilikom snimanja prometa. Greenshield je zavisnost između srednje prostorne brzine prometnog toka i gustoće prometnog toka opisa polazeći od općeg oblika linearne zavisnosti. Na prikupljene podatke primijenjen je Greenshield-ov linearni model, te su parametri Greenshield-ovog modela prikazani ispod grafikona 1.



Grafikon 1. Greenshield-ov linearni model

$$V_s = V_{sl} - \frac{V_{sl} \cdot g}{maxg}, \text{ za što dobivamo: } V_s = 54.441 \cdot \left(1 - \frac{k}{105.957}\right)$$

Gdje je:

Brzina slobodno toka -  $V_f = 54.41 \text{ (km/h)}$

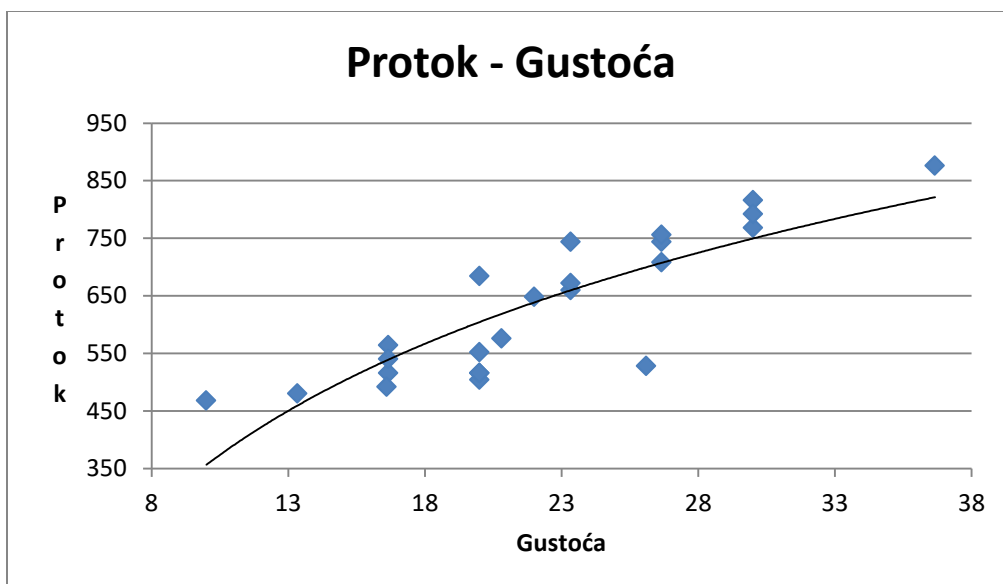
Gustoća zagušenja -  $K_j = 105.96 \text{ (voz/km)}$

Brzina pri maksimalnom toku  $V_0 = 27.205 \text{ (km/h)}$

Gustoća pri maksimalnom protoku  $kc = 52.98 \text{ (voz/km)}$

Osnovni parametri Greenshield-ovog linearnog modelu su brzina slobodnog toka, te gustoća zagušenja, gdje su dobivene vrijednosti brzine slobodnog toka od 54.41 km/h i gustoća zagušenja koja iznosi 105.96 voz/km. Koeficijent  $R^2$  iznosi 0.7757 što označava prihvatljivu vezu između prikupljenih podataka i Greenshield-ovog linearnog modela.

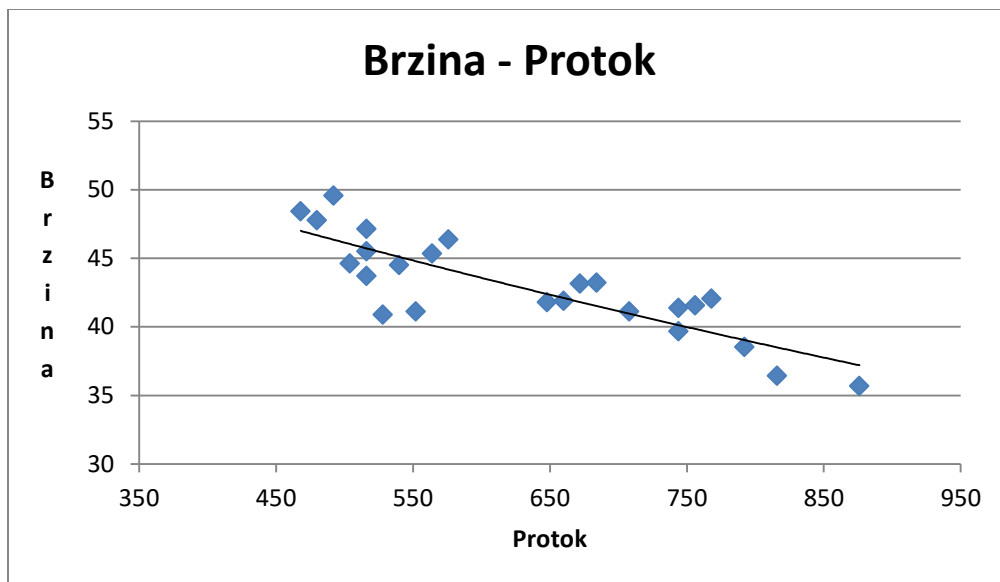
Na grafikonu 2. odnosa protoka i gustoće prometnog toka prikazani su podaci prikupljeni prilikom snimanja prometa. Kad se u osnovnu relaciju odnosa prometnih veličina uvede Underwood-ove eksponencijalne relacije “brzina-gustoća” dobiva se relacija tok - gustoća koja glasi:  $maxq = gzt \cdot \frac{V_{sl}}{e}$



Grafikon 2. Odnos protok – gustoća

Uvrštavanjem već otprije izračunatih veličina dobiven je maksimalan protok na temelju izračunatih podataka, 2121 voz/h. Kad je gustoća prometnog toka približna nuli protok se također pada na vrijednost, jer to znači da je prometnica gotovo prazna. Kad je prometni tok zagušen, protok se smanjuje na nulu, jer se vozila više ne mogu kretati po prometnici. [1]

Za relacije brzina – tok u praksi su najznačajniju primjenu dobile interpretacije linearnom zavisnošću ponajviše zbog svoje jednostavne primjene. Gustoća je najprikladnija varijabala za analizu ovisnosti srednje prostorne brzine toka, ali pošto ju je vrlo teško mjeriti za potrebe inženjerske prakse razvijene relacije između odnosa srednje prostorne brzine i protoka. Pomoću Greenberg-ovog logaritamskog modela brzina – gustoća može se dobiti odnos brzine i toka. [1]



Grafikon 3. Odnos brzina - protok

$$q = \max g \cdot Vf \cdot e^{-(Vs/Vzt)}$$

Gdje je:

Brzina slobodnog toka  $Vf = 54.41 \text{ kmh}$

Gustoća zagušenja  $Kj = 105.96 \text{ (voz/km)}$

Brzina pri maksimalnom toku  $Vc = 27.205 \text{ (km/h)}$

Iz čega je vidljivo da je optimalan protok vozila na dionici 780 voz/h

Iz osnovnih odnosa veličina parametara prometnog toka možemo očitati, te pokušati predvidjeti ponašanje prometnog toka. Možemo uočiti kako su brzina, gustoća i protok prometnog toka međusobno ovisne varijable koje se mijenjaju u skladu jedna s drugom. Iz odnosa brzine i gustoće vidljivo je da se povećanjem brzine gustoća smanjuje i obratno, iz čega se može zaključiti da je na određenom dijelu prometnice manji broj vozila koji voze većem brzinom i samim time održavaju veći međusobni razmak. Smanjenjem gustoće broja vozila na određenoj dionici ceste pada i protok jer je na prometnici manji broj vozila koja mogu proći promatranim presjekom.

## ZAKLJUČAK

Prometni tok definiran je kao istovremeno kretanje više vozila na putu u određenom poretku. Kako bi se opisao prometni tok i zakonitosti kretanja vozila u prometnom toku potrebno je definirati njegove pokazatelje. U teoriji prometnog toka te iste pokazatelje nazivamo osnovni parametri prometnog toka. Osnovni parametri koji opisuju prometni tok su protok, brzina toka, gustoća toka, vremenski interval slijedeđenja, te razmak u slijedeđenju. Glavna razliku u uvjetima kretanja vozila u prometnom toku u odnosu na uvijete kretanja pojedinačnog vozila je ta, što na kretanje vozila u prometnom toku djeluje i međusobna interakcija vozila u prometu.

Prikupljanje podataka, odnosno brojanje prometa je osnovica za njegovo planiranje. Pomoću brojanja prometa dobiva se uvid u trenutačno stanje, te se dobivaju podaci koji upućuju na moguću potrebu rekonstrukcije, izgradnju novih prometnih pravaca, te ostale mjere poboljšanja trenutnog i budućeg prometa. Prikupljanje podataka o prometu provodi se pomoću brojanja ili snimanja prometa. Brojanje prometa prvobitno se izvodilo isključivo ručno, te se kasnijim razvojem tehnologija pojavila mogućnost da se brojanje prometa obavlja uz pomoć uređaja, koji su omogućili preciznije i dugotrajnije praćenje prometa što osnovnim ručnim brojanjem prometa nije bilo moguće. Brojanje prometa se provodi ručnim brojanjem ili automatskim metodama brojanja prometa u svrhu unaprjeđenja daljnjeg prometnog razvoja i planiranja.

Svrha svakog brojanja prometa su daljnje analize i obrade prikupljenih podataka o prometu. Analizom podataka dobivamo uvid u značenje prikupljenih podataka i o međusobnom odnosu među prometnim veličinama. Za obradu i analizu parametara prometnog toka postoje mnogi postupci i metode koji se koriste u praksi.

Ručno brojanje prometa je osnovna i najstarija metoda prikupljanja podataka o prometu, prometnim tokovima i veličinama koje ga opisuju i definiraju. Prikupljanje podataka za izradu ovog završnog rada prikupljeno je upravo tako uz malu pomoć moderne tehnologije. Brojanje prometa izravno na prometnici pruža praktičan i zanimljiv uvid u odvijanje prometa i zakonitosti po kojima se ponaša prometni tok. Iako su se podaci o osnovnim prometnim parametrima prikupljali ručno od strane brojača prometa, gdje uvijek postoji određen postotak greške naspram automatskog brojanja prometa, odnosi među prometnim veličinama ukazuju na to da su podaci

prikupljeni sa zadovoljavajuće velikom razinom točnosti. Analizom odnosa prometnih parametara može se uočiti da se promet na promatranj dionici Avenije Dubrava odvija bez većih poteškoća čak i kada je opterećenje na prometnici najveće. Dakako daljnjim studijama i analizama prometi tok se može detaljnije analizirati, te se mogu utvrditi prijedlozi i rješenja u svrhu daljnje optimizacije odvijanja prometa na već spomenutoj prometnici.



## LITERATURA

- [1] Dadić, I., Kos, G., Ševrović, M.: Teorija prometnog toka, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb 2014.
- [2] Dadić, I., Ševrović, M.: Teorija prometnih tokova, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, nastavni materijal
- [3] Cvitanić, D.: Prometna tehnika, Sveučilište u Splitu, Građevinsko-arhitektonski fakultet
- [4] Cerovac, V.: Tehnika i sigurnost prometa, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb 2001.
- [5] Slavulj M., Sigurnost cestovnog i gradskog prometa: Brojanje prometa, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb 2010..
- [6] Ševrović M., Teorija prometnih tokova: HCM, metode brojanja i snimanja prometa, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2010.
- [7] Pneumatsko brojilo, <https://www.elancity.co.uk/products/vehicle-counter-evotraffic/> (rujan, 2023)
- [8] Kovačić K., Ivanjko E., Jelušić N., Gold H., Measurement of traffic parameters using video cameras,

## POPIS SLIKA

Slika 1. Protok vozila na presjeku.....	4
Slika 2. Protok vozila na dionici .....	4
Slika 3. Gustoća prometnog toka .....	5
Slika 4. Srednja prostorna brzina prometnog toka.....	6
Slika 5. Srednja vremenska brzina prometnog toka.....	7
Slika 6. Linearni model brzina – gustoća.....	10
Slika 7. Logaritamski model brzina – gustoća.....	11
Slika 8. Eksponencijalni model brzina – gustoća .....	12
Slika 9. Model tok – gustoća.....	13
Slika 10. Parabolični model tok – gustoća.....	14
Slika 11. Parabolični model brzina – tok .....	16
Slika 12. Obrazac za snimanje prometnih tokova.....	20
Slika 13. Primjer mehaničkih brojača .....	21
Slika 14. Elektronički brojač.....	21
Slika 15. Pneumatsko brojilo .....	23
Slika 16. Indukcijska pelja.....	24
Slika 17. Zračni prikaz dionice ceste .....	26
Slika 18. Trenutak prolaska vozila kroz prvu liniju dionice.....	27
Slika 19. Trenutak prolaska vozila kroz drugu liniju dionice.....	28

## **POPIS TABLICA**

Tablica 1. Prikaz prikupljenih podataka o prometnom toku.....	29
---	----

## **POPIS GRAFIKONA**

Grafikon 1. Greenshield-ov linearni model .....	31
Grafikon 2. Odnos protok – gustoća .....	32
Grafikon 3. Odnos brzina - protok .....	33

Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti  
Vukelićeva 4, 10000 Zagreb

## IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je \_\_\_\_\_ završni rad \_\_\_\_\_  
(vrsta rada)

isključivo rezultat mojega vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu, a što pokazuju upotrijebljene bilješke i bibliografija. Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedopušten način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem, također, da 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 završnog/diplomskog rada pod naslovom \_\_\_\_\_ **Istraživanje parametara prometnog toka** \_\_\_\_\_ , u Nacionalni repozitorij završnih i diplomskih radova ZIR.

Student/ica:

U Zagrebu, \_\_\_\_\_10. rujna 2023.\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_Ivan Skočić\_\_\_\_\_  
(ime i prezime, potpis)