

Utjecaj prometno-tehničkih elemenata ceste na propusnu moć

Đebro, Bojana

Master's thesis / Diplomski rad

2018

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:119:414863>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-24**



Repository / Repozitorij:

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



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Bojana Đebro

UTJECAJ PROMETNO-TEHNIČKIH ELEMENATA CESTE
NA PROPUSNU MOĆ

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, rujan 2018

Zagreb, 3. travnja 2018.

Zavod: **Zavod za prometno planiranje**
Predmet: **Teorija prometnih tokova**

DIPLOMSKI ZADATAK br. 4739

Pristupnik: **Bojana Đebro (0135235199)**
Studij: **Promet**
Smjer: **Cestovni promet**

Zadatak: **Utjecaj prometno-tehničkih elemenata ceste na propusnu moć**

Opis zadatka:

U diplomskom radu potrebno je definirati prometno-tehničke elemente kao čimbenike sigurnosti prometa. Također će se raditi analiza propusne moći koja će određivati razinu uslužnosti kao i analiza čimbenika koji će imati utjecaj na samu sigurnost u cestovnom prometu. Razmatranjem promatranih parametara dati će se prijedlog poboljšanja prometno-tehničkih elemenata čija će svrha biti povećanje sigurnosti u cestovnom prometu. Temeljem napravljene analize i temeljem predloženog rješenja za povećanje razine sigurnosti u cestovnom prometu kao i poboljšanja odvijanja prometnih tokova izvršit će se evaluacija datog rješenja.

Mentor:



izv. prof. dr. sc. Grgo Luburić

Predsjednik povjerenstva za
diplomski ispit:

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

DIPLOMSKI RAD

**UTJECAJ PROMETNO-TEHNIČKIH ELEMENATA CESTE
NA PROPUSNU MOĆ**

**INFLUENCE OF TRAFFIC AND TECHNICAL ELEMENTS
OF ROADS ON TRAFFIC FLOW**

Mentor: izv.prof.dr.sc. Grgo Luburić

Student: Bojana Đebro 0135235199

Zagreb, rujan 2018

UTJECAJ PROMETNO-TEHNIČKIH ELEMENATA CESTE NA PROPUSNU MOĆ

SAŽETAK

Osnova ovog rada je prikaz prometno-tehničkih elemenata prometnice u svhu poboljšanja propusne moći. Propusna moć je maksimalni je broj vozila koji može proći u jedinici vremena kroz promatrani presjek cestovne prometnice. Na osnovi poznavanja propusne moći N [voz/h] mogu se procijeniti nedostaci postojeće cestovne mreže i predložiti odgovarajuće izmjene. Služi kao osnovica za sve intervencije i zahvate na određenom dijelu ceste kao što su proširenje kolnika, rekonstrukcija zavoja, reguliranje čvorišta, promjene režima prometa i sl.

KLJUČNE RIJEČI: *prometnica, propusna moć, vozilo, čvorišta, promet*

INFLUENCE OF TRAFFIC AND TECHNICAL ELEMENTS OF ROADS ON TRAFFIC FLOW

SUMMARY

The basis of this work is the display of traffic-technical elements of the road in purpose to increase traffic flow. Traffic flow is the maximum number of vehicles that can pass through unit of time through the observed section of the roadway. On the basis of knowledge of traffic flow F [veh/h] we can estimate the deficiencies of the existing road network and propose appropriate modifications. It serves as a base for all interventions and interventions on a certain part of the road such as road widening, bend reconstruction, node regulation, traffic modification, etc.

KEYWORDS: *traffic road, traffic flow, vehicle, nodes, traffic*

SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. OSNOVNI PARAMETRI I ZNAČAJKE PROMETNOG TOKA.....	2
2.1 PROTOK VOZILA	2
2.2 GUSTOĆA PROMETNOG TOKA.....	4
2.3 BRZINA PROMETNOG TOKA	4
2.3.1. SREDNJA PROSTORNA BRZINA PROMETNOG TOKA	6
2.3.2. SREDNJA VREMENSKA BRZINA PROMETNOG TOKA	6
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
3. PROPUSNA MOĆ CESTE.....	10
3.1 PROPUSNA MOĆ PROMETNICE	10
3.1.1. PROPUSNA MOĆ DIONICE AUTOCESTE	17
3.2 PROPUSNA MOĆ PROMETNICE IZMEĐU DVAJU KRIŽANJA SA SEMAFORIMA	22
3.3 PRORAČUN PROPUSNE MOĆI KRIŽANJA SA SEMAFORIM	23
3.3.1. ČIMBENICI KOJI UTJEČU NA PROPUSNU MOĆ KRIŽANJA SA SEMAFORIMA	23
3.5 SLOŽENOST PROMETNOG TOKA.....	23
3.5.1 VRSTE I STRUKTURA PROMETNOG TOKA	24
3.6 VREMENSKA NERAVNOMJERNOST PROTOKA VOZILA	27
3.6.1. SATNA NERAVNOMJETNOST POTOKA VOZILA U PERIODU JEDNOG DANA	28
3.6.2. SATNA NERAVNOMJERNOST POTOKA VOZILA U PERIODU CIJELE GODINE.....	29
3.6.3. DNEVNA NERAVNOMJETNOST POTOKA VOZILA U PERIODU SEDAM DANA	33
3.6.4. DNEVNA NERAVNOMJETNOST POTOKA VOZILA U PERIODU JEDNOG MJESeca ...	34
3.6.5. DNEVNA NERAVNOMJETNOST POTOKA VOZILA U PERIODU JEDNE GODINE	35
3.6.6. MJESEČNA NERAVNOMJETNOST POTOKA VOZILA U PERIODU GODINE	35
3.6.7. NERAVNOMJERNOSTI PROTOKA PO MANJIM VREMENSKIM JEDINICAMA OD JEDNOG SATA	37
4. UTJECAJ PROMETNO-TEHNIČKIH ELEMENATA CESTE NA PROPUSNU MOĆ.....	40
4.1. PROMETNI TRAK.....	40
4.2 RUBNI TRAK.....	42
4.3 BANKINA, BERMA	42
4.4 RIGOL.....	43

4.5 TRAK ZA SPORU VOŽNJU	44
4.6 TRAK ZA ZAUSTAVLJANJE	45
4.7 RAZDJELNI POJAS.....	46
4.8 BIKIKLISTIČKE STAZE.....	46
4.9 PJEŠAČKE STAZE.....	46
4.10 HORIZONTALNA I VERTIKALNA PREGLEDNOST	46
4.10.1. HORIZONTALNA PREGLEDNOST	46
4.10.2. VERTIKALNA PREGLEDNOST	48
4.11 PRIJELAZNE KRIVULJE I PRIJELAZNE RAMPE	49
4.12.1 PRIJELAZNE KRIVULJE	49
4.12.3. PRIJELAZNE RAMPE	50
5. PRIJEDLOG POBOLJŠANJA PROMETNO-TEHNIČKIH ELEMENATA SA SVRHOM POVEĆANJA PROPUSNE MOĆI.....	53
5.1. ANALIZA POSTOJEĆEG STANJA I PODRUČJE OBUHVATA.....	53
5.2 BROJANJE PROMETA I SIGNALNI PLAN	56
5.3 IDEJNO PROMETNO RJEŠENJE	59
6. EVALUACIJA PREDLOŽENOG RJEŠENJA	61
7. ZAKLJUČAK	62
LITERATURA.....	64
Popis tablica	65
Popis slika	65
POPIS PRILOGA	67
PRILOG 1. IDEJNO RJEŠENJE RASKRIŽJA UL.ORANICE-KOŽINČEV PUT.....	67
PRILOG 2. POSTOJEĆE STANJE RASKRIŽJA UL.ORANICE – KOŽINČEV PUT.....	68

1. UVOD

Tema diplomskog rada je utjecaj prometno-tehničkih elemenata ceste na propusnu moć. Propusna moć ili kapacitet prometnica predstavlja najveće prometno opterećenje koje se razumno očuje da može proći promatranim presjekom prometnog traka ili cete tijekom zadanog vremenskog intervala pod predvladavajućim okolnim i prometnim uvjetima. Povećanje propusne moći može se postići dodavanjem dodatnih prometnih trakova.

Diplomski rad je podijeljen u sedam cjelina:

1. Uvod
2. Osnovni parametri i značajke prometnog toka
3. Propusna moć ceste
4. Utjecaj prometno-tehničkih elemenata ceste na propusnu moć
5. Prijedlog poboljšanja prometno-tehničkih elemenata sa svrhom povećanja sigurnosti cestovnih prometnica
6. Evaluacija predloženog rješenja
7. Zaključak

U drugom poglavlju su opisani osnovni parametri i značajke prometnog toka kao što su: protok vozila, gustoća i brzina prometnog toka, interval slijeđenja vozila te razmak u slijeđenju vozila.

U trećem poglavlju detaljno je opisana propusna moć te način proračuna iste.

U četvrtom poglavlju navode se prometno-tehnički elementi te prikazuje njihov utjecaj na propusnu moć, a to su prometni i rubni trakovi, bankina, rigoli, razdjelni pojasevi, biciklističke i pješačke staze itd.

U petom poglavlju prikazuje se izmjena prometno-tehničkih elemenata u svhu poboljšanja propusne moći prometnice kao i poboljšanja sigurnosti na spomenutom raskrižju.

U šestom poglavlju će se napraviti evaluacija nevedenog raskrižja.

2. OSNOVNI PARAMETRI I ZNAČAJKE PROMETNOG TOKA

Prometni tok je istovremeno kretanje više vozila na putu u određenom poretku. 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. 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. [1]

Glavni pokazatelji koji opisuju prometne tokove su:

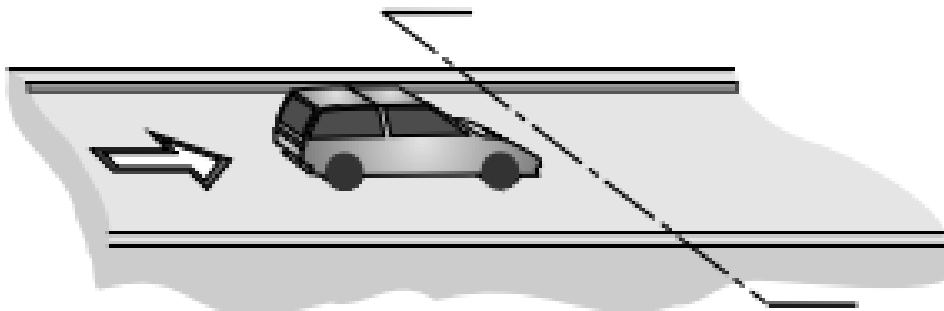
1. protok vozila, q
2. gustoća prometnog toka, g
3. brzina prometnog toka, v
4. vrijeme putovanja vozila u toku t
5. jedinično vrijeme putovanja vozila u toku
6. vremenski interval slijeđenja vozila u toku
7. razmak slijeđenja vozila u toku s

2.1 PROTOK VOZILA

Protok vozila podrazumijeva broj vozila koja prođu kroz promatrani presjek prometnice u jedinici vremena u jednom smjeru za jednosmjerne prometnice ili u oba smjera za dvosmjerne prometnice. Sa gledišta realnih tokova, ovisno o načinu promatranja u odnosu na prostor razlikuje se: [1]

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

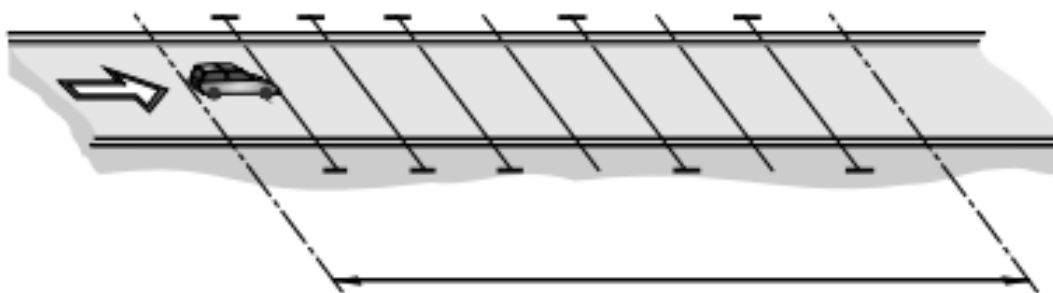
$$q = gV \left[\frac{voz}{h} \right]$$



Slika 1 Protok vozila na presjeku

Izvor: Dadić, I., Kos, G., Ševrović, M.: Teorija prometnih tokova 2014, Zagreb, 2014

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



Slika 2 Protok vozila na dionici

Izvor: Dadić, I., Kos, G., Ševrović, M.: Teorija prometnih tokova 2014, Zagreb, 2014

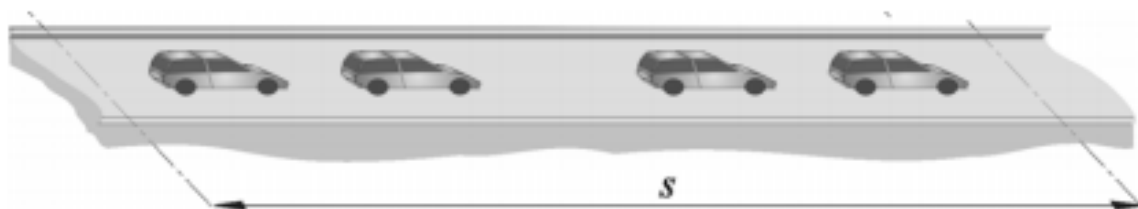
Relacije se odnose na protok na dijelu u jednom pravcu u jednom nizu i u jednom smjeru. Osnovna jedinica za iskazivanje protoka vozila je broj vozila u jednom satu (voz/h). U praksi se koriste i veće vremenske jedinice od jednog sata, kao što je dan (voz/24h).

Osnovni simbol za označavanje protoka je q (voz/h). Također, se koriste i simboli PGDP (prosječni godišnji dnevni promet, voz/dan) zatim PDP (voz/24h) kao i DP (voz/24h).

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: $\square$ (voz/s); x (voz/10, 15, 20, 30 s) i dr. U literaturi iz engleskog govornog područja koriste se simboli AADT=PGDP, ADT=PDP i DT=DP. [1]

2.2 GUSTOĆA PROMETNOG TOKA

Gustoća prometa predstavlja ukupan broj vozila koja se u nekom trenutku promatranja nalaze na određenom odsječku ceste te služi kao pokazatelj stvarne iskorištenosti propusne moći prometnice.



Slika 3 Gustoća prometnog toka

Izvor: Dadić, I., Kos, G., Ševrović, M.: Teorija prometnih tokova 2014, Zagreb, 2014

$$Q = G \cdot V \text{ [voz/h]}, \text{ odnosno } G = \frac{Q}{V} \text{ [voz/km]}$$

Gdje je:

G – gustoća prometnog toka [voz/km]

V – brzina prometnog toka [km/h]

Q – protok [voz/h]

U praksi, obzirom na vremenski period u kome se promatra, gustoća prometnog toka može predstavljati: Broj vozila po jedinici dužine promatranog odsjeka (dionice) u trenutku promatranja g (voz/km)

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

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

s - duljina dijela u kilometrima.

Broj vozila po jedinici duljine promatranog dijela (dionice) kao aritmetička sredina više trenutnih promatranja u nekom vremenskom periodu. [1]

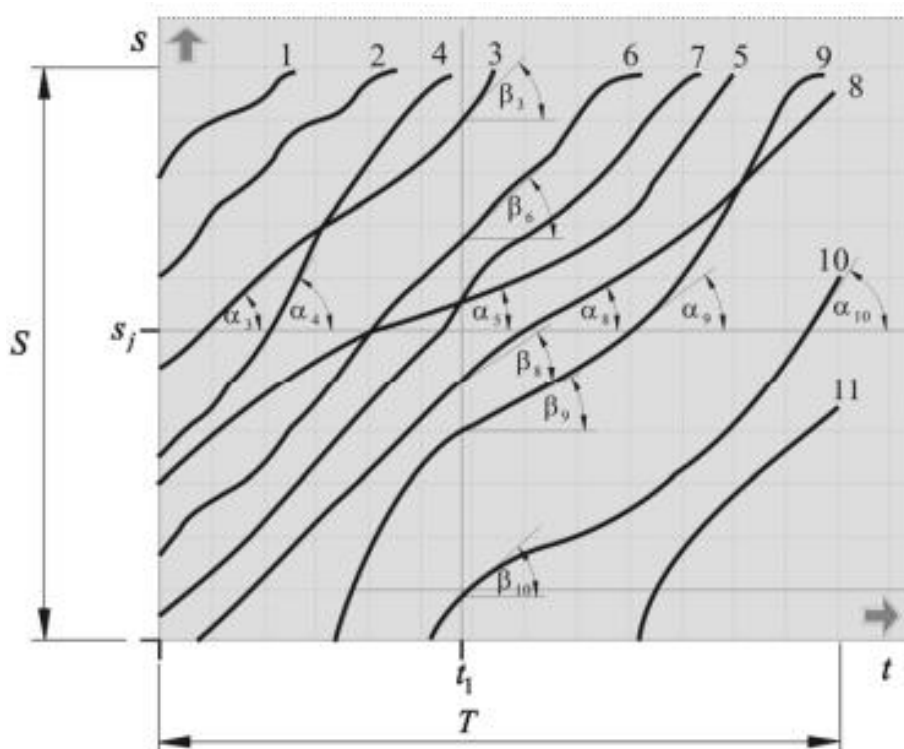
2.3 BRZINA PROMETNOG TOKA

Pod pojmom brzine toka eksplicitno misli na određenu srednju vrijednost brzina svih vozila koja sudjeluju u promatranom prometnom toku. 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). [1]



Slika 4 Brzina prometnog toka u prostoru i vremenu

Izvor: Dadić, I., Kos, G., Ševrović, M.: Teorija prometnih tokova 2014, Zagreb, 2014

U cilju ilustracije razlika u načinu promatranja brzine prometnog toka sa gledišta prostora i vremena prikazane su sljedeće putanje kretanja vozila na odsjeku S u periodu vremena T , ako i dva aspekta promatranja brzina: tzv. trenutno promatranje na odsjeku i tzv. lokalno promatranje na presjeku.

Trenutno promatranje na odsjeku S koje dovodi do srednje prostorne brzine:

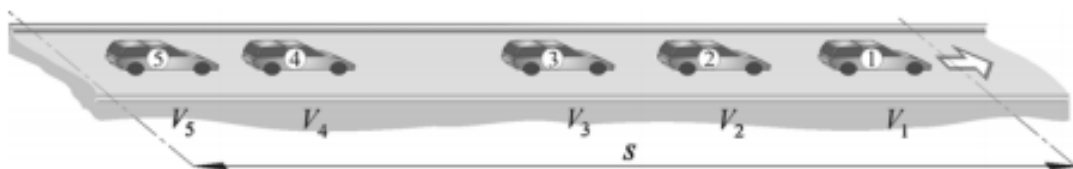
$$\overline{V_s} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t g \beta_i$$

Lokalno promatranje u vremenu T koje dovodi do srednje vremenske brzine: [1]

$$\overline{V_t} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m t g \alpha_i$$

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

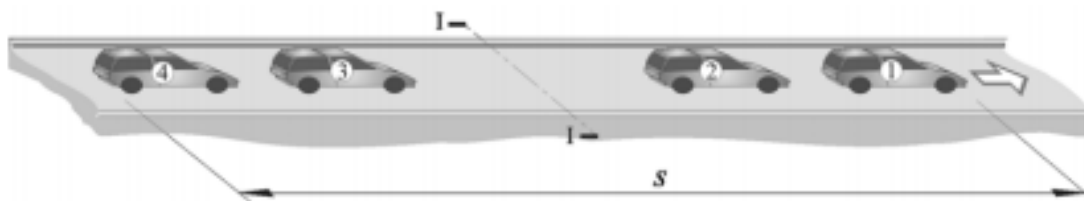


Slika 5 Srednja prostorna brzina

Izvor: Dadić, I., Kos, G., Ševrović, M.: Teorija prometnih tokova 2014, Zagreb, 2014

2.3.2. SREDNJA VREMENSKA BRZINA PROMETNOG TOKA

Srednja vremenska brzina prometnog toka predstavlja aritmetičku sredinu brzina svih vozila u prometnom toku koja prolaze promatranim presjeko, puta, u određenom periodu vremena.



Slika 6 Srednja vremenska brzina

Izvor: Dadić, I., Kos, G., Ševrović, M.: Teorija prometnih tokova 2014, Zagreb, 2014

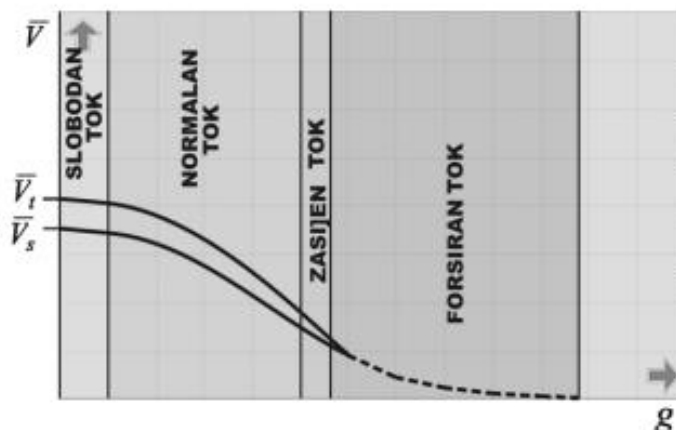
Mjerenje brzina na promatranom presjeku puta, kao i na toj osnovi utvrđivanje srednje vremenske praznine prometnog toka, u stručnoj literaturi naziva se lokalno mjerenje ili promatranje. [1]

2.3.3. BRZINA PROMETNOG TOKA S OBZIROM NA VRSTE PROMETNIH TOKOVA

Ovisno o uvjetima kretanja vozila u prometnom toku gledajući i na stupanj interakcijskog utjecaja pri približno idealnim prometnim i putnim uvjetima srednja prostorna i srednja vremenska brzina prometnog toka dobivaju slijedeće nazive:

1. *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 v_s i v_t .
2. *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 v_s i v_t .
3. *brzina zasićenog toka, tzv. 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 (v_{ZT}), što znači da ne postoji gotovo nikakva kvantitativna razlika između srednje prostorne i srednje vremenske brzine prometnog toka. Znači, pri zasićenom toku vrijedi uvjet da je: $v_{vv} ZT_{st} \cong$
4. *brzina forsiranog (prisilnog) toka*, pojam brzine forsiranog toka vezan je za forsiranprisilni prometni tok. U uvjetima forsiranog (prisilnog) toka vozila se kreću

približno istom brzinom koja, promatrana u prostoru i vremenu, oscilira između vrijednosti v_{ZT} i 0. Znači, pri zasićenom toku važi uvjet da je $v_f < v_{ZT}$ [1]



Slika 7 Prikaz srednje prostorne i vremenske brzine u različitim uvjetima odvijanja prometnih tokova

Izvor: Dadić, I., Kos, G., Ševrović, M.: Teorija prometnih tokova 2014, Zagreb, 2014

2.4 INTERVAL SLIJEĐENJA VOZILA

Interval slijeđenja vozila u prometnom toku predstavlja vrijeme između prolaska dva uzastopna vozila kroz zamišljeni presjek promatranog odsjeka puta (čeoní 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 ,
- interval slijeđenja na dionici puta, kao aritmetički prosjek srednjih vrijednosti intervala praćenja na m promatranih presjeka puta u vremenu T .

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 t_h .

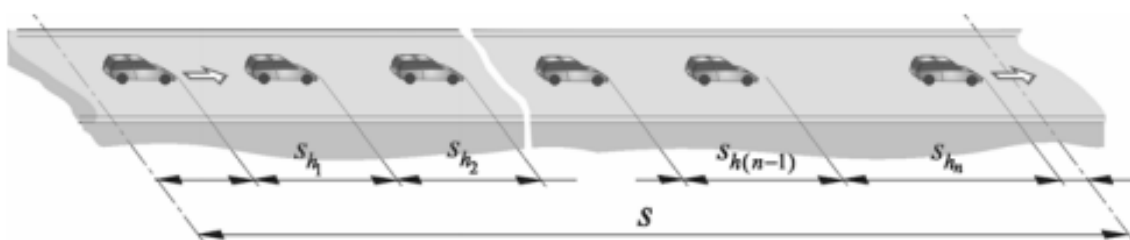
Interval praćenja vozila ima veliki značaj za opisivanje uvjeta odvijanja prometa na cestama,

ne samo kao osnovni pokazatelj za teorijska uopćavanja međuovisnosti u prometnom toku, već i u inženjerskoj praksi kao osnovni indikator kvaliteta prometnog toka. [1]

2.5 RAZMAK U SLIJEĐENJU VOZILA

Razmak slijeđenja vozila predstavlja prostorni razmak između dva uzastopna vozila u prometnom toku i najčešće se označava sa S_h , 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:

a) udaljenosti između pojedinih vozila u prometnom toku koja su se našla u određenom trenutku na promatranom odsjeku ili dionici puta; S_{hi} , gdje je $i = 1, 2, \dots, n$.



Slika 8 Razmaci u slijeđenju vozila

Izvor: Dadić, I., Kos, G., Ševrović, M.: Teorija prometnih tokova 2014, Zagreb, 2014

b) srednja vrijednost trenutnih razmaka između svih vozila u prometnom toku koja su se našla u određenom trenutku na promatranom odsjeku ili dionici puta $\overline{S_h}$.

c) aritmetički prosjek m-srednjih trenutnih razmaka utvrđenih na promatranom odsjeku

3. PROPUSNA MOĆ CESTE

U ovom poglavlju opisano je značenje propusne moći ili kapaciteta prometnice te sve značajke prometnog toka.

3.1 PROPUSNA MOĆ PROMETNICE

Propusna moć ili kapacitet prometnica predstavlja najveće prometno opterećenje koje se razumno očuje da može proći promatranim presjekom prometnog traka ili cete tijekom zadanog vremenskog intervala pod predvladavajućim okolnim i prometnim uvjetima. [2] Propusna moć maksimalni je broj vozila koji može proći u jedinici vremena kroz promatrani presjek cestovne prometnice. Na osnovi poznavanja propusne moći N [voz/h] mogu se procijeniti nedostaci postojeće cestovne mreže i predložiti odgovarajuće izmjene. Propusna moć služi kao osnovica za sve intervencije i zahvate na određenom dijelu ceste (proširenje kolnika, rekonstrukcija zavoja, reguliranje čvorišta, promjene režima prometa i sl.) Isto tako, pri projektiranju novih cesta i čvorišta poznavanje propusne moći i prometnog opterećenja nužan je preduvjet da se može pristupiti tehničkim analizama, uspoređivanju varijanata i izboru najpovoljnijeg rješenja. [3]

$$U = 1000 * V / a$$

U – propusna moć ceste

V – brzina vožnje vozila u km/h

Za što potpunije opisivanje prometnih tokova, i proučavanje zakonitosti kretanja motornih vozila u prometnim tokovima na cestovnim prometnicama, definirati i značajnije osobitosti prometnog toka, kao i karakteristične vrijednosti osnovnih parametara prometnog toka. Karakteristične vrijednosti osnovnih parametara prometnog toka od značaja su za adekvatno opisivanje relacija između osnovnih parametara prometnog toka i za rješavanje konkretnih prometnih problema. U red važnijih 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, uključeno je složenost prometnog toka, opći uvjete odvijanja prometa, sastav ili strukturu prometnog toka i vremenska neravnomjernost prometnog toka. [3]

Pod praktičnom propusnom moći prometne dionice ceste podrazumijeva se maksimalan protok vozila kojeg dionica ceste na odsjeku sa najnepovoljnijim tehničko-eksploatacijskim karakteristikama i realnim karakteristikama prometnog toka u povoljnim atmosferskim uvjetima može propustiti u jedinici vremena (jedan sat) u jednom smjeru, odnosno za dvotračne i trotračne ceste za dvosmjerni promet u oba smjera. U stručnoj literaturi se umjesto termina kapacitet često, kao sinonim, koristi termin propusna moć ili propusna sposobnost. Za označavanje pojma propusne moći prometne trake koristi se simbol C_0 , za pojam brzine pri osnovnoj propusnoj moći VC_0 i za pojam gustoće pri osnovnom kapacitetu gCo . Vrijednost osnovne propusne moći prometne trake C_0 predstavlja repenu veličinu prema kojoj su, na današnjoj razini spoznaje u teoriji prometnog toka, utvrđeni svi utjecaji konkretnih karakteristika prometne trake i prometnog toka na propusnu moć prometne trake u realnim uvjetima. Ova vrijednost ugrađena je u sve svjetski poznate obrasce pomoću kojih se izračunava praktična propusna moć prometne dionice – odsjeka ceste.[1]

Prva teorijska razmatranja zakonitosti kretanja vozila i propusne moći polazila su od pretpostavke da se prometni tok ponaša kao fluid, tj da je homogen. Uz tu pretpostavku, može se primjeniti osnovna zakonitost prometnog toka da je

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

gdje je:

q – protok vozila [voz/km]

g – gustoća prometnog toka [voz/h]

V – brzina prometnog toka [km/h]

Veličina razmaka između vozila u nizu r_{s0} može se dobiti s pomoću izraza

$$r_{s0} = \frac{1000}{g} \left[\frac{\text{voz}}{\text{h}} \right]$$

Odnosno

$$g = \frac{1000}{r_{s0}} \left[\frac{\text{voz}}{\text{km}} \right]$$

Uvrsti li se vrijednost za gustoću g u prethodnu jednadžbu, dobije se

$$q = \frac{1000 \cdot V}{r_{S0}} \left[\frac{voz}{h} \right]$$

Budući da je propusna moć N jednaka maksimalnom protoku $N=q_{maks}$.

$$N = \frac{1000 \cdot V}{r_{S0}} \left[\frac{voz}{h} \right]$$

S pomoću te jednadžbe dobit će se najveća propusna moć ceste za jedan prometni trak. Razmak između vozila u kretanju r_{S0} [m] ovisi o stvarnim uvjetima kretanja vozila, i to: o načinu kočenja vozila, o kolničkom zastoru, o vremenu reagiranja vozača i sl. Duljina razmaka može se uzeti ovisno o tomu proračunava li se zaustavni put pri intenzivnom kočenju, pri slobodnom kočenju ili sva vozila koče pod istim ili različitim uvjetima itd. [3]

Pri intenzivnom kočenju propusna moć iznosi

$$N = \frac{1000 \cdot V}{r_z + \frac{V_{tr}}{3,6} + \frac{V^2}{254(f_{1B} \pm \frac{U}{100})} - \frac{V^2}{254(f_{1A} \pm \frac{U}{100})}}$$

Odnosno

$$N = \frac{1000 \cdot V}{r_z + \frac{V_{tr}}{3,6} + \frac{V^2}{25,92 \cdot a_{2B}} - \frac{V^2}{2525,92 \cdot a_{2A}}}$$

Pri slobodnom kočenju propusna moć N iznosi

$$N = \frac{1000 \cdot V}{r_z + \frac{V_{tr}}{3,6} + \frac{V^2}{254(f_{1B} \pm \frac{U}{100})} + \frac{1,36V(f_{1B} \pm \frac{U}{100})}{su} - \frac{V^2}{254(f_{1A} \pm \frac{U}{100})} - \frac{1,36V(f_{1A} \pm \frac{U}{100})}{su}}$$

Odnosno

$$N = \frac{1000 \cdot V}{r_z + \frac{V_{tr}}{3,6} + \frac{V^2}{25,92 a_{2B}} + \frac{V a_{2B}}{7,2 su} - \frac{V^2}{25,92 a_{2A}} - \frac{V a_{2A}}{7,2 su}}$$

Ako za jedan smjer vožnje postoji veći broj prometnih trakova, propusna će moć biti veća, ali ne razmjerno povećanju broja prometnih trakova, nego umanjena za redukcijski koeficijent prema jednadžbi

$$N_n = \gamma * n * N$$

u kojoj je:

N_n – propusna moć više prometnih trakova

n – broj prometnih trakova

γ – redukcijski koeficijent

Vrijednost koeficijenta γ iznosi za dva traka 0,9, za tri traka 0,75-0,78, a za četiri traka 0,60-0,65. [3]

Takav način proračuna propusne moći bio bi moguć samo ako je prometni tok homogen, tj. ako su sva vozila u toku istih tehničkih svojstava, ako svi vozači imaju iste psihološko-fizičke značajke i ako su na svim dijelovima ceste osigurani jednaki uvjeti vožnje. Budući da takav homogeni prometni tok u praksi ne postoji, pri proračunu propusne moći koriste se jednačbe dobivene na temelju stvarnog (mješovitog) prometnog toka, uzimajući u obzir širinu prometnog traka, bočne smetnje, vidljivost, sigurnost, udobnost, čimbenik vršnog sata, geometrijske elemente ceste, strukturu prometa i sl. Praktična ispitivanja propusne moći pokazala su da postoji osnovna zakonitost između protoka q , gustoća g i brzine prometnog toka V . Ta zakonitost se očituje u tome da se kritična gustoća po jednom prometnom traku nalazi u intervalu $g_{krit} = 40-50$ [km/h] i da pri gustoći $g_{max} = 150-160$ [km/h] dolazi do zagušenja prometnog toka. Kritične brzine nalaze se najčešće u intervalu $V_{krit} = 48-56$ [km/h]. Isto tako je ustanovljeno da propusna moć ovisi o vrsti ceste (autoceste, dvotračne ceste), o načinu rješavanja križanja (u istim ili različitim razinama) i sl. Na osnovi opsežnih ispitivanja u SAD, utvrđena je metoda za proračun propusne moći koja je obavljena u HCM-u (Highway Capacity Manual) godine 1985. i 1994. [1]

Korištenjem inozemnih i naših iskustava, dobivene su jednačbe za proračun propusne moći, i to za:

- Ceste s dvama prometnim trakama za dvosmjerni promet
- Autoceste, ceste s fizički odvojenim smjerovima vožnje i ceste s četiri ili više prometnih trakova

Propusna moć ceste s dvama prometnim trakovima za dvosmjerni promet N_1 može se izračunati s pomoću jedne jednadžbe

$$N_1 = 2200 \cdot n_1 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot k_1 \text{ [voz/h]}$$

Propusna moć autoceste, ceste s fizičkim odvojenim smjerovima vožnje i ceste s četiri ili više prometnih trakova N_2 može se izračunati s pomoću jedne jednadžbe [2]

$$N_2 = 2200 \cdot n_2 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot k_1 \text{ [voz/h]}$$

N_1 – propusna moć u oba smjera na cesti s dvama prometnim trakama ta dvosmjerni promet [voz/h]

N_2 – propusna moć u jednom smjeru na autocesti, cesti s fizičkim odvojenim smjerovima vožnje i cesti s četiri ili više prometnih trakova [voz/h]

n_1 – broj prometnih trakova u oba smjera

n_2 – broj prometnih trakova u jednom smjeru

K_1 – korekcijski čimbenik utjecaja širine prometnih trakova

K_2 – korekcijski čimbenik utjecaja tipa prometnice i prometnih trakova

K_3 – korekcijski čimbenik udaljenosti bočne smetnje

K_4 – korekcijski čimbenik utjecaja veličine i duljine udružnog nagiba

k_1 – korekcijski čimbenik utjecaja sastava prometnog toka

Da bi se dobila odgovarajuća razina usluge potrebno je odrediti dopušteno prometno opterećenje koje je manje od propusne moći. Razina usluge (Level of service – LOS) je kvalitativna mjera koja opisuje uvjete prometnog toka. Mjere temeljem kojih se utvrđuju su: brzina vožnje, vrijeme putovanja, sloboda manevriranja, utjecaj drugog prometa, udobnost vožnje i troškovi eksploatacije vozila. Sigurnost odvijanja prometa ne ulazi kao mjera za određivanje razine usluge. Za proračune kapaciteta i razina usluga raskrižja, dionica cesta, javnog gradskog prijevoza, te pješačkog i biciklističkog prometa koristi se Highway Capacity Manual. HCM predstavlja standard u projektiranju i planiranju cesta, autocesta i gradskih ulica. Temeljnim pravnim dokumentom za projektiranje cesta u Republici Hrvatskoj: Pravilnikom o osnovnim uvjetima kojima javne

ceste izvan naselja moraju udovoljiti sastajališta sigurnosti prometa u točki 11 dodatka definirano je: Proračun propusne moći ceste vrši se u pravilu prema “Highway Capacity Manual-u”(HCM). Upotrebu drugih metoda treba posebno obrazložiti. Prema HCM-u pri odvijanju prometnog toka definirano je šest razina usluga, od A do F . Razina usluge A predstavlja najbolje/najpovoljnije operativne uvjete, dok razina F predstavlja najlošije/najnepovoljnije.

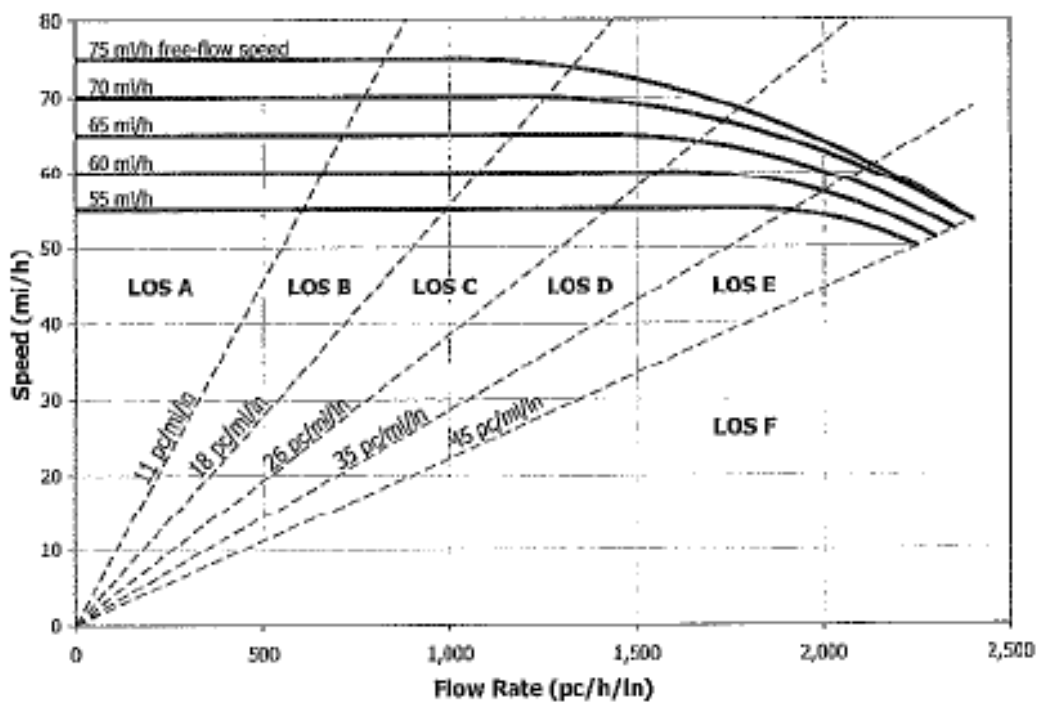
- 1) Razina usluge A – uvjeti slobodnog prometnog toka, mala gustoća, velika sloboda manevriranja, vozači voze željenom brzinom, prosječni razmak između vozila je 146 m ili 24 automobila
- 2) Razina usluge B – vozači počinju reagirati na prisutnost drugih vozila na prometnom toku iako se manevriranje obavlja pri brzini slobodnog toka. Potrebna malo veća opreznost prilikom prestrojavanja. Razmak između vozila je oko 90 m ili 15 vozila.
- 3) Razina usluge C – prisutnost drugih vozila počinje ograničavati manevriranje, i dalje uvjeti slobodnog toka, ali vozači moraju prilagoditi smjer kretanja u svrhu prestrojavanja, ulijevanja, izlijevanja. Prosječni razmak vozila je oko 60 m ili 10 vozila.
- 4) Razina usluge D – smanjenje prosječnih brzina vozila,povećanje gustoće i mogućnost nastajanja povremenih zagušenja. Manevriranje znatno otežano, a prosječni razmak je oko 45 m ili 7 vozila.
- 5) Razina usluge E – uvjeti prometnog toka vrlo blizu kapaciteta. Mogući šok val i dugi repovi čekanja. Prosječni razmak 35 m ili 6 vozila.
- 6) Razina usluge F – uvjeti u kojima je prometno opterećenje veće od kapaciteta, dugi repovi čekanja. Stupanj zasićenja $X = Q/C > 1$ [5]



Slika 9 Razina usluge na prometnici

Izvor: <https://www.youtube.com/watch?v=uig8yNzxhYE>

Za autoceste i brze ceste LOS se određuje na temelju gustoće prometnog toka.



Slika 10 Grafički prikaz razine usluge, odnos brzina-protok

Izvor: Dadić, I., Kos, G., Ševrović, M.: Teorija prometnih tokova 2014, Zagreb, 2014

Prema HCM-u (eng. Highway Capacity Manual) kapacitet je teorijska vrijednost koja je pretpostavljena i ne računa se, uglavnom je ulazna veličina. Na smanjenje teoretskih vrijednosti kapaciteta može utjecati :

- Širina prometnog traka
- Broj prometnih trakova
- Širina bankine
- Projektna brzina itd.

3.1.1. PROPUSNA MOĆ DIONICE AUTOCESTE

U traženju pogodnog obrasca za opisivanje brzine (VC) i gustoće (gC) pri praktičnoj propusnoj moći dionice autoceste, koju čine najmanje dvije prometne trake za jednosmjernu prometnu tokove, ishodišnu ulogu imaju vrijednosti brzine i gustoće pri tzv. osnovnoj propusnoj moći (VCo i go) koje se ostvaruju na jednoj prometnoj traci pri optimalnim vladajućim uvjetima, tj. na idealnoj prometnoj traci pri toku putničkih automobila u idealnim atmosferskim uvjetima i bez regulativnih ograničenja. [1]

Prosječna brzina vozila na zadanom segmentu ceste, mjerena u uvjetima malog prometnog opterećenja, kada vozači slobodno mogu voziti svojom željenom brzinom i nisu ograničeni utjecajem drugih vozila ili uređaja za upravljanjem prometom (semafori, prom. znakovi).

Tablica 1 Brzina slobodnog toka

Brzina slobodnog toka (km/h)	Osnovni kapacitet (voz/h/trak)
120	2400
112	2400
105	2350
97	2300
89	2250

Izvor: Hozjan D., Cestovne prometnice 2, 3 Predavanje_ak_god_2015_2016.pdf

S obzirom na prirodu utjecaja pogoršanja pojedinih putnih i prometnih karakteristika na smanjenje brzine pri propusnoj moći, osnovne tehničko-eksploatacijske karakteristike

dionice autoceste (promatrane kroz jednu prometnu traku) i karakteristike prometnog toka mogu se svrstati u tri kategorije karakteristika, i to:

I. Karakteristike koje sa pogoršanjem, u odnosu na optimalne, uvjetuju razmjerno smanjenje vrijednosti brzine toka pri praktičnoj propusnoj moći, neovisno o duljini dionice.

Tu se ubrajaju:

- | | |
|---|-----------------------|
| (1) širina prometne trake | $\check{S} < 3,5$ |
| (2) udaljenost nepokretnih bočnih smetnji | $BS < 2,75$ |
| (3) pokretne bočne smetnje | $PS = \text{postoje}$ |

Pogoršanje ovih karakteristika u odnosu na reperne vrijednosti psihološki utječe na vozače stvarajući im dojam stiješnjenosti (skučenosti). [1]

II. Karakteristike koje se ističu na pojedinim odsjecima duž kojih se progresivno duž dionice smanjuje brzina toka pri praktičnom kapacitetu u odnosu na dolaznu brzinu.

Tu se ubrajaju:

(1) horizontalni zavoji sa polumjerima $R < 120$ (m)

(2) uzdužni nagibi $UN \neq 0$, (posebno u smjeru uspona $UN > 4\%$, a u funkciji dužine odsjeka na usponu) i heterogen sastav toka, prije svega zbog udijela vozila male specifične snage.

Horizontalni zavoji, prije svega pri $R < 120$ m, kroz djelovanje centrifugalne sile, preko psiholoških faktora utječu na vozače da prihvate manje brzine. Kada je riječ o brzini pri praktičnoj propusnoj moći, od značaja su granične vrijednosti polumjera horizontalnog zavoja, koje dominantno utječu na brzinu pri propusnoj moći. Uzdužni nagib, prije svega veći od 4% i ovisno o duljini, izražava se kao faktor smanjenja brzine mješovitog toka, prije svega zbog udjela vozila male specifične snage. Djelovanje uzdužnog nagiba na brzinu odražava se preko komponente gravitacijske sile, za smjer uspona, suprotne kretanju vozila. Za smjer pada komponenta gravitacijske sile pogoršava uvjete kočenja, pogotovo u slučaju većih i duljih padova, što psihološki utječe na vozače da smanjuju brzinu ili

povećavaju razmak slijeđenja, ili i jedno i drugo. Naime, za smjer uspona, radi se o izravnom ograničavanju brzine vozila male specifične snage.

III. Karakteristika koja, ako se zanemari održavanje ceste, može dominantno utjecati na smanjenje brzine pri praktičnoj propusnoj moći

Tu se ubraja:

(1) eksploatacijsko stanje kolnika $SK = \text{loše (preko 50\%)} \text{ i vrlo loše}$

Eksploatacijsko stanje kolnika se često promatra u vezi sa vrstom kolnika, koji može biti suvremeni (beton, asfalt, kocka), tucanički i zemljani.

Kada je riječ o prirodi utjecaja pogoršanja pojedinih cestovnih i prometnih karakteristika na promjene gustoće toka pri propusnoj moći, citirane osnovne tehničko-eksploatacijske karakteristike dionice autoceste (promatrane kroz jednu prometnu traku) i karakteristike prometnog toka mogu se svrstati na slijedeći način:

I. Karakteristike sa čijim se pogoršanjem, u odnosu na optimalne, smanjuje gustoća toka pri praktičnoj propusnoj moći u odnosu na gustoću toka pri osnovnoj propusnoj moći prometne trake.

Tu se ubrajaju:

(1) Povećanje nehomogenosti prometnog toka $KV > 0\%$

(2) Pokretne bočne smetnje suprotnih smjerova $PS = \text{postoje}$

(3) Uzdužni nagib za smjer prometnog toka u padu $UN < 0\%$

(1) Povećanje nehomogenosti sastava prometnog toka

Udio u toku tzv. komercijalnih vozila, utječe na povećanje srednje duljine vozila u toku. Povećanje srednje duljine vozila, i pri konstantnom čelnom razmaku utječe na povećanje srednjeg razmaka slijeđenja između vozila u prometnom toku, što se reperkutuje? na smanjenje gustoće toka pri propusnoj moći. (Iznesena zakonitost se može ilustrirati kroz dva sljedeća jednostavna primjera).

(2) Pokretne bočne smetnje

Kod složenih tokova koje čini više nizova, a posebno nizova sa suprotnim smjerovima, čimbenici psihološke prirode utječu da vozači teže za većim razmakom između vozila pri zasićenom toku. Pokretne bočne smetnje imaju veći utjecaj na smanjenje brzine pri praktičnoj propusnoj moći nego na povećanje gustoće pri propusnoj moći.

(3) Uzdužni nagib za smjer u padu

Djelovanje gravitacijske sile utječe na povećanje puta kočenja vozila. To i psihološki djeluje na vozače da pri jednakoj brzini zasićenog toka, kojom su se kretali na odsjeku sa $UN = 0$, sa nailaskom na odsjek u smjeru pada povećavaju čisti razmak između prednjeg i stražnjeg kraja vozila, čime se smanjuje gustoća pri propusnoj moći.

II. Karakteristike sa čijim se pogoršanjem, u odnosu na optimalne, blago povećava gustoća pri praktičnoj propusnoj moći u odnosu na gustoću pri osnovnoj propusnoj moći.

Tu se ubrajaju:

- (1) Uzdužni nagib za smjer u usponu $UN > 0\%$
- (2) Horizontalni zavoji $R < 120 \text{ m}$
- (3) Širina prometne trake $\check{S} < 3,5 \text{ m}$
- (4) Udaljenost nepokretnih bočnih smetnji $BS < 1,75 \text{ m}$
- (5) Stanje kolnika $SK = \text{loše i vrlo loše}$

Heterogenost prometnog toka iskazuje se postotnim udjelom tzv. komercijalnih vozila (autobusi, kamioni i autovlakovi) u prometnom toku

Tablica 2 Vrijednosti faktora $F(BS)$ kojim se iskazuje kvantitativni utjecaj udsljenosti nepokretnih bočnih smetnji na brzinu toka pri raznim razinama usluge

Udaljenosti nepokretne bočne smetnje od ruba kolnika BS (m)	Smetnje sa 1 strane		Smetnje sa 2 strane	
	Za NU „A“ – „D“	Za NU „E“	Za NU „A“ – „D“	Za NU „E“
1,75	1,00	1,00	1,00	1,00
1,50	0,98	0,99	0,96	0,98
1,25	0,93	0,98	0,92	0,96
1,00	0,87	0,97	0,88	0,94
0,75	0,75	0,96	0,83	0,92
0,50	0,70	0,95	0,78	0,90
0,25	0,65	0,94	0,74	0,88
0,00	0,65	0,93	0,70	0,86

Izvor: Dadić, I., Kos, G., Ševrović, M.: Teorija prometnih tokova 2014, Zagreb, 2014

Tablica 3 Vrijednosti faktora $F(PS)$ kojim se iskazuje kvantitativni utjecaj pokretnih bočnih smetnji na brzinu toka pri praktičnoj propusnoj moći

Vrsta pokretne bočne smetnje	Vrijednost faktora pokretne bočne smetnje $F(PS)$
Istosmjerna sa jedne strane	0,98
Istosmjerna sa obje strane	0,97
Suprotnosmjerna sa jedne strane	0,96
Suprotnosmjerna sa jedne i istosmjerna s druge strane	0,95

Izvor: Dadić, I., Kos, G., Ševrović, M.: Teorija prometnih tokova 2014, Zagreb, 2014

Tablica 4 Slobodne brzine mjerodavnog vozila $V_{mv}(R)$ u ovisnosti u polumjeru horizontalnog zavoja

Rmin (m)	V(km/h)
20	30
40	40
70	50
120	60
180	70

Izvor: Dadić, I., Kos, G., Ševrović, M.: Teorija prometnih tokova 2014, Zagreb, 2014

3.2 PROPUSNA MOĆ PROMETNICE IZMEĐU DVAJU KRIŽANJA SA SEMAFORIMA

Broj križanja i njihov razmak uvelike utječe na propusnu moć. Ako vozilo stigne na križanje za vrijeme zelenog svjetla, vrijeme čekanja jednako je nuli, a ako stigne na početku crvenog crvenog svjetla, čekat će cijeli ciklus. U presjeku će svako vozilo imati istu vjerojatnost čekanja, koja iznosi

$$t\check{c} = \frac{C - tz}{2}$$

gdje je:

$t\check{c}$ – vjerojatnost čekanja (prosječno izgubljeno vrijeme)

C – duljina trajanja ciklusa

tz – duljina trajanja zelenog svjetla

Propusna moć prometnice na križanjima sa semaforima bit će manja od propusne moći prometnice bez križanja. Utjecaj križanja sa semaforima može se predložiti s pomoću koeficijenta β , koji označuje gubitak vremena za usporavanje, čekanje i ubrzavanje pri prolasku vozila kroz križanje. Vrijednost koeficijenta β dana je jednadžbom

$$\beta = \frac{L_0}{L_0 + \frac{v^2}{2a_1} + \frac{v^2}{2a_2} + \frac{C - tz}{2} * v}$$

gdje je:

L_0 – razmak između križanja (m)

v – brzina vozila [m/s]

a_1 – ubrzanje vozila [m/s²]

a_2 – usporenje vozila [m/s²]

Prema tomu propusna moć prometnice N_k između dvaju križanja sa semaforima može se izračunati prema izrazu

$$N_k = N_m * \beta$$

Propusnu moć svakoga pojedinog poteza prometnice čini umnožak propusne moći prolaza N_m i koeficijenta β , kojim se uzima u obzir utjecaj križanja sa semaforima. [2]

3.3 PRORAČUN PROPUSNE MOĆI KRIŽANJA SA SEMAFORIM

Za proračun propusne moći križanja sa semaforima u svijetu primjenju se metoda HCM O.K. Normana objavljena u „Highway Capacity Manual“.

3.3.1. ČIMBENICI KOJI UTJEČU NA PROPUSNU MOĆ KRIŽANJA SA SEMAFORIMA

Na propusnu moć križanja sa semaforima utječu ovi čimbenici: [1]

- fizičko-operativni uvjeti (širina pristupne ceste, jednosmjerne i dvosmjerne prometnice, uvjeti parkiranja)
- uvjeti okoline (čimbenikom opterećenja, čimbenikom vršnog sata, brojem stanovnika na području križanja, položajem križanja na gradskom području)
- prometne značajke (Određuju ih vozila koja skreću, kamioni i prolazni kamioni i lokalni tranzitni autobusni promet)
- kontrolne mjere (postavljanje semafora, označavanje prilaznih trakova)

3.5 SLOŽENOST PROMETNOG TOKA

U opisivanju prometnih tokova i zakonitosti kretanja motornih vozila u prometnim tokovima na mreži cestovnih prometnica, pri korištenju osnovnih parametara prometnog toka, a prije svega protoka vozila, od značaja je znati i kakav je prometni tok sa stajališta broja nizova i smjerova. Sa tog stajališta prometni tok može biti: jednostavan i složen tok. Jednostavan prometni tok se sastoji 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. 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 smjeru

- 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 obzirom na raspodjelu protoka po smjerovima, nizovima i pravcima.

3.5.1 VRSTE I STRUKTURA PROMETNOG TOKA

S obzirom na uvjete odvijanja prometa prometni tokovi mogu biti: neprekinuti, neprekinuti ali djelomično ometani i povremeno prekinuti tokovi. Neprekinuti tokovi su tokovi kod kojih na uvjete kretanja vozila jedino djeluje njihova međusobna interakcija, koja je u prvom redu ovisna o gustoći toka. Uvijete za neprekinute tokove pružaju prometne dionice, prije svega dionice autocesta. Neprekinuti prometni tok predstavlja osnovu, tj. ima značenje baznog (mjerodavnog) toka za definiranje, fundamentalnih - teorijskih, relacija između osnovnih parametara prometnog toka. 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. 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. Povremeno prekinute tokove pružaju prometna čvorišta gdje su križanja pravaca riješeni u istoj razini. Obzirom na sastav ili strukturu, prometni tok može biti: homogeni i nehomogeni (mješoviti) tok. Uz navedenu klasifikaciju, za potrebe rješavanja praktičnih zadataka koristi se i pojam uvjetno homogen tok. Homogen tok je sastavljen od jedne vrste motornih vozila, kao npr. tok putničkih automobila, tok autobusa, tok teretnih vozila itd. 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. Ukoliko 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, to je tzv. idealan - homogen tok. 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 posto 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. Realan tok je u principu nehomogen ili mješovit tok, odnosno to je tok sastavljen od dva ili više različitih vrsta motornih vozila naziva se nehomogen ili mješoviti tok. 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: [1]

$$P_{kv} = \frac{q - qpA}{q} \cdot 100 [\%]$$

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

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

Stupanj nehomogenosti prometnog toka često se iskazuje i karakteristikama vozača u toku (oni koji redovno voze i tzv. vikend vozači). Sastav prometnog toka, tj. pitanje u kojoj je mjeri tok homogen ili nehomogen, predstavlja značajnu karakteristiku toka o kojoj snažno ovise uvjeti koji vladaju u prometu na mreži. Sa porastom stupnja nehomogenosti toka pogoršavaju se uvjeti u prometnom toku u odnosu na uvjete u homogenom toku. Razlog pogoršanju uvjeta u prometnom toku kod nehomogenog toka u odnosu na homogeni tok je prije svega što ostala (autobusi, kamioni i auto-vlakovi) tzv. komercijalna vozila imaju

veće dimenzije (dužinu, širinu, visinu), a lošije vozno-dinamičke karakteristike (nepovoljniji odnos: snaga / težina) radi čega su sporija od putničkih automobila, što naročito dolazi do izražaja pri vožnji na usponu i u zoni čvorišta. U praktičnim situacijama često se na putu i putnički automobili moraju prilagođavati brzinama kretanja sporih i teških komercijalnih vozila. Naravno, i u okviru iste vrste motornih vozila, npr. putničkih, mogu postojati bitne razlike u dimenzijama i vozno-dinamičkim osobinama, što obvezuje da su neophodna i dalja istraživanja utjecaja strukture toka na uvjete kretanja vozila u prometnom toku. Obzirom na permanentne promjene koje se događaju u razvoju motorizacije i putnog prometa, kao i obzirom na do sada dostignuti nivo saznanja o utjecaju karakteristike sastava toka na uvjete odvijanja prometa, s pravom se može reći da je utjecaj ove karakteristike toka na uvjete odvijanja prometa na mreži nedovoljno istražen i da ovo predstavlja važno područje budućih istraživanja. Za ilustraciju prethodno navedenog stava dovoljno je spomenuti da je između svih karakteristika realnog toka u odnosu na idealni tok, na temelju kojeg su utvrđene ishodišne teorijske zakonitosti, najveća razlika između realnog i idealnog toka upravo u karakteristici homogenosti toka. Uvjetno homogen tok praktično ne postoji, tu je riječ o teorijskoj aproksimaciji. Naime, obzirom na činjenicu da su sva teorijska uopćavanja u teoriji prometnog toka bazirana na nepostojećem tzv. idealnom homogenom toku, a praktična uopćavanja na toku putničkih automobila, tj. na približno idealnom toku, to su u cilju primjene spomenutih uopćavanja na stvarne tokove, rješenja tražena u pretvaranju nehomogenog toka u tzv. uvjetno homogeni tok. Uvjetno homogeni tok se izražava u tzv. jedinicama putničkih automobila - JOA. Osnovni cilj ove transformacije je da se nehomogen tok pretvori u tok u kojemu su uvjeti prometa slični približno idealnom toku. Pretvaranje nehomogenog toka u uvjetno homogen tok radi se preko određenih ekvivalenata (E_i) 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. [1]

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

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

3.6 VREMENSKA NERAVNOMJERNOST PROTOKA VOZILA

Promatrano kronološki po jednakim vremenskim jedinicama na presjeku (lokalno promatranje) ili odsjeku puta (na “n” presjeka duž odsjeka) u stvarnim uvjetima, protok vozila je promjenljiva veličina uvjetovana brojnim faktorima, koji su također po svom karakteru promjenljivi. Karakteristika vremenske neravnomjernosti prometnih tokova predstavlja u znatnoj mjeri i posljedicu prirode nastajanja potreba za prostornim premještanjem ljudi i dobara u procesu društvenih i privrednih aktivnosti na utjecajnom području promatrane mreže. Neravnomjernost protoka vozila na nekom dijelu mreže može biti izazvana i nekim poremećajima na mreži kao što su, na primjer, uska grla, vremenske i klimatske neprilike i sl., što znači da pojedini faktori koji utječu na neravnomjernost protoka imaju karakter slučajnih varijabli. Karakteristika vremenske neravnomjernosti prometnog toka ima izuzetan značaj pri definiranju projektnih elemenata i donošenju odluka o opravdanosti izgradnje prometnica. Značaj ove karakteristike prometnog toka je naglašen i za mjere koje se poduzimaju u reguliranju i upravljanju prometom na promatranoj mreži. Zbog velikog značaja neravnomjernosti protoka vozila, za praktične odluke u procesu planiranja cestovnih prometnica, još od ranih faza razvoja motorizacije, naponi stručnjaka bili su usmjereni ka što boljem upoznavanju sa zakonitostima vremenske neravnomjernosti protoka vozila. Na današnjem nivou razvijenosti teorije prometnog toka definirane su opće zakonitosti vremenske neravnomjernosti protoka vozila. Saznanja tih zakonitosti su iskorištena u definiranju odgovarajućih kriterija koji se praktično koriste u planiranju i projektiranju mreže, kao i u eksploataciji mreže. Za potrebe prakse od posebnog su značaja karakteristike vremenske neravnomjernosti protoka vozila, koje su u određenoj mjeri povezane sa cikličnostima u nastojanju zahtjeva za prijevozom ljudi i dobara. [1]

Zakonitosti vremenske neravnomjernosti protoka vozila sa ovog stajališta iskazuju se kroz:

1. satnu neravnomjernost u tijeku jednog dana (24 sata),
2. satnu neravnomjernost u tijeku cijele godine (8760 sati),
3. dnevnu neravnomjernost u tijeku tjedna (7 dana),
4. dnevnu neravnomjernost u tijeku mjeseca,
5. dnevnu neravnomjernost u tijeku cijele godine,
6. mjesečnu neravnomjernost u tijeku cijele godine i

7. neravnomjernost protoka po manjim vremenskim jedinicama od jednog sata u okviru vršnog sata.

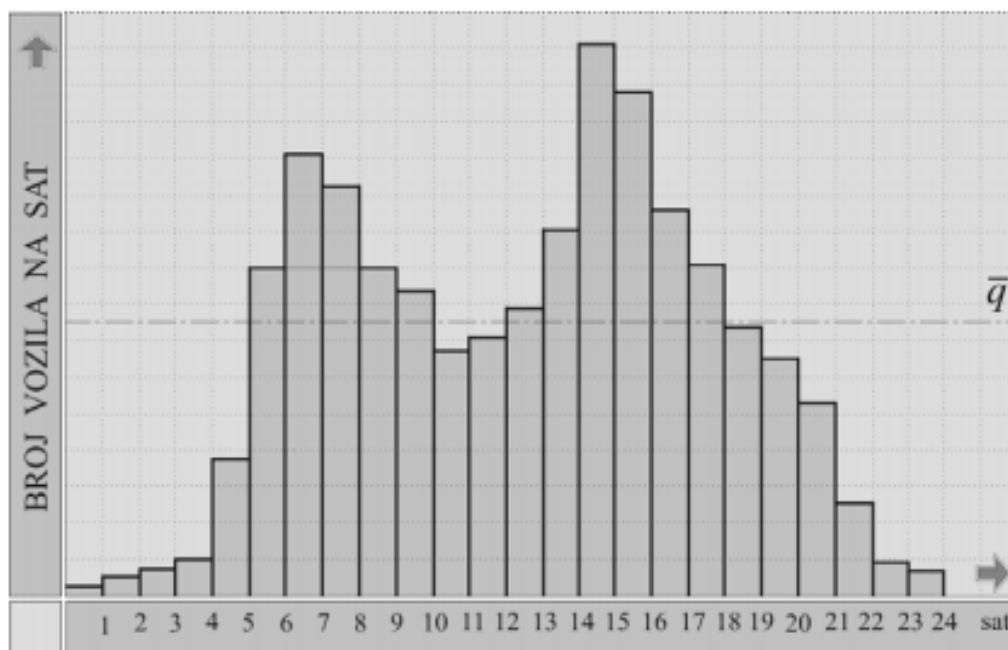
3.6.1. SATNA NERAVNOMJETNOST POTOKA VOZILA U PERIODU JEDNOG DANA

Satna neravnomjernost protoka vozila u periodu jednog dana predstavlja variranje protoka po pojedinim satovima u periodu cijelog dana, tj. u periodu 24 sata. Ova neravnomjernost se iskazuje odnosom između protoka u pojedinim satima i srednjeg satnog protoka u periodu cijelog dana. [1]

$$V_c = \frac{1}{2} V_{sl}$$

$$\bar{q} = \frac{\sum_{i=1}^{24} q_i}{24}, \quad \text{tada je } f_{ai} = \frac{24q_i}{\sum_{i=1}^{24} q_i}$$

Tipična slika raspodjele satnih protoka vozila u periodu dana prikazana je u sljedećem prilogu.



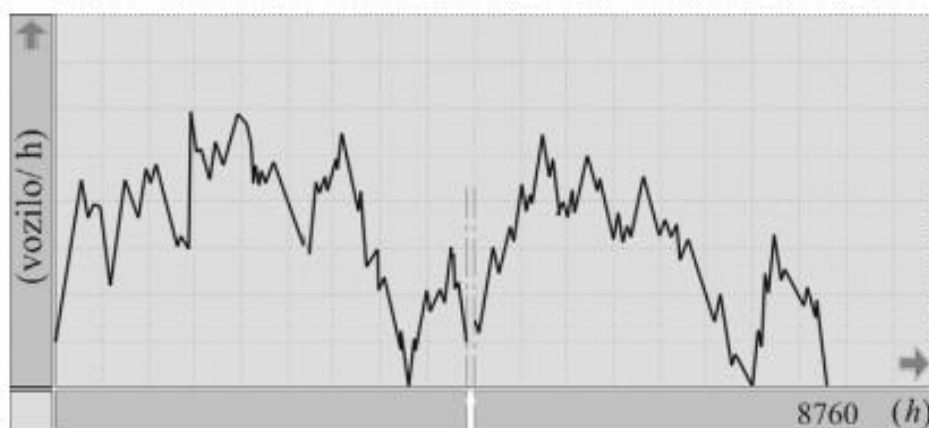
Slika 11 Raspodjele satnih protoka vozila u periodu dana

Izvor: Dadić, I., Kos, G., Ševrović, M.: Teorija prometnih tokova 2014, Zagreb, 2014

Za praktične odluke značajne su maksimalne i minimalne vrijednosti faktora neravnomjernosti (f_{ai}) i brojna zastupljenost sati sa ovim vrijednostima faktora. Zato se po ovoj karakteristici u principu razlikuju tokovi obzirom na vrijeme promatranja (radni dan, dan vikenda, zimski dan, ljetni dan i sl.) i obzirom na prostor, tj. obzirom na funkciju puta kome pripada promatrana dionica (izvangradski put, prigradski put, gradska prometnica i sl.). [1]

3.6.2. SATNA NERAVNOMJERNOST POTOKA VOZILA U PERIODU CIJELE GODINE

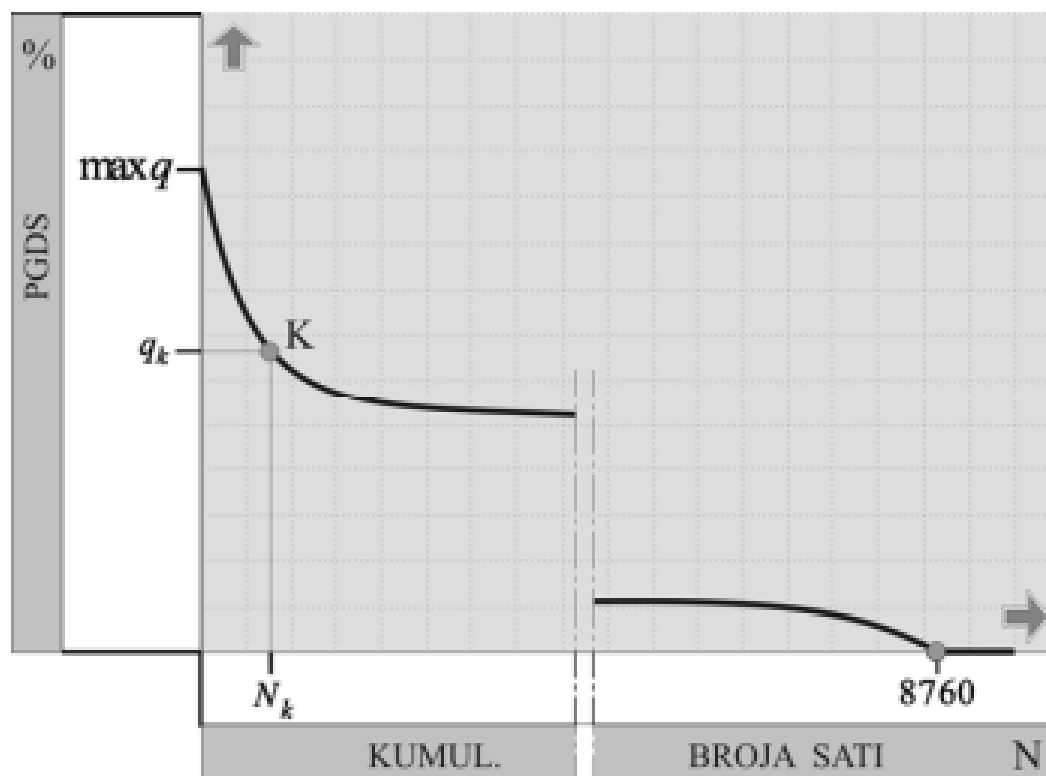
Satna neravnomjernost protoka u periodu cijele godine predstavlja variranje protoka vozila po pojedinim satovima u tijeku cijele godine, tj. u tijeku 8.760 sati. Uočavanjem zakonitosti variranje satnih protoka u periodu cijele godine predstavljalo je osnovu kod uspostavljanja prvih kriterija pri definiranju mjerodavno satnog protoka vozila za dimenzioniranje poprečnih profila prometnica. Početna saznanja o zakonitostima variranja satnog protoka u tijeku svih 8760 sati u godini, na osnovu kojih je iniciran kriterij 30-og sata kao mjerodavni protok ostvarene su u SAD u razdoblju između 1941. i 1945. godine. Potpunija saznanja o zakonitosti variranja satnih protoka u periodu svih 8760 sati u godini praktično su ostvarena 1950. godine u SAD. Ova saznanja su nastala nakon uvođenja automatskih brojača prometa na putnoj mreži pomoću kojih je izvršeno i neprekidno brojanje prometa u svih 8760 sati na putnoj mreži. [1]



Slika 12 Satni protoci na određenoj dionici u periodu godine po kronološkim redoslijedu

Izvor: Dadić, I., Kos, G., Ševrović, M.: Teorija prometnih tokova 2014, Zagreb, 2014

Karakteristika vremenske neravnomjernosti satnih protoka vozila u tijeku 8760 sati u godini iskazuje se dijagramom svrstanih po veličini satnih protoka vozila u svih 8760 sati na dionici prometnice. Praktični rezultati prvih brojanja prometa u svim satima u periodu godine pokazali su da dijagrami satnih protoka vozila svrstanih po veličini na svim prometnicama imaju u osnovi isti oblik. [1]



Slika 13 Satni protok vozila u godini dana svrstanih po veličini (kumulativno)

Izvor: Dadić, I., Kos, G., Ševrović, M.: Teorija prometnih tokova 2014, Zagreb, 2014

- K** koljeno dijagrama
- q k** relativni satni protok izražen u % od PGDS u kome se javlja koljeno dijagrama
- N k** ukupan broj satova godišnje u kojima je protok veći ili jednak sa protokom (q_k) koji odgovara koljenu
- max q** relativna vrijednost najvećeg ostvarenog protoka izraženog u % od PGDS-a

Nakon prvih brojanja satnih protoka u tijeku cijele godine konstatirano je da pored istog općeg oblika dijagrama, svrstanih po veličini satnih protoka vozila u svih 8760 sati, za sve ceste približno istog karaktera i značaja u prometnom mreži, postoji značajna bliskost još i u sljedećem:

- u položaju koljena dijagrama (simbol - K)
- u relativnoj veličini satnog protoka u koljenu, izraženoj u postotku od PGDS - a (simbol - q k) i
- u ukupnom broju satova godišnje u kojima je protok veći ili jednak sa protokom (q k), koji odgovara koljenu dijagrama (simbol - N k).

Posebno značajno iz prvih saznanja bilo je da se položaj koljena u dijagramu, svrstanih satnih protoka vozila u svih 8760 sati, nalazi u približno istim koordinatama koje okvirno iznose:

$$N_k=30 \text{ i } q_k=(14 \text{ do } 16)\%PGDP$$

Ova saznanja, koja datiraju od 1941. godine u nedostatku prikladnijih mjerila, poslužila su za obrazloženje prvog kriterija o mjerodavnom satnom protoku vozila za dimenzioniranje poprečnog profila prometnica, poznatog pod nazivom kriterij “30-og sata”, koji je kvantitativno iznosio : $q_{30} = (0,14 \text{ do } 0,16) PGDP$ (60) 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. Treba istaknuti da je poslije 1950. godine u većem broju zemalja, a prije svega u Americi, dosta eminentnih institucija i stručnjaka tvrdilo da dimenzioniranje kapaciteta prometnice prema 30-om satu dovodi do optimalnog odnosa između efekata u eksploataciji i troškova uloženi u prometnicu . Promatranjem oblika dijagrama svrstanih satnih protoka vozila u periodu svih 8760 sati godišnje u dužem nizu godina, sa porastom motorizacije i cestovnog motornog prometa, uočene su određene zakonitosti u promjeni oblika dijagrama. Promjene se uočavaju, prije svega u premještanju relativnog položaja koljena u dijagramu svrstanih satnih protoka. Naime, sa porastom apsolutnih vrijednosti protoka vozila (satno, dnevno,

mjesečno, godišnje) na dijagramu svih satnih protoka svrstanih po veličini u 8760 sati uočavaju se slijedeće promjene: [1]

- u povećanju ukupnog broja sati godišnje u kojima je protok veći ili jednak sa protokom u točki kolona qk. Naime, N_k uzima znatno veće vrijednosti od 30,
- u relativnom smanjenju satnog protoka qk koji odgovara koljenu dijagrama izraženog u postotku od PGDP-a. Naime, relativna vrijednost protoka qk u odnosu na prosječni dnevni promet postaje sve manja, tj. $q_k < 0,14 \text{ PGDP}$,
- u relativnom smanjenju najvećih satnih protoka izraženih kao $\max q$ u % od PGDPa.

Uočavanjem tendencija u mijenjanju položaja koljena na dijagramu svrstanih satnih protoka mijenjali su se i globalni kriteriji o mjerodavnom satnom protoku. Tako su nakon kriterija “30- og sata” uspostavljeni i kriteriji: “50-og sata”, “80-og sata”, “100-og sata”, “150-og sata” i “200- og sata”. Ovaj zadnji, tzv. protok 200-og sata i danas ima primjenu u mnogim razvijenim zemljama. Vremenska neravnomjernost satnih protoka vozila u tijeku 8760 sati u godini, ovisna je pored ukupnog protoka vozila u godini ili prosječnog dnevnog protoka još i o funkciji promatrane prometne dionice u mreži cestovnih prometnica (izvangradska mreža, prigradska mreža, gradska mreža, magistralni izvangradski put, lokalni izvangradski put, turistički izvangradski put i sl.). Svaka od kategorija mreže (izvangradske, prigradske, gradske i dr.), pri određenoj veličini ukupnog godišnjeg ili prosječnog dnevnog prometa, ima svoj karakterističan dijagram svrstanih satnih protoka vozila. Znači da je poznavanjem općih zakonitosti satne neravnomjernosti protoka vozila u godini moguće donositi racionalnije odluke u planiranju i projektiranju prometnica, a prije svega po pitanjima dimenzioniranja poprečnih profila.

Značajno je istaknuti da su na današnjoj razini znanja iz teorije prometnog toka, planiranja prometa i ekonomike prometa, razvijeni novi postupci za utvrđivanje realnih vrijednosti mjerodavnog protoka vozila. Mjerodavni protoci utvrđeni novim postupkom, koji je zasnovan na analizi troškova građenja i troškova eksploatacije vozila (C/B analize), suštinski predstavljaju takve vrijednosti pri kojima se uspostavlja optimalna ravnoteža između uložених sredstava za gradnju određenog puta i efekata koje taj put pruža u periodu eksploatacije (obično 20 godina). Može se sa sigurnošću tvrditi da na današnjoj razini poznavanja najznačajnijih faktora od kojih zavisi mjerodavni protok vozila, a na osnovu izvršenih ispitivanja realna vrijednost mjerodavnog protoka se nalazi u granicama između

6,5% i 8% od prosječnog godišnjeg dnevnog prometa (PGDP), tj. $q_m = (0,065 \text{ do } 0,08)PGDP$. Ovo ne važi za izrazito turističke putove. [1]

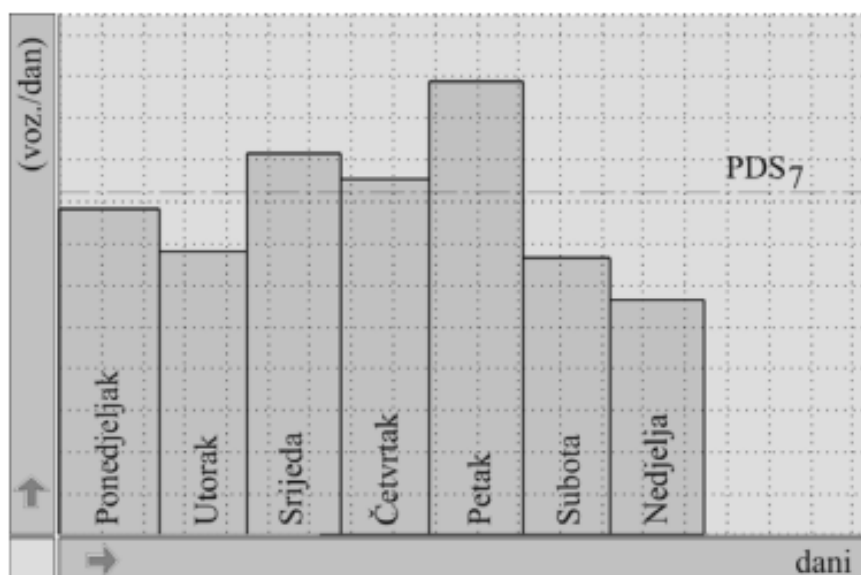
3.6.3. DNEVNA NERAVNOMJERNOST POTOKA VOZILA U PERIODU SEDAM DANA

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. [1]

$$F_{ci} = \frac{D_{pi}}{PDS_7} \quad F_{ci} \neq 1, \quad i=1,2,\dots,7$$

$$PDP_7 = \frac{\sum_{i=1}^7 D_{pi}}{7}$$

$$f_{ci} = \frac{7 \cdot D_{pi}}{\sum_{i=1}^7 D_{pi}}$$

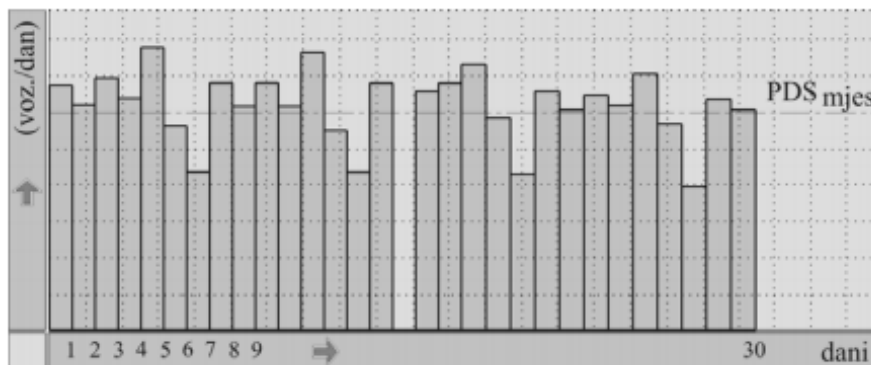


Slika 14 Dnevna neravnomjernost u periodu od 7 dana

Izvor: Dadić, I., Kos, G., Ševrović, M.: Teorija prometnih tokova 2014, Zagreb, 2014

3.6.4. DNEVNA NERAVNOMJETNOST POTOKA 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. [1]



Slika 15 Dnevna neavnomjernost protoka vozila u periodu jednog mjeseca

Izvor: Dadić, I., Kos, G., Ševrović, M.: Teorija prometnih tokova 2014, Zagreb, 2014

$$F_{di} = \frac{DS_i}{PDS_i} \quad f_{di} \neq 1, \quad i=1,2,\dots,30,31$$

$$PDP_i = \frac{\sum_{i=1}^n DP_i}{n}, \quad n=30,31 \text{ ili } 28 \text{ a ponekad } 29$$

$$F_{di} = \frac{n \cdot DP_i}{\sum_{i=1}^n DP_i}$$

Prema karakteristici dnevne neravnomjernosti protoka vozila u periodu jednog mjeseca moguće je prepoznavati pojedine mjesece kao npr. ljetne u odnosu na zimske. Također je u određenoj mreži, preko ove karakteristike neravnomjernosti protoka, moguće prepoznati i karakter tokova na promatranom pravcu.

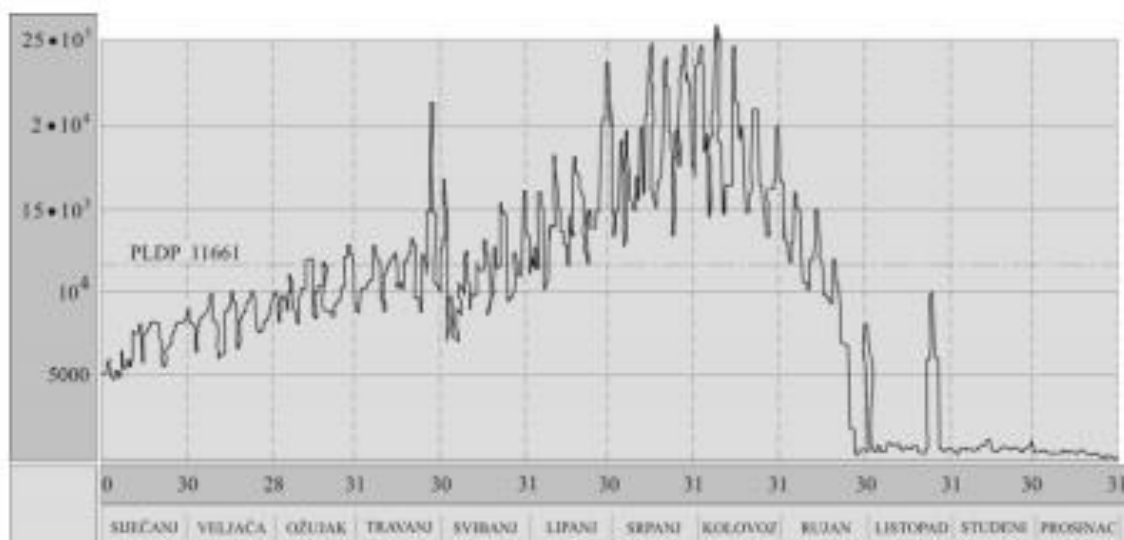
3.6.5. DNEVNA NERAVNOMJERNOST POTOKA VOZILA U PERIODU JEDNE GODINE

Dnevna neravnomjernost protoka vozila u periodu jedne godine predstavlja variranje veličineprometnog toka po pojedinim danima u periodu godine. Iskazuje se odnosom između protokavozila u pojedinim danima i prosječnog godišnjeg dnevnog prometa [1]

$$F_{ei} = \frac{DP_i}{PGDP} \quad f_{ei} \neq 1, \quad i=1,2,3,\dots,365,366$$

$$PGDP = \frac{\sum_{i=1}^N DP_i}{N}, \quad N=365$$

$$f_{ei} = \frac{N \cdot DP_i}{\sum_{i=1}^N DP_i}$$



Slika 16 Dnevna neravnomjernost protoka vozila u periodu godine

Izvor: Dadić, I., Kos, G., Ševrović, M.: Teorija prometnih tokova 2014, Zagreb, 2014

3.6.6. MJESEČNA NERAVNOMJERNOST POTOKA VOZILA U PERIODU GODINE

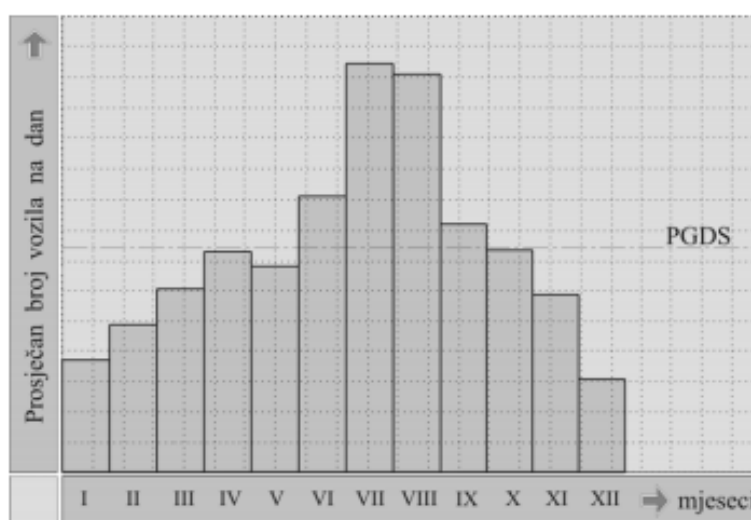
Mjesečna neravnomjernost protoka vozila u periodu godine predstavlja variranje prosječnog dnevnog prometa po mjesecima u periodu godine, tj. u periodu od 12 mjeseci. Ona se iskazuje odnosom između prosječnog dnevnog prometnog toka po mjesecima i prosječnog godišnjeg dnevnog prometa. [1]

$$ffi = \frac{PDPI}{PGDP} \quad ffi \neq 1, \quad i=1,2,3,\dots,12$$

$$PGDP = \frac{\sum_{i=1}^{12} PDPI}{12}$$

$$Ffi = \frac{12PDPI}{\sum_{i=1}^{12} PDPI}$$

Tipična slika ove neravnomjernosti protoka na izvangradskim cestama dana je kroz sljedeći grafički prikaz:



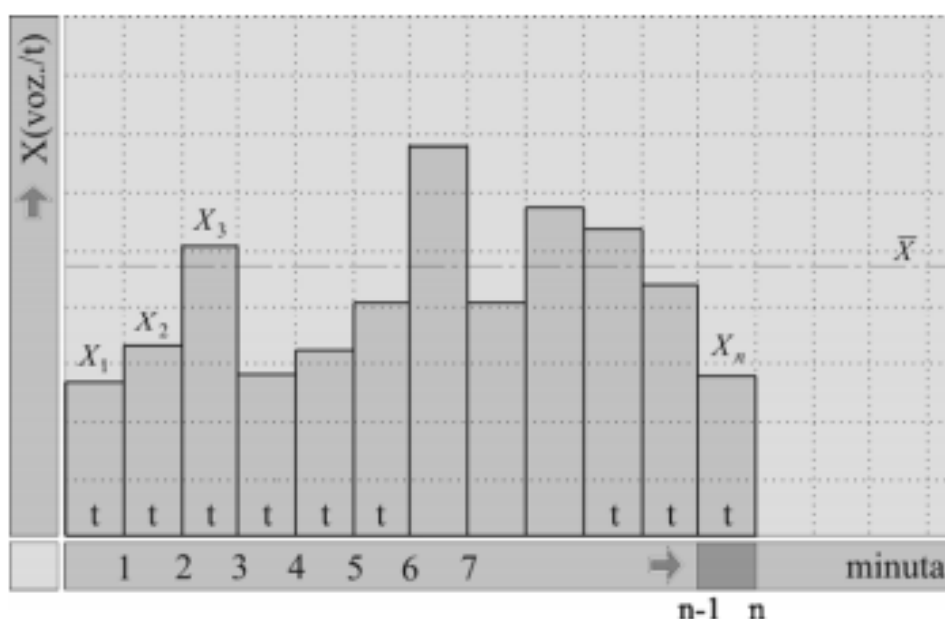
Slika 17 Mjesečna neravnomjernost protoka vozila u periodu godine

Izvor: Dadić, I., Kos, G., Ševrović, M.: Teorija prometnih tokova 2014, Zagreb, 2014

Karakteristika mjesečne vremenske neravnomjernosti protoka vozila je značajan indikator za prepoznavanje karaktera prometnih tokova i funkcije promatrane prometnice u mreži.

3.6.7. 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. Neravnomjernost protoka x (voz/t) po vremenskim jedinicama t , koje su manje od jednog sata u periodu (vršnog) sata, izražava se kroz sljedeći koeficijent: [1]



Slika 18 Neravnomjernosti protoka po manjim vremenskim jedinicama od jednog sata

Izvor: Dadić, I., Kos, G., Ševrović, M.: Teorija prometnih tokova 2014, Zagreb, 2014

$$f(h)_i = \frac{X_i}{\bar{X}}, \text{ s obzirom da je } \bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$$

$$f(h)_i = \frac{n \cdot X_i}{\sum_{i=1}^n X_i}$$

$f(h)_i$ koeficijent neravnomjernosti protoka vozila po vremenskim jedinicama $t < 60$ min. u periodu (vršnog) sata

$x_i \left(\frac{\text{voz}}{h} \right)$ protoci vozila po pojedinim vremenskim jedinicama t u periodu (vršnog) sata

$\bar{x} \left(\frac{\text{voz}}{h} \right)$ srednja vrijednost protoka po jedinici t u periodu (vršnog) sata

$$t(\text{min}) = \frac{60 \text{ min}}{n} \quad n = \text{broj vremenskih jedinica } t \text{ u vršnom satu, } n \cdot t = 60$$

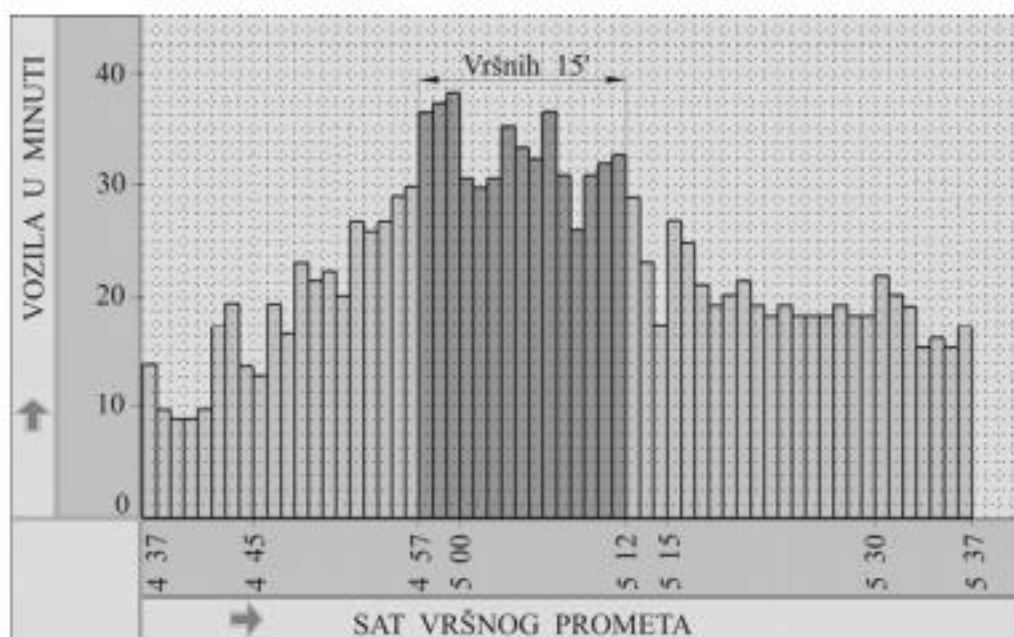
Sa stajališta praktičnog iskazivanja utjecaja ove karakteristike neravnomjernosti protoka na opisivanje uvjeta u prometnom toku, posebnu ulogu ima takozvani faktor vršnog satnog prometa. Faktor vršnog satnog (fVS) prometa izražava se kao odnos protoka u vršnom satu $\sum x$ (voz /h) i ekspaniranog vršnog t = minutnog protoka x_{max} (voz/h) . 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. Naime, tok se mijenja iz minute u minutu po veličini, gustoći, brzini i sastavu, tako da promatranje toka preko vremenske jedinice od jednog sata zapostavlja to stalno pulsiranje karakteristika prometnog toka u vremenu. Za potrebe analize uvjeta u prometnom toku pri višim razinama usluge, odnosno pri relativno malim protocima u odnosu na kapacitet puta, iskazivanje takvih protoka u periodu od jednog sata je dosta gruba mjera, pa je za definiranje razine usluge neophodno poznavati kako je tako mali protok vozila raspoređen po kraćim vremenskim intervalima t u periodu jednog sata $n \cdot t = 1$ sat. Radi toga je u praktičnom uključivanju ove karakteristike prometnih tokova za potrebe analize kapaciteta i nivou usluge, prije svega kod autoputova i signaliziranih raskrižja u nivou, upotrijebljen faktor vršnog satnog prometa. Na primjer, u američkom priručniku HCM-u od 1965. godine pri analizi kapaciteta i nivoa usluge za autoputove faktor vršnog satnog prometa se izražava kao odnos protoka u vršnom satu i 12-erostrukog vršnog 5-to minutnog protoka koji je zabilježen u vršnom satu:

$$FVS(5') = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n \cdot X_{\text{max}}} = \frac{\sum_{i=1}^{12} X_i}{12 \cdot X_{\text{max}}}$$

U HCMU-u se također, pri analizi kapaciteta i razine usluge za signalizirana raskrižja u razini, faktor vršnog prometa izražava kao odnos protoka u vršnom satu i 4- verostrukog 15-to minutnog protoka koji je zabilježen u vršnom satu:

$$fVS(15') = \frac{\sum_{i=1}^m X_i}{m \cdot X_{\text{max}}} = \frac{\sum_{i=1}^4 X_i}{4 \cdot X_{\text{max}}}$$

U svrhu ilustracije na sljedećoj slici izloženi su primjeri tipičnih vrijednosti faktora satnog vršnog prometa: [1]



Slika 19 Vršni promet u tijeku promatranog sata

Izvor: Dadić, I., Kos, G., Ševrović, M.: Teorija prometnih tokova 2014, Zagreb, 2014

4. UTJECAJ PROMETNO-TEHNIČKIH ELEMENATA CESTE NA PROPUSNU MOĆ

U ovom poglavlju navedeni su prometno-tehnički elementi ceste, njihova obilježja i značenje kao i njihovo djelovanje na propusnu moć ceste.

4.1. PROMETNI TRAK

Prometni trak je dio kolničkog traka čija je širina dovoljna za nesmetan promet jednog reda motornih vozila koja se kreću računskom brzinom u jednom smjeru. [4]

Ukupna širina kolnika sastoji se od jednog, dvaju ili više prometnih trakova te ovisi o njihovoj širini. Broj trakova određuje se prema značenju ceste, gustoći prometa i zahtijevanoj propusnoj moći ceste. Širina prometnog traka ovisi o širini mjerodavnog vozila i bočnom sigurnosnom razmaku između vozila. Razmak ovisi o brzini, što znači da će širina prometnog traka biti veća što je veća brzina prometnog toka. Prema hrvatskim tehničkim propisima, širina prometnog traka se određuje na temelju projektne brzine, razreda ceste i konfiguracije terena. [5]

Tablica 5 Vrijednosti faktora $F(\check{s})$ kojim se iskazuje kvantitativni utjecaj širine prometne trake na brzinu toka pri raznim razinama usluge

Tipične širine prometne trake $\check{S}$ (m)	Vrijednost faktora $F(\check{s})$	
	Za NU „A“ do „D“	Za NU „E“
3,75	1,00	1,00
3,50	0,98	1,00
3,25	0,93	0,95
3,00	0,87	0,90
2,75	0,75	0,80
2,50	0,70	0,75
2,25	0,65	0,70

Prometni trak je jedan od osnovnih elemenata poprečnog presjeka. Ukupna širina kolnika sastoji se od jednog, dvaju ili više prometnih trakova i ovisi o njihovoj širini. Broj trakova određuje se prema značenju ceste, gustoći prometa i zahtijevanoj propusnoj moći ceste.

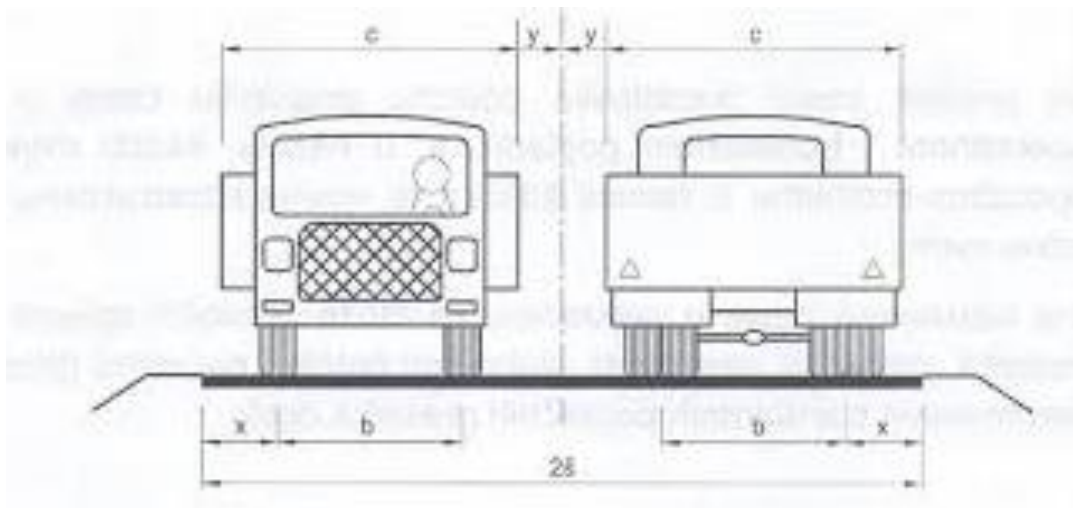
Širina prometnog traka š za vozila u kretanju:

- a) $\bar{s} = b + 2x$ jednotračni kolnik,
 b) $\bar{s} = \frac{c+b}{2} + x + y$ dvotračni/dvosmjerni kolnik

pri čemu je: $x = y = f(V_r) \ 0,5 + 0,005V_r$

x, y – sigurnosni razmak od ruba odnosno od drugog vozila

b, c – geometrijske veličine za mjerodavna vozila



Slika 20 Širina prometnog traka

Izvor: Legac, I.: Cestovne prometnice I, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2006

Širina prometnog toka ovisi o širini mjerodavnog vozila i bočnom sigurnosnom razmaku između vozila. Taj razmak ovisi o brzini, što znači da će širina prometnog traka biti veća što je veća brzina prometnog toka. Prema hrvatskim tehničkim propisima, širina prometnog traka određuje se na temelju projektne brzine, razreda ceste i konfiguracije terena.

Tablica 5 Širina prometnog traka za razne brzine V_p i terenske prilike

V_p (km/h)	≥ 120	100	90	80	70	60	50	40
$\bar{s}$ (m)	3,75	3,75	3,50	3,25	3,00	3,00	3,00 (2,75)	2,75 (2,50)

Izvor: Legac, I.: Cestovne prometnice I, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2006

Jednotračni kolnici primjenjuju se iznimno pri velikoj gustoći prometa te na kraćim pristupnim cestama i putovima odnosno na rampama raskrižja izvan razina. Na duljim potezima, posebno pri dvosmjernom prometu, potrebno je predvidjeti mimoilaznice na razmacima dobre međusobne preglednosti. Dvotračni kolnici primjenjuju se za dvosmjernan

i jednosmjernan promet. Radi pretjecanja, na dvosmjernim je kolnicima potrebno osigurati dovoljne duljine preglednosti na što većem potezu trase. Troračni kolnici se kao jednosmjerni primjenjuju na autocestama ili prigradskim prometnicama. Kolnike s više od četiri traka uvijek treba predviđati s razdjelnim međupojasom. [5]

4.2 RUBNI TRAK

Rubni trak je učvršćeni dio cestovnog presjeka između bankine kolnika i kolnika ili između kolnika i staze za bicikle, mopede ili pješake.

Tablica 6 Odnos širine rubnog i prometnog traka

Prometni trak (m)	Rubni trak (m)
3,75	0,50
3,50	0,35
3,25-3,00	0,30
2,75	0,20

Izvor: Legac, I.: Cestovne prometnice I, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2006

Rubni trak može biti izveden kao posebni element ili kao proširenje kolničke konstrukcije, uz označavanje rubnom crtom. Širine rubnih crta iznose:

- za računske brzine $V_r > 100$ km/h 0,15 m
- za računske brzine $V_r \leq 100$ km/h 0,10 m

Rubna crta između prometnog i zaustavnog traka široka je 0,20 m.

4.3 BANKINA, BERMA

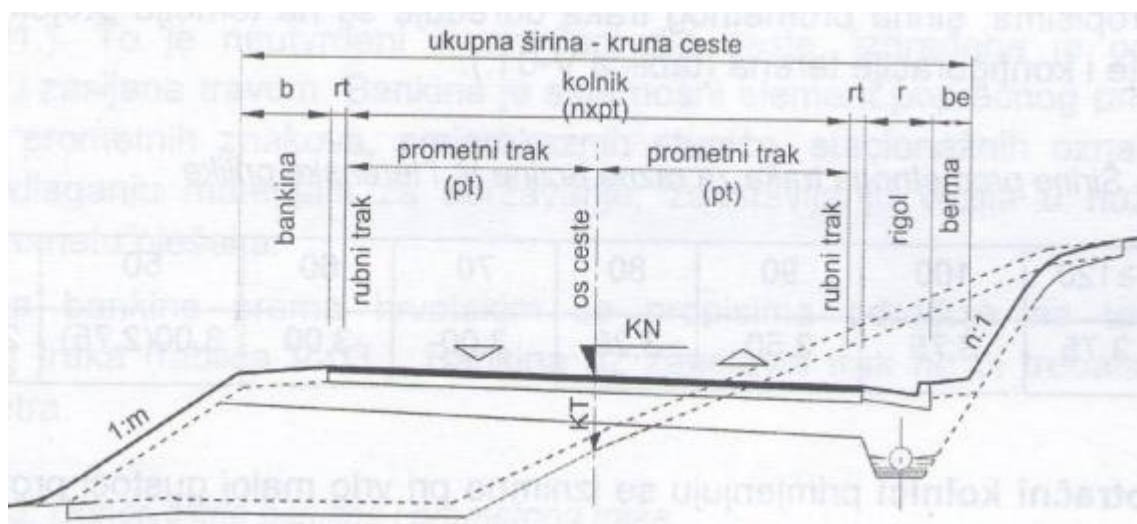
Neposredno uz rubni trak, na dijelu ceste u nasipu ili zasijeku, nalazi se bankina. To je neutvrđeni ili utvrđeni dio ceste, izgrađena je od zemljanog materijala i zasijana travom. Bankina je sigurnosni element poprečnog presjeka i služi smještaju prometnih znakova, smjerokaznih stupića, stacionarnih oznaka, zaštitnih ograda, odlaganju materijala za održavanje, zaustavljanju vozila u nuždi, a samo iznimno prometu pješaka. Širina bankine prema hrvatskim se propisima određuje na temelju širine prometnog traka. Bankina uz zaustavni trak ne bi trebala biti šira od jednog metra.

Tablica 7 Odnos širine prometnog traka i širine bankine

Širina prometnog traka (m)	Širina bankine (m)
3,75	1,50
3,50	
3,25	1,20
3,00	1,00
2,75	

Izvor: Legac, I.: Cestovne prometnice I, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2006

Objekte bankine se na nasipu izvode s nagibom na vanjsku stranu. Viša bankina ima nagib od 4%, a niža kao kolnik, ali ne manje od 4% ako je to stabilizirana bankina, odnosno 7% ako je bankina nestabilizirana. U usjecima se bankina izvodi kao berma, neposredno uz rigol. Nagib berme u iznosu 5-6% usmjeren je prema rigolu.



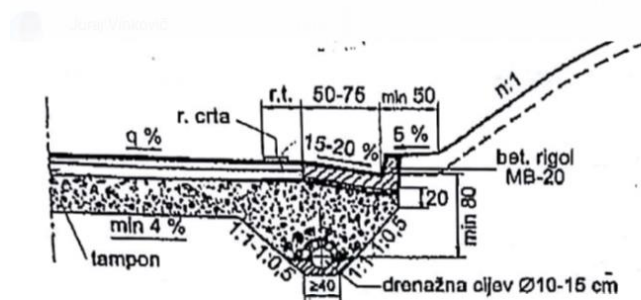
Slika 21 Osnovni elementi poprečnog presjeka ceste u zavoju

Izvor: Legac, I.: Cestovne prometnice I, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2006

4.4 RIGOL

Rigoli se izvode uz rub kolnika i služe za odvodnju i preuzimanje površinske vode. Postoje trokutasti, žlijebasti ili segmentni rigoli. Po gradivu i izvedbi rigoli mogu biti od betona, taraca, konkrelita itd. Širina trokutastih rigola u rasponu je od 0,60-0,90 m. Preporučeni nagib rigola je 10-15%.

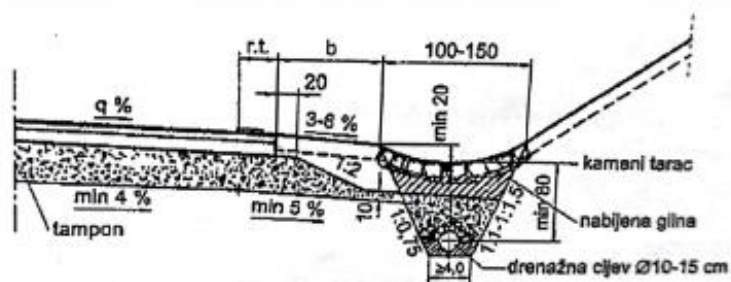
a) trokutasti od betona



Slika 22 Vrsta rigola - trokutasti

Izvor: Legac, I.: Cestovne prometnice I, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2006

b) segmentni s taracom



Slika 23 Vrsta rigola - segmentni

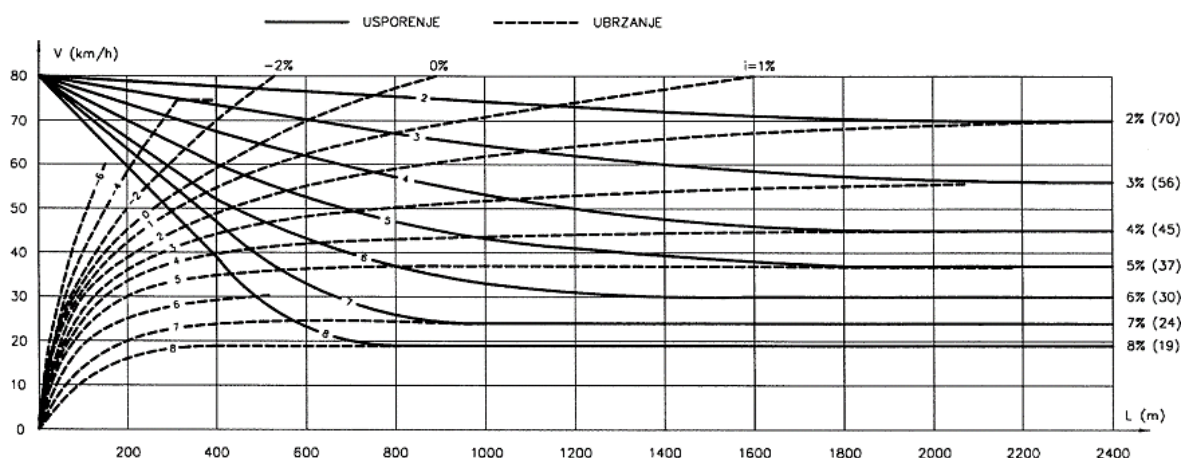
Izvor: Legac, I.: Cestovne prometnice I, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2006

Trokutasti rigoli koriste se na svim javnim cestama izvan naselja (osim na autocestama i brzim cestama) u usjecima i zasjecima te na cestama u naseljima, u kombinaciji s uobičajenim izdignutim rubnjakom. Žljebasti i segmentni rigoli primjenjuju se uz pješačke i biciklističke staze, na parkiralištima, uz razdjelni pojas, u parkovima itd.

4.5 TRAK ZA SPORU VOŽNJU

Na većim usponima teža vozila gube na brzini i ometaju ostali promet. Zbog smanjenja brzine tih vozila, ako nije omogućeno pretjecanje, moraju i ostala vozila usporiti brzinu, čime se smanjuje sigurnost i propusna moć ceste. Stoga se uz kolnik na području većih ili duljih uspona na autocestama i cestama 1.i 2.razreda izvode posebni trakovi za

sporu vožnju. Širina traka je 3,0-3,25 metara, a poprečni nagib je jednak kao i prometnim znakovima.



Slika 24 Odnos brzine sporoga vozila i duljine uzdužnog nagiba

Izvor: Legac, I.: Cestovne prometnice I, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2006

Kritična brzina za teretna vozila iznosi približno 50 km/h i početak odnosno završetak traka za spora vozila mora biti na mjestu dosezanja te kritične brzine. Za razliku od standardnog izmicanja sporih vozila na dodatni desni trak, u današnje doba sporija vozila zadržavaju svoju putanju, a brža vozila ih uobičajeno pretječu s lijeve strane. [6]

4.6 TRAK ZA ZAUSTAVLJANJE

Na autocestama, a prema potrebi i na cestama 1. razreda, za oba smjera vožnje treba predvidjeti trakove za zaustavljanje vozila zbog kvara, radi brisanja vjetrobrana, ili zbog slabosti vozača. Trakovi za zaustavljanje vozila u pravilu su neprekinuti, osim u tunelima ili na dugim mostovima. Na otvorenim se potezima ti trakovi mogu prekidati samo ako za to postoje čvrsti ekonomsko-tehnički razlozi. Širina traka za zaustavljanje je 2,50 m (iznimno 1,75 m na brzim cestama ili cestama 1. razreda s četiri prometna traka), a izvodi se neposredno uz rubni trak ili uz rubnu crtu s desne strane kolnika. Poprečni nagib traka za zaustavljanje je istog smjera kao kolnik. Trak uz viši rub kolnika ima minimalni poprečni nagib kao kolnik (minimalni $q=2,5\%$). U posebnim slučajevima zaustavni trakovi (npr. u krajevima s jakim snijegom) mogu biti izvedeni i sa suprotnim nagibom od kolnika i rubnih trakova, a veličina nagiba iznosi 2,5% prema bankini. [6]

4.7 RAZDJELNI POJAS

Na autocestama i cestama s dva kolnika predviđa se razdjelni pojas. Osnovna svrha razdjelnog pojasa je razdvajanje nasuprotnih prometnih tokova. Sadrži razdjelne ograde, uređaj za odvodnju, kao i stupove rasvjete i signalizaciju. Širina pojasa na autocestama u nizinskom terenu je 4,0m, a u ostalim slučajevima 3,0m. Na cestama 1.razreda razdjelni trak može biti 2,0m.

4.8 BIKIKLISTIČKE STAZE

U profilu ceste biciklističke staze se odvajaju od kolnika visinski ili iznimno razdjelnim trakom. Grade se na cestama za mješoviti promet ako se potreba za građenjem ustanovi prometnim istraživanjem. Za svaki smjer vožnje mora postojati minimalno jedan prometni trak. Slobodna visina gabarita biciklističke staze je 2,5m. Biciklističke staze u profilu cesta namijenjenih samo motornom prometu su zabranjene.

4.9 PJEŠAČKE STAZE

Na cestama s dopuštenim pješačkim prometom, odgovarajućim proširenjem i učvršćenjem bankina treba omogućiti siguran promet. Tamo gdje je jači pješački promet treba ispitati potrebu za izradbom zasebnog pješačkog hodnika ili staze, odijeljeno od kolnika visinski, iznimno rubnim trakom, a najbolje je rješenje pješačku stazu odvojiti razdjelnim pojasom. Izradba pješačke staze nije dopuštena u profilu cesta namijenjenih motornom prometu.

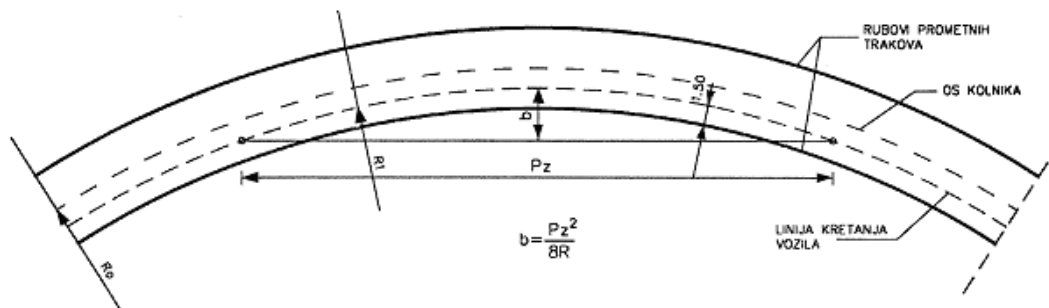
4.10 HORIZONTALNA I VERTIKALNA PREGLEDNOST

Dužinom cijele trase potrebno je osigurati duljinu preglednosti koja bi odgovarala duljini zaustavljanja pred nepomičnom zaprekom. Iz potrebe tih uvjeta jako važni elementi sigurnosti su horizontalna P1 (m) i vertikalna preglednost P2 (m).

4.10.1. HORIZONTALNA PREGLEDNOST

Tražena preglednost u horizontalnom smislu osigurava se uklanjanjem svih prepreka na unutrašnjoj strani horizontalnog zavoja odnosno osiguranjem potrebne širine preglednosti. Širina preglednosti računa se od putanje oka vozača (koja je udaljena 1,5 m

od ruba prometnog traka). [pravilnik o osnovnim uvjetima]. Horizontalna preglednost ovisi o polumjeru zavoja i o zaprekama koje se nalaze uz slobodni profil ceste.



Slika 25 Elementi horizontalne preglednosti

Izvor: https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2001_12_110_1829.html

Gdje je:

b (m) - širina preglednosti

Pz (m) – tražena dužina preglednosti

R (m) - polumjer zavoja ($R_1 \gg R_0$)

Ukoliko na nekom dijelu ceste iz bilo kojeg razloga nije osigurana tražena zaustavna preglednost Pz prema tablici i grafikonu za mjerodavnu brzinu, mora se ograničiti brzina na onu veličinu za koju je osigurana zaustavna preglednost.

Tablica 8 Ovisnost širine preglednosti b (m) o Vrž Rmin i Pz

Vr (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
R _{min} (m)	25	45	75	120	175	250	350	450	600	750	850
Pz (m)	25	35	50	70	90	120	150	190	230	280	340
b (m)	2.9	3.6	4.3	5.1	6.0	7.1	8.3	9.9	11.3	13.3	17.0

Izvor: https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2001_12_110_1829.html

Relativno velike širine berme preglednosti upućuju projektanta na pravilan odabir tlocrtnih elemenata trase, odnosno na izbjegavanje najmanjih polumjera na mjestima usjeka.

U pogledu osiguranja pretjecajne preglednosti treba ostvarena preglednost kod dvosmjernih cesta biti jednaka ili veća od pretjecajne preglednosti na:

- 25% dužine ceste kod ceste 1. i 2. kategorije
- 15% dužine ceste kod ostalih cesta

Utvrđivanje preglednosti (zaustavne i pretjecajne) provodi se za svaki smjer vožnje zasebno. [5]

4.10.2. VERTIKALNA PREGLEDNOST

Vertikalna preglednost u vertikalnom smislu ovisna je o izboru polumjera zakrivljenosti vertikalnih zavoja. Vertikalna preglednost ovisi o polumjeru vertikalnog zaobljenja kod konveksnog prijeloma nivelete, a dužina se izračunava vezano za dužinu zaustavnog puta. [5]

Tablica 9 Visine dijelova zapreke h_v (cm) i h_1 (cm) za razne brzine V_r (km/h)

V_r (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
h_v (cm)	5	5	5	5	5	5	5	5	7	8	10
h_1 (cm)	25	25	25	25	25	25	25	25	23	22	20

Izvor: https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2001_12_110_1829.html

Temeljem 4. poglavlja, u Pravilniku o osnovnim uvjetima kojima javne ceste izvan naselja i njihovi elementi moraju udovoljavati sa stajališta sigurnosti prometa, utvrđene su najmanje vrijednosti vertikalnih polumjera zakrivljenosti u ovisnosti o mjerodavnoj brzini vozila koji osiguravaju traženu zaustavnu preglednost na cesti uz sljedeće pretpostavke:

$$R_{\min} = \frac{P_z^2}{2(\sqrt{h_0} + \sqrt{h_1})^2}$$

Gdje je:

$R_{\min}$ (m) - najmanji polumjer konveksnog vertikalnog zaobljenja

P_z (m) - zaustavna preglednost (grafikon 3.2)

h_0 (m) - visina oka vozača (1,0 m)

h_v (m) - vidljivi dio nepomične zapreke (5-10 cm)

h_1 (m) - nevidljivi dio nepomične zapreke (30 cm- h_v)

Vrijednost vidljivog i nevidljivog dijela nepomične zapreke dane su u ovisnosti o mjerodavnoj brzini vozila. [6]

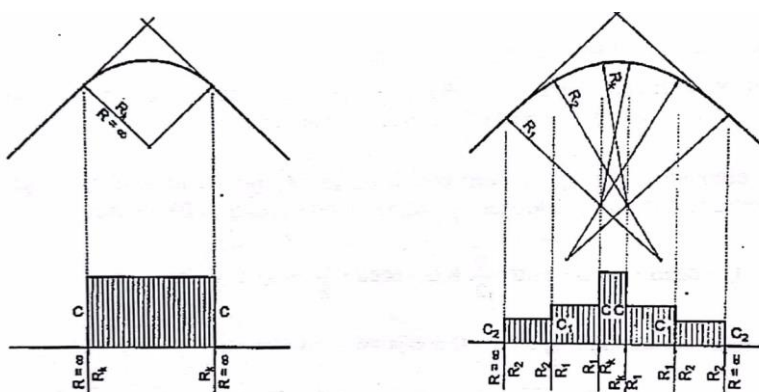
4.11 PRIJELAZNE KRIVULJE I PRIJELAZNE RAMPE

4.12.1 PRIJELAZNE KRIVULJE

Sve brži motorni promet uvjetovao je i potrebu za gradnjom prijelaznih lukova ili prijelaznica budući da bi se neposrednim prolaskom u kružni luk trenutačno pojavilo djelovanje centrifugalne sile koje vozilo i putnici osjećaju kao trzaj ili bočni udar. Da se ta potisna sila smanji, može se ispred središnjeg kružnog luka umetnuti jedan ili više polumjera krivina sve manjeg iznosa. Rezultat takve intervencije očitovat će se u stepenastom porastu bočne sile. Da bi se polučio postupan porast bočne sile, umeće se između pravca i kružnog luka prijelaznica, čija se zakrivljenost mijenja postupno, odnosno na način koji ovisi o odabranoj krivulji. Od mnoštva istraživanih matematičkih krivulja (kubna parabola, apscisna radioda, lemniskata itd.) najprikladnijom se pokazala prijelaznica oblika klotoide ili lučne radiode koji su definirali, neovisno jedan o drugom, Leber 1900. i Cesaro 1901. godine. [6]

a) neposredno

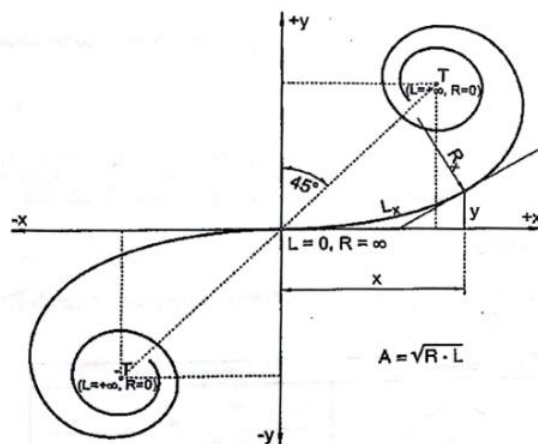
b) postupno smanjenje $R_2 > R_1 > R_k$



Slika 26 Promjena centrifugalne sile C

Izvor: Legac, I.: Cestovne prometnice I, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2006

Klotoida je najpovoljnija prijelaznica. To je krivulja koja iz ishodišta koordinatnog sustava ($R=\infty$) teži prema točki T s polumjerom zakrivljenosti $R = 0$.



Slika 27 Grafički izgled klotoida

Izvor: Legac, I.: Cestovne prometnice I, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2006

Dok se kod kubne parabole zakrivljenost mijenja razmjerno s apscisom, tj. projekcijom duljine parabole na os x, kod klotoida zakrivljenost raste linearno s duljine krivulje.

Jednadžbe klotoida su:

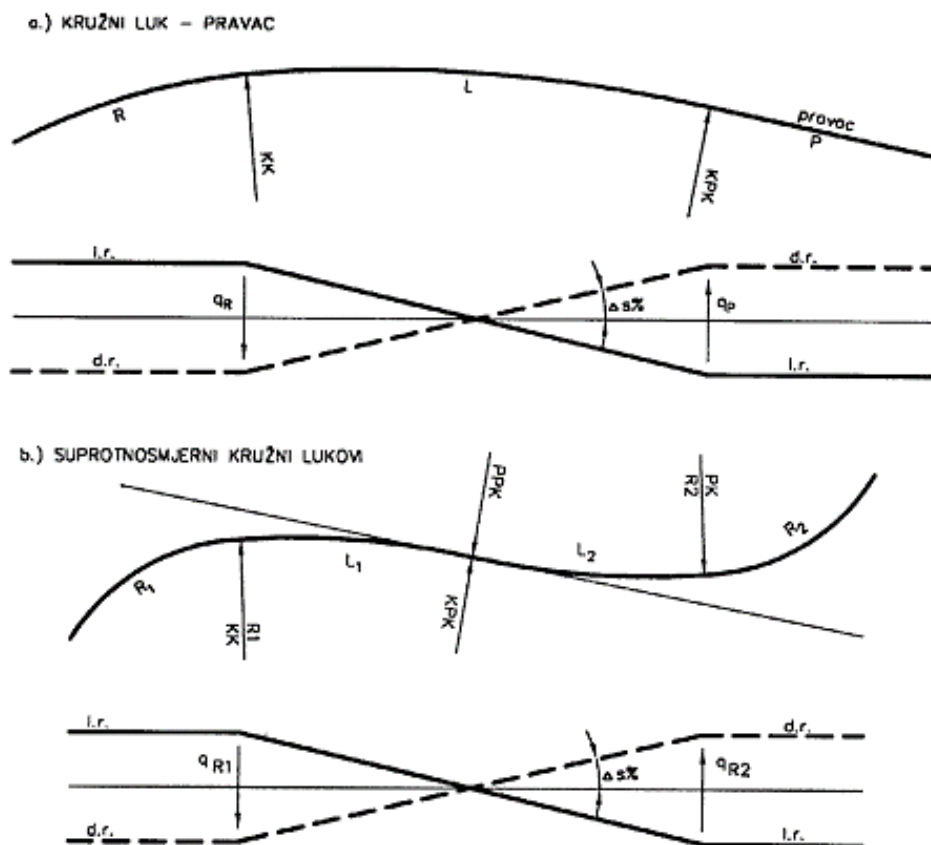
$$x = \int_0^{Lx} \cos \frac{L^2 x}{2A^2} dL_x = \sqrt{\frac{C}{2}} \int_0^{\tau} \frac{\cos \tau}{\sqrt{\tau}} d\tau; \quad y = \int_0^{Lx} \sin \frac{L^2 x}{2A^2} dL_x = \sqrt{\frac{C}{2}} \int_0^{\tau} \frac{\sin \tau}{\sqrt{\tau}} d\tau;$$

gdje je: C - konstanta klotoida ($C=R \cdot L$)

L – lučna duljina klotoida (m)

4.12.3. PRIJELAZNE RAMPE

Prijelazne rampe izvode se na istoj dužini kao i prijelazna krivulja. Na tom dijelu provodi se poprečni nagib u pravcu u poprečni nagib u zavoju (jednostrani). Uzdužni nagib treba biti takav da ne zahtjeva čestu promjenu brzine. Veličina nagiba ograničena je propisima do 10%.



Slika 28 Prikaz potpunog vitoperenja

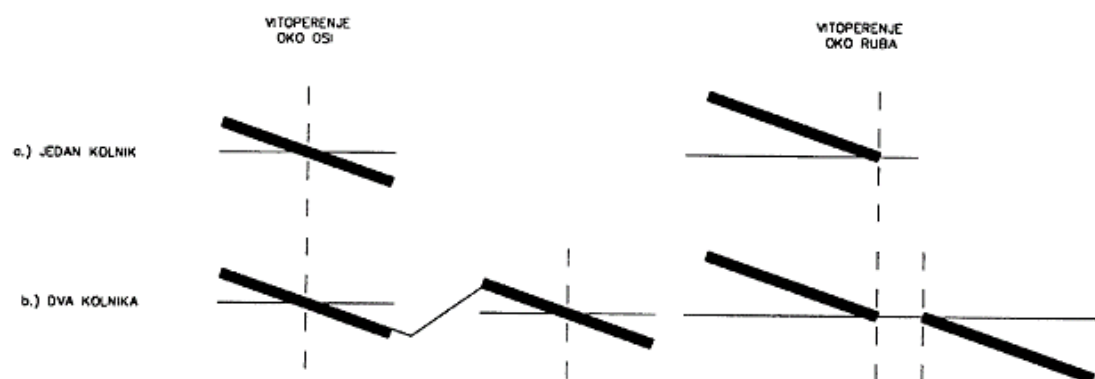
Izvor: https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2001_12_110_1829.html

Kontinuirano mjenjanje poprečnog nagiba kolnika unutar prijelaznice naziva se vitoperenje kolnika. Izgled mjenjanja poprečnih nagiba određen je kosinom vitoperenja.

Nagib kosine vitoperenja Δs (%) predstavlja relativni uzdužni nagib ruba neproširenog kolnika s obzirom na uzdužni nagib nivelete s (%).

Vitoperenje kolnika se izvodi unutar prijelaznice, i to posebno za:

- ceste s dva prometna traka – okretanje kolnika oko osi ili oko nižeg ruba kolnika
- ceste s razdvojenim kolnicima, odnosno autoceste – okretanje kolnika oko osi ili oko ruba razdjelnog pojasa [5]



Slika 29 Uobicajeni položaj osi vitoperenja

Izvor: https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2001_12_110_1829.html

5. PRIJEDLOG POBOLJŠANJA PROMETNO-TEHNIČKIH ELEMENATA SA SVRHOM POVEĆANJA PROPUSNE MOĆI

U svrhu detaljnije obrade ove teme, u ovom poglavlju analizirat će se raskrižje ulice Oranice-Kožinčev put. Prikazat će se postojeće stanje raskrižja ulica odnosno položaj raskrižja u prometnoj mreži grada Zagreba i trenutno stanje raskrižja. Analizirati će se prometna opterećenja u jutarnjem i popodnevnom vršnom opterećenju koja su utvrđena brojanjem prometa na navedenom raskrižju i dati uvid u postojeći signalni plan.

Opisat će se svi problemi koji utječu na kvalitetu odvijanja prometa na pojedinim privozima. Prikazat će se prijedlog rješenja kojim će se nastojati poboljšati propusna moć i kvaliteta odvijanja prometa, ali i ostale bitne značajke koje bi raskrižje trebalo zadovoljiti.

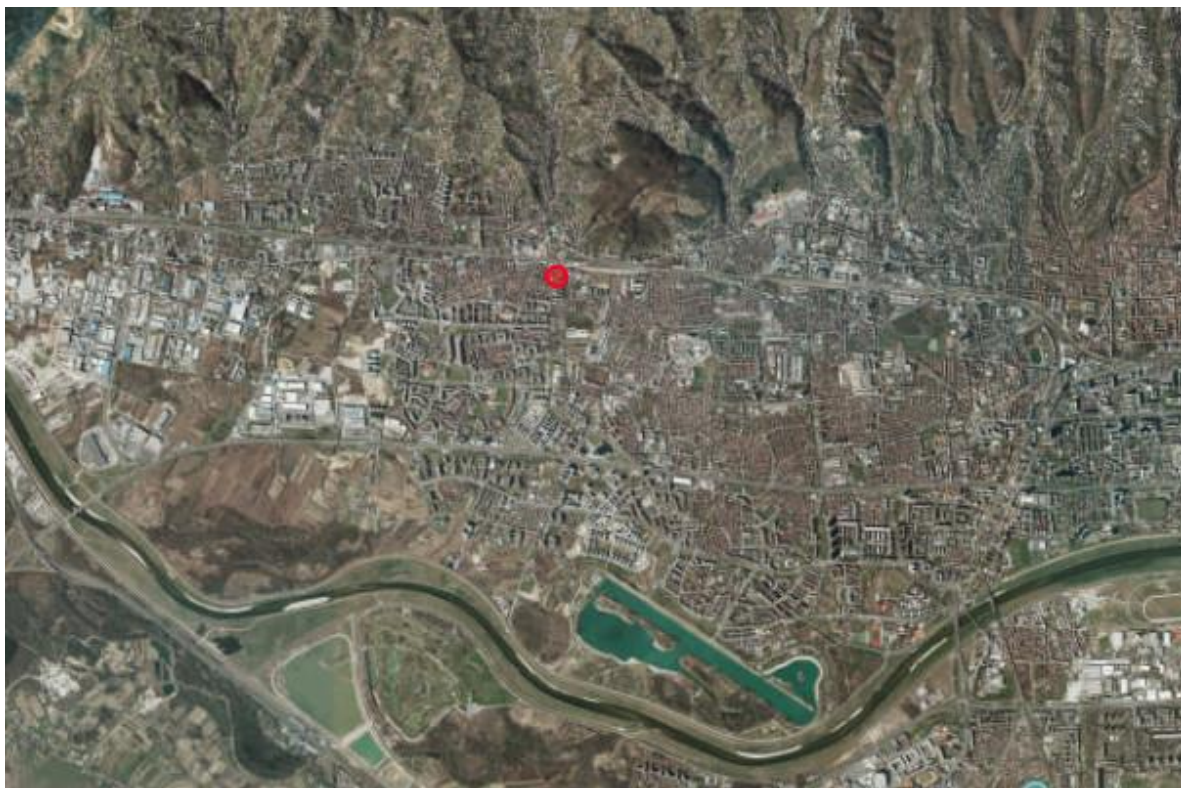
5.1. ANALIZA POSTOJEĆEG STANJA I PODRUČJE OBUHVATA

Raskrižje Oranice i Kožinčev put smješteno je na zapadnoj strani grada Zagreba u neposrednoj blizini raskrižja Ilica-Vrapčanska ulica-Oranice koja je jedna od najopterećenijih raskrižja u tom dijelu grada, u gradskoj četvrti Vrapče. Raskrižje je klasično trokrako semaforizirano raskrižje. Ulica Oranice (sjever-jug) čini dominantan prometni pravac u oba smjera jer povezuje Ilicu sa Slavonskom avenijom koje su prema prometnom opterećenju jedne od najopterećenijih gradskih ulica. Sama ulica Oranice predstavlja jedan od malobrojnih spojeva spomenutih ulica što dovodi do potrebe za većim kapacitetima odnosno zagušenja prometne mreže na toj ulici.

Iako se privoz Kožinčev put nalazi na istočnoj strani raskrižja, zbog njegove polukružne trase i prelaska iznad ulice Oranice, koja se u tom dijelu nalazi denivelirana ispod željezničke pruge, on spaja ujedno i istočnu i zapadnu zonu tog raskrižja u jedan privoz. U neposrednoj blizini raskrižja nalazi se Kontejnerski terminal Vrapče kojemu je izlaz spojen na Kožinčev put čim se dodatno opterećuje navedena ulica.

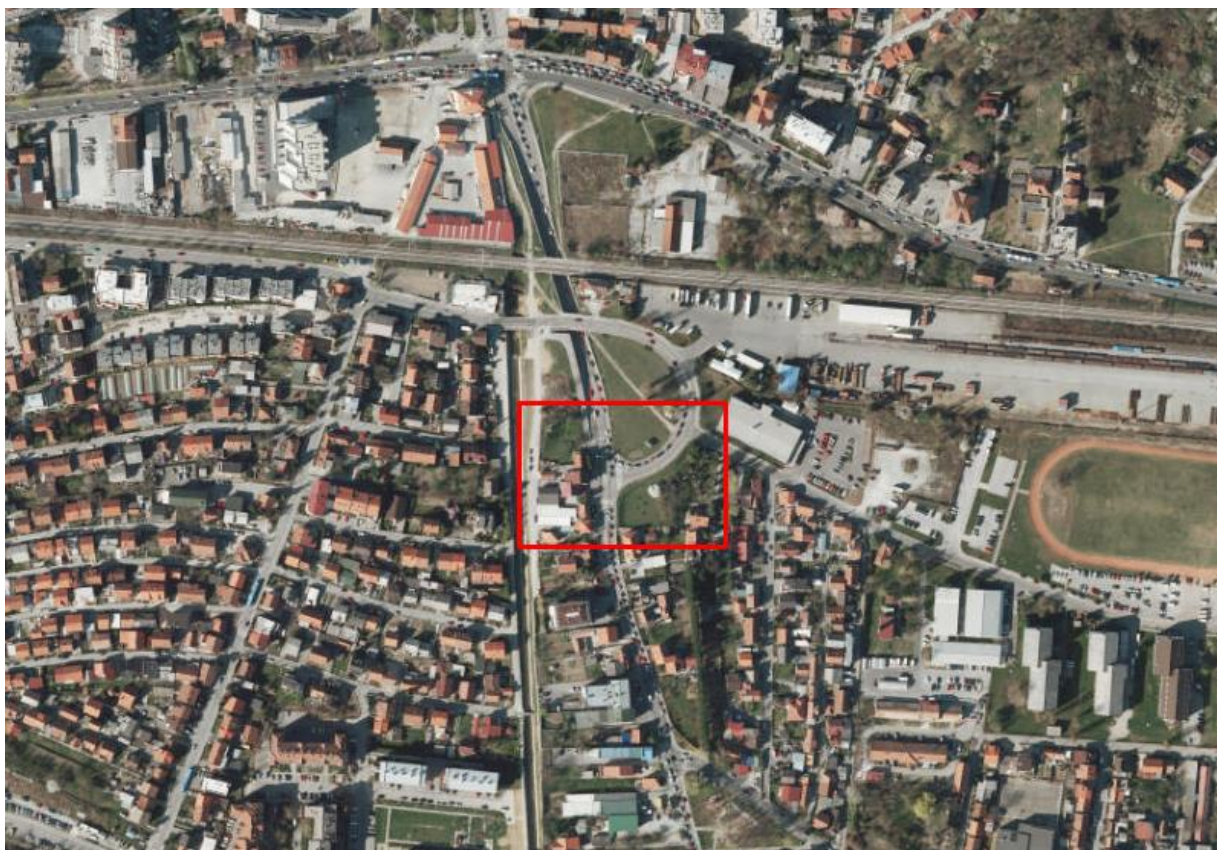
Na ulicu Oranice sa sjeverne strane nastavlja se Vrapčanska ulica koja predstavlja jedini priključak za naselje Gornje Vrapče. Također, bitno za spomenuti je i da se raskrižje nalazi u neposrednoj blizini željezničke pruge, te ulica Oranice čini podvožnjak ispod navedene pruge i to na udaljenosti od oko 100 metara od zone raskrižja, čime je otežano priključenje

vozila sa sjevera na ulici Oranice jer se cesta nalazi u usponu. Makrolokacija raskrižja u gradu Zagrebu prikazana je na slici 1., dok je mikrolokacija prikazana na slici.



Slika 30 Makrolokacija raskrižja Kožinčev put - Oranice

Izvor: [7]

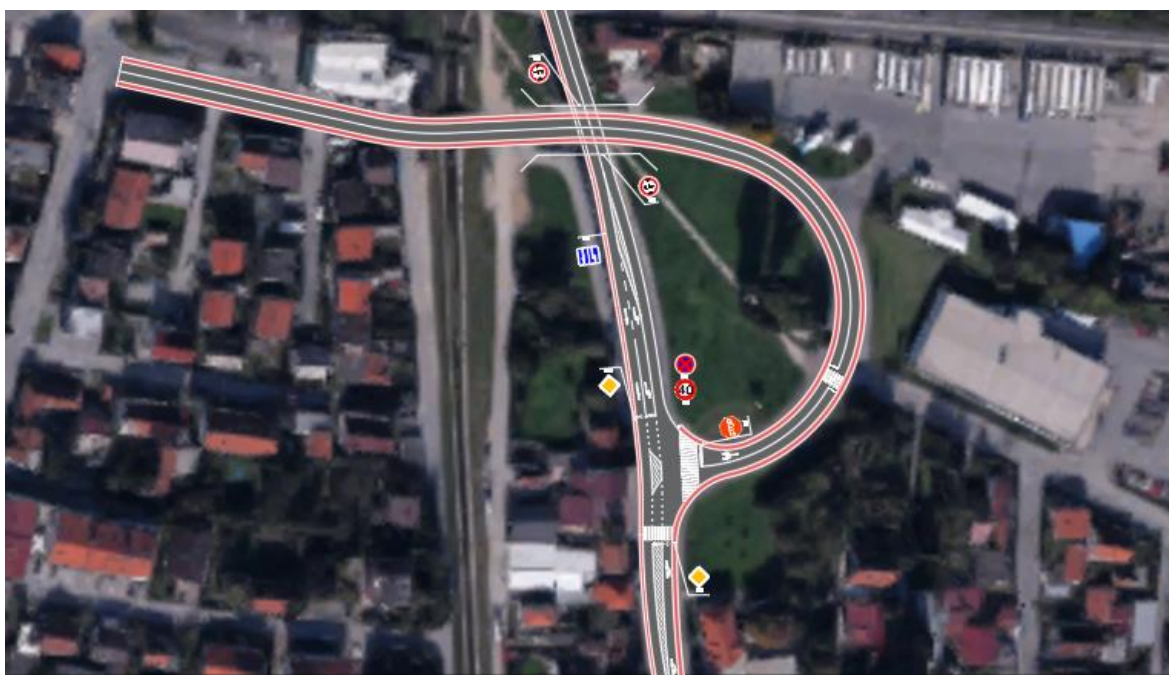


Slika 31 Mikrolokacija raskrižja Kožinčev put – Oranice

Izvor: [7]

Na slici 32. nalazi se prikaz postojećeg stanja raskrižja Oranice-Kožinčev put izrađeno u programskom alatu AutoCAD. Raskrižje je semaforizirano trokrako raskrižje kod kojeg se na ulicu Oranice kao glavni smjer priključuje Kožinčev put sa istoka. Na sjevernom privozu ulice Oranice u trenutnom stanju su izvedena tri prometna traka, jedan za ravno, jedan za lijevo skretanje prema Kožinčevom putu i jedan za suprotni smjer. Na južnom privozu ulice Oranice izvedena su dva prometna traka, jedan za ravno i desno skretanje i jedan za suprotni smjer. Na privozu Kožinčev put izvedena su dva prometna traka. Prometni trak za lijevo i desno skretanje izveden je zajedno te je u zoni samog raskrižja izvedeno proširenje kako bi se zadovoljili radijusi za lijevo i desno skretanje. Drugi prometni trak namjenjen je kretanju vozila iz suprotnog smjera.

Na postojećem stanju u zoni raskrižja smještena su dva pješačka prijelaza sa južne i sa istočne strane. Istočni pješački prijelaz, zbog proširenog traka za lijevo i desno skretanje, je relativno dug te iznosi oko 17 m što dovodi do dugog trajanja zelene faze za pješake, a samim time uvjetuje trajanje ostalih faza.



Slika 32 Postojeće stanje raskrižja ulice Oranice – Kožinčev put

5.2 BROJANJE PROMETA I SIGNALNI PLAN

Brojanje prometa provedeno je u petnaestominutnim intervalima za popodnevno vršno opterećenje i obuhvaća sve privoze i smjerove na tim privozima, te je provedeno za osobna i teretna vozila te autobuse.

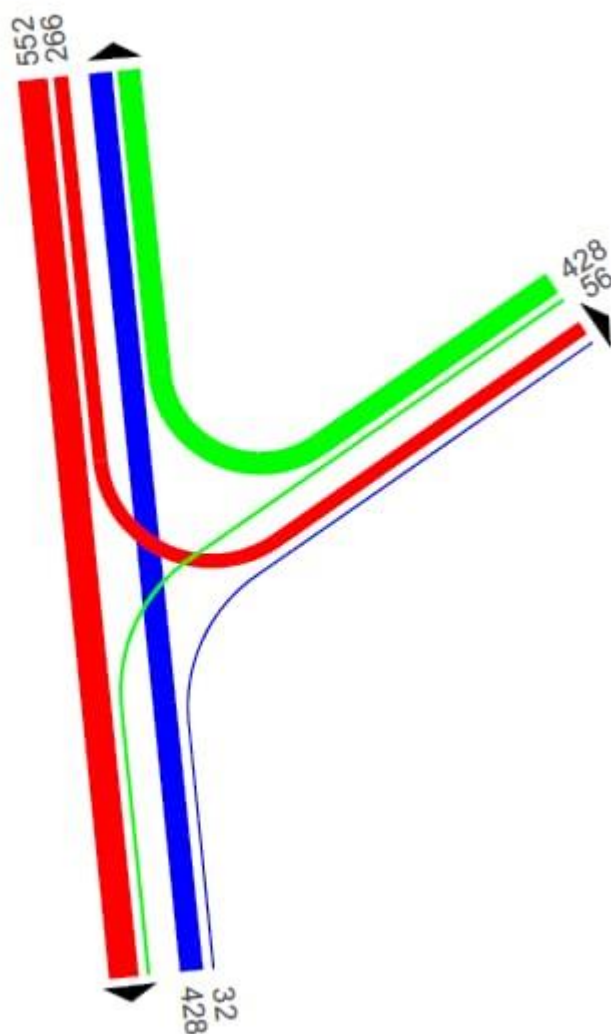
Kako bi se dobilo prometno opterećenje koje bi se moglo kvalitetno iskoristiti u analizama potrebno je pretvoriti teška vozila u EJA jedinice, odnosno u osobna vozila. Prikaz koeficijenata za pretvorbu vozila u EJA jedinice dat je u tablici. U tablici 4. je prikazano prometno opterećenje po privozima i smjerovima, za jutarnji i popodnevni vršni sat, u EJA jedinicama.

Tablica 10 Konverzija vozila u ekvivalentne jedinice putničkih automobila

Kategorija vozila	EJA
Osobno vozilo	1,0
Teretno vozilo	2,0
Autobus	2,0
Motocikl	0,7
Bicikl	0,3

Tablica 11 Prometno opterećenje po privozima

Vrijeme	PRIVOZ SJEVER		PRIVOZ JUG		PRIVOZ ISTOK		UKUPNO
	R	L	R	D	D	L	
VS	552	266	428	32	428	56	1762
Ukupno VS	818		460		484		1762

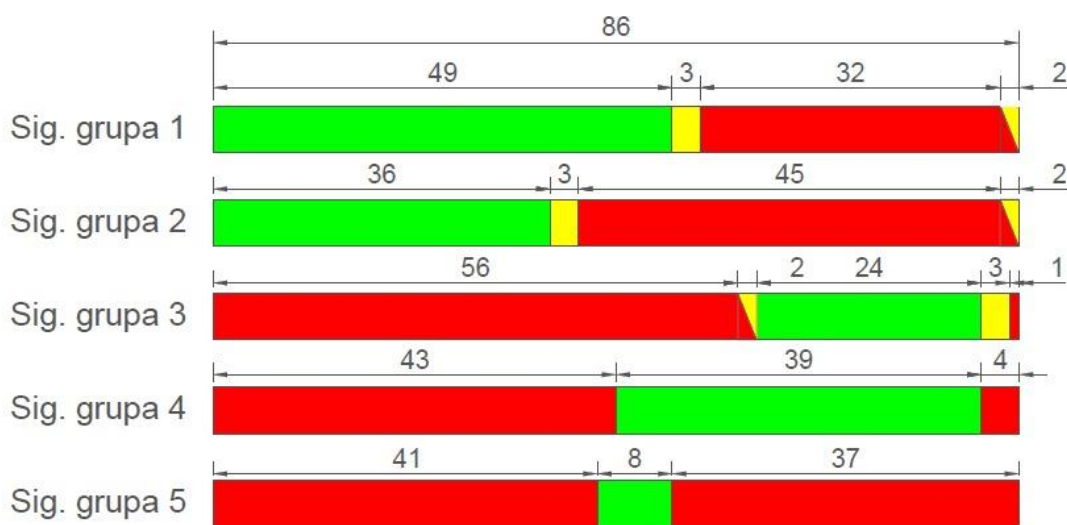


Slika 33 Prometno opterećenje po privozima u jutarnjem vršnom satu

Signalni program semafora ima ciklus duljine $C=86$ s. Signalni plan raskrižja ulice Oranice- Kožinčev put sadrži 6 signalnih grupa:

- Signalna grupa 1 – ravno i lijevo sjeverni privoz
- Signalna grupa 2 – ravno i desno južni privoz
- Signalna grupa 3 – lijevo i desno istočni privoz
- Signalna grupa 4 – dopunska skretlica za desno skretanje na istočnom privozu
- Signalna grupa 5 – dopunska skretlica za lijevo skretanje na sjevernom privozu

Na promatranom raskrižju uočeni su dugi repovi čekanja. Uzroci dugih repova čekanja su male duljine trakova za lijeva skretanja. Na privozu ulice Oranice rep čekanja se proteže gotovo do Zagrebačke ceste, čime dolazi do ometanja odvijanja prometa na toj ulici.



Slika 34 Izmjena signalnog plana

5.3 IDEJNO PROMETNO RJEŠENJE

Idejno prometno rješenje kao cjelina (svjetlosna signalizacija, prometni znakovi, oznake na kolniku, rekonstrukcija kolnika) mora omogućiti:

- sigurnost cestovnog i pješačko – biciklističkog prometa
- odgovarajuću propusnu moć i razinu usluge raskrižja

Obzirom na karakteristike predmetnog raskrižja (promet, dimenzioniranost, geometrija i drugo) predlaže se sljedeće idejno prometno rješenje:

- razdvajanje trakova na privozu Kožinčev put
- dodavanje jednog traka na sjeverni privoz prema Ilici
- uklanjanje pješačkog prijelaza na privozu Kožinčev put

Prikaz rekonstrukcije navedenog raskrižja ulice Oranice i Kožinčeva puta dat je na slici 33.

Po rubu šrafirane površine u raskrižju postavili bi se plastični stupići radi povećanja sigurnosti, odnosno ne prelaska vozila u suprotne trakove.



Slika 35 Idejno rješenje raskrižja Oranice – Kožinčev put

Na privozu Kožinčev put predloži se razdvajanje trakova što bi dovelo do potrebe za izgradnjom dodatnog traka u kojem bi se moglo odvijati prestrojavanje. Duljina za prestrojavanje iznosila bi 80 m u punoj širini prometnih trakova i 30 m čime bi prestrojavanje bilo omogućeno do pješačkog prijelaza. Nakon pješačkog prijelaza pa do samog raskrižja bila bi puna linija između trakova. Trak za desno skretanje na istom privozu ne bi imao signalnu fazu iz razloga što je na sjevernom privozu raskrižja predložen dodatan trak koji bi omogućavao tim desnim skretačima nesmetan prolaz. Dodatan trak na sjevernom privozu prvih 20 m od zone raskrižja imao bi punu liniju, nakon čega bi uslijedila isprekidana te se omogućilo preplitanje. Isti trak bi se protezao kroz podvožnjak skroz do slijedeće raskrižja, odnosno raskrižja Ilica-Vrapčanska ulica-Oranice. Širina dovoljna za postavljanje tog traka kroz podvožnjak omogućila bi se uklanjanjem pješačke staze koja je trenutno smještena uz rub kolnika duž cijelog podvožnjaka. Alternativa za pješačku stazu bila bi izgradnja pothodnika na trenutnoj ruti pješaka koju koriste za prijelaz željezničke pruge u istoj razini čime se smanjuje sigurnost. Oko željezničke pruge bi se postavila zaštitna ograda koja bi onemogućavala trenutni prijelaz pješaka preko željezničke pruge te bi ih tako preusmjeravala na varijantu kretanja pothodnikom.

6. EVALUACIJA PREDLOŽENOG RJEŠENJA

Cestovna raskrižja u mreži javnih cesta uvelike utječu na stupanj sigurnosti kao i propusne moći cjelovitog prometnog sustava, te kao takva zahtijevaju znatno veći stupanj ozbiljnosti i profesionalnosti prilikom njihova planiranja i projektiranja. S obzirom na kompleksnost ovog raskrižja te znatnog opterećenja koje je vidljivo na spomenutom, predlaže se idejno rješenje koje bi imalo svrhu povećanja propusne moći na ulici Oranice, koja automatski utječe i na Ilicu, a ujedno i na Kožinčev put, kao i povećanje sigurnosti pješaka.

U petom poglavlju napravljena je analiza postojeće stanja te je prikazano trenutno prometno opterećenje raskrižja. Izrađen je signalni plan na temelju podataka dobivenih brojanjem.

Postoji mogućnost uklanjanja pješačke staze na navedenom podvožnjaku koja je širine 2 metra, te uklanjanja rubnjaka koji su izvedeni na duljini od 0,5 metara sa svake strane ruba kolnika, odnosno njihovim suženjem na 30 centimetara i smanjenja širine prometnih trakova sa 3,5 na 3 metra čime bi se dobila širina za postavljanje tri traka po 3 metra širine, ali bi isto dovelo do smanjenja sigurnosti prolaska kroz taj podvožnjak. Pješačka staza slabo se koristi od strane pješaka koji većinom nelegalno prelaze preko željezničke pruge s dva kolosijeka, te bi se ista mogla kompenzirati izgradnjom kraćeg pothodnika na ruti koju pješaci koriste.

Napravljenom rekonstrukcijom vozila koja skreću desno, iz smjera istok-sjever, sa Kožinčevog puta na ulicu Oranice, smanjilo bi se vrijeme čekanja na desnom prometnom traku tog privoza jer bi trak u potpunosti bio odvojen te bi imao direktno priključivanje na ulicu Oranice bez čekanja zelene faze na semaforu.

Uklanjanje pješačke staze na raskrižju također bi povećalo propusnu moć jer ne bi dolazilo do učestalog zastajkivanja prometa uzrokovanog prelascima pješaka.

7. ZAKLJUČAK

U ovom diplomskom radu opisani su prometno-tehnički elementi i njihov utjecaj na propusnu moć ceste. Na osnovi poznavanja propusne moći N [voz/h] mogu se procijeniti nedostaci postojeće cestovne mreže i predložiti odgovarajuće izmjene. Propusna moć služi kao osnovica za sve intervencije i zahvate na određenom dijelu ceste kao što su proširenje kolnika, rekonstrukcija zavoja, reguliranje čvorišta, promjene režima prometa i sl. Za proračune kapaciteta i razina usluga raskrižja, dionica cesta, javnog gradskog prijevoza, te pješačkog i biciklističkog prometa koristi se Highway Capacity Manual. HCM predstavlja standard u projektiranju i planiranju cesta, autocesta i gradskih ulica. Prema HCM-u pri odvijanju prometnog toka definirano je šest razina usluga, od A do F. Razina usluge A predstavlja najbolje/najpovoljnije operativne uvjete, dok razina F predstavlja najlošije/najnepovoljnije.

Kako bi se što zornije predočio utjecaj prometno-tehničkih elemenata analizirano je trokrako raskrižje na zapadnom području grada Zagreba. Promatrano raskrižje je poprilično opterećeno, stvaraju se dugi repovi čekanja te je potrebno prikladno prometno rješenje. Raskrižje je semaforizirano trokrako raskrižje kod kojeg se na ulicu Oranice kao glavni smjer priključuje Kožinčev put sa istoka. Na sjevernom privozu ulice Oranice u trenutnom stanju su izvedena tri prometna traka, jedan za ravno, jedan za lijevo skretanje prema Kožinčevom putu i jedan za suprotni smjer. Na postojećem stanju u zoni raskrižja smještena su dva pješačka prijelaza sa južne i sa istočne strane. Istočni pješački prijelaz, zbog proširenog traka za lijevo i desno skretanje, je relativno dug te iznosi oko 17 m što dovodi do dugog trajanja zelene faze za pješake, a samim time uvjetuje trajanje ostalih faza.

Na privozu Kožinčev put predloži se razdvajanje trakova što bi dovelo do potrebe za izgradnjom dodatnog traka u kojem bi se moglo odvijati prestrojavanje. Duljina za prestrojavanje iznosila bi 80 m u punoj širini prometnih trakova i 30 m čime bi prestrojavanje bilo omogućeno do pješačkog prijelaza. Nakon pješačkog prijelaza pa do samog raskrižja bila bi puna linija između trakova. Trak za desno skretanje na istom privozu ne bi imao signalnu fazu iz razloga što je na sjevernom privozu raskrižja predložen

dodatan trak koji bi omogućavao tim desnim skretačima nesmetan prolaz. Dodatan trak na sjevernom privozu prvih 20 m od zone raskrižja imao bi punu liniju, nakon čega bi uslijedila isprekidana te se omogućilo preplitanje. Isti trak bi se protezao kroz podvožnjak skroz do slijedeće raskrižja, odnosno raskrižja Ilica-Vrapčanska ulica-Oranice. Širina dovoljna za postavljanje tog traka kroz podvožnjak omogućila bi se uklanjanjem pješačke staze koja je trenutno smještena uz rub kolnika duž cijelog podvožnjaka. Alternativa za pješačku stazu bila bi izgradnja pothodnika na trenutnoj ruti pješaka koju koriste za prijelaz željezničke pruge u istoj razini čime se smanjuje sigurnost. Oko željezničke pruge bi se postavila zaštitna ograda koja bi onemogućavala trenutni prijelaz pješaka preko željezničke pruge te bi ih tako preusmjeravala na varijantu kretanja pothodnikom.

LITERATURA

- [1] Dadić, I., Kos, G., Ševrović, M.: Teorija prometnih tokova 2014, Zagreb, 2014
- [2] Cestovne prometnice, Predavanja akad.godina 2015./2016.
- [3] Cerovac, V.: Tehnika i sigurnost prometa, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2001.
- [4] Luburić, G.; Sigurnost cestovnog i gradskog prometa I (Radni materijali za predavanje)
,Fakultet prometnih znanosti
- [5] Pravilnik o osnovnim uvjetima kojima javne ceste izvan naselja i njihovi elementi moraju udovoljavati sa stajališta sigurnosti prometa
- [6] Legac, I.: Cestovne prometnice I, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2006
- [7] URL: <https://geoportal.zagreb.hr/Karta>

POPIS TABLICA

Tablica 1 Brzina slobodnog toka	17
Tablica 2 Vrijednosti faktora $F(BS)$ kojim se iskazuje kvantitativni utjecaj udsljenosti nepokretnih bočnih smetnji na brzinu toka pri raznim razinama usluge	21
Tablica 3 Vrijednosti faktora $F(PS)$ kojim se iskazuje kvantitativni utjecaj pokretnih bočnih smetnji na brzinu toka pri praktičnoj propusnoj moći	21
Tablica 4 Slobodne brzine mjerodavnog vozila V_{mv} (R) u ovisnosti u polumjeru horizontalnog zavoja	21
Tablica 5 Širina prometnog traka za razne brzine V_p i terenske prilike	41
Tablica 6 Odnos širine rubnog i prometnog traka	42
Tablica 7 Odnos širine prometnog traka i širine bankine	43
Tablica 8 Ovisnost širine preglednosti b (m) o V_r , R_{min} i P_z	47
Tablica 9 Visine dijelova zapreke h_v (cm) i h_1 (cm) za razne brzine V_r (km/h)	48
Tablica 10 Konverzija vozila u ekvivalentne jedinice putničkih automobila	56
Tablica 11 Prometno opterećenje po privozima	57

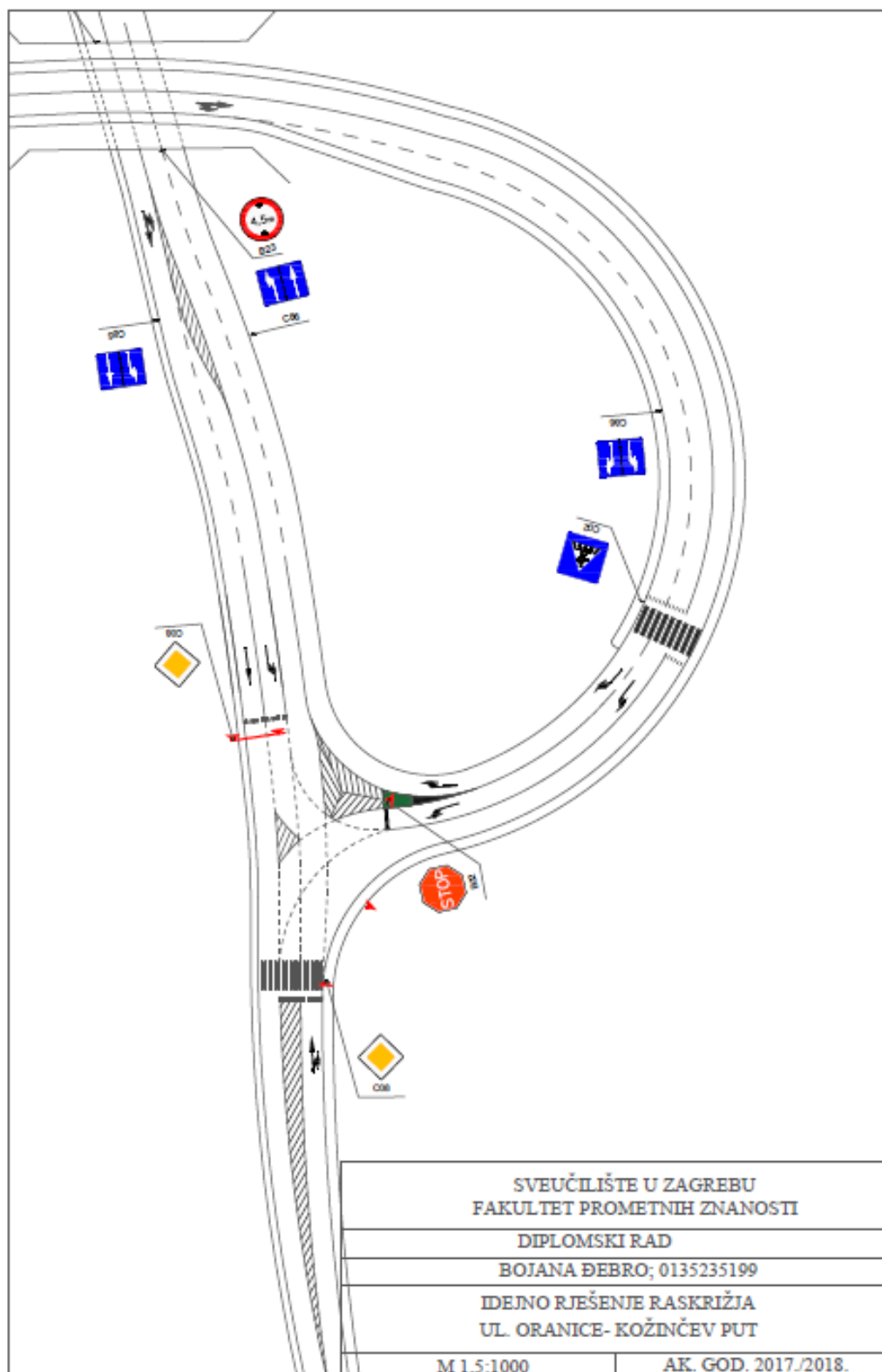
POPIS SLIKA

Slika 1 Protok vozila na presjeku	3
Slika 2 Protok vozila na dionici	3
Slika 3 Gustoća prometnog toka	4
Slika 4 Brzina prometnog toka u prostoru i vremenu	5
Slika 5 Srednja prostorna brzina	6
Slika 6 Srednja vremenska brzina	7
Slika 7 Prikaz srednje prostorne i vremenske brzine u različitim uvjetima odvijanja prometnih tokova	8
Slika 8 Razmaci u slijedenju vozila	9
Slika 9 Razina usluge na prometnici	16
Slika 10 Grafički prikaz razine usluge, odnos brzina-protok	16

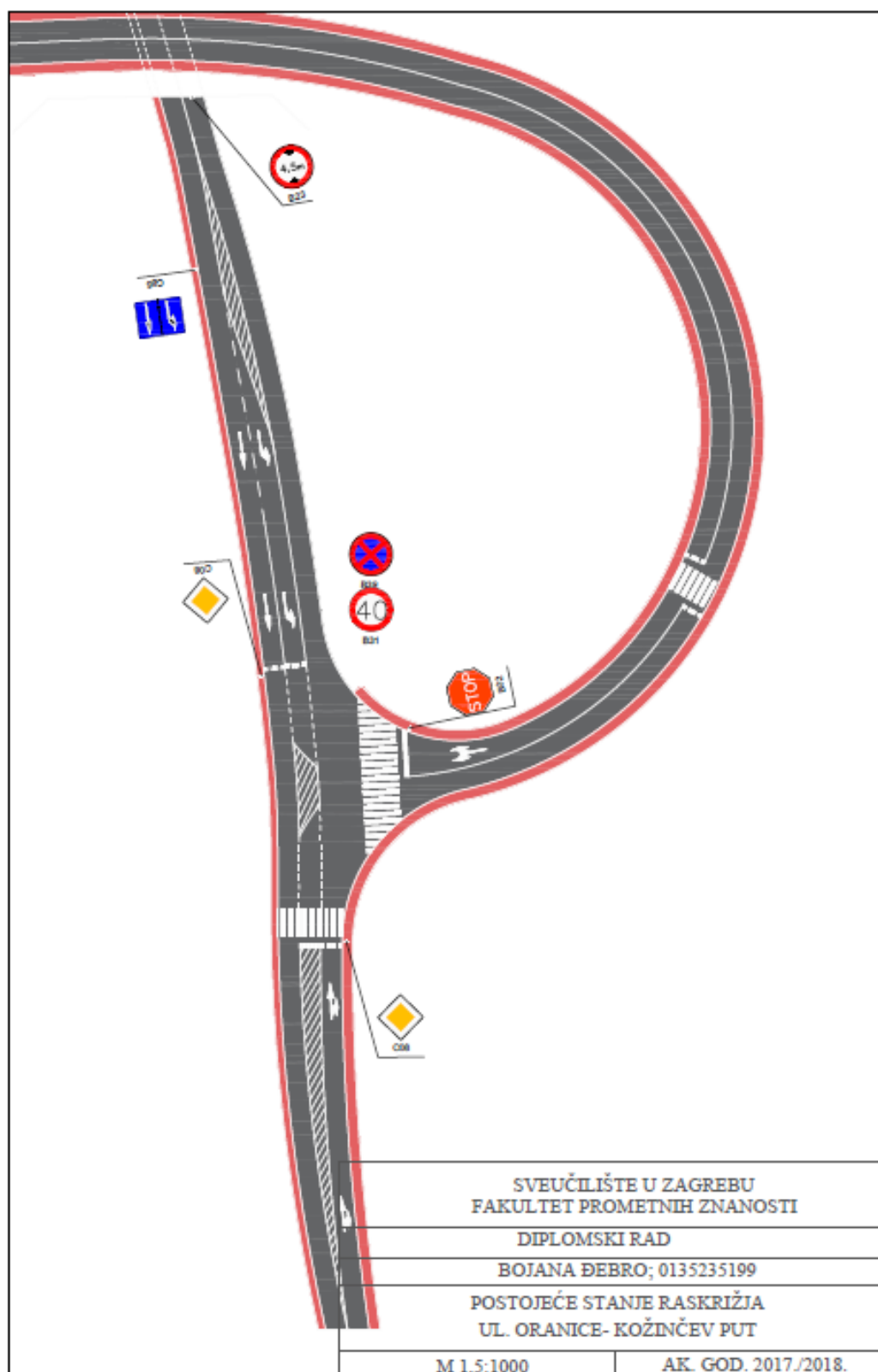
Slika 11 Raspodjele satnih protoka vozila u periodu dana.....	28
Slika 12 Satni protoci na određenoj dionici u periodu godine po kronološkim redoslijedu	29
Slika 13 Satni protok vozila u godini dana svrstanih po veličini (kumulativno)	30
Slika 14 Dnevna neravnomjernost u periodu od 7 dana.....	33
Slika 15 Dnevna neavnomjernost protoka vozila u periodu jednog mjeseca	34
Slika 16 Dnevna neravnomjernost protoka vzila u periodu godine	35
Slika 17 Mjesečna neravnomjernost protoka vozila u periodu godine.....	36
Slika 18 Neravnomjernosti protoka po manjim vremenskim jedinicama od jednog sata ...	37
Slika 19 Vršni promet u tijeku promatranog sata	39
Slika 20 Širina prometnog traka	41
Slika 21 Osnovni elementi poprečnog presjeka ceste u zavoju.....	43
Slika 22 Vrsta rigola - trokutasti	44
Slika 23 Vrsta rigola - segmentni	44
Slika 24 Odnos brzine sporoga vozila i duljine uzdužnog nagiba.....	45
Slika 25 Elementi horizontalne preglednosti.....	47
Slika 26 Promjena centrifugalne sile C	49
Slika 27 Grafički izgled klotoide.....	50
Slika 28 Prikaz potpunog vitoperenja.....	51
Slika 29 Uobicajeni položaj osi vitoperenja	52
Slika 30 Makrolokacija raskrižja Kožinčev put - Oranice	54
Slika 31 Mikrolokacija raskrižja Kožinčev put – Oranice	55
Slika 32 Postojeće stanje raskrižja ulice Oranice – Kožinčev put.....	56
Slika 33 Idejno rješenje raskrižja Oranice – Kožinčev put	59

POPIS PRILOGA

PRILOG 1. IDEJNO RJEŠENJE RASKRIŽJA UL. ORANICE-KOŽINČEV PUT



PRILOG 2. POSTOJEĆE STANJE RASKRIŽJA UL. ORANICE – KOŽINČEV PUT





University of Zagreb
Faculty of Transport and Traffic Sciences
10000 Zagreb
Vukelićeva 4

DECLARATION OF ACADEMIC INTEGRITY AND CONSENT

I declare and confirm by my signature that this _____ diplomski rad
is an exclusive result of my own work based on my research and relies on published literature,
as can be seen by my notes and references.

I declare that no part of the thesis is written in an illegal manner,
nor is copied from unreferenced work, and does not infringe upon anyone's copyright.

I also declare that no part of the thesis was used for any other work in
any other higher education, scientific or educational institution.

I hereby confirm and give my consent for the publication of my _____ diplomskog rada
titled **Influence of traffic and technical elements of roads on traffic flow**

on the website and the repository of the Faculty of Transport and Traffic Sciences and
the Digital Academic Repository (DAR) at the National and University Library in Zagreb.

Student:

In Zagreb, 17 September 2018


(signature)