



UNIVERZITET U NIŠU  
GRAĐEVINSKO-ARHITEKTONSKI FAKULTET



Dušan Lj. Cvetković

UTICAJ GEOMETRIJSKIH ELEMENATA PUTA  
OBIMA I STRUKTURE SAOBRAĆAJA NA ODREĐIVANJE  
REFERENTNIH VREDNOSTI PRI DEFINISANJU FUNKCIONALNE  
OPRAVDANOSTI ZA INTERVENCIJU NA PUTU

doktorska disertacija

Mentor:  
Prof. dr. Dragan Lukić

Niš, 2015.

## ***Rezime***

Savremeni način investiranja nameće obavezu da svaka intervencija na infrastrukturnim objektima bude analizirana kroz studiju opravdanosti gradnje. Sama po sebi svaka takva studija mora da sadrži analizu funkcionalne opravdanosti i analizu ekonomske opravdanosti intervencije.

Cilj ovog rada je definisanje referentnih vrednosti za donošenje odluke prilikom analize funkcionalne opravdanosti, kako izgradnje novog, tako i rekonstrukcije postojećeg građevinskog objekta.

Funkcionalno vrednovanje treba da da odgovor na pitanje postoji li potreba za preduzimanjem odgovarajućih tehničkih mera na postojećoj mreži u funkciji poboljšanja odvijanja saobraćaja, a takođe i u fazi projektovanja generalnih i idejnih projekata, rekonstrukcija ili izgradnje novih putnih pravaca, definiše kriterijume: koliku rezervu kapaciteta, pri određenom nivou usluge puta, treba ostaviti za prihvatanje naraslog saobraćaja po isteku planskog perioda eksploatacije.

Kriterijumi za funkcionalnu opravdanost su formirani na osnovu vrednosti eksploatacione brzine  $V_e$  i vremenskog zastoja  $VZ$  eksploatacione brzine u odnosu na brzinu u slobodnom toku u idealnim uslovima puta i saobraćaja, a takođe i na osnovu odnosa protoka i kapaciteta  $q/C$ .

## ***Ključne reči***

Eksploataciona brzina, brzina u slobodnom toku, vremenski zastoj, nivo saobraćajne usluge.

## ***Summary***

The modern way of investing requires that any intervention on infrastructural facilities should be analyzed through a feasibility study. By itself, any such study must include an analysis of the functional evaluation and analysis of the economic evaluation of the intervention.

The aim of this work is to define the reference values for the decision making in the analysis of the functional evaluation, when constructing the new or reconstructing the existing structures.

The functional evaluation should answer the question if there is a need to undertake appropriate technical measures on the existing network in order to improve the traffic flow, and also to define the criteria in the design phase of general and preliminary designs of reconstruction or the construction of new roads: what capacity reserve at a certain level of service, should be left for servicing the growing traffic after the planned service life period.

The criteria for functional evaluation are formed on the basis of the values of operating speed  $V_e$  and the time delay  $VZ$  of operating speed compared to the free flow speed in ideal conditions of road and traffic, and also based on the flow and capacity ratio  $q/C$ .

## ***Keywords***

Operating speed, free flow speed, time delay, level of services.

## SADRŽAJ

LISTA TABELA .....	iv
LISTA SLIKA .....	vi
1. UVOD.....	1
2. PREDMET ISTRAŽIVANJA .....	3
3. PRETHODNA ZNANJA I ISKUSTVA.....	5
3.1. Vrednovanje.....	6
3.2. Istraživanja brzine u slobodnom toku.....	7
3.3. Nivo saobraćajne usluge.....	14
4. METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA I PRIKUPLJANJE ČINJENICA ...	19
4.1. Metodologija istraživanja.....	20
4.2. Prikupljanje činjenica.....	21
4.2.1. Uticaj geometrijskih elemenata puta na brzinu u slobodnom toku.....	21
4.2.2. Merodavne uticajne okolnosti na brzinu u slobodnom toku.....	23
4.3. Združeni - istovremeni uticaj merodavnih okolnosti na brzinu u slobodnom toku.....	25
4.3.1. Sklopovi okolnosti za eksperimentalno istraživanje uticaja geometrijskih elemenata puta.....	25
4.3.2. Merna oprema.....	27
4.4. Matematički model.....	30
4.4.1. Osnovni statistički pokazatelji linearne regresije.....	31
4.4.2. Osnovni pokazatelji višeparametarske linearne regresije.....	31
4.5. Merne deonice puta za utvrđivanje združenog uticaja svih elemenata puta na brzinu kretanja.....	31



4.5.1.	Krivinska karakteristika.....	32
4.6.	Upoređivanje rezultata uticaja krivinske karakteristike na brzinu vožnje u slobodnom toku sa stranim iskustvima.....	37
4.7.	Upoređivanje zajedničkog uticaja svih elemenata na konstrukciju profila brzine u slobodnom toku sa stranim iskustvima .....	38
4.8.	Eksperimentalni rezultati ispitivanja uticaja obima i strukture saobraćaja na brzinu saobraćajnog toka.....	43
4.8.1.	Eksperimentalni rezultati ispitivanja uticaja obima i strukture saobraćaja na brzinu saobraćajnog toka izvedenih u SAD i objavljenih u Highway Capacity Manual (HCM-94).....	43
4.8.2.	Metodologija proračuna nivoa usluge i kapaciteta puta prema HCM 2010.	49
5.	ANALIZA ISTRAŽIVANJA.....	53
5.1	Usvojeni model po HCM.....	54
5.2	Kriterijum za NU za različite kategorije terena.....	57
5.3.	Nestabilan saobraćajni tok.....	59
5.3.1.	Proračun rastojanja vozila u koloni saobraćajnog toka $Q_m/2=1600$ PA/h..	62
5.3.2.	Proračun vremenskog rastojanja vozila pri sleđenju na razmaku "a" .....	62
5.3.3.	Merodavno vremensko rastojanje prilikom sleđenja vozila u koloni u nestabilnom saobraćajnom toku kada je $q/C > 1.00$ .....	63
5.3.4.	Zahtev za protokom kada je $q/C > 1.00$ .....	63
5.4.	Usvojeni način proračuna praktičnog kapaciteta $C$ [voz/h], eksploatacione brzine $V_e$ [km/h] i nivoa usluge $NU$ .....	66
5.4.1.	Proračun praktičnog kapaciteta $C$ [voz/h], eksploatacione brzine $V_e$ [km/h] i nivoa usluge $NU$ za stabilan saobraćajni tok.....	66
5.4.2.	Proračun praktičnog kapaciteta $C$ [voz/h], eksploatacione brzine $V_e$ [km/h] i nivoa usluge $NU$ za nestabilan saobraćajni tok.....	67
5.4.2.1.	Slučaj kada je $V_{SL} = V_F < 60$ km/h i $Q_{mF} < 3200$ PA/h.....	67
5.4.2.2.	Slučaj kada je zahtev za protokom veći od kapaciteta $Q_{mF} > 3200$ PA/h....	67
5.4.2.3.	Slučaj kada je $V_{SL}$ znatno veće od brzine pri kapacitetu $V_{Co}$ pa je odnos $q/C$ veoma mali tako da je onemogućen protok u okviru osnovnog kapaciteta $Q_m = 3200$ PA/h.....	68
5.4.3.	Analiza mogućnosti preticanja sporih vozila u realnom saobraćajnom toku.....	68
5.5.	Praktični kapacitet $C$ slobodne deonice puta.....	69
5.6.	Eksploataciona brzina saobraćajnog saobraćajnog toka $V_e$ .....	72
5.6.1.	Eksploataciona brzina na sektoru "j" puta, sektorska brzina.....	72
5.6.2.	Eksploataciona brzina slobodne deonice puta $V_e$ .....	73

5.7.	Proračun nivoa saobraćajne usluge $NU$ i eksploatacione brzine $V_e$ .....	73
5.7.1.	Merodavno saobraćajno opterećenje $q_m$ prema Propisima.....	74
5.7.2.	Vremenski zastoje $VZ$ na sektoru "j".....	74
5.7.3.	Eksploataciona brzina $V_e$ , vremenski zastoje $VZ$ i nivo saobraćajne usluge $NU$ na slobodnoj deonici puta.....	75
5.8.	Primeri.....	75
5.8.1.	Primer 1. Nivo saobraćajne usluge za konkretnu slobodnu deonicu puta i saobraćajno opterećenje, stabilan tok.....	75
5.8.2.	Primer 2. Slučaj zahteva za kapacitetom, nestabilan tok $q/C > 1.00$ .....	80
5.8.3.	Primer 3. Serpentina, nestabilan tok $V_{CF} < 60$ km/h.....	81
5.8.4.	Primer 4. Praktični kapacitet serpentine $C$ .....	83
6.	PRIMENA REZULTATA ISTRAŽIVANJA NA PROPISE ZA PROJEKTOVANJE PUTEVA.....	85
6.1.	Izvod iz Propisa .....	86
6.2.	Primena rezultata istraživanja na važeće propise .....	87
6.2.1.	Eksploataciona brzina.....	87
6.2.2.	Brzina u slobodnom toku.....	88
6.2.3.	Nivo saobraćajne usluge.....	88
6.2.4.	Kriterijumi prema iskorišćenosti kapaciteta ( $q_m/C$ ) za traženi nivo usluge. ....	89
6.2.5.	Kriterijumi prema osnovnom protoku $Q_m$ za traženo $V_o$ .....	90
6.3.	Predlog kriterijuma za referentne vrednosti pokazatelja funkcionalne opravdanosti.....	90
7.	ZAKLJUČAK.....	91
8.	LITERATURA.....	94

## LISTA TABELA

<i>Tabela</i>	<i>Naziv</i>	<i>strana</i>
T. 3-01.	Obrasci za proračun praktičnog kapaciteta deonica (odseka) dvotračnog puta po novom postupku.....	16
T. 3-02.	Prikaz kvantitativnih vrednosti kriterijuma $q_m/C$ za osnovne vrste puteva.....	17
T. 3-03.	Prikaz kvantitativnih vrednosti kriterijuma $Ve$ za osnovne vrste puteva.....	17
T. 3-04.	Korekcionni koeficijenti za brzinu pri zahtevu za protokom $V_{CF}$ , za $1.00 < q_m/C < 1.50$ .....	18
T. 4-01.	Uticajne okolnosti na brzinu u slobodnom toku .....	26
T. 4-02.	Statistički pokazatelji za zbirni dijagram na sl. 4-11. ....	33
T. 4-03.	Faktori uticaja zona bez preticanja na putu na kapacitet puta u idealizovanim uslovima .....	45
T. 4-04.	Faktori uticaja procenta saobraćaja na usponu na kapacitet puta u idealizovanim uslovima .....	45
T. 4-05.	Faktori uticaja širine saobraćajne trake i širine bankine na kapacitet puta u idealizovanim uslovima .....	46
T. 4-06.	Faktori uticaja nagiba i dužine tog nagiba na kapacitet puta u idealizovanim uslovima .....	47
T. 4-07.	Kriterijum za određivanje nivoa saobraćajne usluge prema srednjoj brzini toka na usponu .....	49
T. 4-08.	Odnos kapaciteta puta, srednje brzine saobraćajnog toka i vremenskog zastoja saobraćajnog toka prema HCM 1994. ....	49
T. 4-09.	Kriterijum nivoa saobraćajne usluge za dvotračne puteve I, II i III klase prema HCM 2010. ....	51
T. 5-01.	Kriterijumi za nivo saobraćajne usluge na dvotračnim vangradskim putevima po klasama. HCM 2010. ....	56
T. 5-02.	Kriterijum NU puta u planinskom terenu pri $V_{c_o}=60$ km/h .....	57
T. 5-03.	Kriterijum NU puta u brdovitom terenu pri $V_{c_o}=66$ km/h .....	58
T. 5-04.	Kriterijum NU puta u ravničastom terenu pri $V_{c_o}=72$ km/h .....	58

T. 5-05.	Kapacitet $C_o$ u zavisnosti od razmaka vozila u koloni saobraćajnog toka "a" i brzine $V_{c_o}$ .....	64
T. 5-06.	Vrednosti rastojanja vozila u koloni "a", vremena $\Delta t$ pri $V_{c_o}=60$ km/h po kriterijumima za nivo saobraćajne usluge $NU$ pri idealizovanim uslovima .....	66
T. 5-07.	Vremenski zastoj brzine u slobodnom toku u odnosu na brzinu toka pri kapacitetu puta .....	74
T. 5-08.	Prikaz vrednosti koje ulaze u proračun za primer .....	76
T. 5-09.	Proračun nivoa saobraćajne usluge za konkretno saobraćajno opterećenje $q_m$ i slobodnu deonicu puta.....	77
T. 5-10.	Proračun nivoa saobraćajne usluge za konkretno saobraćajno opterećenje $q_m$ i slobodnu deonicu puta.....	78
T. 5-11.	Proračun nivoa saobraćajne usluge za konkretno saobraćajno opterećenje $q_m$ i slobodnu deonicu puta.....	78
T. 5-12.	Proračun nivoa saobraćajne usluge za konkretno saobraćajno opterećenje $q_m$ i slobodnu deonicu puta.....	79
T. 5-13.	Izvod iz Propisa za projektovanje, Podaci o elementima serpentina .....	81
T. 5-14.	Proračun kapaciteta i nivoa saobraćajne usluge u serpentinu.....	82
T. 5-15.	Brzine kretanja vozila u krivinama radijusa manjih od 25m.....	83
T. 5-16.	Praktični kapacitet $C_F$ u serpentinama.....	84
T. 6-01.	Kriterijumi za vrednovanje iz Propisa za projektovanje puteva ...	86
T. 6-02.	Kriterijumi za vrednovanje nivoa usluge $NU$ i na osnovu brzina iz Propisa i na osnovu eksploatacionih brzina $V_e$ .....	89
T. 6-03.	Kriterijumi za vrednovanje nivoa usluge $NU$ na osnovu brzina iz Propisa i na osnovu vremenskog zastoja $VZ$ .....	89
T. 6-04.	Kriterijumi prema iskorišćenosti kapaciteta $q_m/C$ za traženi nivo usluge .....	89
T. 6-05.	Kriterijumi prema osnovnom protoku $Q_m$ za traženo osnovnu brzinu $V_o$ iz Propisa.....	90

## LISTA SLIKA

<i>Slika</i>	<i>Naziv</i>	<i>strana</i>
4-01.	Graf sklopa uticajnih okolnosti na merenu brzinu u slobodnom toku .....	26
4-02.	Merno vozilo .....	27
4-03.	Uređaj za reprodukciju merenih vrednosti .....	27
4-04.	Reprodukovani grafici mernih veličina pri vožnji za utvrđivanje uticaja elemenata puta na brzinu u slobodnom toku .....	28
4-05	Reprodukovani grafici brzine i usporenja pri kočenju blokiranim točkovima .....	29
4-06.	Rezultati merenja uticaja radijusa horizontalne krivine na brzinu u slobodnom toku na deonici puta "KA" dužine L=13,4 km i krivinske karakteristike $K=457 \text{ }^{\circ}/\text{km}$ . .....	32
4-07.	Rezultati merenja uticaja radijusa horizontalne krivine na brzinu u slobodnom toku na deonici "KB" dužine L=6,9 km I krivinske karakteristike $K=178 \text{ }^{\circ}/\text{km}$ . .....	33
4-08.	Rezultati merenja uticaja radijusa horizontalne krivine na brzinu u slobodnom toku na deonici "KC" dužine L=32,7 km i krivinske karakteristike $K=86 \text{ }^{\circ}/\text{km}$ .....	33
4-09.	Rezultati merenja uticaja radijusa horizontalne krivine na brzinu u slobodnom toku na deonici "KD" dužine L=10,0 km i krivinske karakteristike $K=37 \text{ }^{\circ}/\text{km}$ .....	34
4-10.	Rezultati merenja uticaja radijusa horizontalne krivine na brzinu u slobodnom toku na deonici "KE" dužine L=16,0 km i krivinske karakteristike $K=18 \text{ }^{\circ}/\text{km}$ .....	34
4-11.	Zbirni dijagram uticaja po mernim deonicama krivinske karakteristike ( $K$ ) i radijusa krivine ( $R$ ) na brzinu u slobodnom toku ( $V_{SL}$ ) .....	35
4-12.	Granične vrednosti krivinske karakteristike u zavisnosti od računске brzine .....	36
4-13.	Zavisnost brzine u slobodnom toku od radijusa horizontalne krivine ( $R$ ) i krivinske karakteristike ( $K$ ) .....	36
4-14.	Upoređivanje sopstvenih merenja uticaja krivinske karakteristike puta na brzinu vožnje sa normativom u RAS-L-1995 .....	37

4-15.	Upoređivanje sopstvenih merenja uticaja krivinske karakteristike puta na brzinu vožnje sa normativom u HDM-III (L. 96).....	37
4-16.	Uporedni profil projektne brzine po propisima Nemačke, Francuske, Švajcarske i Austrije.....	40
4-17.	Uporedni profil projektne brzine sa slike 4.16, uključujući i profil brzine urađen po našoj metodologiji.....	41
4-18.	Upoređenje realizovane brzine vozila u slobodnom toku i profila brzine po Austrijskoj metodologiji.....	42
4-19a	Odnos između srednje brzine protoka i veličine protoka $Q_m$ na dvotračnim putevima.....	48
4-19.b	Odnos vremenskog zastoja toka i veličine protoka $Q_m$ na dvotračnim putevima .....	48
4-20.	Dijagram toka određivanja nivoa saobraćajne usluge po metodologiji HCM 2010. ....	50
4-21.	Zavisnost protoka u jednom smeru i srednje brzine toka po metodologiji HCM 2010. ....	52
4-22.	Zavisnost protoka u jednom smeru i vremenskog zastoja po metodologiji HCM 2010. ....	52
5-01.	Dijagram odnosa vremenskog zastoja i protoka u jednom smeru na dvotračnim vangradskim putevima, HCM 2010.....	56
5-02.	Odnos veličine protoka u jednom smeru i brzine saobraćajnog toka na sektoru dvotračnog vangradskog puta, HCM 2010. ....	57
5-03.	Odnos veličine protoka u jednom smeru i brzine saobraćajnog toka na sektoru dvotračnog vangradskog puta, sa definisanim granicama između nivoa saobraćajne usluge, HCM 2010. ....	58
5-04.	Odnos veličine protoka u jednom smeru i brzine saobraćajnog toka na sektoru dvotračnog puta, sa granicama nivoa saobraćajne usluge, HCM 2010. ....	59
5-05.	Dijagram učestalosti pojave saobraćajnog protoka $PGDS$ za dvotračne puteve na nivou godine.....	60
5-06.	Kolona vozila na jednoj traci sa konstantnom brzinom na razmaku " $a$ ".....	60
5-07.	Dužina vozila pri eksperimentalnoj vožnji u idealnim uslovima po HCM-94 .....	61
5-08.	Zavisnost protoka $Q_m$ i vremenskog zastoja $VZ$ od brzine protoka u uslovima ravničastog terena, pri $V_{Co}=60$ km/h i $Co = 3200$ PA/h u idealizovanim uslovima .....	65
5-09.	Sektor sa jednoličnim podužnim nagibom i krivinskom karakteristikom na posmatranom sektoru trase na slobodnoj deonici puta .	70

5-10.	Ograničenje brzine putničkog vozila u zavisnosti od radijusa krivine $R$ i krivinske karakteristike $K$ .....	71
5-11.	Ograničenje brzine putničkog vozila u zavisnosti od nagiba nivelete .....	71
5-12.	Geometrijske karakteristike deonice dužine $L = 5,0$ km .....	75
5-13.	Geometrijske karakteristike deonice dužine $L = 2,0$ km .....	80
5-14.	Šematski prikaz serpentine, Propisi za projektovanje .....	81

**1.**  
**UVOD**



## 1. UVOD

Savremeni tokovi investiranja nameću pravila da za svaku intervenciju na infrastrukturnim objektima bude urađena i studija opravdanosti gradnje. Sama po sebi svaka takva studija mora da sadrži dve vrste analize i to:

- analiza funkcionalne opravdanosti intervencije,
- analiza ekonomske opravdanosti.

Ovaj rad ima za cilj definisanje referentnih vrednosti za prvu vrstu analize, jer bez utvrđivanja funkcionalne opravdanosti, kako izgranje novog objekta, tako i rekonstrukcije postojećeg građevinskog objekta, nema smisla ni počinjati analiziranje ekonomske opravdanosti.

Funkcionalno vrednovanje je deo procedure za ocenjivanje i odlučivanje u sistemu osmišljavanja optimalnog razvoja i korišćenja putne mreže.

Funkcionalno vrednovanje opravdanosti daje odgovor na pitanje postoji li potreba ili ne za preduzimanjem odgovarajućih tehničkih mera na postojećoj mreži u funkciji poboljšanja odvijanja saobraćaja.

Osim toga, pri izradi generalnih i idejnih projekata, rekonstrukcija ili izgradnje novih putnih pravaca, funkcionalno vrednovanje opravdanosti definiše kriterijume: koliku rezervu kapaciteta pri određenom nivou usluge puta treba ostaviti za prihvatanje naraslog saobraćaja po isteku perioda eksploatacije (završna godina planskog perioda eksploatacije puta).

Kriterijumi za funkcionalnu opravdanost su formirani na osnovu vrednosti eksploatacione brzine  $V_e$  i vremenskog zastoja  $VZ$  eksploatacione brzine u odnosu na brzinu u slobodnom toku u idealnim uslovima puta i saobraćaja, a takođe i od odnosa protoka i kapaciteta  $q/C$ .

Kao dominantni kriterijum nameće se vrednost eksploatacione brzine  $V_e$  [km/h] pri određenom vremenskom zastoju  $VZ$  [%].

2.

**PREDMET ISTRAŽIVANJA**

## 2. PREDMET ISTRAŽIVANJA

Referentne vrednosti na osnovu kojih se utvrđuje funkcionalna opravdanost za intervenciju na putu su definisane eksploatacionom brzinom  $V_e$  i iskorišćenošću kapaciteta puta, tj. odnosom  $q/C$ , odnosno nivoom saobraćajne usluge  $NU$ .

Na osnovu te činjenice, konkretizovan je predmet istraživanja, i on predstavlja ***uticaj geometrijskih elemenata puta na brzinu saobraćajnog toka  $V_e$  i iskorišćenost kapaciteta puta  $C$  pri datom protoku saobraćaja  $q$ .***

Obzirom na prirodu pojave brzine  $V_e$  koja zavisi od niza objektivnih i subjektivnih okolnosti, jer uključuje i ljudski faktor, vrednosti te brzine su stohastičke veličine, a istraživanje je naučno bazirano na činjenicama koje su dobijene kroz eksperiment u prirodnim i realnim okolnostima, kako za uticaj geometrijskih elemenata puta, tako i za uticaj obima i strukture saobraćajnog toka na kapacitet puta  $C$  i vremenski zastoje zbog gustine saobraćaja  $VZ$ .

Prema našim Propisima za projektovanje puteva, referentne vrednosti za određivanje opravdanosti izgradnje puteva su brojčano definisane za puteve prema funkcionalnoj klasifikaciji i kategorijama terena na osnovu nivoa saobraćajne usluge  $NU$  i brzine saobraćajnog toka za datu kategoriju terena.

**3.**

**PRETHODNA ISKUSTVA I SAZNANJA**

### 3. PRETHODNA ISKUSTVA I SAZNAJNA

#### 3.1 Vrednovanje

U našoj inženjerskoj praksi projektovanja puteva, pojam vrednovanja projekata pojavljuje se 1974. godine, kroz "Uputstvo za izradu studija izvodljivosti puteva", koje su uradili stručnjaci iz firme *Dorsch - Berger*, po nalogu Svetske banke za razvoj iz Washington-a. Ta uputstva su se uglavnom odnosila na ekonomsko vrednovanje.

Aktivnija (kreativna) uloga vrednovanja detaljno je elaborirana 1984. god. U Monografiji "Vrednovanje u optimiziranju planova i projekata puteva", gde se definiše i funkcionalno vrednovanje pri izradi Generalnih projekata (Predfizibiliti studija) i Idejnih projekata (Fizibiliti studija). Nakon toga na stručnim skupovima i u časopisima bilo je više radova na ovu temu. (L. 7,8,24,25,28,30,31,32,33,34) sve do 1994. god, kada je prof. Dr. Ljubiša Kuzović objavio monografiju "Vrednovanje u upravljanju razvojem i eksploatacijom putne mreže" (L. 35).

Od posebnog značaja za ovaj rad, iz te monografije, je proračun kapaciteta puta  $C$  i brzine u slobodnom toku  $V_{SL}$  i definisanje potrebnog nivoa saobraćajne usluge za prvu i ciljnu godinu eksploatacije prema značaju puta. I konačno donošenjem naših novih Propisa za projektovanje puteva 2011. god. uveden je pojam Nivoa saobraćajne usluge  $NU$  prema funkcionalnoj klasifikaciji puteva sa zahtevanim osnovnim brzinama saobraćajnog toka  $V_o$  za kategorije terena (ravničarski, brdovit i planinski).

Kao i u monografiji prof. Lj. Kuzovića i u Propisima, fundamentalni podatak predstavlja brzina u slobodnom toku, sa razlikom što su u monografiji, za brzinu u slobodnom toku korišćeni pored stranih i domaća eksperimentalna istraživanja, dok se u Propisima navode teorijske vrednosti koje su u neskladu sa realnim vrednostima dobijenim eksperimentalnim istraživanjima.

Pošto je brzina u slobodnom toku  $V_{SL}$  ključni element za analizu kapaciteta i nivoa saobraćajne usluge, u ovom radu će se koristiti brzine u slobodnom toku pod uticajem

konstruktivnih elemenata puta u normalnim okolnostima, dobijene eksperimentalnim putem, merenjem.

#### **3.2 Istraživanja brzine u slobodnom toku**

ÖRLEY je 1937. god, izveo eksperimente sa ciljem da se prouči odnos elemenata puta i brzine vožnje i među prvima objavio značajniji istraživački rad vezan za ovu problematiku. U svom radu iznosi sledeće: "Prva saznanja o nedostatku uobičajenog oblikovanja puteva dobio sam u toku vožnje uzanim i krivudavim brdskim putevima. Sistematska posmatranja dovela su me pri tom, do uverenja da puteve sa oštrim krivinama za motorni saobraćaj treba praviti uvođenjem prelazne krivine između pravca i krivine".

Radovi ÖRLEY-a su uticali da se već 1937. godine u Nemačkoj donesu smernice za izradu puteva zasnovane na vozno-dinamičkim zakonitostima između brzine, kočenja, radijusa horizontalnih krivina i poprečnog nagiba u krivini. Tadašnji RAL-L od 1937 godine uvodi pojam "brzine za građenje puteva" sa definicijom da je to "najčešća očekivana stvarna brzina vozila na izgrađenoj slobodnoj deonici puta".

Nekih 20-ak godina kasnije, RAL-L-1958, usvaja novu definiciju za brzinu, da je to "najveća ravnomerna brzina kojom se bez opasnosti može voziti jednom deonicom puta ako na brzinu vožnje utiču jedino uslovi puta". Ovi propisi u odnosu na prethodne uvode nov pojam, "ravnomerna brzina", što se ne može smatrati kao napredak, obzirom da se i tada znalo da je stvarna brzina promenljiva. Zato nova redakcija RAL-L-1959 dopunjava definiciju, tako da je to "brzina kojom se ulazi u račun da bi se na istoj osnovi odredili geometrijski elementi puta". Ovom dopunom je ukazano da se ravnomerna računaska brzina javlja samo u kritičnim elementima puta, dok se u povoljnijim elementima puta podrazumeva i veća brzina, koja nije definisana.

Na sličan način kao u Nemačkoj, u to vreme je i kod nas uveden pojam računске brzine sa manje-više istim značenjem.

Problem usaglašavanja elemenata puta koji su povoljniji od kritičnih i gde se očekuje brzina veća od računске, u Švajcarskoj su 1969 god. rešili kroz tehničke propise uvođenjem dve brzine. Jednu brzinu  $V_A$  kao merodavnu za određivanje graničnih elemenata puta, koja je za određeni sektor konstantna i drugu  $V_P$  merodavnu za

### 3. Prethodna iskustva i saznanja

---

određivanje pojedinih konstruktivnih elemenata puta, kada su oni povoljniji od graničnih kritičnih elemenata. Ova druga brzina  $V_P$  je promenljiva i ne može biti manja od prve  $V_A$ , a odgovara najmanje za 85% vozača i ta brzina, kako je rečeno, ne bi trebalo da se menja skokovito.

Francuzi su 1969 godine, takođe, promenili propise i uveli, na sličan način, dve brzine. Zadržan je i dalje pojam računске brzine, kao najveće bezbedne brzine u graničnim elementima puta, ali je uveden i nov pojam za brzinu u slobodnoj vožnji. Svako računskoj brzini odgovara brzina u slobodnoj vožnji, ta brzina je veća od računске za 10% - 60%, zavisno od veličine računске brzine. Elementi puta koji su povoljniji od graničnih, usklađuju se prema brzini u slobodnoj vožnji.

Naši propisi, koji su stupili na snagu 1969. godine, zadržali su isti tretman računске brzine kao i prethodni iz 1957. godine. Prema tim propisima računska brzina je zavisila od obima saobraćaja i klase predela, a bila je konstantna za određeni sektor puta. Pri tome se preporučivalo da sektor važenja iste računске brzine bude što duži. Međutim, u primeni se pokazalo da raznovrsnost reljefa u istoj klasi predela često iziskuje primenu elemenata trase koji su znatno povoljniji od računskih. U eksploataciji puteva koji su projektovani izvedeni po ovim propisima, potvrdilo se iskustvo da je brzina vožnje, kad nema ometanja od drugih učesnika u saobraćaju, promenljiva i da je u povoljnijim elementima veća od računске brzine. Prema tome, zadržavanje jedne računске brzine na dužem sektoru nije doprinosilo homogenizaciji brzine vožnje, niti prevenciji bezbednosti, time što su elementi puta izračunavani i usaglašavani prema računskoj brzini, koja je različita od stvarne brzine. Zapažanje ove okolnosti iniciralo je stručnu javnost na analize i istraživanja sa ciljem da se unapredi naša Tehnička regulativa.

Prvu naučnu analizu naših propisa izvršio je prof. M. Marković 1973. godine (11) sa opštim zaključkom da Propisi nisu optimalno rešenje. U pogledu brzine kao osnove za dimenzionisanje elemenata puta zauzet je sledeći stav: "Osnovni uslov za pravilno dimenzionisanje i oblikovanje krivina je, da se prilagode konstruktivni elementi normalnom postupku vozača i da se predvidi njegovo logično ponašanje - logičan stil vožnje". To podrazumeva promenljivu brzinu kretanja - različitu od računске. Prema autoru, donja brzina bi bila računska, a gornja bi se određivala uz obezbeđenje homogene vožnje, sa napomenom da kriterijume za homogenu vožnju treba zasnovati na sistematskom opažanju ponašanja vozača i statistički obrađenim podacima.

### 3. Prethodna iskustva i saznanja

---

Analizirajući u svojim radovima (L. 12,51) istu problematiku, prof. D. Macura iznosi i lična iskustva, zasnovana na merenju bezbedne brzine u krivinama poznatih radijusa. Svoje iskustvo u tom pogledu smatra indikativno i njime samo potkrepljuje izvesne stavove svestrane analize, a naročito kod opredeljivanja za prihvatljivu vrednost bočnog potiska  $_{max}f_p$ , gde zaključuje: "Određivanje " $f_p$ " kao prihvatljivog bočnog potiska treba izvršiti registrovanjem najvećih mogućih brzina ostvarenih uz potpunu sigurnost i pouzdanost vozača, pri kretanju vozila kroz krivine poznatih radijusa i poprečnih nagiba. Ova ispitivanja treba da budu izvedena uz angažovanje reprezentativnih vozača, kako bi se dobile veličine merodavne za najveći broj učesnika u saobraćaju".

Početkom 1980. godine kod nas su posle trogodišnje diskusije usvojeni "Tehnički propisi o elementima za projektovanje javnih puteva". U pokušaju da se udovolji svim opravdanim primedbama na stare propise iz 1969. godine, u mnogome su nedostajala naša iskustva kroz odgovarajuće istraživačke poduhvate, pa su novi propisi u svim bitnim odrednicama bili zasnovani na nemačkim iskustvima i RAL-L-1973.

Računska brzina  $V_R$  je ostala i dalje konstantna na osnovu nje su se izračunavali elementi trase i poprečnog profila. Ona se određivala na osnovu dva nova pojma o brzinama: prethodne brzine  $V_P$  i očekivane brzine  $V_o$ .

Prethodna brzina se usvajala kao polazna brzina za određivanje elemenata puta i bila je zasnovana na klasi predela i veličini saobraćaja na isti način kao i dotadašnja računaska brzina.

Očekivana brzina vožnje se utvrđivala na osnovu krivinske karakteristike  $K$  i širine kolovoza  $B$ . Krivinska karakteristika je bila definisana kao količnik sume svih skretnih uglova  $\Sigma\alpha$  na sektoru na kome se predviđala konstantna brzina i dužine tog sektora  $L$ .

Zavisno od veličine saobraćaja i ranga puta za računsku brzinu se usvajala  $V_P$  ili  $V_o$  sa nastojanjem da sektor opet bude što duži. Sektori su bili razgraničavani prema homogenosti u pogledu krivinskih karakteristika, s tim da ni jedan ne bude kraći od 5 km.

Pored čisto građevinsko-tehničke regulative i prakse na projektovanju puteva, odnos brzine i geometrije puta je proučavan i u drugim srodnim naučno-stručnim



disciplinama, pre svih u oblasti saobraćajne struke. U kompleksnoj teoriji saobraćajnih tokova pored brzine koja je uslovljena geometrijom puta postoji i niz drugih pojmova za brzinu, koji pored geometrije puta uključuju i druge faktore, a upotrebljavaju se u interdisciplinarnom pristupu planiranju puteva.

U jugoslovenskoj planersko-inženjerskoj praksi uglavnom su se koristila strana iskustva i definicijama za pojmove brzina (L. 10) i u tom pogledu je postojala neusklađenost, što je otežavalo korišćenje rezultata sve do 1976. godine kada je tu oblast kod nas obradio Lj. Kuzović (L. 7,8).

U svojim radovima je Lj. Kuzović, između ostalog, sistematizovao i mnoštvo različitih ili sličnih pojmova za brzinu, koji se međusobno potpuno ili delimično obuhvataju prema suštinskom značenju i definisao četiri pojma:

1. Brzina u slobodnom toku je najveća bezbedna brzina vozila, koje se samo kreće na putu pod uticajem elemenata puta i njihovog prostornog rasporeda. U tom smislu je reprezent karakteristika puta.
2. Eksploataciona brzina predstavlja prosečnu brzinu saobraćajnog toka u normalnim uslovima tj. u uslovima međusobnog ometanja učesnika u saobraćaju.
3. Brzina pri kapacitetu je specifičan vid eksploatacione brzine, koja se javlja u graničnom dometu normalnog toka, odnosno pri kapacitetu puta.
4. Brzina pri zahtevu za protokom se javlja kada je protok veći od kapaciteta puta.

Od posebnog interesa za ovaj rad je što je Lj. Kuzović uveo i definisao brzinu u slobodnom toku kao opšti pojam iz koga se može izvesti i računaska brzina koja nastaje pod uticajem ekstremnih računskih elemenata puta. Za samo određivanje brzine navedene su empirijske tabele i dijagrami dobijeni na osnovu iskustva u SAD-u i R. Nemačkoj (L. 7) koji od elemenata puta obuhvataju širinu, podužni nagib, radijus horizontalne krivine i krivinsku karakteristiku  $K$  [ $^{\circ}/\text{km}$ ].

Uz napomenu da na brzinu u slobodnom toku pored karakteristika puta utiču i druge karakteristike sistema vozilo-vozač-okolina, ali da se danas služimo samo navedenim podacima, jer drugih, naših pokazatelja nema, autori zaključuju: "Iz dosadašnjih

### 3. Prethodna iskustva i saznanja

---

iskustava stečenih korišćenjem navedenih tabela i dijagrama u procesu planiranja puteva, kao i sondažnim eksperimentalnim merenjima na putevima u Jugoslaviji može se zaključiti da postoji potreba za preduzimanjem sistematičnijih eksperimenata u ovom pogledu kako u cilju potpunije dokumentovane provere adekvatnosti primenjenih tabela i dijagrama, tako i u cilju njihovog daljeg usavršavanja, tj. prilagođavanja našim uslovima".

Izuzev navedenih sugestija da se vrše merenja uticaja elemenata puta na brzinu u slobodnom toku u našoj zemlji se do tada, u tom smislu, nije preduzimalo ništa značajnije.

U svetu je vršeno više istraživanja uticaja elemenata puta na ponašanje vozača i na brzinu vožnje (L. 3,4,5,6,10,18,45). U većini istraživanja nisu bili obuhvaćeni svi elementi puta, najviše je bilo orjentisanih samo na uticaj radijusa horizontalne krivine. U svim ispitivanjima je potvrđeno da brzina zavisi od radijusa horizontalne krivine, ali da sam radijus nije dovoljan za objašnjenje ponašanja vozača i da treba tražiti i druge uticajne promenljive veličine među geometrijskim karakteristikama puta.

Wahlgren (L. 18) je ustanovio da između preglednosti i brzine u krivini postoji zavisnost, dok je Zuberbühler (L. 45) pored elemenata puta ispitivao zavisnost brzina neposredno ispred krivine i moguće brzine pri prolasku kroz samu krivinu.

Vrlo opsežna istraživanja 1973. god. izvršio je Dilling (L. 3), tokom vožnje 10 vozača na 20 odabranih deonica sa radijusima horizontalnih krivina  $120 \leq R \leq 400$  i ostalim poznatim geometrijskim karakteristikama.

Od ukupno 11 promenljivih, uzimajući najviše po 5, sastavljene su 24 regresione jednačine. Posle testiranja regresionih koeficijenata po nul-hipotezi i odbacivanja svih gde se hipoteza potvrdila sa učestanošću većom od  $\alpha \geq 0,05$ , apsolutno najbolja stohastička veza sa koeficijentom  $r = 0,88$ , dobijena je po regresionom obrascu:

$$[\text{km/h}] V_k = 13,30 + 0,30VA + 0,01S + 0,08R + 79,67f \quad \text{obrazac: 3-01}$$

### 3. Prethodna iskustva i saznanja

---

a kada se uzmu u obzir samo karakteristike puta, najjača veza sa koeficijentom  $r=0,65$ , dobijena je u jednačini:

$$[\text{km/h}] V_k = 25,10 + 5,57B + 0,05R - 0,05 KU$$

obrazac: 3-02

gde su:

$B$  - širina puta

$R$  - radijus horizontalne krivine

$KU$  - krivinska karakteristika

U opštem zaključku ovog rada J.Dilling iznosi da je "model jednog međuzavisnog kompleksa vozač-vozilo-put operabilan i da vodi ka upotrebljivom rezultatu" ali da za saradnike treba uzeti psihologe i medicinare.

I druga istraživanja koja su se bavila ponašanjem vozača, dinamikom vožnje, i s tim u vezi karakteristikama puta (L. 9,10,62,63,67,68), u većini slučajeva polazila su od brzine kao veličine ponašanja i u svojim zaključcima ukazivala su da je pravi put do korisnih podataka u interdisciplinarnim poduhvatima sa kontrolisanim eksperimentima.

Razumljivo je da se to može postići samo opsežnim teorijsko-eksperimentalnim istraživanjima, iz kojih bi rezultirao opšte prihvatljiv postupak, koji bi po jednostavnosti i pouzdanosti zadovoljio potrebe inženjerske prakse.

U svakom slučaju, neophodno je, na eksperimentalan način, utvrditi uticaj elemenata puta na brzinu u slobodnom toku pri normalnim psihološkim mogućnostima i ponašanju vozača.

Na Građevinskom fakultetu u Nišu je od 1974. godine ovaj problem proučavan i za to vreme je vršeno nekoliko opsežnih eksperimentalnih istraživanja. Mada eksperimentalnih istraživanja nikad nije dovoljno, ipak se moglo konstatovati da se posle sprovedenih eksperimenata, raspolaže sa minimalno potrebnim brojem činjenica iz oblasti ove problematike, koje se mogu uopštiti, jer relativno dobro opisuju objektivne pojave, tako da se bez oklevanja mogu koristiti u inženjerskoj praksi.

### 3. Prethodna iskustva i saznanja

---

Konstruisan je prototip specijalne opreme, koja je omogućavala merenje kontinualne promene brzine u slobodnom toku vozila u pokretu i promene radijusa krivine ostvarene putanje vozila. Takođe uređajem je registrovana i promena ubrzanja i usporenja vozila i uporedo je registrovano, praćenjem rada srca, emotivno stanje vozača, a postojala je i mogućnost da vozač glasom opiše svoje emotivno stanje tokom obavljanja postupaka u vožnji.

Program istraživanja je bio da se utvrdi pojedinačni uticaj svakog konstruktivnog elementa puta na brzinu u slobodnom toku a takođe i združeni uticaj svih elemenata na izabtanim realnim deonicama puteva u jugoistočnoj Srbiji. Ispitivano je pet deonica ukupne dužine 79 km i registrovano je 1440 rezultata brzine u slobodnom toku.

Pored regresije za procenu brzine u slobodnom toku za svaku od pet deonica posebno, urađena je višeparametarska linearna regresija za sve deonice zajedno sa vrlo širokim skupom nezavisno promenljivih veličina tj. konstruktivnih elemenata puta.

Dobijen je sledeći regresioni obrazac:

$$\hat{V} = 34.37 \log R + 15.42S - 0.029K_k - 0.03K - 47.8 \quad \text{obrazac: 3-03}$$

- koeficijent višeparametarske regresije  $r = 0.95486$
- standardna greška regresije  $\sigma = 7.00$  km/h
- koeficijent varijacije  $v = 7.15$  %

gde su:

**R** - radijus horizontalne krivine,

**S** - širina saobraćajne trake

**K<sub>k</sub>**- krivinska karakteristika na segmentu od jednog kilometra gde je izmerena brzina

**K** - krivinska karakteristika cele deonice.

Na osnovu višeparmatarske regresije, kao i za regresije pojedinačnih deonica, pored dominantnog uticaja radijusa horizontalne krivine, značajan je i uticaj krivinske

karakteristike i nešto skromniji uticaj širine saobraćajne trake. Uticaj svih ostalih elemenata odbačen je kao neznatan jer je potvrđena nul-hipoteza uticaja sa  $\alpha \geq 0.05$ .

Ova, napred navedena, istraživanja potvrdila su strana iskustva u eksperimentalnim istraživanjima da postoji značajan uticaj krivinske karakteristike, pored uticaja radijusa horizontalne krivine, dok se uticaj podužnog nagiba nivelete na brzinu putničkih vozila zbog njihove mobilnosti i ne pominje, kao što je bio slučaj i u ovom eksperimentu.

I na kraju, danas imamo Propise za projektovanje puteva, kao podzakonski akt sa obaveznom primenom, koji pored ostalih parametara definišu i brzinu u slobodnom toku, kao *teorijsku vrednost* za praktičnu primenu. Osim toga u Propisima se kaže da brzina u slobodnom toku zavisi od radijusa horizontalne krivine i podužnog nagiba nivelete i da se dobija superponiranjem tih dveju vrednosti. Ako se ima u vidu da sva eksperimentalna utvrđivanja brzine u slobodnom toku putničkih vozila u realnim okolnostima trase puta pri različitim računskim brzinama ( $R_{min}$  i  $i_{max}$ ) isključuju uticaj nagiba nivelete, jer su uticaji zakrivljenosti puta dominantni, naročito u ravničarskom terenu, onda preostaje samo uticaj radijusa horizontalne krivine.

U ovom radu, ovakav decidan stav naših Propisa, nije prihvatljiv, jer je napred navedeno da je i u stranim istraživanjima još u prvoj polovini proteklog veka, konstatovano "da je potvrđeno da brzina zavisi od radijusa horizontalne krivine, ali da sam radijus nije dovoljan za objašnjenje ponašanja vozača i da treba tražiti i druge promenljive veličine među geometrijskim karakteristikama puta".

### 3.3 Nivo saobraćajne usluge

Pojam nivoa saobraćajne usluge uveden je i definisan zbog potrebe vrednovanja iskorišćenosti kapaciteta putne mreže i funkcionalne opravdanosti proširenja i dogradnje iste tokom planskog perioda eksploatacije. Definirano je šest nivoa usluge ( $A, B, C, D, E$  i  $F$ ), takođe oni su ograničeni graničnim referentnim vrednostima za svaki nivo pojedinačno. Polazni podatak za određivanje nivoa saobraćajne usluge predstavlja kapacitet puta, a referentne vrednosti predstavljaju odnos veličine realnog saobraćajnog toka i kapaciteta puta  $q_m/C$ .

U cilju utvrđivanja kapaciteta puta i realnih vrednosti za nivoe usluge, vršena su

### 3. Prethodna iskustva i saznanja

---

obimna eksperimentalna istraživanja u realnim uslovima saobraćaja u više država u SAD. Prvi zvanični rezultati objavljeni su u monografiji HCM-65 (*Highway Capacity Manual - 65*), a zasnovani su na odnosu  $q_m/C$ .

Drugi zvanični rezultati, takođe na osnovu eksperimentalnih merenja, objavljeni su u HCM - 85, gde se pored pomenutog odnosa  $q_m/C$ , određuje i brzina toka u idealnim uslovima puta i saobraćaja  $V_{SL}$ .

Treće izdanje HCM-94 (*Highway Capacity Manual, Special report 209. Transportation Research Board, National Research Council, Washington DC. 1994, P. 8 - 4*) čije su preporuke prihvaćene u većini zemalja sveta pa i u našoj.

Prema HCM-94 uvodi se i novi pokazatelj pored prethodna dva  $q_m/C$  i  $V_e$ , pokazatelj definisan kao vremenski zastoje eksploatacione brzine u odnosu na brzinu u slobodnom toku u idealnim uslovima puta i saobraćaja.

Dalje revizije i nova izdanja iz 1997., 2000., 2004. i konačno 2010. godine, kod tretiranja saobraćaja putničkih vozila na dvotračnim putevima zasnivaju se na fundamentalnim istraživanjima iz ranijeg perioda, ali su postupke primene prilagođavala sopstvenim potrebama i novijim iskustvima.

Tako HCM 2010 prihvata maksimalni kapacitet puta od 3200 PA/h umesto 2800 PA/h kako je to tretirano u HCM 1994. Ali i dalje se koriste pojmovi, brzina u slobodnom toku u idealnim uslovima puta i bez ometanja drugih učesnika u saobraćaju. Zatim, neznatno je korigovana tabela kriterijuma za nivo saobraćajne usluge prema brzini toka i vremenskom zastoju. u skladu sa podelom vangradskih dvotračnih puteva na klase I, II i III u SAD, gde se za klase II i III dopušta znatno veći vremenski zastoje čime se dopušta i znatno manja brzina saobraćajnog toka. Opšta metoda se i dalje (kao u HCM 94) zasniva na faktorima umanjenja osnovnog kapaciteta u idealnim uslovima, na vrednosti koje se očekuju u realnim uslovima. Rezultati analize po HCM 94 i HCM 2010 se neznatno razlikuju, toliko koliko se očekuje kada se stohastičke veličine u matematičkim operacijama tretiraju kao determinističke.

U našoj inženjerskoj praksi, kroz monografiju dr. Lj. Kuzovića "Vrednovanje u upravljanju razvojem i eksploatacijom putne mreže" koju je izdao Saobraćajni fakultet

### 3. Prethodna iskustva i saznanja

Univerziteta u Beogradu 1994. godine, utvrđuje se metodologija za proračun kapaciteta dvotračnih puteva, kao i nivo saobraćajne usluge za razne kategorije puteva. To je prva domaća studija nakon "Uputstava za izradu studija izvodljivosti puteva" od autora iz firme Dorsch Consult iz Nemačke i Louis Berger-a iz SAD-a. 1974. god (L. 4). Prema monografiji Dr. Kuzovića (L. 28), kapaciteti dvotračnih puteva računaju se prema sledećim obrascima:

Tabela T.3-01. Obrasci za proračun praktičnog kapaciteta deonica (odseka) dvotračnog puta po novom postupku

TIP OBRASCA	KAPACITET DEONICE (ODSEKA) DVOTRAČNOG PUTA
Obrazac za proračun praktičnog kapaciteta deonice (odseka) kod koje, s obziroma na osnovne tehničko eksploatacione karakteristike, odlučujući uticaj imaju karakteristike POPREČNOG PROFILA	$C = 2200 \cdot N \cdot F(\check{S}) \cdot F(BS) \cdot F(PS) \cdot F(KV) \cdot F_g(a/b) \cdot F_q(a/b)$ (voz/h u oba smera)
Obrazac za proračun praktičnog kapaciteta deonice (odseka) kod koje odlučujući uticaj imaju karakteristike HORIZONTALNOG TOKA TRASE	$C = 37 \cdot N \cdot V_{mv}(R) \cdot F(R) \cdot F(KV) \cdot F_g(a/b)$ (voz/h u oba smera)
Obrazac za proračun praktičnog kapaciteta deonice (odseka) kod koje odlučujući uticaj imaju karakteristike UZDUŽNOG NAGIBA	$C = 37 \cdot N \cdot V_{mv}(UN) \cdot F(UN) \cdot F(KV) \cdot F_g(a/b) \cdot F_q(a/b)$ (voz/h u oba smera)
Obrazac za proračun praktičnog kapaciteta deonice (odseka) kod koje odlučujući uticaj imaju karakteristike STANJA KOLOVOZA	$C = 37 \cdot N \cdot V_{mv}(SK) \cdot F(SK) \cdot F(KV) \cdot F_g(a/b)$ (voz/h u oba smera)

Izvor: *Vrednovanje u upravljanju razvojem i eksploatacijom putne mreže, Monografija, Saobraćajni fakultet u Beogradu, 1994.*

Referentne vrednosti za nivoe saobraćajne usluge predstavljaju odnosi protoka i kapaciteta  $q_m/C$  i eksploatacione brzine  $V_e$ .

Eksploataciona brzina  $V_e$ , izračunava se po obrascu 3-04:

$$V_e = \left[ V_{SL} - \frac{q_m}{C} \cdot (V_{SL} - V_C) \cdot \left( 1 - R + \frac{R \cdot P}{100} \right) \right] \quad \text{obrazac: 3-04}$$

gde su: **P** - procenat dužine puta gde je dozvoljeno preticanje ( isprekidana srednja linija),

**R** - redukcionni faktor

$V_{SL}$  - po metodologiji (L. 26)

### 3. Prethodna iskustva i saznanja

Tom prilikom su dati i primeri referentnih vrednosti za razne kategorije puteva:

Tabela T.3-02. Prikaz kvantitativnih vrednosti kriterijuma  $q_m/C$  za osnovne vrste puteva

FUNKCIONALNI ZNAČAJ PUTA U MREŽI S OBZIROM NA KARAKTER TOKOVA	Godina eksploatacije puta	Nivo usluge	$q_m/C$ za različite uslove terena		
			Ravničarski	Brdovit	Planinski
(1)	Prva	A (B)	<0.27	<0.26	<0.25
	Ciljna	C (D)	<0.60	<0.58	<0.56
(2)	Prva	A (B)	<0.30	<0.29	<0.28
	Ciljna	D	<0.62	<0.60	<0.58
(3)	Prva	B (C)	<0.38	<0.36	<0.34
	Ciljna	D (E)	<0.76	<0.72	<0.68

a) Granični stepen iskorišćenosti kapaciteta pri merodavnom vršnom časovnom protoku izražen kroz odnos TOK / KAPACITET na dvotračnim putevima za dvosmerni saobraćaj.

- (1) \* Daljinski putevi (državni i međudržavni)  
\*\* Magistralni putevi (glavni E-pravci)
- (2) \* Daljinski putevi (međurepublički)  
\*\* Magistralni putevi (vezni i priključni E-pravci)
- (3) \* Vezni putevi (regionalni)  
\*\* Magistralni putevi (van E-pravaca)  
\* nova funkcionalna klasifikacija  
\*\* stara (još važeća) klasifikacija

Izvor: Vrednovanje u upravljanju razvojem i eksploatacijom putne mreže, Monografija, Saobraćajni fakultet u Beogradu, 1994.

Tabela T.3-03. Prikaz kvantitativnih vrednosti kriterijuma  $V_e$  za osnovne vrste puteva

FUNKCIONALNI ZNAČAJ PUTA U MREŽI S OBZIROM NA KARAKTER TOKOVA	Godina eksploatacije puta	Nivo usluge	$q_m/C$ za različite uslove terena		
			Ravničarski	Brdovit	Planinski
(1)	Prva	A (B)	>75	>65	>50
	Ciljna	C (D)	>65	>55	>40
(2)	Prva	A (B)	>70	>60	>45
	Ciljna	D	>60	>50	>40
(3)	Prva	B (C)	>65	>55	>40
	Ciljna	D (E)	>55	>45	>35

Granični vrednosti prosečne brzine u tranzitu pri merodavnom vršnom časovnom protoku izražen kroz odnos na dvotračnim putevima za dvosmerni saobraćaj.

- (1) \* Daljinski putevi (državni i međudržavni)  
\*\* Magistralni putevi (glavni E-pravci)
- (2) \* Daljinski putevi (međurepublički)  
\*\* Magistralni putevi (vezni i priključni E-pravci)
- (3) \* Vezni putevi (regionalni)  
\*\* Magistralni putevi (van E-pravaca)  
\* nova funkcionalna klasifikacija  
\*\* stara (još važeća) klasifikacija

Izvor: Vrednovanje u upravljanju razvojem i eksploatacijom putne mreže, Monografija, Saobraćajni fakultet u Beogradu, 1994.



Takođe, autor je definisao i brzinu pri kapacitetu za slučaj kada je zahtev za protokom veći od raspoloživog kapaciteta  $q_m/C > 1.00$  po formuli 3-05:

$$\bar{V}_{eFj} = \frac{V_c}{\frac{q_{zj} + f_{gj}}{C}}, \quad \text{koji važi za: } 1.00 < q_z/C < 1.50, \quad \text{obrazac: 3-05}$$

gde je:  $q_{zj}$  - zahtev za protokom u času j,

$f_{gj}$  - korekcionni faktor koji zavisi od relacije  $q_{zj}/C$

Tabela T.3-04. Korekcionni koeficijenti za brzinu pri zahtevu za protokom  $V_{cF}$ , za  $1.00 < q_m/C < 1.50$ ,

$q_{zj}/C$	$f_{gj}$
1.01 - 1.05	0.01 - 0.10
1.06 - 1.10	0.11 - 0.20
1.11 - 1.15	0.21 - 0.40
1.16 - 1.20	0.41 - 0.60
1.21 - 1.25	0.61 - 0.80
1.26 - 1.30	0.81 - 1.00
1.31 - 1.35	1.01 - 1.20
1.36 - 1.40	1.21 - 1.40
1.41 - 1.45	1.41 - 1.60
1.46 - 1.50	1.61 - 1.80

Izvor: Vrednovanje u upravljanju razvojem i eksploatacijom putne mreže, Monografija, Saobraćajni fakultet u Beogradu, 1994.

**4.**

**METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA I PRIKUPLJANJE  
ČINJENICA**

#### 4. METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA I PRIKUPLJANJE ČINJENICA

##### 4.1 Metodologija istraživanja

Metodologija ovog istraživanja određena je predmetom istraživanja, on predstavlja funkcionalnu opravdanost građevinskih intervencija na putu kao građevinskom objektu, čija je namena odvijanje saobraćaja. Za određivanje funkcionalne opravdanosti u inženjerskoj praksi uveden je pojam "**nivo saobraćajne usluge**" *NU*. Nivo saobraćajne usluge je definisan na osnovu eksploatacione brzine  $V_e$  i vremenskog zastoja  $VZ$  eksploatacione brzine u realnim uslovima puta i saobraćaja, u odnosu na brzinu u slobodnom toku  $V_{SL}$ , koja opet predstavlja brzinu vožnje u idealnim uslovima puta i saobraćaja.

Uvedeno je pet nivoa saobraćajne usluge i to *NU "A"*, *NU "B"*, *NU "C"*, *NU "D"*, *NU "E"* za stabilan saobraćajni tok, kada je  $q_m/C < 1.00$  i konačno nivo *NU "F"* za slučaj kada je zahtev za protokom  $q_m$  veći od praktičnog kapaciteta  $C$ , a takvo stanje je karakterično nestabilan saobraćajni tok.

Nivo saobraćajne usluge kao apstraktan pojam, konvencionalno je prihvaćen na osnovu obilnih istraživanja uticaja obima i strukture saobraćaja na eksploatacionu brzinu  $V_e$  i vremenski zastoj  $VZ$ , kao takav, nivo saobraćajne usluge prihvaćen je u inženjerskoj praksi u celom svetu, počev od SAD, pa i u nasoj zemlji.

Kao polazna veličina za određivanje vremenskog zastoja  $VZ$  uzima se veličina brzine u slobodnom toku  $V_{SL}$ , kako u idealnim, tako i u realnim uslovima puta i saobraćaja. Obzirom da uticaj elemenata puta na brzinu u slobodnom toku predstavlja relevantnu naučnu činjenicu, nameće se potreba da i uticaj elemenata puta na brzinu u slobodnom toku bude ispitan i definisan kroz naučno organizovan eksperiment u prirodnim i kontrolisanim uslovima i da matematički model uticaja bude formiran sa pokazateljima pouzdanosti rezultata.

Prema tome, metodologija ovog rada biće teorijsko empirijskog karaktera, zasnovana na eksperimentalnom istraživanju uticaja obima i strukture saobraćaja na brzinu toka i vremenski zastoj, pri različitom odnosu protoka i kapaciteta, koje je obavljeno u SAD i objavljeno kao uputstvo HCM (Highway Capacity Manual) 1994. i 2010. godine, kao i na eksperimentalnim rezultatima istraživanja uticaja elemenata puta na brzinu u slobodnom toku, pri normalnom psiho-fizičkom stanju i ponašanju vozača.

Ova istraživanja vršena su na Građevinskom fakultetu iz Niša, i objavljena su u monografiji "Usklađivanje konstruktivnih elemenata puta prema očekivanoj brzini u slobodnom toku" 2002.godine.

Referentne vrednosti kriterijuma za funkcionalnu opravdanost su u našim Propisima određene preko vrednosti osnovne brzine  $V_0$ , koja predstavlja "približnu brzinu saobraćaja", bez jasne definicije šta je to "približno", a to bi trebalo da predstavlja eksploatacionu brzinu toka  $V_e$ .

Kroz analizu rezultata istraživanja u ovom radu će se definisati pojam "približno" za veličinu  $V_e$ , kao polazni podatak, prema funkcionalnoj klasifikaciji puteva (pristupni, sabirni, vezni i daljinski), što u Propisima nije eksplicitno definisano. Utvrđene su determinističke vrednosti samo za računsku brzinu  $V_R$ ,  $NU$  i  $PGDS$ , ostale vrednosti za elemente puta dobijaju se voznodinamičkom analizom.

## **4.2. Prikupljanje činjenica**

### **4.2.1 Uticaj geometrijskih karakteristika puta na brzinu u slobodnom toku**

Kao činjenice korišćene se, delimično, rezultati eksperimentalnih istraživanja objavljeni u monografiji: Usklađivanje konstruktivnih elemenata puta prema očekivanoj brzini u slobodnom toku, sa posebnim osvrtom na poglavlje o obimno pripremljenom i organizovanom naučnom eksperimentu, kao dokazu verodostojnosti rezultata, i u čijem razvoju i pisanju je i sam autor ovog rada učestvovao kao koautor.

Metodologija istraživanja je postavljena na način da se utvrdi uticaj konstruktivnih elemenata puta na brzinu u slobodnom toku u prirodnim okolnostima. Pod pojmom prirodne okolnosti za ovo istraživanje podrazumeva se vožnja odabranim tipskim vozilom po deonicama javnih puteva, izabranim tako da sadrže geometrijske elemente (krivina predviđenog radijusa, poprečni nagib, podužni nagib, preglednost itd.) u prirodnom ambijentu okoline i pri maloj gustini saobraćaja, kada nema ometanja u vožnji od drugih učesnika u saobraćaju. Takođe, u prirodne okolnosti je svrstan i uslov vozačima, da voze brzinom koju dopuštaju konstruktivni (geometrijski) elementi puta sa okolinom, a pri uobičajenom ličnom kriterijumu osećaja sigurnosti. Naravno, istraživanje mora biti eksperimentalno sa merenjem, a da bi na osnovu njega mogao da se izvuče i nekakav relevantan zaključak, eksperiment mora biti u strogo definisanim i kontrolisanim svim uticajnim okolnostima na pojavu koja se ispituje (L.17).

Na početku je potrebno reći da na brzinu vožnje utiču mnoge okolnosti, počev od gustine saobraćaja, vrste vozila, ličnosti i emotivnog napora vozača, vremenskih uslova, okoline puta, stanja kolovoznog zastora, do sklopa geometrijskih karakteristika puta koje i predstavljaju srž predmeta istraživanja.

Obzirom da je postavljeni cilj utvrditi uticaj geometrijskih elemenata puta na brzinu vožnje i da taj uticaj bude osnova za normativnu vrednost za dinamičke analize sigurnosti, udobnosti vožnje i brzine saobraćajnog toka, tada sve druge uticajne okolnosti treba brojčano izmeriti i tokom eksperimenata zadržati na zadatom nivou kao determinističke konstante.

Međutim, utvrđivanje normativnog nivoa ostalih uticajnih okolnosti je višestruko složen proces i zahteva multidisciplinarni pristup sa gledišta tehničkih, medicinskih i ekonomskih nauka, uz sve prethodno, neophodan je i društveni konsenzus oko definisanja normativnog stepena sigurnosti saobraćaja na putevima. Kao što je poznato, u Srbiji do sada nema jasno definisanih pomenutih standarda. Zbog toga će se u ovom radu izvršiti analiza uticaja tih okolnosti i utvrditi njihovi prihvatljivi nivoi pri izvođenju eksperimenata.

U metodologiji eksperimentalnog istraživanja se smatra velikom greškom ako se u slučajevima istovremenog uticaja više nezavisnih okolnosti, uticaji nekontrolisanih okolnosti pripisu samo jednoj kontrolisanoj okolnosti. Takvi rezultati se mogu smatrati kao ponašanje vozača pri datim okolnostima, a ne kao uticaj geometrije puta na brzinu vožnje.

Iz gore pomenutih razloga, za eksperimentalnu vožnju je bilo neophodno pažljivo analizirati sve bitne uticajne okolnosti na brzinu vožnje i kvantifikovati ih, a vožnju koja je predstavljala predmet merenja, izvršiti po grafiku sklopa okolnosti na kome će neke okolnosti biti uvek konstantne i na određenom nivou, a druge nezavisno promenljive kao relevantne za definisanje uticaja elemenata puta na brzinu u slobodnom toku. Merenje i registrovanje kontinualne brzine na poznatoj geometriji puta je vršeno pomoću posebno konstruisane opreme koja je bila smeštena u vozilu.

Primenjujući ovakvu metodologiju eksperimentalnog istraživanja dobijene su stohastičke korelacije brzine i elemenata puta sa vrlo velikim stepenom korelacije i vrlo malom varijacijom.

4.2.2 Merodavne uticajne okolnosti na brzinu u slobodnom toku

***Gustina saobraćaja***

U cilju da se izoluje samo uticaj geometrijskih elemenata puta na brzinu vožnje, moralo bi da se izbegne bilo kakvo ometanje kretanja vozila tom brzinom od strane drugih učesnika u saobraćaju. Prema tome, to mora biti brzina u slobodnom toku. Slobodni tok se po istraživanjima KÖPPEL-a definiše kao kretanje vozila ako ispred sebe nema nikakvog vozila na vremenskoj distanci od sedam sekundi vožnje i iza sebe vozilo takođe na vremenskoj distanci od četiri sekunde vožnje, što odgovara nivou saobraćajne usluge "A" sa približno do 15% iskorišćenosti kapaciteta.

***Vozilo***

Kao merodavno-normativno vozilo za vozno-dinamičke analize treba uzeti najzastupljenije vozilo na nacionalnim putevima iz srednje klase, tj. vozilo koje može da razvije brzinu do 135 km/h kolika je ordinata  $V_{85\%}$  na kumulativnoj raspodeli saobraćaja na auto-putevima.

U vreme ispitivanja za srpske uslove to je bilo vozilo "Z-101":

- dužina.....	3836 mm
- širina .....	1590 mm
- visina .....	1372 mm
- ukupna težina .....	12,07 kN
- zapremina motora .....	1116 cm <sup>3</sup>
- maksimalna snaga .....	40,48 kW
- maksimalna brzina .....	145 km/h

***Klimatski uslovi u vozilu***

Kao normativne klimatske uslove u vozilu treba uzeti temperaturu 15-31°C, vlažnost vazduha 15%-70% i normalno provetravanje.

***Vremenski uslovi***

Pod vremenskim uslovima bitnim za vozača treba podrazumevati vidljivost i atmosferske padavine.

Kao normativna okolnost se usvojena je dnevna vidljivost i suv kolovoz.

### ***Okolina puta***

Kao normativna vrednost okoline, prihvaćen je brežuljkasto-brdovit predeo, delimično izgrađen, jer je na ovim prostorima takav ambijent najzastupljeniji.

### ***Ličnost vozača***

Za vreme vožnje vozač i vozilo čine jednu funkcionalnu celinu u kojoj je vozač aktivan element u procesu rada sistema: Vozač-Vozilo-Put sa okolinom. Aktivnost i ponašanje čoveka u saobraćaju je pod uticajem mnogih faktora koji se mogu grupisati u dve osnovne grupe, kao spoljni faktori i kao unutrašnji faktori (L. 71).

U spoljne faktore, u prvom redu, spadaju uticaji puta i okoline koje vozač prihvata svojim čulima, a zatim i druge uticajne okolnosti.

Različitost ličnosti vozača se može najbolje objasniti preko unutrašnjih faktora, koji definišu njegovu ličnost i uslovljavaju njegovo ponašanje u saobraćaju. Jer, čovek je složeno integrisan sklop nasleđa, urođenih obeležja, antropološke strukture fizičkih karakteristika, mentalnih sposobnosti, ali i društveni uslovi u kojima se formirao imaju značajnu ulogu. U tome se sastoji objašnjenje zašto jedan vozač odabira jednu brzinu, a drugi vozač drugu brzinu vožnje na istom putu i istim uslovima saobraćaja (L. 52).

Unutrašnje faktore vozača, po kojima se oni među sobom razlikuju moguće je u zadovoljavajućoj meri, za ovu potrebu, objasniti preko tri obeležja i to: konstitucije ličnosti, stepena obučenosti u vožnji i poznavanju osnovnih normi ponašanja u saobraćaju.

### ***Konstitucija ličnosti vozača***

Poznavanje i proučavanje ličnosti je posebna disciplina u oblasti psihologije. Danas postoji više metoda za proučavanje i klasifikaciju ličnosti kao i postupaka za ispitivanje ličnosti. Većina metoda se zasniva na utvrđivanju crta ličnosti kao elemenata i veličina kojima se na određeni način može definisati neka ličnost (L. 54).

Kao normativna vrednost prilikom izbora ličnosti, za reprezentativni uzorak u eksperimentu definisano je da osoba treba da bude u zreлом životnom dobu, takođe uspešan vozač i osoba normalno motivisana za vožnju.

### ***Ravnost kolovoznog zastora***

Obzirom na cilj istraživanja, na mernim deonicama puta uticaj ove okolnosti treba da bude eliminisan izborom deonica sa dobrom ravnošću (L. 71).

### ***Hvatljivost kolovoznog zastora***

Merodavna vrednost koeficijenta hvatljivosti kolovoznog zastora na mernim deonicama treba da bude veća od 0,55, što su po pravilu svi suvi asfaltni i betonski zastori i vlažni (ne mokri) hrapavi asfaltni zastori.

### ***Geometrijski elementi puta kao promenljive veličine***

Za ispitivanje istovremenog združenog uticaja geometrijskih karakteristika puta, kao nezavisne promenljive, izabrane su sledeće veličine:

- širina saobraćajne trake  $S$  [m]
- širina ivične trake  $t_i$  [m]
- odstojanje od zaštitne ograde  $b$  [m]
- radijus horizontalne krivine  $R$  [m]
- poprečni nagib kolovoza u krivini  $i_{pk}$  [%]
- skretni ugao krivine  $\alpha$  [°]
- krivinska karakteristika  $K$  [°/km]
- nagib nivelete  $i$  [%]
- radijus konveksne vertikalne krivine  $R_v$  [%]

## **4.3 Istovremeni uticaj uticajnih parametara**

Simultani uticaj svih geometrijskih elemenata puta pri zadatim okolnostima, na brzinu u slobodnom toku, utvrđen je eksperimentalnom vožnjom na odabranim deonicama puteva izvedenim po tada važećim jugoslovenskim Propisima. Merne deonice puta treba da imaju poznatu računsku brzinu i da im je poznata geometrija, a takođe i da im je dužina dovoljna kako bi se iskazao združeni uticaj svih primenjenih geometrijskih elemenata puta. Združeni uticaj elemenata puta na brzinu u slobodnom toku utvrdiće se višeparametarskom regresionom analizom (L. 40, 71).

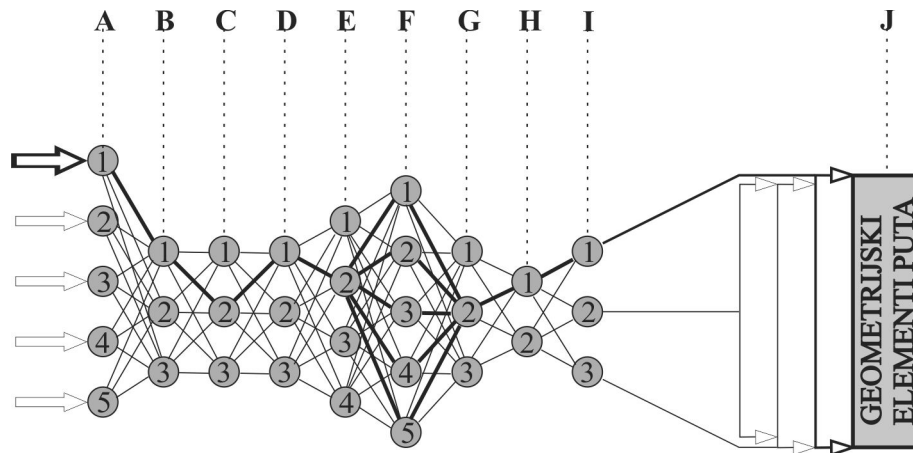
### **4.3.1 Sklopovi okolnosti za eksperimentalno istraživanje uticaja geometrijskih elemenata puta na brzinu vožnje**

Okolnosti pod kojima se može utvrđivati združeni uticaj elemenata puta na brzinu vožnje navedene su u tabeli T. 4-01.



#### 4. Metodologija istraživanja i prikupljanje činjenica

Na sl. 4-01. prikazan je graf mogućih sklopova okolnosti sa naglašenim normativnim sklopom prema kome se vrše ispitivanja.



Sl. 4-01. Graf sklopova uticajnih okolnosti na merenu brzinu u slobodnom toku

Tabela T. 4-01 Uticajne okolnosti na brzinu u slobodnom toku

Geometrijske karakteristike puta	Združeni uticaj	-Multipla regresija					
	Elementi situacionog plana	-Radijus horizontalne krivine		-Skretni ugao krivine			
	Elementi podužnog preseka	-Nagib nivelete					
	Elementi širine kolovoza	-Širina kolovozne trake		-Širina ivične trake			
		-Odstojanje od zaštitne ograde					
Opšte okolnosti	Hvatljivost kolovoznog zastora	I	Suvi i čisti asfalti i betoni (1)		Mokri klizavi asfalti (2)	Sneg i poledica (3)	
			sa $f_h \geq 0,55$		sa $f_h < 0,55$		
	Ravnost kolovoznog zastora	H	Dovoljno (nije ograničavajuće) (1)			Nedovoljno (ograničavajući faktor) (2)	
	Emotivno naprezanje vozača	G	Bez izraženih motiva (1)		Normalna motivisanost (2)	Jaka motivisanost (3)	
	Ličnost vozača	F	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	Okolina puta	E	Ravničarski predeo (1)	Brežuljkasto brdoviti predeo (2)	Planinski predeo (3)	Gusto izgrađeni (4)	
	Vremenski uslovi	D	Dnevna vidljivost (1)		Noćna vidljivost (2)	Vidljivost ometana atmosferilijama (3)	
	Klimatski uslovi u vozilu	C	Toplo (1)		Normalno (2)	Hladno (3)	
	Vrsta vozila	B	Putničko (1)		Kamion (2)	Auto-voz (3)	
Gustina saobraćaja	A	NU "A" (1)	NU "B" (2)	NU "C" (3)	NU "D" (4)	NU "E" (5)	

#### 4. Metodologija istraživanja i prikupljanje činjenica

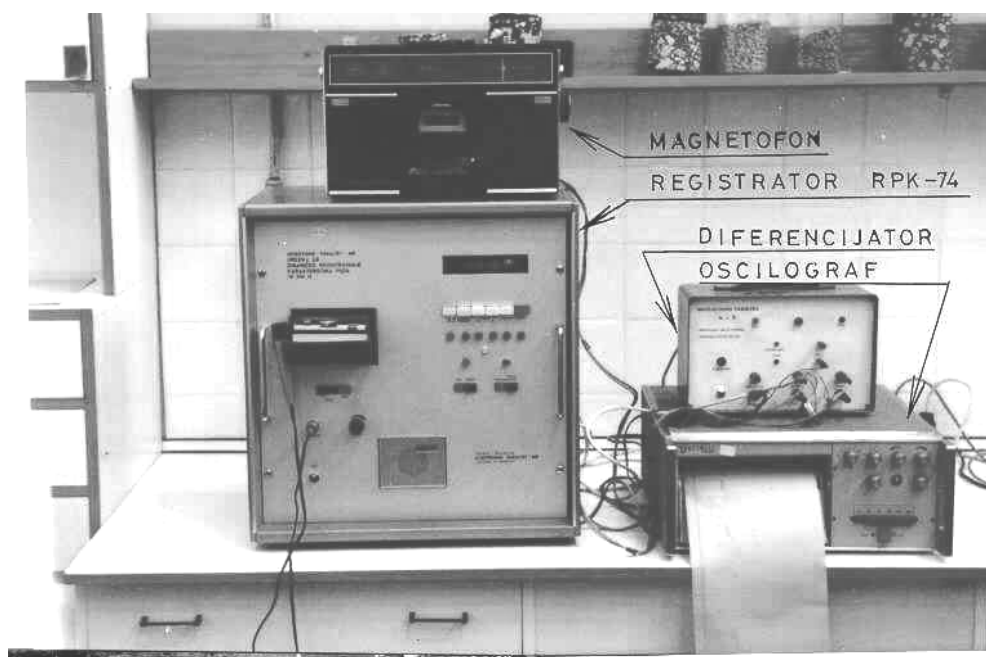
##### 4.3.2 Merna oprema

Merna oprema je specijalno razvijena za potrebe ovog eksperimenta (L. 41, 71). U tom pogledu morao je biti zadovoljen poseban zahtev da pored potrebnih mernih mogućnosti, svojom veličinom, položajem i instalacijama, oprema ne utiče na psihofizičku sposobnost vozača niti na vozne karakteristike vozila. Oprema je konstruisana 1974. godine na Elektronskom fakultetu u Nišu (L. 41).



Sl. 4-02. Merno vozilo L. 26.

Reprodukcija merenja vrši se u laboratoriji sa delom opreme na slici. 4-03.



Sl. 4-03. Uređaj za reprodukciju merenih vrednosti L. 26.

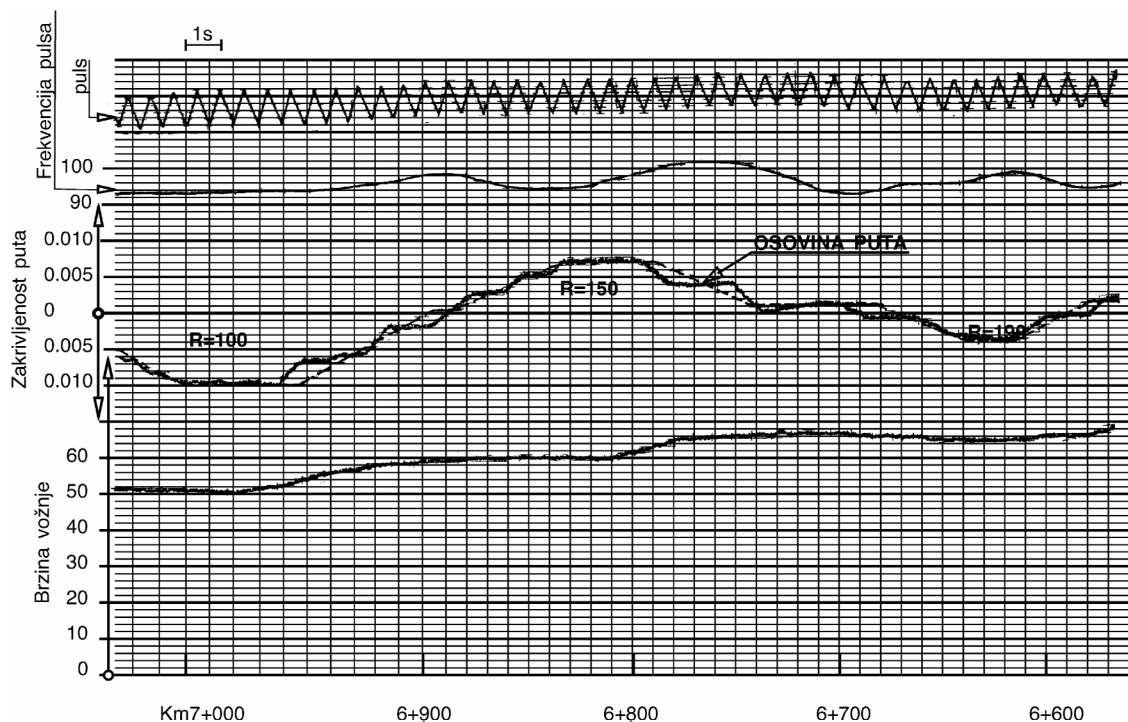
#### 4. Metodologija istraživanja i prikupljanje činjenica

Prilikom vožnje svakog vozača pojedinačno, kontinualno su merene i snimane sledeće veličine:

- vreme vožnje,
- pređeni put,
- brzina vožnje,
- akceleracije (ubrzanje i usporenje),
- zakrivljenost putanje vozila,
- rad srca i frekvencija srca vozača
- lično verbalno opisivanje psihofizičkog stanja vozača tokom vožnje.

Na osnovu gore navedenih, snimljenih vrednosti moguće je odrediti sledeće veličine:

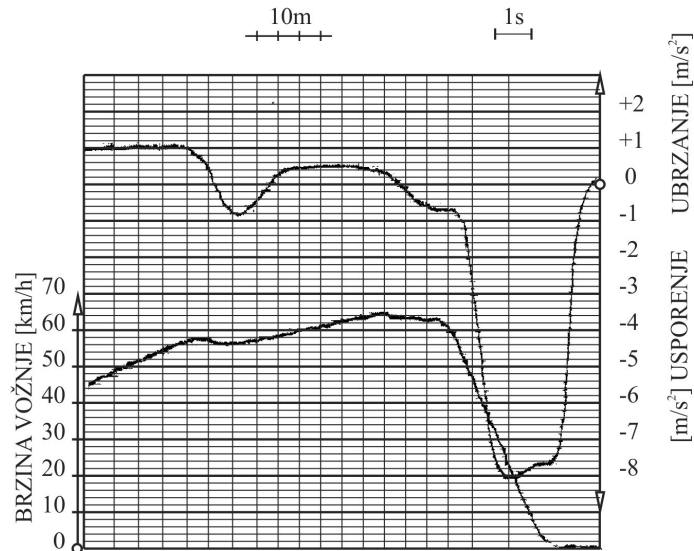
- ugao krivine,
- koeficijent hvatljivosti kolovoznog zastora.



Sl. 4-04. Reprodukovani grafici mernih veličina pri vožnji za utvrđivanje uticaja elemenata puta na brzinu u slobodnom toku, L. 26.

Na slici 4-04 je prikazan deo foto-trake sa snimljenom brzinom, zakrivljenošću putanje vozila i pulsa vozača na putu M-25, deonica Tresibaba-Knjaževac.

Na slici 4-05 je insert trake sa dijagramima brzine i ubrzanja prilikom kočenja sa ciljem određivanja koeficijenta hvatljivosti kolovoza.



Sl. 4-05. Reprodukovani grafici brzine i usporjenja tokom kočenja vozila blokiranim točkovima L.26

Koeficijent hvatljivosti se može izračunati na osnovu vrednosti usporjenja ( $u_h$ ) po formuli (L. 26.):

$$f_h = \frac{u_h}{9,81} - w_k \mp i \quad \text{obrazac: 4-01}$$

ili

$$f_h = 0,102 \cdot u_h - 0,012(1 + V^2 \cdot 4 \cdot 10^{-5}) \mp i \quad \text{obrazac: 4-02}$$

gde su:

[m/s<sup>2</sup>]  $u_h$ - usporjenje

[km/h]  $V$ - brzina pri kojoj je izvršeno kočenje

[%]  $i$ - podužni nagib nivelete

#### **4.4 Matematički model**

Svi rezultati eksperimentalnih istraživanja zahtevaju upotrebu teorije verovatnoće i statističku obradu, odnosno statističko objašnjenje sa određenim stepenom pouzdanosti.

Prema prikazanoj metodologiji i usvojenom grafiku sklopa uticajnih okolnosti, brzina vožnje može biti zavisna od jednog ili više nezavisno promenljivih elemenata puta.

Odabrani skup reprezentativnih elemenata puta u statističkom uzorku, predstavlja numeričke vrednosti veličina zadatih okolnosti na brzinu vožnje. Merenjem su dobijene odgovarajuće vrednosti te brzine, one takođe predstavljaju prebrojiv skup merenja, odnosno prebrojiv skup sa ponavljanjem (L. 40, 71).

Između vrednosti elemenata puta kao promenljivih uticajnih okolnosti na brzinu i odgovarajućih (izmerenih) vrednosti brzine postoji bitna razlika i ogleda se u tome da su reprezentativne vrednosti elemenata puta nezavisno promenljive (nepromenljive su pod međusobnim uticajem), a njihove vrednosti se konstatuju preciznim merenjem i smatraju se tačnim.

Odgovarajuće vrednosti brzine vožnje, takođe se konstatuju preciznim merenjem, ali u svakom ponovljenom slučaju su različita pod neuniformnim uticajem svih obuhvaćenih i kontrolisanih okolnosti i možda i drugih okolnosti koje nismo obuhvatili eksperimentom jer za njih nismo znali ili im pak nismo dali odgovarajući značaj.

Takve vrednosti brzine su slučajne i nisu tačne, jer u sebi sadrže slučajnu grešku u opštem smislu. One su zavisno promenljive od svih nezavisno promenljivih-uticajnih okolnosti.

Broj nezavisno promenljivih (uticajnih okolnosti) elemenata puta zavisi od usvojenog sklopa uticajnih okolnosti (sl. 4-01). Ukoliko se varira samo jedna nezavisno promenljiva onda se radi o linearnoj regresiji, a ako se izvrši variranje više promenljivih onda se radi o višeparametarskoj linearnoj regresiji.

#### 4.4.1 Osnovni statistički pokazatelji linearne regresije

Oblik regresije:  $\hat{V} = b_0 + b_1x$  - pravolinijska (linearna) regresija, obrazac: 4-03

$\hat{V} = b_0 + b_1x + \dots + b_nx^n$  - krivolinijska (polinomska) regresija.  
obrazac: 4-04

#### 4.4.2 Osnovni pokazatelji višeparametarske linearne regresije

Oblik regresije:  $\hat{V} = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + \dots + b_nx_n$  – opšti oblik višeparametarske linearne regresije, obrazac: 4-05

$\hat{V} = b_0 + b_1f_1(x_1) + b_2f_2(x_2) + \dots + b_nf_n(x_n)$  – modifikovani oblik višeparametarske linearne regresije. obrazac: 4-06

Ovakvu regresiju dodatno objektivizuju sledeći pokazatelji:

Studentov test za proučene vrednosti koeficijenta regresije  $b_j = b_1, b_2, \dots, b_m$

Test“nul-hipoteze”za procenu vrednosti koeficijenta regresije( $b_j$ ) pri stepenu poverenja od 5%

#### 4.5 Merne deonice za utvrđivanje združenog uticaja svih elemenata puta

Merne deonice su odabrane tako da reprezentuju puteve od najoštrijih do najkonformnijih elemenata, tako da bi se pokazao uticaj krivinskih karakteristika u krivinama  $R > R_{\min}$

#### 4.5.1 Krivinska karakteristika $K$

Krivinska karakteristika je definisana kao prosečna vrednost skretnih uglova po kilometru na nekoj putnoj deonici minimalne dužine 5 km. Krivinska karakteristika utiče na ometanje postizanja odgovarajuće brzine u krivinama radijusa većeg od minimalnog. Veličina krivinske karakteristike i minimalno primenjeni radijus krivine na deonici su dva bitna faktora koja određuju stepen umanjavanja brzine u većim radijusima krivina i na samom pravcu.

Za eksperimentalnu vožnju, merne deonice treba da zadovolje sledeće uslove: Širina kolovoza, podužni nagibi nivelete, i preglednost u planu i profilu treba da su iznad minimalnih vrednosti za postizanje brzine koju omogućavaju radijusi horizontalnih krivina, isto tako i dužine deonice treba da su veće od 5 km, a sve ovo potvrđuje se projekatom izvedenog stanja istih.

Na taj način je odabrano 5 deonica i to:

Deonica KA na putu M-25 Tresibaba-Knjaževac

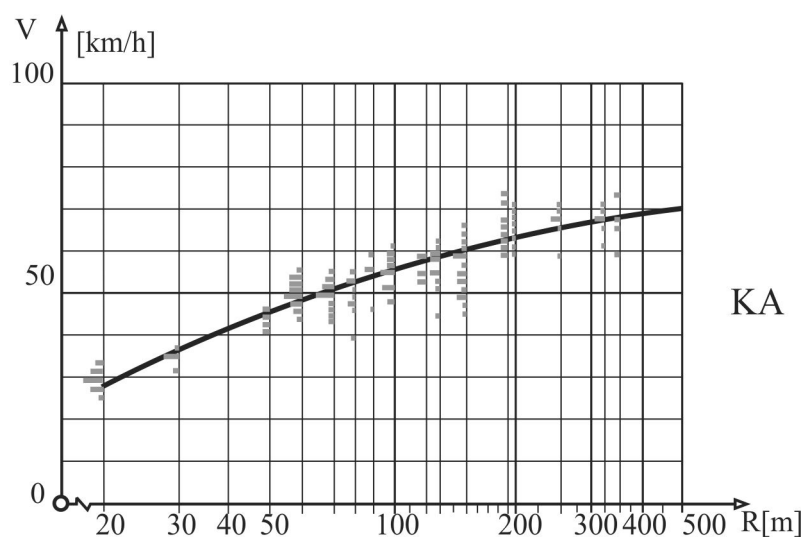
Deonica KB na putu M-25 Svrlijig-Tresibaba

Deonica KC na putu M-1. 2 Grdelica-Vladičin Han

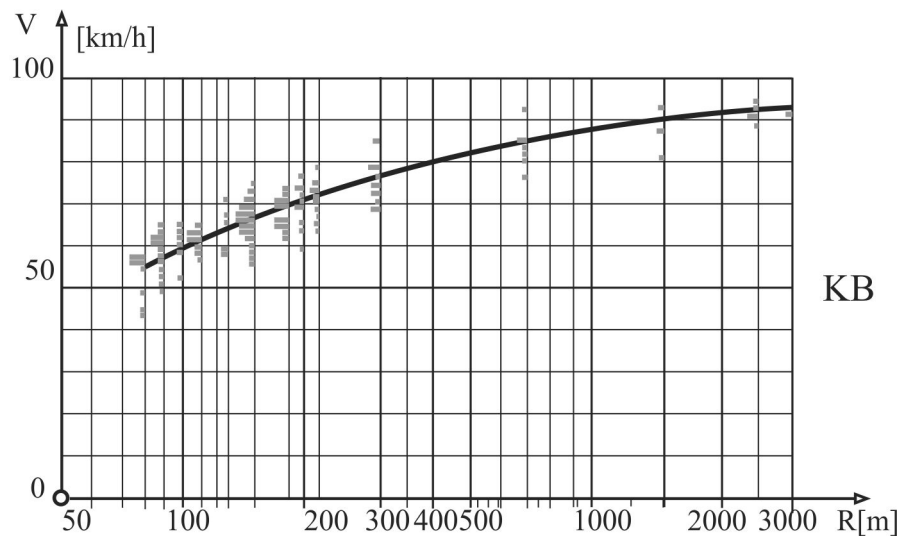
Deonica KD na putu M-1. 2 Vladičin Han-Vranje

Deonica KE na auto-putu E75 Niš-Deligrad.

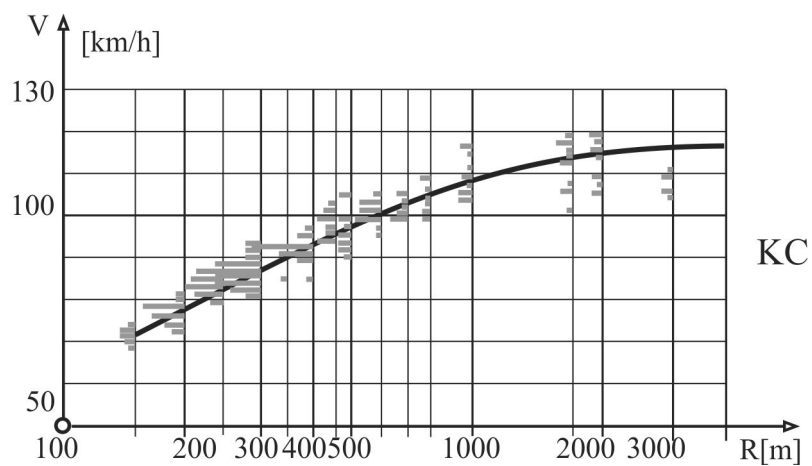
Realizovane brzine na deonicama i linije srednjih vrednosti su prikazane na slikama 4-06. do 4-10.



Sl. 4-06. Rezultati merenja uticaja radijusa horizontalne krivine na brzinu u slobodnom toku na deonici puta "KA" dužine  $L=13,4$  km i krivinske karakteristike  $K=457$  °/km.

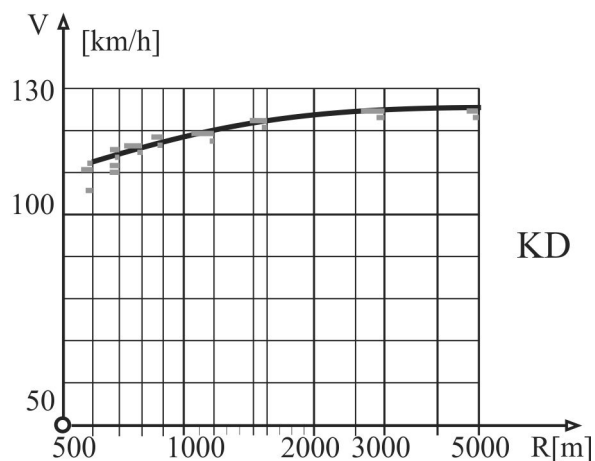


Sl. 4-07. Rezultati merenja uticaja radijusa horizontalne krivine na brzinu u slobodnom toku na deonici "KB" dužine  $L=6,9$  km i krivinske karakteristike  $K=178$  °/km.

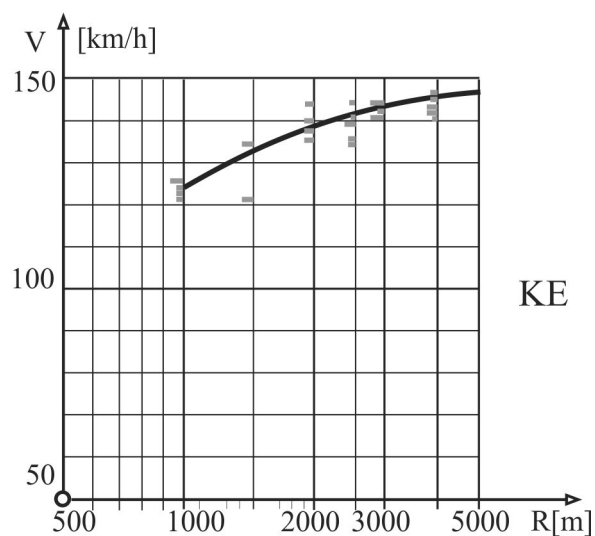


Sl. 4-08. Rezultati merenja uticaja radijusa horizontalne krivine na brzinu u slobodnom toku na deonici "KC" dužine  $L=32,7$  km i krivinske karakteristike  $K=86$  °/km.





Sl. 4-09. Rezultati merenja uticaja radijusa horizontalne krivine na brzinu u slobodnom toku na deonici “KD” dužine L=10,0 km i krivinske karakteristike K=37 °/km.

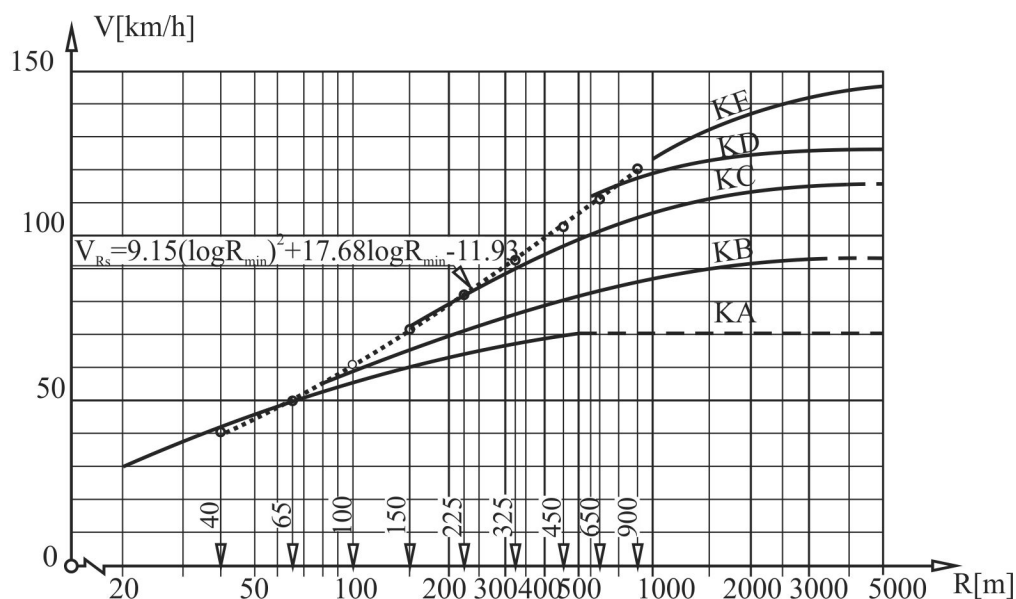


Sl. 4-10. Rezultati merenja uticaja radijusa horizontalne krivine na brzinu u slobodnom toku na deonici “KE” dužine L=16,0 km i krivinske karakteristike K=18 °/km.

Na zbirnom grafikonu (sl. 4-11) anvelopa sa gornje strane po obrascu 4-07:

$$V_R = 9,15 (\log R_{\min})^2 + 17,68 \log R_{\min} - 11,93, \quad \text{obrazac: 4-07}$$

predstavlja najveće bezbedne brzine u izolovanim radijusima horizontalnih krivina kao  $V_{50\%}$ .



Sl. 4-11. Zbirni dijagram uticaja po mernim deonicama krivinske karakteristike ( $K$ ) i radijusa krivine ( $R$ ) na brzinu u slobodnom toku ( $V_{SL}$ )

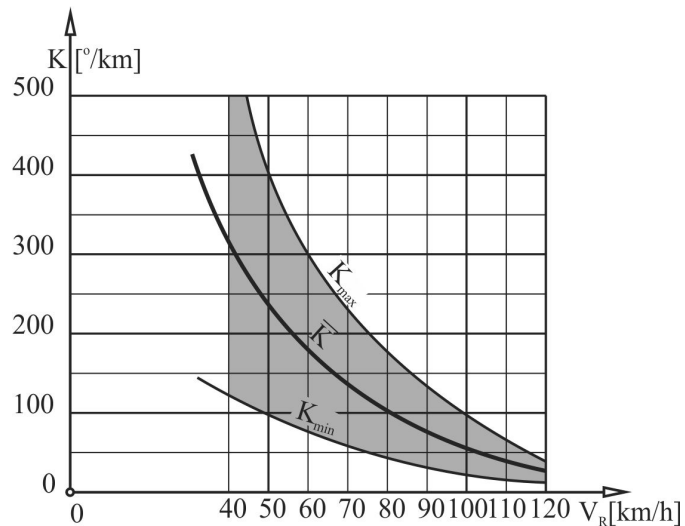
Statistički pokazatelji dijagrama na sl.4-11. po posebnim deonicama sa pojedinim krivinskim karakteristikama (bez promenljive  $K$ ) prikazani su u tabeli T.4-02.

Tabela T. 4-02 Statistički pokazatelji zbirnog dijagrama na sl. 4-11.

pokazatelji	oznaka	za $R = R_{min}$	za $R > R_{min}$
Broj izmerenih rezultata	N	320	479
Koeficijent korelacije	R	0.9953	0.9188
Standardna greška regresije	$S_{\bar{v}}$	2.02 km/h	3.53 km/h
Procenat varijacije	$v$	2.87%	4.17%

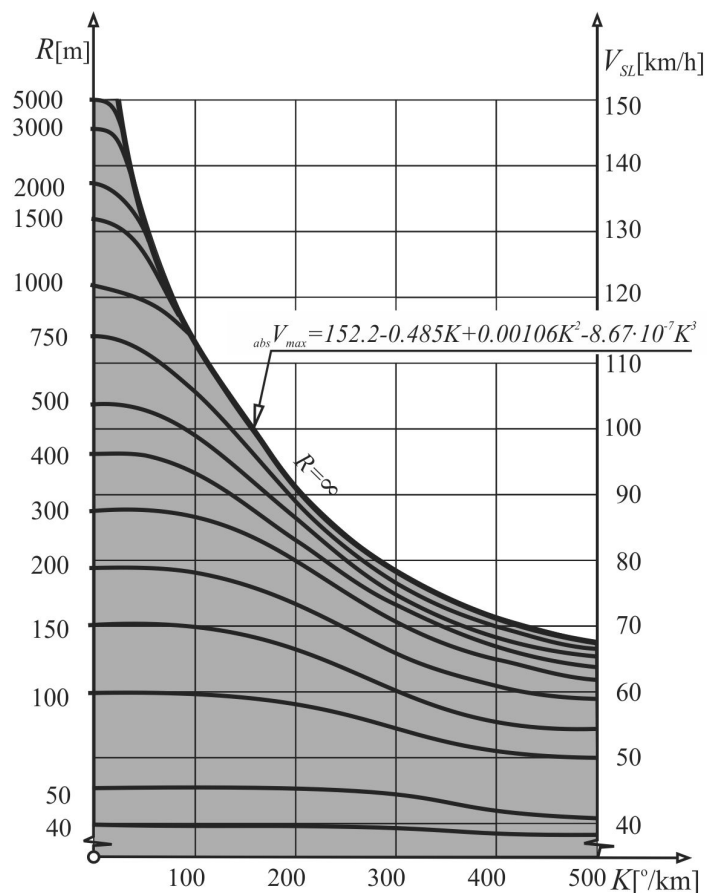
Uz neophodne interpolacije i neznatne aproksimacije dijagram sa sl. 4-11. se transformiše u dijagram zavisnosti brzine u slobodnom toku  $V_s$  od veličine radijusa horizontalne krivine  $R$  i krivinske karakteristike  $K$ , sl. 4-13.

Veličina krivinske karakteristike na nekoj deonici puta zavisi od broja krivina i veličina primenjenih radijusa. Veličina minimalnog radijusa  $R_{min}$  je uslovljena brzinom  $V_{Rs}$  a broj krivina  $i$  u njima primenjen radijus zavisi od terenskih uslova.



Sl.4-12. Granične vrednosti krivinske karakteristike  $K$  u zavisnosti od računске brzine  $V_R$

Prema tome za svaku vrednost brzine  $V_{R_s}$ , odnosno minimalnog radijusa krivine, krivinska karakteristika može da varira od  $K_{min}$  za samo jednu krivinu sa  $R_{min}$  na 1 km dužine puta sa skretnim uglom  $\alpha$  za slučaj krivine sa  $R_{min}$  i odnosom  $L_{min} : Dkl : L_{min} = 1 : 1 : 1$  do " $K_{max}$ " za niz krivina sa " $R_{min}$ " i to bez međupravaca (sl. 4-12).



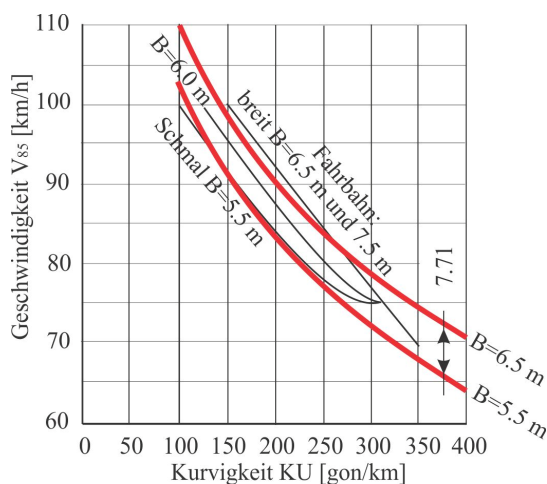
Sl. 4-13. Zavisnost brzine u slobodnom toku od radijusa horizontalne krivine  $R$  i krivinske karakteristike  $K$

U postupku proračuna na matematičkom modelu za višeparametarsku lineranu regresiju, odbačene su nezavisno promenljive varijable za koje je potvrđena “nul hipoteza” sa 5% rizika, a to su: skretni ugao krivine, poprečni nagib kolovoza u krivini, podužni nagib nivelete, i preglednost puta. Preostale varijable su pokazale uticaj na izmerene brzine po sledećoj jednačini:

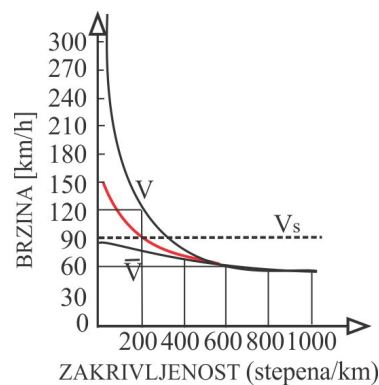
$$\hat{V} = 34.37 \cdot \log R + 15.42 \cdot S - 0.029 \cdot K_k \cdot 0.037 \cdot K - 47,80 \quad \text{obrazac: 4-08}$$

- koeficijent multiple korelacije  $r = 0.95486$ ,
- standardna greška regresije  $S_{\hat{V}} = 7.00 \text{ km/h}$ .

#### 4.6 Upoređivanje rezultata uticaja krivinske karakteristike na brzinu vožnje u slobodnom toku sa stranim iskustvima



Sl. 4-14 Upoređivanje sopstvenih merenja uticaja krivinske karakteristike puta na brzinu vožnje sa normativom u RAS-L-1995 (L. 87)



Sl.4-15 Upoređivanje sopstvenih merenja uticaja krivinske karakteristike puta na brzinu vožnje sa normativom u HDM-III (L. 96)

Na dijagram uticaja krivinske karakteristike i širine kolovoza na očekivanu brzinu “ $V_{85\%}$ ” (RAS-L-1995), sl.4-14, unesena su naša istraživanja uticaja krivinske karakteristike na brzinu pri  $R = \infty$  sa slika. 4-13.

Za širinu kolovoza od  $B = 5,50$  m u odnosu na  $B = 6,50$  m može se izračunati brzinska razlika “ $\Delta V$ ”, koristeći se višeparametarskim regresionom formulom združenog uticaja elemenata puta na brzinu u slobodnom toku, obrazac 4-09.

$$\Delta V = 15.42 \cdot S = 15.42 \left( \frac{6.50 - 5.50}{2} \right) = 7.71 \text{ km/h} \quad \text{obrazac: 4-09}$$

Podudarnost rezultata je očigledna za opseg krivinskih karakteristika od  $K = 100^\circ/\text{km}$  do  $K = 400^\circ/\text{km}$  (sl. 4-14.).

Osim gore navedenog normativa uticaja krivinske karakteristike na očekivanu brzinu takođe i u HDM modelu se računa uticaj krivinske karakteristike na brzinu vožnje pri određivanju eksploatacionih troškova (sl. 4-15), gde je:

$V$  - teorijska vrednost brzine za vozilo maksimalnih mogućnosti

$V_s$  - željena brzina

$\bar{V}$  - realizovana brzina

$V_{SL}$  - realizovana brzina u našem eksperimentu prema sl. 4-13.

#### **4.7. Upoređivanje zajedničkog uticaja svih elemenata na konstrukciju profila brzine u slobodnom toku sa stranim iskustvima**

Na sl. 4-16 na deonici puta dužine oko 11 km prikazani su uporedno profili projektne brzine po propisima Nemačke, Austrije, Francuske i Švajcarske. Za istu tu deonicu puta je na slici 4-17. konstruisan profil brzine na osnovu sopstvenih eksperimentalnih istraživanja (crvena linija).

**Komentar:** Prema sl. 4-17 nema bitnih odstupanja iako nije uzet moguć uticaj konveksnih vertikalnih krivina. Prema profilu brzine u slobodnom toku, po sopstvenoj

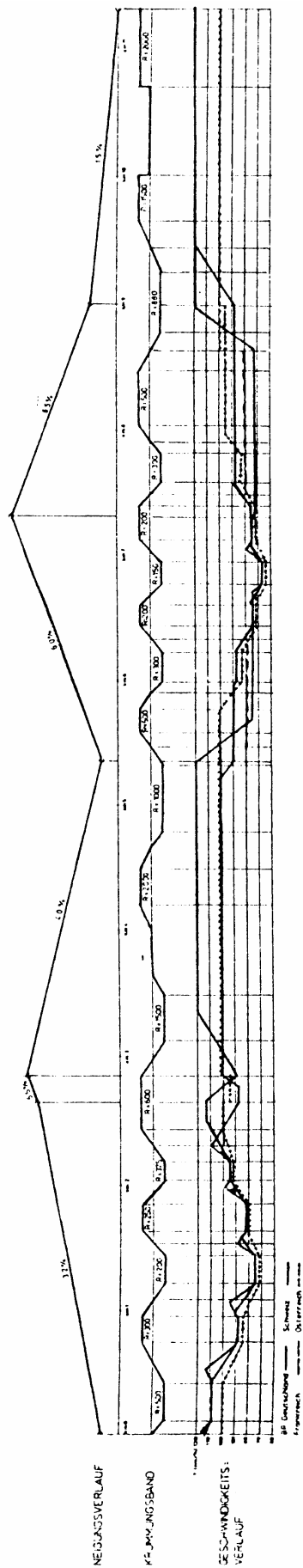
metodologiji (crvena linija), može se zaključiti da nema upotrebe radne kočnice, odnosno da su veličine susednih radijusa horizontalnih krivina usklađene.

Na sl. 4-17 prikazana je deonica puta dužine oko 6 km na kojoj je pomoću merne opreme snimljena geometrija puta (podužni nagib nivelete, zakrivljenost osovine puta i preglednost puta) i realizovana brzina vozila u slobodnom toku “ $V_{85\%}$ ” (tačkasta linija). Preko tako dobijenog grafika realizovane brzine nanesen je profil brzine po Austrijskoj metodologiji (puna linija). Elementi podužnog profila i osovine puta sa slike 4-18. su očitani sa odgovarajućih grafika i programom “DIP” konstruisan je profil brzine u slobodnom toku po našoj metodologiji.

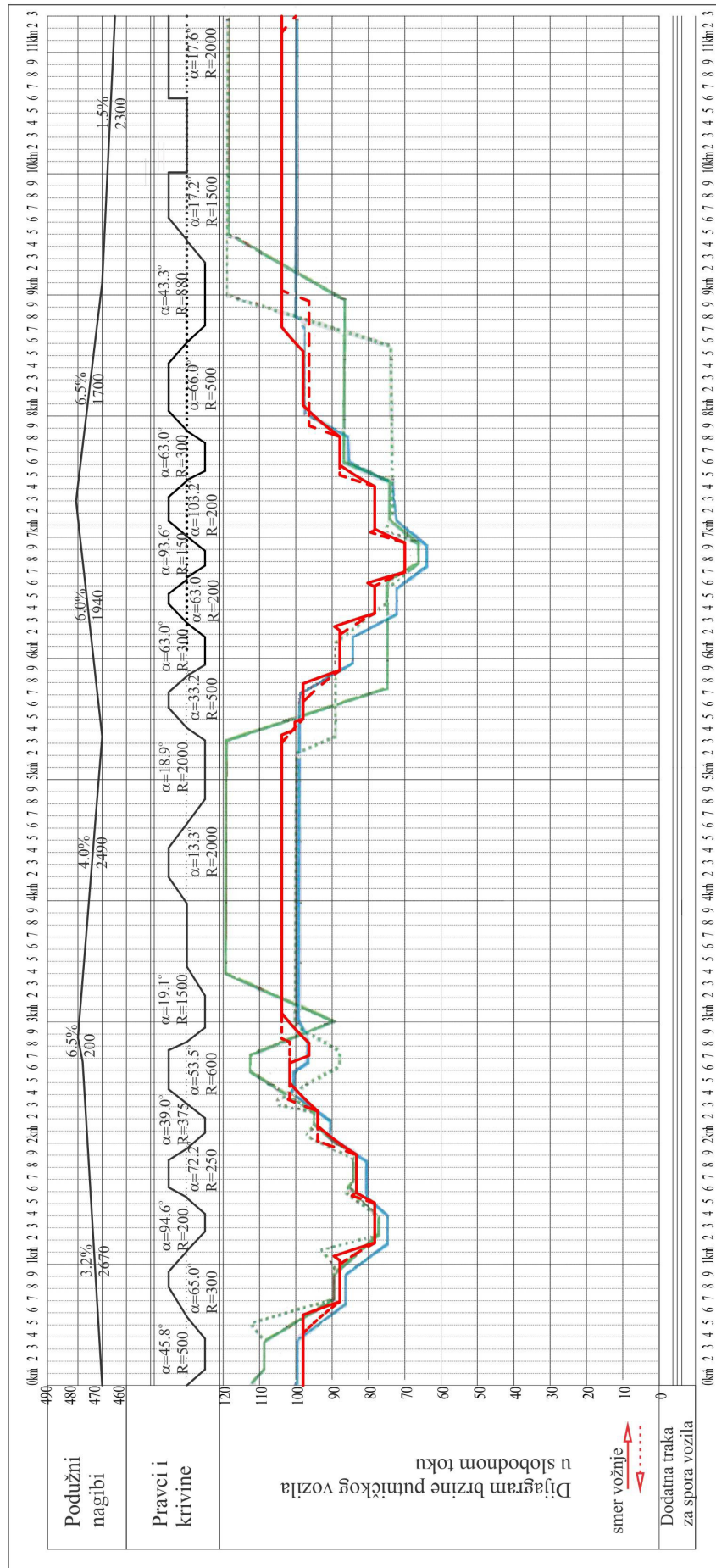
Na sl. 4-17 su uporedno prikazani profili brzine u slobodnom toku dobijeni programom “DIP” (crvena linija) i metodom koja je primenjena u Austriji sa slike 4-18. (plava linija).

**Komentar:** Upoređenjem profila brzina po Austrijskoj i sopstvenoj metodologiji može se konstatovati da nema bitnih razlika. Nerealno velika vrednost brzine u  $R=500m$  na km 0+700 po Austrijskoj metodologiji je korigovana isprekidanom linijom.

Na profilu brzine dobijenim programom “DIP”, na dva mesta uočena je upotreba radne kočnice što ukazuje na neusklađenost veličine susednih radijusa horizontalnih krivina u smeru rasta stacionaže.

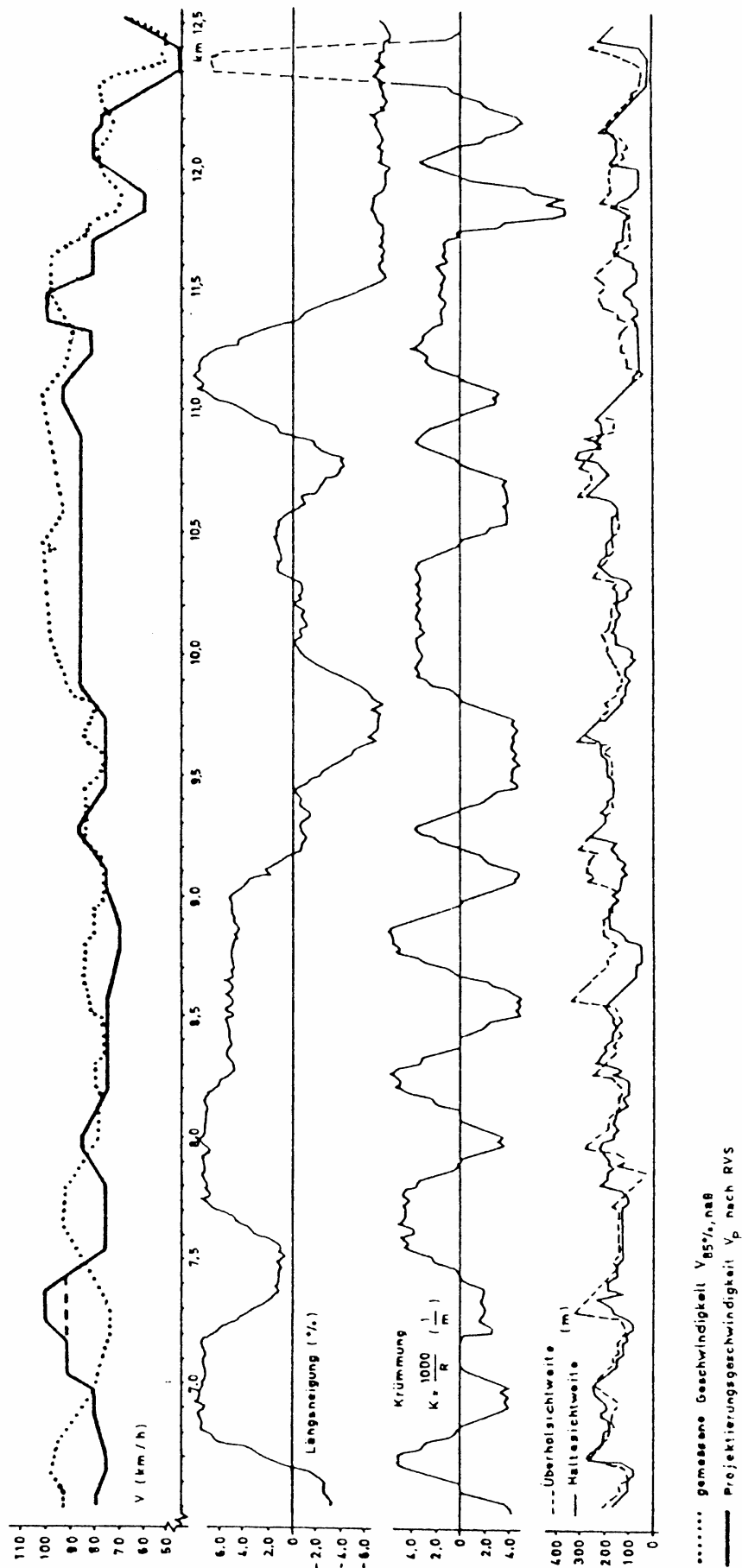


Sl. 4-16 Uporedni profil projektne brzine po propisima Nemačke, Francuske, Švajcarske i Austrije L. 26.



Sl. 4-17 Usporedni profil projektne brzine sa slike 4.16, uključujući i profil brzine urađen po našoj metodologiji. L. 26.





Sl. 4-18. Upoređenje realizovane brzine vozila po austrijskoj metodologiji sa profilom brzine u slobodnom toku po našoj metodologiji L. 26

#### **4.8. Eksperimentalni rezultati ispitivanja uticaja obima i strukture saobraćaja na brzinu saobraćajnog toka**

4.8.1 Eksperimentalni rezultati ispitivanja uticaja obima i strukture saobraćaja na brzinu saobraćajnog toka izvedenog u SAD, objavljeni u HCM - 94.

##### ***Kapacitet dvotračnog puta***

Kapacitet se definiše kao najveći mogući časovni saobraćajni protok na slobodnoj deonici puta u oba smera vožnje. Slobodna deonica puta je deo putnog pravca između dva uzastopna saobraćajna čvora (raskrsnice).

Kapacitet puta u realnim okolnostima saobraćaja i putnih elemenata se nazivapraktični kapacitet  $C$ , a određuje se na osnovu osnovnog kapaciteta  $C_0$  koji važi za idealne okolnosti.

Pod idealnim okolnostima se prema istraživanjima objavljenim u HCM - 94 podrazumena sledeće:

- ravničast teren,
- računaska brzina najmanje 96 km/h,
- obezbeđena preglednost puta,
- širina saobraćajne trake 3,60 m,
- širina bočnog pojasa (bankine) min 1,80 m,
- saobraćajni tok sastavljen od isključivo putničkih vozila i
- distribucija vozila po smerovima 50% / 50%

U ovako definisanim uslovima na eksperimentalan način, prema HCM - 94, uspostavljen je osnovni kapacitet putničkih vozila  $C_0 = 2800$  PA/h sa gustom pri osnovnom kapacitetu od 60-72 voz/km, uz napomenu da je niža vrednost karakteristična za brdovit i planinski teren.

##### ***Praktični kapacitet $C$ [voz/h]***

Praktični kapacitet se određuje na bazi osnovnog kapaciteta  $C_0$  za idealne uslove puta i saobraćaja, kada se umanji proizvodom faktora umanjenja koji proizilaze iz

#### 4. Metodologija istraživanja i prikupljanje činjenica

---

realne geometrije putnih elemenata (situacije, profila) i veličine i strukture realnog saobraćajnog toka, po obrascu 4-10.:

$$C = C_o \cdot \frac{q}{C_o} \cdot f_d \cdot f_w \cdot f_{PA} \cdot f_{TV} \quad [\text{voz/h}] \quad \text{praktični kapacitet} \quad \text{obrazac: 4-10}$$

gde su:  $C_o = 2800$  [voz/h]- osnovni kapacitet

$q/C_o$  - odnos najvećeg protoka prema osnovnom kapacitetu za određeni nivo saobraćajne usluge (tabela 4-03)

$f_d$  - faktor distribucije saobraćaja po smerovima (tabela 4-04)

$f_w$  - faktor uticaja smanjenja širine saobraćajne trake i bankine (tabela 4-05)

$f_{PA}$  - faktor uticaja putničkih vozila na usponima, po obrascu 4-11:

$$f_{PA} = \frac{1}{1 + \frac{p_{PA}}{100} \cdot I_p}; \quad I_p = 0.02 \cdot (E - E_o) \quad \text{obrazac: 4-11}$$

gde su:  $p_{PA}$  - procenat udela putničkih vozila u realnom toku

$E$  - ekvivalent za putnička vozila na usponima  $i \geq 3\%$  (tabela 4-06b)

$E$  - ekvivalent za putnička vozila na usponima  $i < 3\%$  (tabela 4-06b)

$f_{TV}$  - faktor uticaja teretnih vozila na usponima, po formuli:

$$f_{TV} = \frac{1}{1 + \frac{p_{TV}}{100} \cdot (E_{TV} - 1)} \quad \text{obrazac: 4-12}$$

gde su:  $p_{TV} = p_K + p_{AV} + p_{BUS} + p_R$

$p_K$  - procenat kamiona u realnom toku

$p_{AV}$  - procenat autovozova (kamiona sa prikolicom) u realnom toku

$p_{BUS}$  - procenat autobusa u realnom toku

$p_R$  - procenat rekreativnih vozila u realnom toku

$$E_{TV} = 1 + \left( 0.25 + \frac{p_K + p_{AV}}{p_t} \right) \quad \text{obrazac: 4-13}$$

Tabela T. 4-03. Faktori uticaja zona bez preticanja na putu na kapacitet puta u idealizovanim uslovima. (L.22.)

%	Average Upgrade Speed (km/h)	Percent No Passing Zone					
		0	20	40	60	80	100
3	90	0.21	0.17	0.14	0.12	0.08	0.06
	85	0.40	0.36	0.31	0.29	0.27	0.25
	80	0.66	0.61	0.57	0.54	0.51	0.49
	75	0.88	0.83	0.79	0.76	0.74	0.72
	70	1.00	0.97	0.95	0.93	0.91	0.90
	65	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
4	90	0.19	0.15	0.13	0.11	0.08	0.06
	85	0.38	0.34	0.29	0.27	0.25	0.23
	80	0.63	0.58	0.54	0.51	0.49	0.47
	75	0.85	0.80	0.76	0.73	0.71	0.69
	70	0.98	0.94	0.92	0.90	0.89	0.88
	65	1.00	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99
5	90	0.15	0.12	0.09	0.08	0.06	0.04
	85	0.34	0.29	0.25	0.23	0.21	0.14
	80	0.59	0.51	0.47	0.43	0.41	0.39
	75	0.81	0.73	0.68	0.64	0.61	0.59
	70	0.95	0.87	0.84	0.81	0.79	0.77
	65	0.98	0.95	0.94	0.93	0.92	0.90
6	90	0.06	0.06	0.04	0.02	0.02	0.01
	85	0.25	0.21	0.17	0.15	0.13	0.12
	80	0.50	0.42	0.37	0.33	0.30	0.28
	75	0.70	0.64	0.58	0.53	0.49	0.46
	70	0.89	0.81	0.74	0.68	0.65	0.62
	65	0.96	0.90	0.86	0.82	0.80	0.76
7	90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	85	0.11	0.09	0.07	0.06	0.04	0.04
	80	0.36	0.29	0.24	0.20	0.17	0.14
	75	0.56	0.53	0.44	0.37	0.32	0.28
	70	0.82	0.71	0.62	0.54	0.48	0.43
	65	0.92	0.81	0.74	0.68	0.63	0.57
	60	0.97	0.87	0.79	0.76	0.74	0.68
	50	1.00	0.94	0.91	0.88	0.86	0.84

<sup>a</sup> Odnos protoka i idealnog kapaciteta od 2800 PA/h  
 Napomena: Interpolovano za srednje vrednosti "Procenta zone bez preticanja"  
 "Podužni nagib" zaokružen je na prvu veću celobrojnu vrednost.  
 Interpolovano na osnovu vrednosti iz HCM 1994

Tabela T. 4-04. Faktori uticaja veličine saobraćaja na usponu na kapacitet puta u idealizovanim uslovima. (L.22.)

% saobraćaja na usponu	faktor prilagođenja $f_d$
100	0.58
90	0.64
80	0.70
70	0.78
60	0.87
50	1.00
40	1.20
30	1.50

4. Metodologija istraživanja i prikupljanje činjenica

Tabela T. 4-05. Faktori uticaja širine saobraćajne trake i širine bankine na kapacitet puta u idealizovanim uslovima. (L.22.)

Korisna širina bankine <sup>a</sup> (m)	saobraćajna traka 3.6 m		saobraćajna traka 3.3 m		saobraćajna traka 3.0 m		saobraćajna traka 2.7 m	
	NU	NU <sup>b</sup>	NU	NU <sup>b</sup>	NU	NU <sup>b</sup>	NU	NU <sup>b</sup>
	A-D	E	A-D	E	A-D	E	A-D	E
≥1.8	1.00	1.00	0.93	0.94	0.84	0.87	0.70	0.76
1.5	0.96	0.99	0.89	0.93	0.81	0.86	0.68	0.75
1.2	0.92	0.97	0.85	0.92	0.77	0.85	0.65	0.74
0.6	0.81	0.93	0.75	0.88	0.68	0.81	0.57	0.70
0.0	0.70	0.88	0.65	0.82	0.58	0.75	0.49	0.66

Tabela T. 4-06.a. Faktori uticaja nagiba i dužine tog nagiba na kapacitet puta u idealizovanim uslovima (Originalna tabela) (L.22.)

Grade (%)	Length of Grade (km)	Average Upgrade Speed (km/h)							
		90	85	80	75	70	65	60	50
0	All	2.2	1.8	1.6	1.5	1.4	1.3	1.3	1.3
3	0.5	3.3	2.6	2.1	1.9	1.8	1.7	1.7	1.6
	1.0	4.6	3.4	2.6	2.3	2.0	1.9	1.9	1.8
	1.5	6.6	4.5	3.2	2.8	2.4	2.2	2.1	2.1
	2.0	10.1	6.0	4.2	3.4	2.9	2.6	2.5	2.4
	2.5	14.1	7.6	5.2	4.1	3.4	3.0	2.9	2.7
	3.0	20.6	9.9	6.2	4.9	4.0	3.6	3.3	3.0
	4.0	59.9	18.7	8.6	6.8	5.5	4.8	4.3	3.7
	5.0	94.4	29.8	11.7	9.1	7.2	6.0	5.3	4.3
6.0	*	43.6	17.4	12.7	9.3	7.4	6.4	5.1	
4	0.5	3.6	2.8	2.4	2.0	1.9	1.8	1.8	1.7
	1.0	5.4	4.0	3.1	2.7	2.3	2.1	2.1	2.0
	1.5	9.8	6.1	4.2	3.4	3.0	2.6	2.5	2.4
	2.0	16.7	9.0	5.8	4.6	3.7	3.3	3.1	2.8
	2.5	25.2	13.5	7.5	5.9	4.6	4.1	3.7	3.4
	3.0	47.7	17.3	9.6	7.5	5.9	5.0	4.5	4.0
	4.0	67.8	34.5	14.8	11.5	8.7	7.3	6.4	5.3
	5.0	*	53.7	22.8	16.8	12.1	9.9	8.5	6.8
6.0	*	60.2	41.2	27.3	17.6	13.1	11.0	8.5	
5	0.5	4.4	3.2	2.5	2.3	2.0	1.9	1.9	1.8
	1.0	7.6	5.0	3.7	3.0	2.7	2.4	2.3	2.3
	1.5	14.3	8.2	5.4	4.3	3.6	3.2	3.0	2.8
	2.0	28.2	13.6	7.8	6.0	4.7	4.2	3.9	3.4
	2.5	46.8	20.3	10.6	8.1	6.1	5.4	4.9	4.2
	3.0	79.9	31.3	15.0	11.1	8.4	7.0	6.2	5.0
	4.0	*	44.8	26.3	19.5	14.5	11.4	9.7	7.3
	5.0	*	*	41.0	31.0	22.7	16.5	13.7	9.8
6.0	*	*	*	54.6	39.1	23.8	19.0	12.9	
6	0.5	4.4	3.7	2.8	2.4	2.2	2.0	2.0	1.9
	1.0	9.7	6.3	4.3	3.6	3.1	2.7	2.6	2.5
	1.5	20.6	11.4	7.0	5.4	4.3	3.8	3.6	3.2
	2.0	47.8	21.0	11.5	8.3	6.2	5.3	4.8	4.2
	2.5	78.6	32.0	16.8	11.8	8.6	7.1	6.3	5.3
	3.0	*	45.5	24.2	17.1	12.8	9.8	8.5	6.6
	4.0	*	*	47.2	33.5	23.7	17.8	14.9	10.5
	5.0	*	*	*	54.1	38.6	27.6	22.4	15.0
6.0	*	*	*	*	65.0	42.0	33.0	21.3	
7	0.5	5.9	4.1	3.1	2.7	2.4	2.2	2.2	2.1
	1.0	12.5	7.9	5.1	4.2	3.6	3.2	3.0	2.8
	1.5	31.6	16.6	8.8	6.7	5.3	4.6	4.2	3.8
	2.0	*	29.8	19.1	11.3	8.1	6.7	6.1	5.1
	2.5	*	46.6	25.2	17.0	11.7	9.4	8.3	6.6
	3.0	*	77.2	39.2	26.3	17.9	14.0	11.9	8.8
	4.0	*	*	53.1	43.0	33.5	27.4	22.7	15.1
	5.0	*	*	*	*	61.6	43.3	34.1	22.0
6.0	*	*	*	*	*	59.5	43.8	29.0	

\* Speed not attainable on grade specified.

NOTES: Round "% grade" to next higher integer value.  
Interpolated from values in HCM (13).

Izvor: *Traffic and Highway Engineering, 2nd Edition, 1996, PWS, Boston, Massachusetts*

4. Metodologija istraživanja i prikupljanje činjenica

Tabela T. 4-06.b. Faktori uticaja nagiba i dužine tog nagiba na kapacitet puta u idealizovanim uslovima sa ekstrapoliranim vrednostima

Pod. nagib (%)	Dužina (km)	Srednja brzina na usponu								
		90	85	80	75	70	65	60	50	40
0	All	2.2	1.8	1.6	1.5	1.4	1.3	1.3	1.3	1.3
3	0.5	3.3	2.6	2.1	1.9	1.8	1.7	1.7	1.6	1.6
	1.0	4.6	3.4	2.6	2.3	2.0	1.9	1.9	1.8	1.7
	1.5	6.6	4.5	3.2	2.8	2.4	2.2	2.1	2.1	2.0
	2.0	10.1	6.0	4.2	3.4	2.9	2.6	2.5	2.4	2.3
	2.5	14.1	7.6	5.2	4.1	3.4	3.0	2.9	2.7	2.5
	3.0	20.6	9.9	6.2	4.9	4.0	3.6	3.3	3.0	2.7
	4.0	59.9	18.7	8.6	6.8	5.5	4.8	4.3	3.7	3.1
	5.0	94.4	29.8	11.7	9.1	7.2	6.0	5.3	4.3	3.7
6.0	*	43.6	17.4	12.7	9.3	7.4	6.4	5.1	4.8	
4	0.5	3.6	2.8	2.4	2.0	1.9	1.8	1.8	1.7	1.7
	1.0	5.4	4.0	3.1	2.7	2.3	2.1	2.1	2.0	2.0
	1.5	9.8	6.1	4.2	3.4	3.0	2.6	2.5	2.4	2.3
	2.0	16.7	9.0	5.8	4.6	3.7	3.3	3.1	2.8	2.6
	2.5	25.2	13.5	7.5	5.9	4.6	4.1	3.7	3.4	3.0
	3.0	47.7	17.3	9.6	7.5	5.9	5.0	4.5	4.0	3.5
	4.0	67.8	34.5	14.8	11.5	8.7	7.3	6.4	5.3	4.3
	5.0	*	53.7	22.8	16.8	12.1	9.9	8.5	6.8	5.3
6.0	*	60.2	41.2	27.3	17.6	13.1	11.0	8.5	6.4	
5	0.5	4.4	3.2	2.5	2.3	2.0	1.9	1.9	1.8	1.8
	1.0	7.6	5.0	3.7	3.0	2.7	2.4	2.3	2.3	2.0
	1.5	14.3	8.2	5.4	4.3	3.6	3.2	3.0	2.8	2.6
	2.0	28.2	13.6	7.8	6.0	4.7	4.2	3.9	3.4	2.9
	2.5	46.8	20.3	10.6	8.1	6.1	5.4	4.9	4.2	3.6
	3.0	79.9	31.3	15.0	11.1	8.4	7.0	6.2	5.0	4.3
	4.0	*	44.8	26.3	19.5	14.5	11.4	9.7	7.3	5.3
	5.0	*	*	41.0	31.0	22.7	16.5	13.7	9.8	6.3
6.0	*	*	*	54.6	39.1	23.8	19.0	12.9	8.8	
6	0.5	4.4	3.7	2.8	2.4	2.2	2.0	2.0	1.9	1.9
	1.0	9.7	6.3	4.3	3.6	3.1	2.7	2.6	2.5	2.4
	1.5	20.6	11.4	7.0	5.4	4.3	3.8	3.6	3.2	3.0
	2.0	47.8	21.0	11.5	8.3	6.2	5.3	4.8	4.2	3.5
	2.5	78.6	32.0	16.8	11.8	8.6	7.1	6.3	5.3	4.4
	3.0	*	45.5	24.2	17.1	12.8	9.8	8.5	6.6	5.0
	4.0	*	*	47.2	33.5	23.7	17.8	14.9	10.5	6.7
	5.0	*	*	*	54.1	38.6	27.6	22.4	15.0	8.6
6.0	*	*	*	*	65.0	42.0	33.0	21.3	10.0	
7	0.5	5.9	4.1	3.1	2.7	2.4	2.2	2.2	2.1	2.0
	1.0	12.5	7.9	5.1	4.2	3.6	3.2	3.0	2.8	2.5
	1.5	31.6	16.6	8.8	6.7	5.3	4.6	4.2	3.8	3.4
	2.0	*	29.8	19.1	11.3	8.1	6.7	6.1	5.1	4.3
	2.5	*	46.6	25.2	17.0	11.7	9.4	8.3	6.6	5.3
	3.0	*	77.2	39.2	26.3	17.9	14.0	11.9	8.8	6.7
	4.0	*	*	53.1	43.0	33.5	27.4	22.7	15.1	9.0
	5.0	*	*	*	*	61.6	43.3	34.1	22.0	8.8
6.0	*	*	*	*	*	59.5	43.8	29.0	14.8	
8	0.5	7.0	4.6	3.5	3.1	2.7	2.6	2.5	2.4	2.2
	1.0	15.8	9.8	6.2	5.5	4.3	4.0	3.8	3.2	2.7
	1.5	51.0	23.0	12.0	9.0	8.0	6.0	5.1	4.3	3.9
	2.0	*	43.0	33.1	14.9	10.8	8.8	7.5	6.5	5.3
	2.5	*	*	44.2	22.5	15.8	12.5	10.5	8.2	6.0
	3.0	*	*	60.0	38.3	25.1	20.0	16.0	11.0	7.3
	4.0	*	*	*	60.0	43.5	39.5	32.7	21.6	12.5
	5.0	*	*	*	*	*	65.0	49.1	31.0	20.0
6.0	*	*	*	*	*	*	51.8	39.5	20.8	
9	0.5	8.5	5.1	3.9	3.4	3.1	3.0	2.9	2.6	2.5
	1.0	20	12.1	7.2	6.3	5.2	4.8	4.4	4.0	3.0
	1.5	*	34	18	12.5	10.5	8.5	7.0	5.7	4.4
	2.0	*	58	52	19.0	14.8	11.0	9.0	7.5	6.3
	2.5	*	*	*	31.0	21.8	15.0	13.5	10.0	6.9
	3.0	*	*	*	50.0	34.1	27.0	21.0	12.5	7.5
	4.0	*	*	*	*	58.0	46.0	33.0	21.0	17.0
	5.0	*	*	*	*	*	72.0	60.0	45.0	30.0
6.0	*	*	*	*	*	*	*	58.0	38.0	
10	0.5	10.0	6.5	4.4	3.8	3.6	3.5	3.4	3.0	2.8
	1.0	35.0	15.0	8.4	7.0	6.4	6.0	5.4	4.7	3.5
	1.5	*	54.0	30.0	23.0	14.0	11.0	8.5	7.0	6.0
	2.0	*	*	55.0	24.0	19.2	14.5	10.8	9.0	8.0
	2.5	*	*	*	42.0	30.0	20.0	16.0	11.5	9.5
	3.0	*	*	*	*	45.1	36.0	29.0	15.0	11.0
	4.0	*	*	*	*	62.5	59.0	55.0	34.0	24.0
	5.0	*	*	*	*	*	*	*	50.0	44.0
6.0	*	*	*	*	*	*	*	*	56.0	

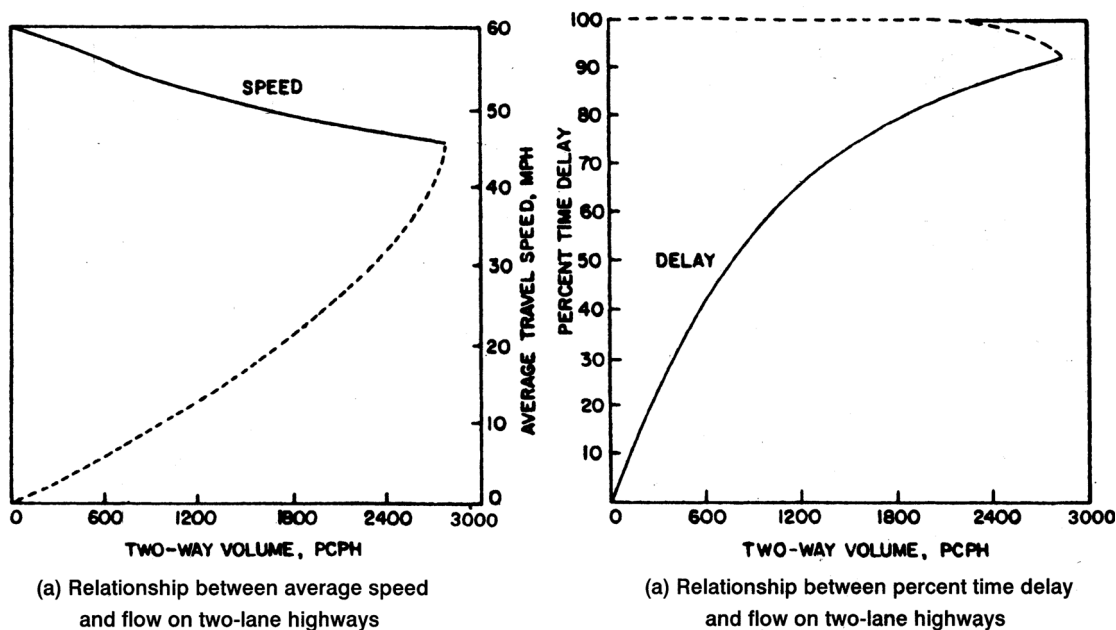
\* Brzinu je nemoguće postići na datom nagibu.

Napomena: Poduzni nagib zaokružiti na prvu veću celobrojnu vrednost.

Ekstrapolirano na osnovu prethodne tabele za vrednosti nagiba većih od 7%.

**Rezultati eksperimentalnog istraživanja po HCM - 94**

Za idealizovane uslove puta i saobraćaja (samo putnička vozila) utvrđen je maksimalni utvrđen je maksimalni kapacitet dvotračnog puta  $C_o=2800$  PA/h i zavisnost brzine toka i vremenskog zastoja od veličine toka  $Q_m$ , gde je  $max Q_m = C_o = 2800$  PA/h



Izvor: Highway Capacity Manual, Special Report 209, Transportation Research Board, National Research Council, Washington D.C 1994. str.8-4.

Sl. 4-19.a odnos između srednje brzine protoka i veličine protoka  $Q_m$  na dvotračnim putevima (L.21.)

Sl. 4-19.b odnos vremenskog zastoja toka i veličine protoka  $Q_m$  na dvotračnim putevima (L.21.)

Na slici 4-19.a postoji isprekidana linija koja ukazuje da se pri brzinama manjim od brzine pri kapacitetu protok smanjuje, što je i logično, ali nije pouzdano da li je rezultat merenja.

Takođe na slici 4-19b postoji isprekidana linija koja ukazuje da se vremenski zastoj povećava pri zahtevu za protokom većim od 2800 PA/h.

**Primarni kriterijum nivoa saobraćajne usluge**

Sa grafikona na slikama 4-19.a i b, očitane su vrednosti za korelaciju između protoka (TWO-WAY VOLUME)  $Q_m$  [PA/h] i brzine toka (AVERAGE TRAVEL SPEED)  $V_s$  [km/h] i vremenskog zastoja (PERCENT TIME DELAY)  $VZ$  [%]

Tabela T. 4-07. Kriterijum za određivanje nivoa saobraćajne usluge prema srednjoj brzini toka na usponu (L.21.)

Level of Service	Average Upgrade Speed(km/h)
A	>90
B	>80
C	>70
D	>60
E	≥40-60 <sup>a</sup>
F	<40-60 <sup>a</sup>

<sup>a</sup> Tačna brzina pri kojoj se dostiže kapacitet, varira u zavisnosti od nagiba i dužine nagiba, protoka i strukture saobraćaja.

Izvor: *Highway Capacity Manual, Special Report 209, Transportation Research Board, National Research Council, Washington D.C 1994.*

Tabela T. 4-08. Odnos kapaciteta puta, srednje brzine saobraćajnog toka i vremenskog zastoja saobraćajnog toka prema HCM 1994. (L.21.)

TWO-WAY VOLUME $Q_m$ (PA/h)	0	600	1200	1800	2400	2800
AVERAGE TRAVEL SPEED $V_s$ (km/h)	96	92	83	78	71	$72 = V_{Co}$
PERCENT TIME DELAY $VZ$ (%)	0	39	60	75	86	90

Prema tabeli sa očitanim vrednostima ustanovljena je korelacija između brzine i vremenskog zastoja, sledećeg oblika:

$$V_s = \frac{1.9 \cdot V_{Co}}{1 + \frac{VZ}{100}} \quad [km/h] \quad \quad VZ = \frac{1.9 \cdot V_{Co} - V_s}{V_s} \cdot 100 \quad [\%]$$

#### 4.8.2 Metodologija proračuna nivoa usluge i kapaciteta puta prema HCM 2010

Dvotračni vangradski putevi u SAD su podeljeni u tri klase I, II i III, i za svaku klasu predviđeni su posebni kriterijumi za proračun kapaciteta i nivoa saobraćajne usluge, pa prema tome i posebne procedure.

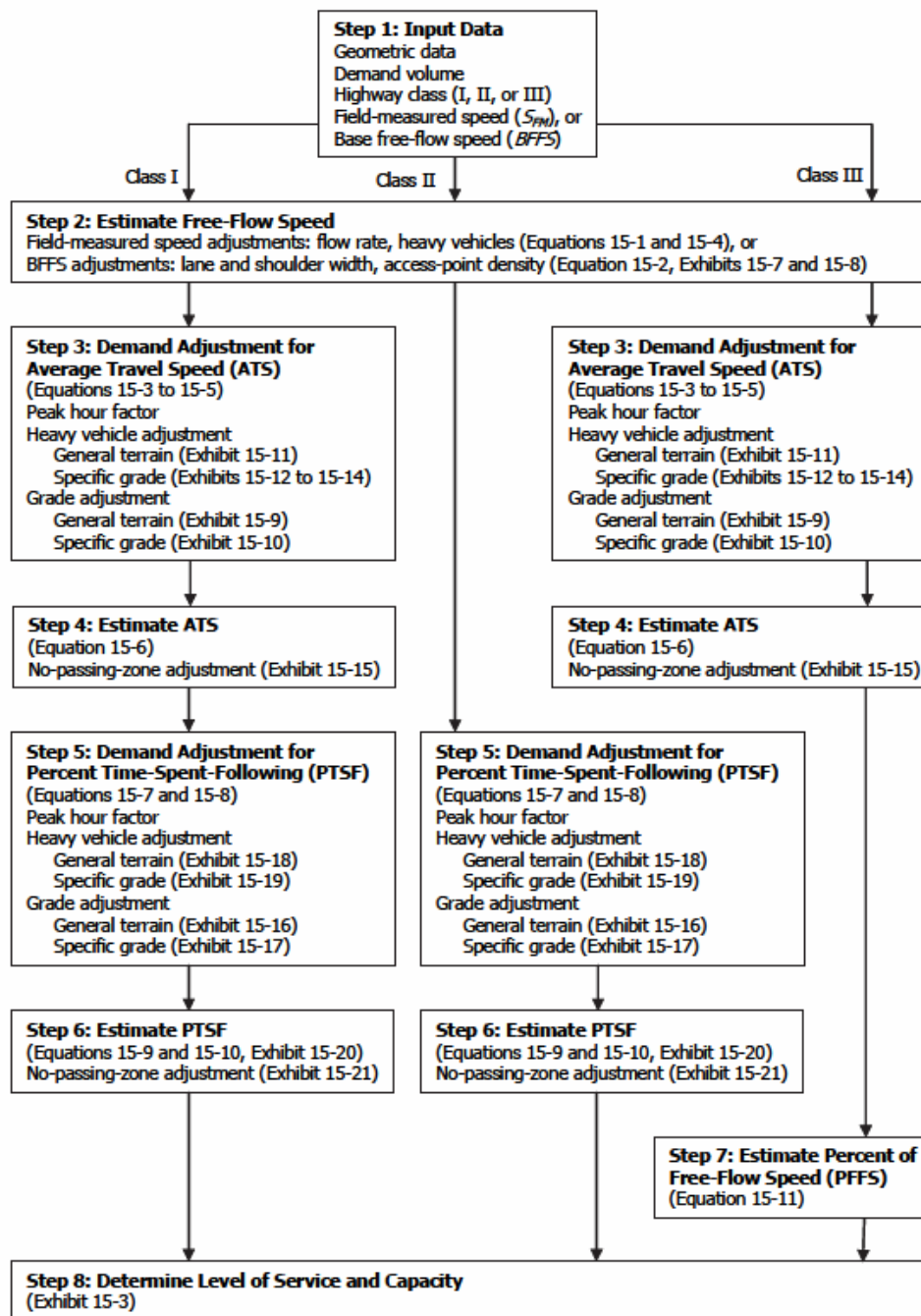
Za razliku od HCM 94, predviđen je i maksimalni kapacitet od 3200 putničkih vozila po satu u idealnim uslovima puta i bez međusobnog ometanja učesnika u saobraćaju, dakle kretanje brzinom u slobodnom toku.

Proračun se sastoji od određivanja faktora koji umanjuju kapacitet puta u idealnim uslovima, faktori umanjenja dati su tabelarno. Proračun se ne odnosi strogo na slobodnu deonicu puta (bez priključaka i raskrsnica sa drugim putevima), nego se za puteve II i III klase i taj podatak reperkutuje na konačan rezultat proračuna.

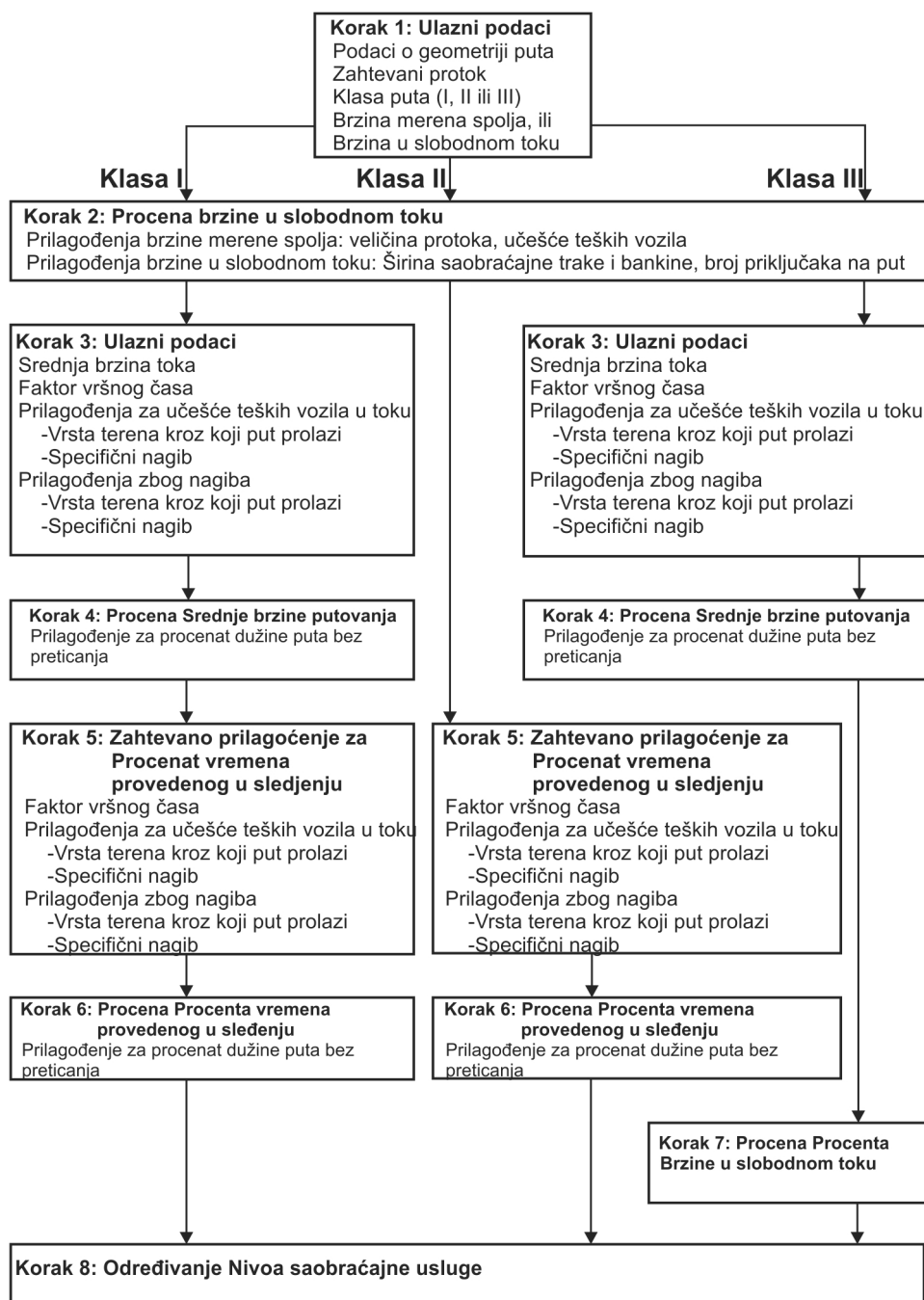


#### 4. Metodologija istraživanja i prikupljanje činjenica

Ulazni podaci koji se uzimaju u obzir prilikom proračuna su: geometrijski podaci o putu, zahtevani obim saobraćaja, klasa puta u skladu sa normativima u SAD i podaci o brzini u slobodnom toku. U postupku proračuna koriste se specifičnosti koje se onose na svaku klasu puta. Postupak i potrebni podaci za ovu metodu, prikazani su na slici 4-20., odnosno 4-21., a kriterijumi za nivo saobraćajne usluge navedeni su u tabeli T. 4-09 i na slikama 4-22. i 4-23.



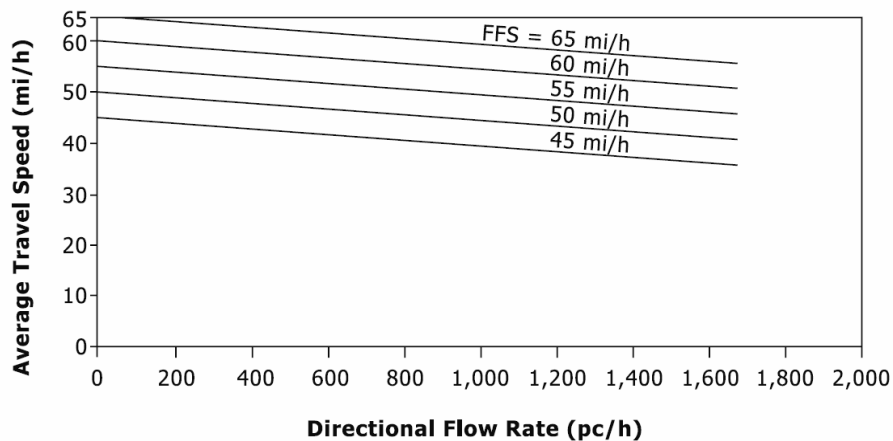
Slika 4-20. Dijagram toka određivanja nivoa saobraćajne usluge po metodologiji HCM 2010. (L. 80.)



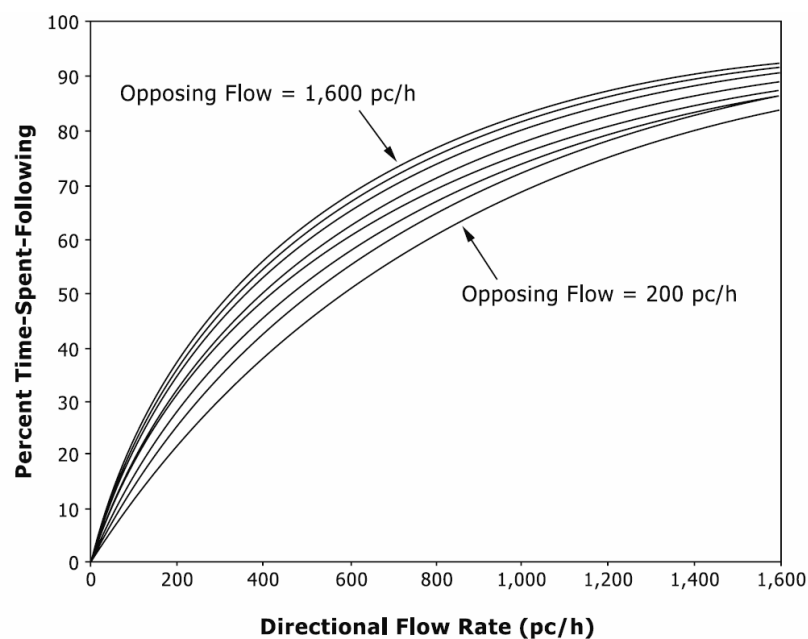
Slika 4-21. Dijagram toka određivanja nivoa saobraćajne usluge po metodologiji HCM 2010. (Prevod) (L. 80.)

Tabela T. 4-09. Kriterijum nivoa saobraćajne usluge za dvotračne puteve I, II i III klase prema HCM 2010. (L. 80.)

LOS	Class I Highways		Class II Highways	Class III Highways
	ATS (mi/h)	PTSF (%)	PTSF (%)	PFFS (%)
A	>55	≤35	≤40	>91.7
B	>50–55	>35–50	>40–55	>83.3–91.7
C	>45–50	>50–65	>55–70	>75.0–83.3
D	>40–45	>65–80	>70–85	>66.7–75.0
E	≤40	>80	>85	≤66.7



Slika 4-22. Zavisnost protoka u jednom smeru i srednje brzine toka po metodologiji HCM 2010. (L. 80.)



Slika 4-23. Zavisnost protoka u jednom smeru i vremenskog zastoja po metodologiji HCM 2010. (L. 80.)

Metoda proračuna kapaciteta i nivoa saobraćajne usluge puta, kako je prezentovano u HCM 2010, nije pogodna za analizu koja je neophodna u ovom radu. Budući da je zasnovana na istim podacima dobijenim u eksperimentalnom istraživanju, kao i metoda izložena u HCM 1994., prihvaćće se samo osnovni, dopunjeni kriterijumi za kapacitet i nivo usluge, a matematički model će se bazirati na metodi izloženoj u HCM 1994.

**5.**

**ANALIZA REZULTATA ISTRAŽIVANJA PREMA HCM**

## 5. ANALIZA REZULTATA ISTRAŽIVANJA PREMA HCM

### 5.1 Usvojeni model po HCM

Kao što je već rečeno u poglavlju 3. Prethodna znanja i iskustva, modeli HCM su se zasnivali i prilagođavali potrebama inženjerske prakse (pre svega u SAD). U suštini svi baziraju na sveobuhvatnim rezultatima eksperimentalnih istraživanja odvijanja saobraćaja na putnoj mreži. Po prirodi stvari, rezultati su stohastičke veličine, a pokazane relacije su regresije. Međutim, prikazani su kao determinističke vrednosti, u vidu tabela, a relacije u vidu dijagrama i obrazaca funkcionalnog oblika. U tom slučaju se isti brožčani pokazatelji mogu kroz računске operacije formalnog karaktera prezentirati na više načina, kako bi se posredno došlo do novih saznanja i relacija prilagođenih definisanju graničnih vrednosti odnosa protoka i kapaciteta puta, vremenskog zastoja brzine u slobodnom toku i nivoa saobraćajne usluge deonice puta.

Za ostvarenje cilja u ovoj disertaciji, najpogodniji je model HCM 1994. jer omogućava određena uopštavanja veze između vremenskog zastoja  $VZ$  i sektorske brzine saobraćajnog toka  $V_S$ , s tim što je opravdano prihvatiti granične vrednosti nivoa saobraćajne usluge  $NU$  iz najnovijeg izdanja HCM iz 2010. godine.

Primenom kombinovanih pokazatelja po HCM 1994 i HCM 2010, suštinski se dobijaju vrlo slični rezultati sa minimalnim odstupanjem, što je posledica toga što se stohastičke vrednosti tretiraju kao determinističke.

Kriterijumi za nivo saobraćajne usluge po HCM 2010, dati su u tabeli T. 5-01, i podeljeni su na tri klase puteva, s tim što su brzine  $V_e$  za sve klase iste, dok su dopušteni vremenski zastoji za puteve II i III klase znatno veći nego za puteve I klase. Time se za puteve II i III klase znatno umanjuje brzina toka, jer u SAD ne postoji, barem ne opšte prihvaćeni, matematički model za određivanje brzine u slobodnom toku u zavisnosti od geometrijskih elemenata puta.

U našem slučaju, na nivou države, ne postoji podela dvotračnih vangradskih puteva na klase kao u SAD, pa je dovoljno prihvatiti I klasu puteva kao opšti kriterijum za naše prilike i uslove. Osim toga postoji razlika i u dopuštenom maksimalnom

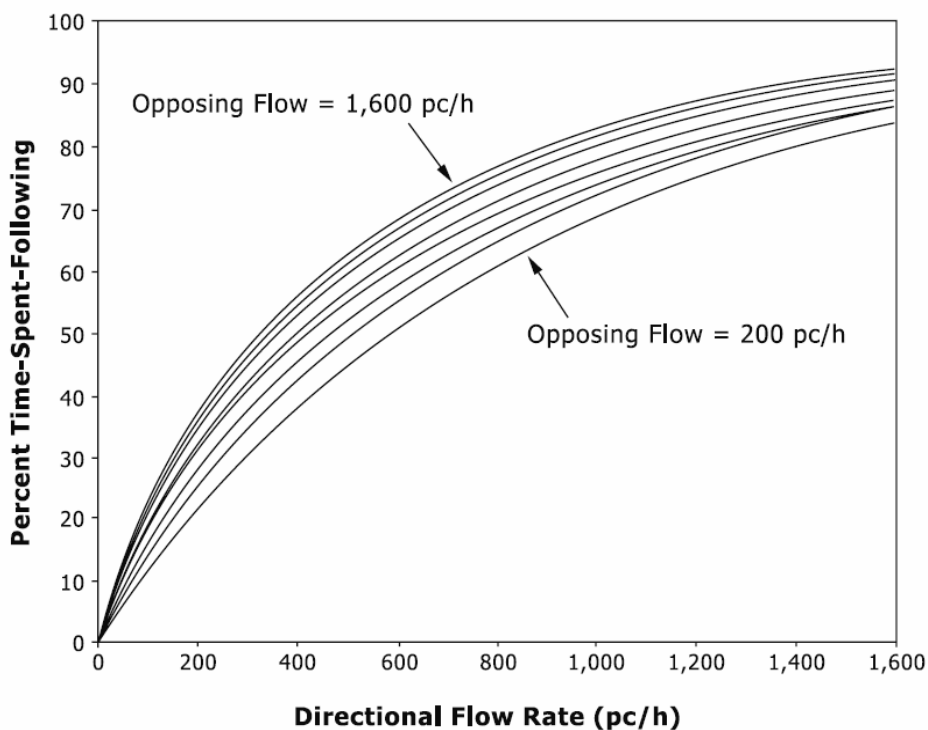
## 5. Analiza rezultata istraživanja prema HCM

kapacitetu putničkih vozila u idealnim uslovima saobraćajnog toka, umesto  $Q_m = 2800$  PA/h, kako je to definisano u HCM 1994, sada u HCM 2010 definisani maksimalni kapa-

Tabela T.5-01. Kriterijumi za nivo saobraćajne usluge na dvotračnim vangradskim putevima po klasama. HCM 2010 .

LOS	Class I Highways			Class II Highways	Class III Highways
	ATS (mi/h) (km/h)	PTSF (%)	PTSF (%)	PTSF (%)	PFFS (%)
A	>55	> 88	≤35	≤40	>91.7
B	>50-55	80 - 88	>35-50	>40-55	>83.3-91.7
C	>45-50	72 - 80	>50-65	>55-70	>75.0-83.3
D	>40-45	64 - 72	>65-80	>70-85	>66.7-75.0
E	≤40	≤ 64	>80	>85	≤66.7

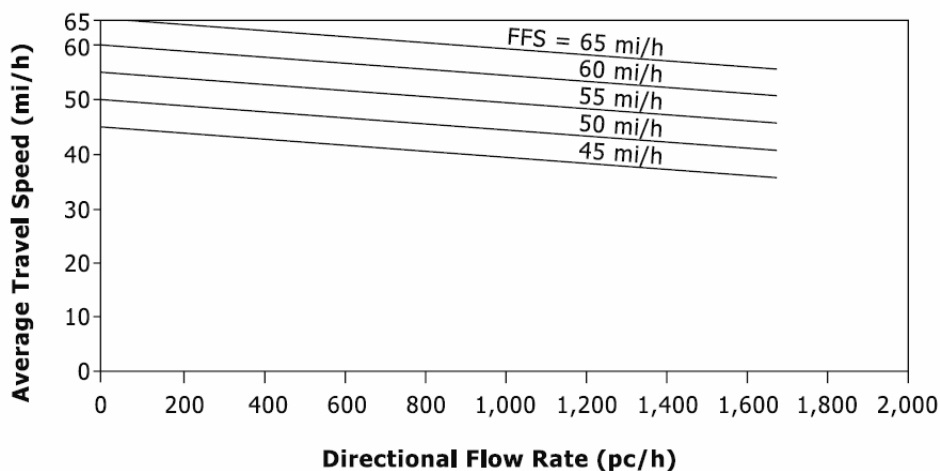
citet iznosi  $Q_m = 3200$  PA/h u oba smera kretanja na putu, s tim što je maksimalno mogući protok u jednoj traci  $Q_m = 1700$  PA/h i u tom slučaju, u suprotnom smeru nije moguće imati protok veći od 1500 PA/h. Prema tome, uz pretpostavku da je distribusija toka po smerovima 50 : 50 %, u jednom smeru to iznosi da je protok po traci 1600 PA/h.



Slika 5-01. Dijagram odnosa vremenskog zastoja i protoka u jednom smeru na dvotračnim vangradskim putevima, HCM 2010.

Brzina pri osnovnom kapacitetu je 37 mi/h, odnosno  $V_{Co}=60$  km/h.

Kada se na dijagram sa slike 5-02. nanesu kriterijumi za vremenski zastoje prema tabeli sa slike 5-01. dobija se regresiona linija srednje brzine saobraćajnog toka u odnosu na veličinu tog toka kao i granice nivoa saobraćajne usluge prema HCM 2010 sl. 5-03 i 5-04.



Slika 5-02. Odnos veličine protoka u jednom smeru i brzine saobraćajnog toka na sektoru dvotračnog vangradskog puta, HCM 2010.

Izvorni podatak u HCM 1994, na osnovu koga je uočena veza između brzine toka  $V_s$  i vremenskog zastoja  $VZ$  pri brzini pri kapacitetu  $V_{Co}=72$  km/h, slika 5-04. Ilustrovan je i dijagram zavisnosti vremenskog zastoja i za brzinu  $V_{Co}=66$  km/h i  $V_{Co}=60$  km/h.

## 5.2 Kriterijumi nivoa usluge $NU$ za različite kategorije terena

Budući da je vremenski zastoje  $VZ$ , primarni kriterijum za određivanje nivoa usluge  $NU$ , a da pri tome postoje različite vrednosti brzina pri kapacitetu  $V_{Co}$  prema kategoriji terena, kriterijumi za nivo usluge se prilagođavaju odgovarajućem terenu, prema obrascu 4-14

Tabela T. 5-02. Kriterijum  $NU$  puta u planinskom terenu pri  $V_{Co}=60$  km/h

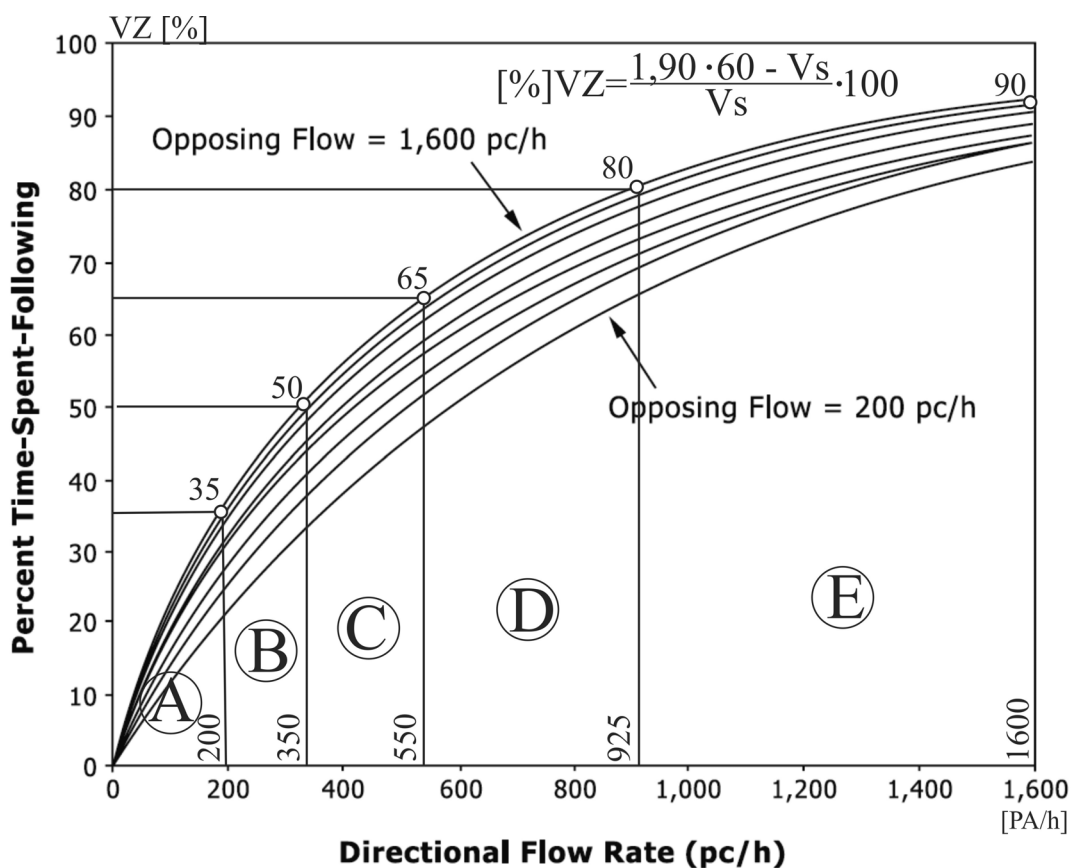
$NU$	A	B	C	D	E	F
$V_s$	$\geq 88$	80-88	72-80	64-72	60-64	$< 60$
$VZ$	$\leq 35$	35-50	50-65	65-80	80-90	$> 90$
$Q_m$	$\leq 400$	400-700	700-1100	1100-1850	1850-3200	$> 3200$

Tabela T. 5-03. Kriterijum  $NU$  puta u brdovitom terenu pri  $V_{c_0}=66$  km/h

$NU$	A	B	C	D	E	F
$V_s$	$\geq 92$	83-92	76-83	70-76	66-70	$< 66$
$VZ$	$\leq 35$	35-50	50-65	65-80	80-90	$> 90$
$Q_m$	$\leq 400$	400-700	700-1100	1100-1850	1850-3200	$> 3200$

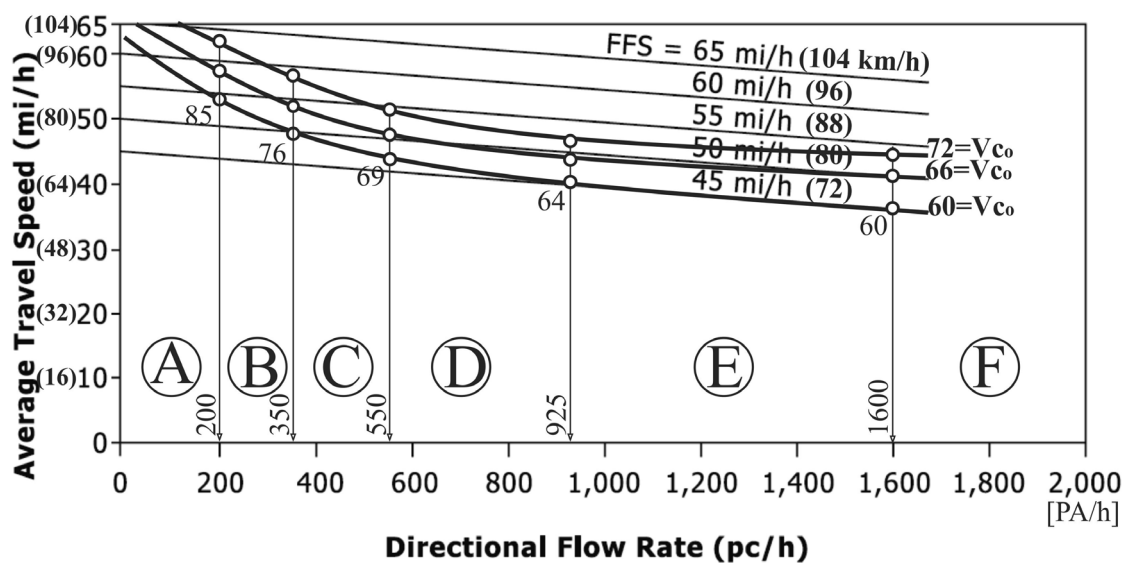
Tabela T. 5-04. Kriterijum  $NU$  puta u ravničastom terenu pri  $V_{c_0}=72$  km/h

$NU$	A	B	C	D	E	F
$V_s$	$\geq 101$	91-101	83-91	76-83	72-76	$< 72$
$VZ$	$\leq 35$	35-50	50-65	65-80	80-90	$> 90$
$Q_m$	$\leq 400$	400-700	700-1100	1100-1850	1850-3200	$> 3200$



Slika 5-03. Odnos vremenskog zastoja i protoka u jednom smeru na dvotračnim vangradskim putevima, sa granicama između nivoa saobraćajne usluge, HCM 2010





Slika 5-04. Odnos veličine protoka u jednom smeru i brzine saobraćajnog toka na sektoru dvotračnog puta, sa granicama nivoa saobraćajne usluge, HCM 2010.

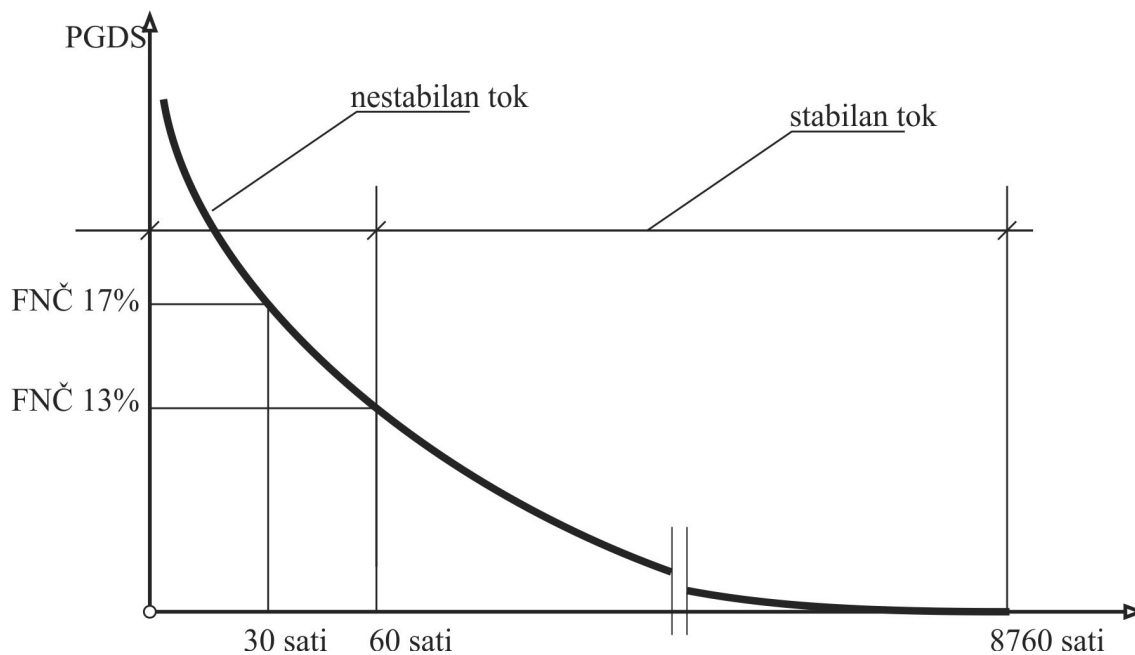
Na slikama 5-03. i 5-04. su prikazani kriterijumi nivoa usluge puta NU u ravničastom, brdovitom i planinskom terenu.

Kriterijum  $\frac{Q_m}{2800} \leq 1.00$  ostaje za sve kategorije terena. Ukoliko se zbog veličine saobraćajnog toka pokaže da je  $\frac{Q_m}{2800} > 1.00$ , onda se radi o zahtevu za protokom  $Q_{mF}$ , za razliku  $Q_{mF} - 2800$ , u toj situaciji nivo usluge je NU "F".

Nivo usluge NU "F" se može javiti i pri  $\frac{Q_m}{2800} < 1.00$ , ako je brzina u slobodnom toku na tom sektoru puta  $V_{SL} < V_{Co} = 60 \text{ km/h}$

### 5.3. Nestabilan saobraćajni tok

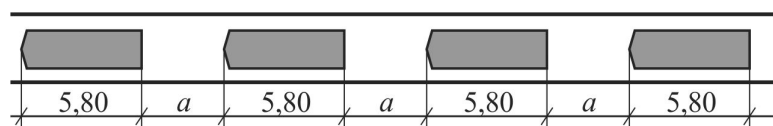
Nestabilan saobraćajni tok nastaje kada je zahtev za protokom veći od kapaciteta puta i takvo stanje na godišnjem nivou traje "n" sati, (zavisno od propisa, n=30 ili n=60 sati)



Slika 5-05. Dijagram učestalosti pojave saobraćajnog protoka PGDS za dvotračne puteve na nivou godine

Zbog vrlo složene neravnomernosti saobraćaja na putevima, nestabilan saobraćajni tok je gotovo neizbežan za tih 30 ili 60 sati u godini. To stanje u saobraćaju nije eksplicitno definisano kao što je slučaj sa stabilnim tokom.

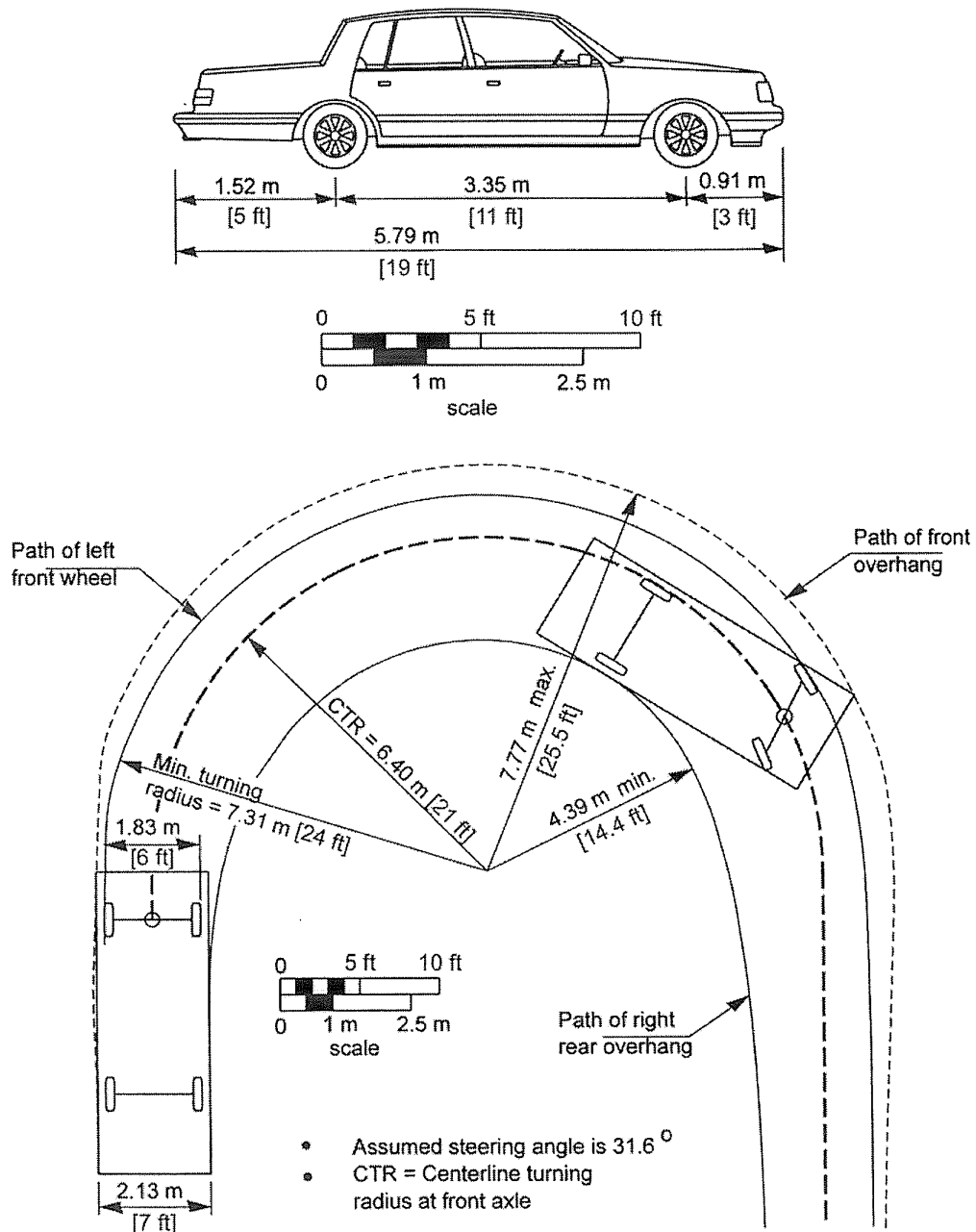
Podrazumevano je u idealnim uslovima da distribucija saobraćaja po smerovima bude 50 : 50%, pa će se razmatrati stanje na jednoj traci dvosmernog dvotračnog puta. Do zastoja saobraćaja će doći kada razmak " $a$ " između vozila bude jednak nuli, slika 5-07.



Slika 5-06. Kolona vozila na jednoj traci sa konstantnom brzinom na razmaku " $a$ "

5. Analiza rezultata istraživanja prema HCM

Za proračun razmaka vozila "a" u koloni pri idealizovanim uslovima primenjuje se, dužina vozila koja takođe pripada takvim uslovima, odnosno 5,80m (AASHTO - Geometric Design of Highways and Streets) Sl. 5-04a



Izvor: A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 2004, AASHTO.

Slika 5-07. Dužina vozila pri eksperimentalnoj vožnji u idealnim uslovima po HCM-u, (L. 21., 80.)

5.3.1. Proračun rastojanja vozila u koloni saobraćajnog toka  $Q_m/2 = 1600$  PA/h

Rastojanje vozila u koloni pri protoku dobija se iz osnovne jednačine kretanja saobraćaja,

$$Q_m = V \cdot G, \quad \text{obrazac: 5-01}$$

gde je:  $Q_m$ - saobraćajni tok (obim saobraćaja) izražen u PA/h

$V$  - brzina saobraćajnog toka izražena u km/h

$G$  - gustina saobraćajnog toka izražena u PA/km

tada je,

$$a = \frac{1000}{G} - 5,80, \quad \text{obrazac: 5-02}$$

pri čemu je gustina  $G = \frac{Q/2}{1km}$ , pa pri kapacitetu 3200 PA/h, odnosno 1600 PA/h u jednom smeru vožnje i brzini pri kapacitetu 60 km/h, obrazac dobija sledeći oblik,

$$a = \frac{1000}{\frac{3200}{2} \cdot \frac{1}{60}} - 5,80 = 31,70, \quad \text{obrazac: 5-03}$$

i rastojanja između vozila "a" u saobraćajnom toku imaju vrednost 31,70m.

5.3.2. Proračun vremenskog rastojanja vozila u koloni pri sleđenju na razmaku "a"

$$\Delta t = \frac{a}{v}, \quad \Delta t = \frac{a}{\frac{V}{3,6}}, \quad \text{obrazac: 5-04}$$

$$\Delta t = \frac{3,6a}{V}, \quad \Delta t = \frac{3,6 \cdot 31,7}{60} = 1,902s \quad \text{obrazac: 5-05}$$

5.3.3. Merodavno vremensko rastojanje prilikom sledeja vozila u koloni u nestabilnom saobraćajnom toku kada je  $q/C > 1.00$

Najveća gustina saobraćaja u stabilnom saobraćajnom toku je pri kapacitetu, odnosno kada je  $V_{c_0} = 60\text{km/h}$ , tada gustina za jednu traku iznosi:

$$G = \frac{Q/2}{V} = \frac{1600}{60} = 26.6 \text{ PA/km}, \quad \text{obrazac: 5-06}$$

rastojanje vozila je tom prilikom  $a = 31.70 \text{ m}$ , a vremensko rastojanje između vozila  $\Delta t = 1.90 \text{ s}$ .

Logično je prihvatiti da  $\Delta t = 1.90 \text{ s}$ , ostane pri kapacitetu puta i u nestabilnom toku, gde se očekuje smanjenje brzine toka i kapaciteta, kao kriterijum bezbedne vožnje (kretanja) u koloni.

5.3.4. Zahtev za protokom kada je  $q/C > 1.00$

Veličina protoka pri zahtevu većem od kapaciteta za obe saobraćajne trake iznosi:

$$Q_{mF} = 2 \cdot \frac{1000 \cdot v_F}{\Delta t \cdot v_F + 5,80} = 2 \cdot \frac{1000 \cdot \frac{V_F}{3,6}}{\Delta t \cdot \frac{V_F}{3,6} + 5,80} = \frac{7200 \cdot V_F}{\Delta t \cdot V_F + 20,88}, \quad \text{obrazac: 5-07}$$

tako za vrednost  $\Delta t = 1,90 \text{ s}$  sledi,

$$\text{za obe trake, } Q_{mF} = \frac{7200 \cdot V_F}{1,90 \cdot V_F + 20,88} - \text{mogući protok pri brzini } V_F \quad \text{obrazac: 5-08}$$

$$V_F = \frac{Q_{mF} \cdot 20,88}{7200 - 1,90 \cdot Q_{mF}} - \text{moguća brzina protoka} \quad \text{obrazac: 5-09}$$

## 5. Analiza rezultata istraživanja prema HCM

gde su:

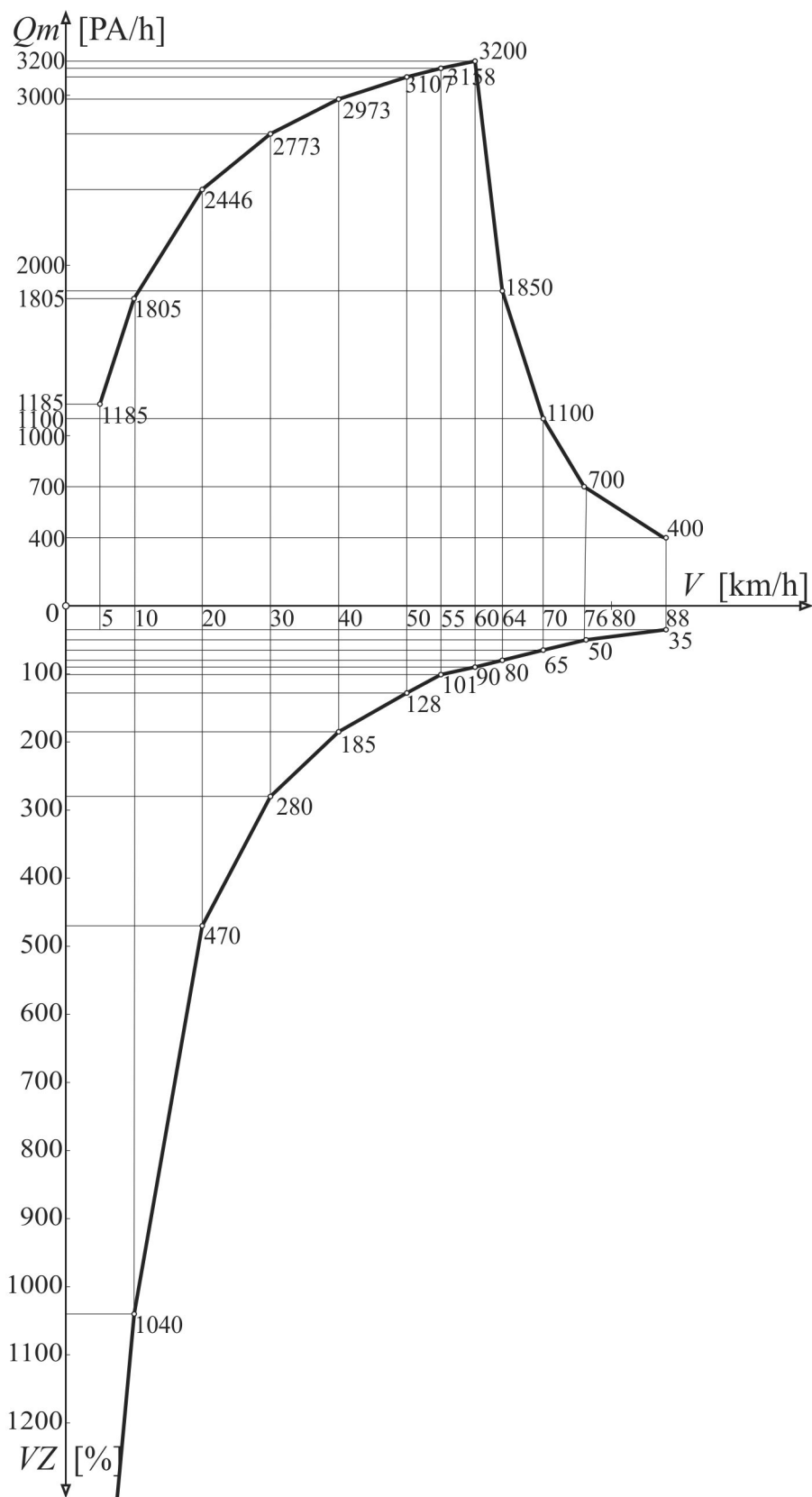
$Q_{mF}$ - zahtev za protokom veći od kapaciteta izražen u PA/h,

$V_F$  - brzina saobraćajnog toka manja od 60 km/h pri zahtevu za protokom.

Mogući protok predstavlja kapacitet dvotračnog puta u uslovima  $C_{oF}$ , a realizovana brzina predstavlja brzinu pri tom kapacitetu  $V_{C_{oF}}$ .

Tabela T.5-05. Kapacitet  $C_o$  u zavisnosti od razmaka vozila u koloni saobraćajnog toka "a" i brzine  $V_{C_o}$ .

$V$ [km/h]	$v$ [m/s]	$\Delta t$ [s]	$a$ [m]	$C_{oF}$ $C_o$	$V_{C_{oF}}$ $V_{C_o}$	$VZ_F$ $VZ$
5	1.39	1.90	2.64	1125	5	2180
10	2.78	1.90	5.28	1671	10	1040
15	4.17	1.90	7.92	1993	15	660
20	5.56	1.90	10.56	2206	20	470
25	6.94	1.90	13.18	2357	25	356
30	8.33	1.90	15.53	2469	30	280
35	9.72	1.90	18.47	2556	35	225
40	11.11	1.90	21.11	2625	40	185
45	12.50	1.90	23.75	2683	45	153
50	13.89	1.90	26.39	2730	50	128
55	15.28	1.90	29.03	2770	55	107
60	16.67	1.90	31.70	3200	60	90
64	17.78	3.56	63.40	3200	60	80
70	19.44	6.24	119.70	3200	60	65
76	20.83	9.49	200.30	3200	60	50
88	22.22	17.75	419.20	3200	60	35
104	24.44	$\infty$	$\infty$	3200	60	0



Slika 5-08. Zavisnost protoka  $Q_m$  i vremenskog zastoja  $VZ$  od brzine protoka u uslovima ravničastog terena, pri  $V_{Co}=60$  km/h i  $Co = 3200$  PA/h u idealizovanim uslovima

Tabela T.5-06. Vrednosti rastojanja vozila u koloni "a", vremena  $\Delta t$  pri  $V_{co}=60$  km/h po kriterijumima za nivo saobraćajne usluge "NU" pri idealizovanim uslovima.

$V_s$ [km/h]	$Q_m$ [PA/h]	$Q_m/2$ [PA/h]	$q/C$	$G/2$ [PA/km]	$a$ [m]	$\Delta t$ [s]	$V_{co}$ [km/h]	$VZ$ [%]	NU
60	3200	1600	1.00	26.6	31.70	1.90	60	90	E
64	1850	925	0.58	14.45	63.40	3.56	60	80	D
70	1100	550	0.34	7.97	119.70	6.24	60	65	C
76	700	350	0.22	4.60	200.30	9.49	60	50	B
88	400	200	0.13	2.33	419.20	17.75	60	35	A
104	0	1	0	1	$\infty$	$\infty$	60	0	A

#### 5.4 Usvojeni način proračuna praktičnog kapaciteta $C$ [voz/h], eksploatacione brzine $V_e$ [km/h] i nivoa usluge $NU$

5.4.1 Proračun praktičnog kapaciteta  $C$  [voz/h], eksploatacione brzine  $V_e$  [km/h] i nivoa usluge  $NU$  za stabilan saobraćajni tok

$C_o = Q_m = 3200 \text{ voz/h}$  - osnovni kapacitet

$V_{co} = 60 - 72 \text{ km/h}$  - brzina pri osnovnom kapacitetu

$V_s = \frac{1.90 \cdot V_{co}}{1 + \frac{VZ}{100}}$  - sektorska brzina obrazac: 5-10

$VZ = \frac{1.9V_{co} - V_s}{V_s} \cdot 100$  - zastoj u odnosu na brzinu u slobodnom toku obrazac: 5-10

$V_{co} = 72 \text{ km/h}$  - za ravničast teren

$V_{co} = 66 \text{ km/h}$  - za brdovit teren

$V_{co} = 72 \text{ km/h}$  - za planinski teren

[voz/h]  $C = C_o \cdot \frac{q}{C} \cdot f_d \cdot f_w \cdot f_{PA} \cdot f_{TV}$  - praktični kapacitet puta obrazac: 5-11



5.4.2 Proračun praktičnog kapaciteta  $C$  [voz/h], eksploatacione brzine  $V_e$  [km/h] i nivoa usluge  $NU$  za nestabilan saobraćajni tok

5.4.2.1 Slučaj kada je  $V_{SL} = V_F < 60$  km/h i  $Q_{mF} < 3200$  PA/h

$$Co_F = \frac{7200 \cdot V_F}{V_F + 20.88} [PA/h] - \text{osnovni kapacitet}$$

$$Vc_{oF} = \frac{Co_F \cdot 20.88}{7200 - Co_F} [km/h] - \text{brzina pri osnovnom kapacitetu}$$

$$VZ_F = \frac{1.9 \cdot 60 - V_F}{V_F} \cdot 100 - \text{zastoj u odnosu na brzinu u slobodnom toku}$$

$$[voz/h] \quad C_F = Co_F \cdot \frac{q}{C} \cdot f_d \cdot f_w \cdot f_{PA} \cdot f_{TV} - \text{praktični kapacitet puta}$$

U ovom slučaju nivo saobraćajne usluge je "F", bez obzira na kategoriju terena u kojoj se put nalazi.

5.4.2.2 Slučaj kada je zahtev za protokom veći od kapaciteta  $Q_{mF} > 3200$  PA/h

$$Co_F = 3200 - (Q_{mF} - 3200) [PA/h] - \text{osnovni kapacitet} \quad \text{obrazac: 5-12}$$

$$Vc_{oF} = \frac{Co_F \cdot 20.88}{7200 - 1.90 \cdot Co_F} [km/h] - \text{brzina pri osnovnom kapacitetu} \quad \text{obrazac: 5-13}$$

$$VZ_F = \frac{1.9 \cdot 60 - Vc_{oF}}{Vc_{oF}} \cdot 100 - \text{zastoj u odnosu na brzinu u slobodnom toku} \quad \text{obrazac: 5-14}$$

$$[voz/h] \quad C_F = Co_F \cdot \frac{q}{C} \cdot f_d \cdot f_w \cdot f_{PA} \cdot f_{TV} - \text{praktični kapacitet puta} \quad \text{obrazac: 5-15}$$

I u ovom slučaju je nivo saobraćajne usluge puta "F", za sve kategorije terena.

5.4.2.3 Slučaj kada je  $V_{SL}$  znatno veće od brzine pri kapacitetu  $V_{Co}$  pa je odnos  $q/C$  veoma mali i tako da je onemogućen protok u okviru osnovnog kapaciteta  $Q_m = 3200$  PA/h

U slučaju kada je brzina u slobodnom toku  $V_{SL}$  znatno veća od brzine pri kapacitetu  $V_{Co}$ , i odnos  $q/C$  je veoma mali, tako da je onemogućen protok u okviru osnovnog kapaciteta, potrebno je smanjiti polaznu veličinu, tj. brzinu u slobodnom toku kako bi se povećala vrednost odnosa  $q/C$  do vrednosti da protok bude omogućen, tabele T.5-09, T.5-10, T.5-11 i T.5-12

5.4.3 Analiza mogućnosti preticanja sporijih vozila u realnom saobraćajnom toku

U realnom toku zbog pojedinih vozila koja se sporije kreću javlja se potreba za preticanjem. Preticanje može biti onemogućeno iz dva razloga.

Prvi razlog je geometrija puta u situacionom pogledu, gde nije obezbeđena potrebna dužina za preticanje i postoji samo puna linija.

Drugi razlog je gustina saobraćaja, te ne postoji neophodan vremenski razmak između vozila koje dolazi iz suprotnog smera i vozila koje treba da izvrši preticanje sporijeg vozila, iako postoji isprekidana linija koja uslovno dopušta mogućnost preticanja.

Prema našim Propisima za projektovanje puteva, zahtevano je da na slobodnoj deonici bude 20 % dužine gde preticanje neće biti dozvoljeno tj, gde preglednost nije dovoljna da bi se izvršila operacija preticanja, odnosno traži se da isprekidana linija bude na 80 % dužine puta.

Na osnovu prethodne analize u ovom radu, nemogućnost preticanja, odnosno  $q_m/C = 1.00$  se javlja pri kapacitetu puta  $C$  i pri zahtevu za protokom  $Q_{mF}$  kada se smanjuje kapacitet  $C_F$  i brzina protoka  $V_F$ , a povećava se gustina  $G_F$ . U tom slučaju se vozi zgusnutoj koloni sa velikom verovatnoćom povremenih zastoja.

Za bezbedno preticanje teretnog vozila prosečne dužine 12 m, pri razlici u brzinama od  $\Delta V = 20$  km/h, potrebno je oko 10 sekundi da bi se operacija preticanja izvršila (stizanje, prestizanje, i povratak na svoju saobraćajnu traku). Za to vreme iz suprotnog smera dolazi vozilo u susret. Prema tome za bezbedno preticanje potreban je razmak koji se izračunava kada se brzina bržeg vozila pomnoži sa 20 sekundi.

$$[m]Lp = v \cdot 20 = \frac{V}{3.6} \cdot 20 = 5.55 \cdot V$$

obrazac: 5-16

Prema tabeli T.5-06 to je permanentno omogućeno samo na putevima sa nivoom usluge A, odnosno kada je  $VZ < 35\%$ .

Zbog prirode realnog saobraćajnog toka koju karakterišu brojne neravnomernosti (godišnja, sezonska, mesečna, dnevna i časovna) dolazi do mešanja brzina vozila (putničkih i teretnih) i kolebanja brzina zbog nemogućnosti preticanja, moguće je stvaranje kolona vozila, kao i većeg razmaka između kolona. Taj povećani razmak dozvoljava preticanje i u nivoima usluge A i B. Nasuprot tome u nivoima saobraćajne usluge C, D i E preticanje nije uvek moguće, pa se mogu pojaviti i povremeni zastoji.

U nivou usluge F kada se javlja zahtev za protokom preticanje je isključeno kao mogućnost, dok je pri nivou usluge F kada je  $V_F < 60$  km/h, kod puteva nižeg ranga (sporednih puteva), preticanje je moguće ako postoji dovoljno mala gustina saobraćaja.

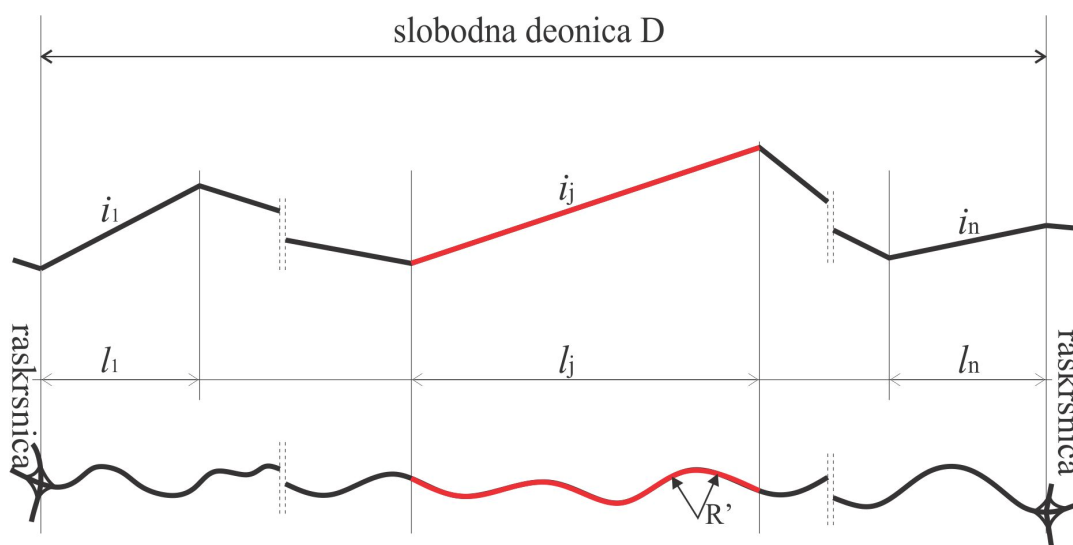
### 5.5. Praktični kapacitet $C$ slobodne deonice puta

Na dvotračnim putevima, prema Propisima, bez obzira na funkcionalnu klasifikaciju puteva (pristupni, sabirni, vezni i daljinski), dopuštene su raskrsnice u nivou ili denivelisane.

Za svaku vrstu putnog pravca određena je računaska brzina,  $V_R$  kao najveća bezbedna brzina u krivini minimalnog radijusa  $R_{min}$ , i srazmerno tome i ostali granični konstruktivni elementi puta. Međutim u praksi se zbog uklapanja trase u reljef terena primenjuju optimalni elementi situacionog plana i podužnog profila, koji su po pravilu povoljniji od kritičnih za koje važi računaska brzina  $V_R = \text{const}$ , pa se vozi brzinom u slobodnom toku koju dopuštaju primenjeni elementi i koja je promenljiva i kreće se od  $V_R \leq V_{SL} \leq V_{max}$  za konkretni putni pravac. Na konkretnom delu puta sa elementima  $R, K, i$ , brzina će biti umanjena zbog veličine po opštoj formuli za praktični kapacitet puta  $C$ .

Prema tome, zaključuje se da je pored promene brzine u slobodnom toku, promenljiv i kapacitet puta na tom delu puta, pa se u vezi s tim na celom putnom pravcu

može identifikovati deo puta sa najmanjim kapacitetom  $C_{min}$  koji je merodavan za ceo putni pravac ili slobodnu deonicu između dve uzastopne raskrsnice.



**K** - krivinska karakteristika

**R'** - prosečan radijus na dužini  $l_j$   $V_{SL}' = f(K, R', l_j)$

Slika 5-09. Sektor sa jednoličnim podužnim nagibom i krivinskom karakteristikom na posmatranom sektoru trase na slobodnoj deonici puta

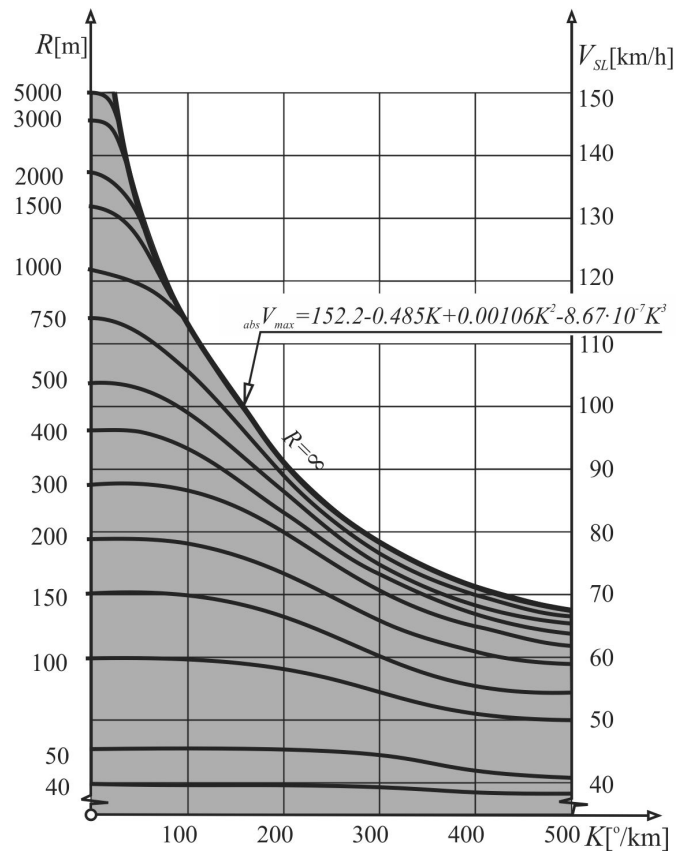
U ovom primeru koriste se tabele T.4-03, T.4-04, T.4-05, T.4-06b.

Tabela T.4-03 Prema našim Propisima za projektovanje puteva kao normativna vrednost dopušta se 20 % dužine puta sa nedovoljnom dužinom preglednosti za preticanje vozila.

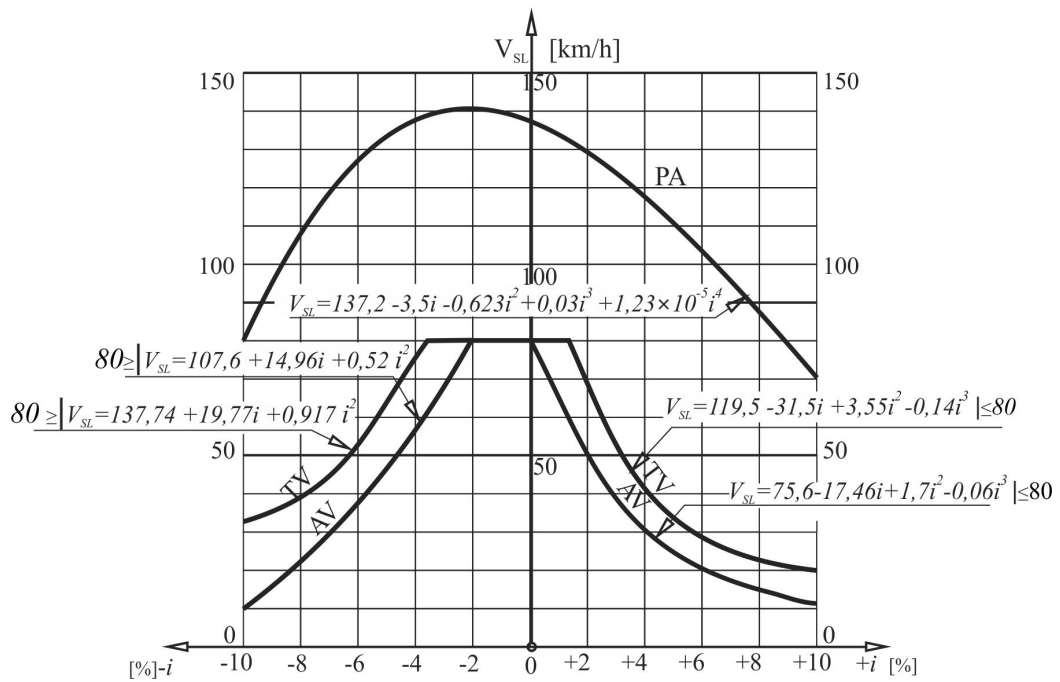
Tabela T.4-04 Uobičajeno je da se usvaja distribucija vozila po smerovima sa 60 % vozila koja se kreću na usponu pa sledi da je faktor  $f_d = 0.87$ .

Tabela T.4-05 Usvajaju se vrednosti  $f_w$  koje odgovaraju nivou usluge "E".

Tabela T.4-06b Za brzinu na nagibima nivelete  $V_i$  prilikom određivanja koeficijenta ekvivalencije  $E_o$  i  $E$  usvaja se brzina putničkog vozila u slobodnom toku koju dopuštaju elementi puta u situacionom planu i podužnom profilu prema ograničenjima u na slikama 5-10. i 5-11.



Slika 5-10. Ograničenje brzine putničkog vozila u zavisnosti od radijusa krivine  $R$  i krivinske karakteristike  $K$



Slika 5-11. Ograničenje brzine putničkog vozila u zavisnosti od nagiba nivelete

Za nagibe nivelete veće od 7 % u tabeli T.4-06 i brzine manje od 50 km/h izvršena je grafička ekstrapolacija na osnovu trenda postojećih vrednosti.

## 5. 6. Eksploataciona brzina saobraćajnog toka $V_e$

### 5.6.1 Eksploataciona brzina na sektoru "j" puta, sektorska brzina

Zbog činjeničnog stanja da je u saobraćajnom toku u realnim uslovima situacionog plana i podužnog profila puta, brzina vožnje putničkog vozila u slobodnom toku  $V_{SL}$  promenljiva, nameće se i promena eksploatacione brzine  $V_e$  realnog saobraćajnog toka na istim delovima (sektorima) puta  $l_j$ .

Prema tome eksploataciona brzina realnog saobraćajnog toka  $V_e$  (u Propisima označena kao osnovna brzina  $V_o$ ), može biti samo prostorno ponderisana brzina svih sektorskih brzina  $V_s$  na slobodnoj deonici puta ili celom putnom pravcu.

Sektorska brzina u stabilnom saobraćajnom toku zavisi od veličine vremenskog zastoja  $VZ \leq 90$  %, i to:

$$V_s = \frac{1.90 \cdot V_{c_o}}{1 + \frac{VZ}{100}} \quad \text{obrazac: 5-17}$$

Sektorska brzina u nestabilnom saobraćajnom toku  $V_s = V_F$  gde je  $V_{c_o} < 60$  km/h uslovljena je uvećanim vremenskim zastojem  $VZ_F > 90$ %

$$VZ_F = \frac{1.90 \cdot 60 - V_F}{V_F} \cdot 100 \quad \text{obrazac: 5-18}$$

$$V_F = \frac{1.90 \cdot 60}{1 + \frac{VZ_F}{100}} \quad \text{obrazac: 5-19}$$

### 5.6.2 Eksploataciona brzina slobodne deonice puta $V_e$

Eksploataciona brzina se izračunava iz ponderisanog vremenskog zastoja i vremena vožnje za celu deonicu puta

$$V_e = \frac{\sum_{j=1}^n l_j}{\sum_{j=1}^n t_j}, \quad \text{obrazac: 5-20}$$

gde je:

$$t_j = \frac{l_j}{V_{S_j}}. \quad \text{obrazac: 5-21}$$

Ponderisani vremenski zastoj je vrednost na osnovu koje se određuje nivo saobraćajne usluge :

$$\overline{VZ} = \frac{\sum_{j=1}^n l_j \cdot VZ_j}{\sum_{j=1}^n l_j}, \quad \text{obrazac: 5-22}$$

gde su:  $l_j$ - dužina sektora "j",

$VZ_j$ - vremenski zastoj na sektoru "j".

### 5.7 Proračun nivoa usluge $NU$ i eksploatacione brzine $V_e$

Proračun nivoa usluge vrši se za konkretno saobraćajno opterećenje  $PGDS$  sa strukturom saobraćaja  $p_{PA}$  [%] i  $p_{TV}$  [%] na konkretnoj trasi puta.

Postupak se sastoji u tome da se saobraćajno opterećenje izraženo u vozilima po danu preko koeficijenta "n"-tog časa i faktora vršnog časa  $FV\check{C}$  pretvori u veličinu  $q_m$  izraženu u vozilima po času, a zatim preko proizvoda faktora umanjenja zbog realne geometrije puta, gustine saobraćaja i procenta neraspoložive dužine preglednosti za preticanje, pretvori u osnovno opterećenje  $Q_m$  sa dimenzijom PA/h.

Sa tako dobijenom vrednošću  $Q_m$  izraženom u PA/h koriste se napred navedeni postupci za određivanje nivoa usluge sektora "j" i deonice ili celog putnog pravca preko ponderisanih vrednosti  $\overline{VZ}$  [%] i eksploatacione brzine  $\overline{V_e}$  [km/h]

5.7.1 Merodavno saobraćajno opterećenje  $q_m$  prema Propisima

Merodavno saobraćajno opterećenje dato je obrascem 5-23:

$$q_m = PGDS \cdot \frac{FNC\check{c}}{FV\check{c}} \quad \text{obrazac: 5-23}$$

- gde je za međugradske puteve  $FNC\check{c}=13 - 17\%$ , a vrednost se očitava sa dijagrama učestalosti pojave  $PGDS$  tokom cele godine, za časove učestalosti 30 - 60 časova (slika 5-02.). U tom vremenu se toleriše pojava da zahtev za protokom bude veći od kapaciteta puta (nestabilan tok), odnosno da  $Q_m > 3200$  PA/h

Osnovni protok  $Q_m$  [PA/h] izračunava se obrascem 5-24:

$$Q_m = \frac{q_m}{\frac{q}{C} \cdot f_d \cdot f_w \cdot f_{PA} \cdot f_{TV}} \quad \begin{array}{l} \text{- brojni ekvivalent putničkih vozila u idealnim uslovima} \\ \text{za broj vozila u realnim uslovima puta i saobraćaja} \end{array} \quad \text{obrazac: 5-24}$$

**Napomena:** Brzina na usponu prilikom određivanja koeficijenata ekvivalencije  $E_o$  i  $E$ , određuje se prema brzini u slobodnom toku za prosečan radijus horizontalne krivine, krivinske karakteristike i nagiba nivelete.

5.7.2 Vremenski zastoj  $VZ$  na sektoru "j"

Prilikom određivanja vremenskog zastoja koristi se sledeća tabela, dobijena očitavanjem vrednosti sa slike 4. 26-b

Tabela T. 5-07. Vremenski zastoj brzine  $V_{SL}$  u odnosu na brzinu  $V_S$  pri kapacitetu puta

$Q_m$ [PA/h]	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500
$VZ$ [%]	9	17	24	29	34	39	44	47	51	54	57	60	63	67	69
$Q_m$ [PA/h]	1600	1700	1800	1900	2000	2100	2200	2300	2400	2500	2600	2700	2800	3000	3200
$VZ$ [%]	71	73	75	77	79	81	83	85	86	87	88	88	89	89	90



Sektorska brzina  $V_s$  na sektoru "j" iznosi:

$$V_{s_j} = \frac{1.90 \cdot V_{c_o}}{1 + \frac{VZ_j}{100}}$$

obrazac: 5-25

Nivo usluge na sektoru "j"

Nivo usluge se određuje na osnovu vremenskog zastoja  $VZ_j$  prema kriterijumima za kategoriju terena. Tabela 5-01, 5-02 i 5-03.

### 5.7.3 Eksploataciona brzina $V_e$ , vremenski zastoj $VZ$ i nivo saobraćajne usluge $NU$ na slobodnoj deonici puta

Eksploataciona brzina  $V_e$ , vremenski zastoj  $VZ$  i nivo saobraćajne usluge  $NU$ , na slobodnoj deonici puta određuju se kao ponderisane sredine po sektorima "j"

## 5.8. Primeri

### 5.8.1 Primer br.1 Stabilan tok

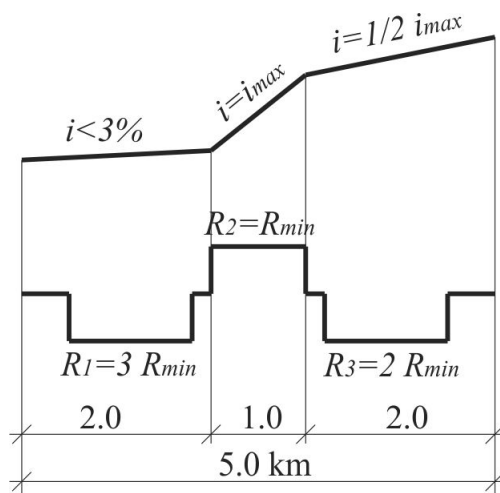
Nivo saobraćajne usluge za konkretno saobraćajno opterećenje  $q_m$  i slobodnu deonicu puta.

Uslovi:

$$q_m = 500 \text{ voz/h}$$

slobodna deonica  $L = 5,0 \text{ km}$

elementi trase su prikazani na slici 5-12.



Slika 5-12. Geometrijske karakteristike deonice dužine  $L = 5,0 \text{ km}$

Tabela T. 5.-08. Prikaz vrednosti koje ulaze u proračun za primer

$V_R$	70 km/h	Iz propisa
$i_{max}$	7.0 %	Iz propisa
$K$	130 °/km	Sa dijagrama brzine u slobodnom toku
$R^{(1)}_{min}$	525 m	Iz propisa
$V^{(1)}_{SL}$	92 km/h	Sa dijagrama brzine u slobodnom toku
$R^{(2)}_{min}$	175 m	Iz propisa
$V^{(2)}_{SL}$	72 km/h	Sa dijagrama brzine u slobodnom toku
$R^{(3)}_{min}$	350 m	Iz propisa
$V^{(3)}_{SL}$	88 km/h	Sa dijagrama brzine u slobodnom toku

Na sektorima 1 i 3, brzine kretanja su jednake brzinama u slobodnom toku, za prosečnu veličinu primenjenih radijusa horizontalnih krivina pri prosečnoj krivinskoj karakteristici  $K$ .

Tabela T. 5.-09.

Sektor N	km - km	l [km]	i [%]	V <sub>i</sub> [km/h]	Faktori ograničenja						V <sub>CoF</sub>	C <sub>oF</sub>	C <sub>F</sub>	Q <sub>mF</sub>	VZ <sub>F</sub>	NU	V <sub>F</sub>	t <sub>i</sub>	VZ <sub>i,lj</sub>		
					q/C	E <sub>o</sub>	E	f <sub>d</sub>	f <sub>w</sub>	f <sub>PA</sub>										f <sub>TV</sub>	n [kom]
1	0-2.0	2.0	<3	83	0.97	1.3	1.3	0.87	0.82	1.00	0.95	2	60	2800	1840	760	46	C	78	0.0256	92
2	2.0-3.0	1.0	8	64	0.90	1.3	3.8	0.87	0.82	0.96	0.59	2	60	2800	1018	1374	67	D	67	0.0147	67
3	3.0-5.0	2.0	4	71	0.87	1.3	5.8	0.87	0.82	0.93	0.57	2	60	2800	603	2320	85	E	85	0.0328	170
5.0 km																					
$V_e = \frac{5.0}{0.0731} = 68.4 \text{ km/h} \quad VZ = \frac{329}{5} \cdot 100 = 65.8\% \quad q_m = \frac{500}{C} = 0.829 \quad NU'' D''$																					

Tabela T. 5.-09. Proračun nivoa saobraćajne usluge za konkretno saobraćajno opterećenje q<sub>m</sub> i slobodnu deonicu puta

Tabela T. 5.-10.

Sektor N	km - km	l [km]	i [%]	V <sub>i</sub> [km/h]	Faktori ograničenja						V <sub>CoF</sub>	C <sub>oF</sub>	C <sub>F</sub>	Q <sub>mF</sub>	VZ <sub>F</sub> [%]	NU	V <sub>F</sub>	t <sub>i</sub>	VZ <sub>i,j</sub>		
					q/C	E <sub>o</sub>	E	f <sub>d</sub>	f <sub>w</sub>	f <sub>PA</sub>										f <sub>TV</sub>	n [kom]
1	0 - 2.0	2.0	<3	87	0.28	2.2	2.2	0.87	0.90	1.00	0.84	2	72	2800	515	2715	89	E	72	0.0277	92
2	2.0-3.0	1.0	6	82	0.42	1.6	4.3	0.87	0.90	0.96	0.66	2	72	2800	583	2400	86	E	73	0.0137	67
3	3.0-5.0	2.0	3	82	0.56	2.3	10.1	0.87	0.90	0.88	0.41	2	72	2800	500	2800	90	E	72	0.0277	170
5.0 km																					
$V_e = \frac{5.0}{0.0691} = 72.3 \text{ km/h} \quad VZ = \frac{446}{5} \cdot 100 = 89.2\% \quad \frac{q_m}{C} = \frac{500}{500} = 1.000 \quad NU'' E''$																					

Tabela T. 5.-11.

Sektor N	km - km	l [km]	i [%]	V <sub>i</sub> [km/h]	Faktori ograničenja						V <sub>CoF</sub>	C <sub>oF</sub>	C <sub>F</sub>	Q <sub>mF</sub>	VZ <sub>F</sub> [%]	NU	V <sub>F</sub>	t <sub>i</sub>	VZ <sub>i,j</sub>		
					q/C	E <sub>o</sub>	E	f <sub>d</sub>	f <sub>w</sub>	f <sub>PA</sub>										f <sub>TV</sub>	n [kom]
1	0 - 2.0	2.0	<3	87	0.25	2.2	2.2	0.87	0.99	1.00	0.84	2	72	2800	506	2800	90	E	72	0.0277	180
2	2.0-3.0	1.0	5.5	79	0.50	2.2	8.6	0.87	0.99	0.91	0.46	2	72	2800	500	2800	90	E	72	0.0138	90
3	3.0-5.0	2.0	2.75	86	0.28	2.4	2.4	0.87	0.99	0.89	0.82	2	72	2800	500	2800	90	E	72	0.0277	180
5.0 km																					
$V_e = \frac{5.0}{0.0693} = 72.0 \text{ km/h} \quad VZ = \frac{450}{5} \cdot 100 = 90.0\% \quad \frac{q_m}{C} = \frac{500}{500} = 1.000 \quad NU'' E''$																					

Tabele T. 5.-10 i T. 5.-11. Proračun nivoa saobraćajne usluge za konkretno saobraćajno opterećenje q<sub>m</sub> i slobodnu deonicu puta

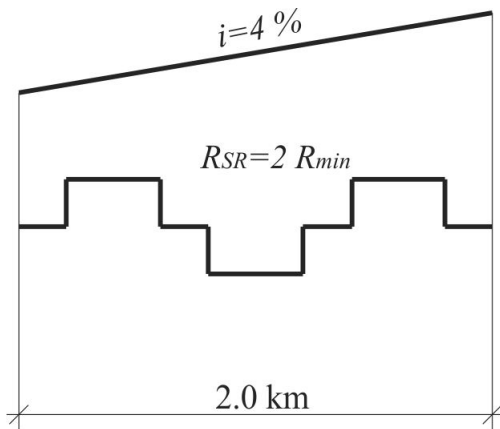
Tabela T. 5.-12.

Sektor N	km - km	l [km]	i [%]	V <sub>i</sub> [km/h]	Faktori ograničenja						V <sub>Cof</sub>	C <sub>oF</sub>	C <sub>F</sub>	Q <sub>mF</sub>	VZ <sub>F</sub>	NU	V <sub>F</sub>	t <sub>i</sub>	VZ <sub>i</sub> l <sub>i</sub>		
					q/C	E <sub>o</sub>	E	f <sub>d</sub>	f <sub>w</sub>	f <sub>PA</sub>										f <sub>TV</sub>	n [kom]
1	0 - 2.0	2.0	<3	87	0.25	2.2	2.2	0.87	0.99	1.00	0.84	2	72	2800	506	2800	90	E	72	0.0277	180
2	2.0-3.0	1.0	5.5	79	0.50	2.2	8.6	0.87	0.99	0.91	0.46	2	72	2800	500	2800	90	E	72	0.0138	90
3	3.0-5.0	2.0	2.75	86	0.28	2.4	2.4	0.87	0.99	0.89	0.82	2	72	2800	500	2800	90	E	72	0.0277	180
5.0 km																					
$V_e = \frac{5.0}{0.0693} = 72.0 \text{ km/h} \quad VZ = \frac{450}{5} \cdot 100 = 90.0\% \quad \frac{q_m}{C} = \frac{500}{500} = 1.000 \quad NU'' E''$																					

Tabele T. 5.-12. Proračun nivoa saobraćajne usluge za konkretno saobraćajno opterećenje q<sub>m</sub> i slobodnu deonicu puta

5.8.2 Primer 2, Slučaj zahteva za kapacitetom nestabilan tok  $q/C > 1.00$

Slučaj zahteva za kapacitetom  $q_m > Q_{mF}$



Okolnosti:

Računska brzina na deonici je  $V_R = 60$  km/h

Krivinska karakteristika deonice je  $K = 180$  °/km

Minimalni radijus na deonici je  $R_{min} = 120$  m

veličina saobraćajnog toka  $q = 1600$  voz/h

Raspodela saobraćajne strukture je identična prethodnom primeru.

za  $R_{sr} = 2 \times 120 = 240$  m i  $K = 180$  ° očitava se  $V_{SL} = 71$  km/h

Slika 5-13. Geometrijske karakteristike deonice dužine  $L = 2,0$  km

$$C = 3200 \cdot \left(\frac{q}{C}\right) \cdot f_d \cdot f_w \cdot f_{PA} \cdot f_{TV} \quad \text{obrazac: 5-26}$$

za  $V = 71$  km/h i 20 % dužine puta na kojoj nije dozvoljeno preticanje zbog smanjene preglednosti trase  $q/C = 0.942$

$$f_d = 0.87, \quad f_w = 0.82,$$

$$f_{PA} = \frac{1}{1 + \frac{p_{PA}}{100} \cdot I_p}; \quad I_p = 0.02 \cdot (E - E_o); \quad E_o = 1.40, \quad E = 3.80 \quad \text{obrazac: 5-27}$$

$$f_{PA} = 0.96$$

$$f_{TV} = \frac{1}{1 + \frac{p_{TV}}{100} \cdot (E_{TV} - 1)}; \quad E_{TV} = 1 + \left(0.25 \cdot \frac{p_K + p_{AV}}{p_{TV}}\right) (E - 1) \quad \text{obrazac: 5-28}$$

$$f_{TV} = 0.693$$

$C = 3200 \cdot 0.942 \cdot 0.87 \cdot 0.82 \cdot 0.96 \cdot 0.693 = 1432 < 1600$  - postoji zahtev za kapacitetom. obrazac: 5-29

$$Q_{mF} = \frac{q_m}{\left(\frac{q}{C}\right) \cdot f_d \cdot f_w \cdot f_{PA} \cdot f_{TV}} = \frac{1600}{0.447} = 3578 PA/h \quad \text{obrazac: 5-30}$$

$$C_{oF} = 3200 - (Q_{mF} - 3200) = 2822 PA/h \quad \text{obrazac: 5-31}$$

$$C = C_{oF} \cdot \left(\frac{q}{C}\right) \cdot f_d \cdot f_w \cdot f_{PA} \cdot f_{TV} = 2822 \cdot 0.447 = 1261 \text{voz} / h \quad \text{obrazac: 5-32}$$

$$V_{C_{oF}} = \frac{C_{oF} \cdot 20.88}{7200 - 1.90 \cdot C_{oF}} = \frac{2822 \cdot 20.88}{7200 - 1.90 \cdot 2822} = 32.05 \text{km} / h \quad \text{obrazac: 5-33}$$

$$VZ_F = \frac{1.90 \cdot 60 - 32.05}{32.05} \cdot 100 = 255\% \quad \text{obrazac: 5-34}$$

### 5.8.3 Primer br 3. Serpentina, nestabilan tok $V_{CF} < 60 \text{ km/h}$

Serpentine su često puta neophodne na putevima u brdovitom i planinskom terenu, gde je potrebno savladati velike visinske razlike. U tim slučajevima, pored uobičajeno primenjivanog maksimalnog nagiba nivelete, primenjuje se i serpentina (sistem krivina sa ekstremno malim radijusom u okretnici), kao poseban razlog za smanjenje kapaciteta deonice puta, a u nekim sučajevima i to smanjenje kapaciteta može da dostigne i razmere uskog grla za kapacitet cele deonice.

Prema našim propisima dati su konstruktivni elementi serpentina.

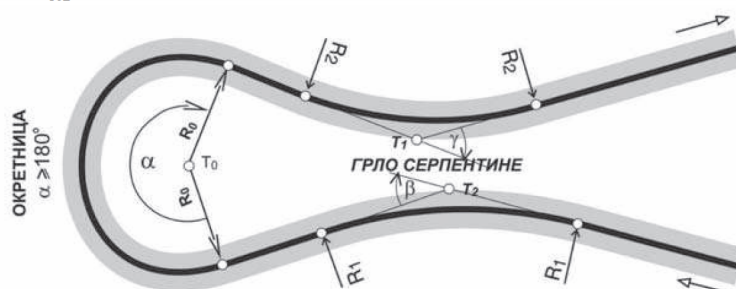
Типови серпентинских окретница.

Tabela T. 5-13. Izvod iz

Ширина коловоза пута	Радијус унутрашње ивице окретнице - $R_u$ (m)				
	6	8	10	15	20
6 (m)	6/6	6/8	6/10	6/15	6/20
7 (m)	7/6	7/8	7/10	7/15	7/20

Propisa za projektovanje, Podaci o elementima serpentina

Подручје окретнице подлеже специфичним условима нивелационог обликовања. Максимална вредност попречног нагиба  $i_{pk} = 9\%$ , док се вредност резултујућег нагиба коловоза ограничава на  $\max i_{tez} = 10\%$ .



$R_0$  - полупречник окретнице  
 $R_1, R_2$  - полупречници прикључних кривина

Slika 5-14. Šematski prikaz serpentine, Propisi za projektovanje

Tabela T. 5.-14.

Sektor N	km - km	l [km]	i [%]	V <sub>i</sub> [km/h]	Faktori ograničenja						V <sub>CoF</sub>	C <sub>oF</sub>	C <sub>F</sub>	Q <sub>infF</sub>	VZ <sub>F</sub>	NU	V <sub>F</sub>	t <sub>i</sub>	VZ <sub>j</sub> l <sub>j</sub>		
					q/C	E <sub>o</sub>	E	f <sub>d</sub>	f <sub>w</sub>	f <sub>PA</sub>										f <sub>TV</sub>	n [kom]
1	0 - 2.0	2.0	4	71	0.942	1.40	3.80	0.87	0.82	0.96	0.693	2	60	2022	904	3578	632	F	15.6	-	-
														2800	1252	-	-	-	-	-	-

Tabele T. 5.-14. Proračun kapaciteta i nivoa saobraćajne usluge u serpentinu



Veličina radijusa u osovini serpentine se dobija kada se na radijus unutrašnje ivice doda proširenje kolovoza od 1.80 m i širina saobraćajne trake od 3.00 m, ukupno 4.80 m, tako da radijusi u osovini trase pri širini kolovoza od 6.00 m imaju sledeće vrednosti.

$$R_o = 6.00 + 4.80 = 10.80m \quad R_o = 8.00 + 4.80 = 12.80m$$

$$R_o = 10.00 + 4.80 = 14.80m \quad R_o = 15.00 + 4.80 = 19.80m$$

$$R_o = 20.00 + 4.80 = 24.80m$$

Brzine putničkog vozila u slobodnom toku za radijuse  $R \geq 20$  m izmerene su u eksperimentalnoj vožnji, a za radijuse  $R < 20$  m, računaju se prema regresijonoj formuli

$$V_F = 9.15 \cdot (\log R_{\min})^2 + 18.68 \cdot \log R_{\min} - 11.93 \quad \text{obrazac: 5-35}$$

prikazanoj na zbirnom dijagramu za najmanji radijus na ispitivanim deonicama za različite krivinske karakteristike, slika 4-11.

Tako dobijene vrednosti  $V_F$  nalaze se u tabeli T. 5-15. i T. 5-16.

Tabela T. 5-15. Brzine kretanja vozila u krivinama radijusa manjih od 25m

$R_o$ [m]	10.80	12.80	14.80	19.80	24.80
$V_F$ [km/h]	16	19	21	26	30

#### 5.8.4 Praktični kapacitet serpentine $C$

Za proračun faktora umanjenja  $q/C$ ,  $f_d$ ,  $f_w$ ,  $f_{PA}$ ,  $f_{TV}$ , osnovnog kapaciteta  $C_o$ , uzeta je (kao i u prethodnim primerima) ista struktura saobraćaja, tj.  $p_{PA} = 85\%$  i  $p_{TV} = 15\%$ .

Okolnosti:

- širina bankine sa ivičnom trakom 1.25 m  $f_w = 0.85$
- distribucija saobraćaja po smerovima 60% u smeru uspona  $f_d = 0.87$
- dužina serpentine sa prikljuenim krivinama  $l = 0.50$  km
- maksimalni dopušteni poprečni nagib prema propisima  $max i_{rez} = 10\%$
- maksimalni dopušteni poprečni nagib prema propisima  $max i_{pk} = 9\%$

$$i_s = \sqrt{10^2 - 9^2} = \sqrt{19} = 4.35\% \approx 4\%$$

$$\left. \begin{array}{l} E_o = 1.30 \\ E = 1.50 \end{array} \right\} \Rightarrow f_{PA} = 1.00; f_{TV} = 0.927; f_d = 0.87; f_w = 0.85$$

-  $q/C = 1.00$  , kada pri brzini  $V=30$  km/h, na 100% dužine posmatrane deonice nije dozvoljeno preticanje zbog smanjene preglednosti.

$$C = C_{oF} \cdot (q/C) \cdot f_d \cdot f_w \cdot f_{PA} \cdot f_{TV} = C_{oF} \cdot 0.686 \quad \text{obrazac: 5-36}$$

$$C_{oF} = \frac{7200 \cdot V}{1.90 \cdot V + 20.88} \quad \text{obrazac: 5-37}$$

$$C_F = C_{oF} \cdot 0.686$$

$$VZ_F = \frac{1.90 \cdot 60 - V_F}{V_F} \cdot 100 = \frac{114 - V_F}{V_F} \cdot 100 \quad \text{obrazac: 5-38}$$

T. 5-16. Praktični kapacitet  $C_F$  u serpentinama

$R_o$ [m]	10.80	12.80	14.80	19.80	24.80
$V_F$ [km/h]	16	19	21	26	30
$VZ$ [%]	612	500	443	338	280
$C_{oF}$ [voz/h]	1878	2038	2175	2436	2625
$C_F$ [voz/h]	1288	1398	1492	1772	1801

**6.**

**PRIMENA REZULTATA ISTRAŽIVANJA NA PROPISE ZA  
PROJEKTOVANJE PUTEVA**

## 6. PRIMENA REZULTATA ISTRAŽIVANJA NA PROPISE ZA PROJEKTOVANJE PUTEVA

## 6.1 Izvod iz Propisa

## 6.1.3. Програмски услови кретања моторних возила

Програмски услови кретања моторних возила обухватају главне параметре којима се утврђује ниво остварења функционалних задатака, као и основне мере регулативе од утицаја на функцију пута (слика 6-04 овог прилога).

Зависно од функционалног ранга пута, програмски се условљава континуитет саобраћајног тока (слика 6-04 овог прилога), односно спречава прекид саобраћајног тока услед потребе да се пресеке и/или укључи у саобраћајни ток. На путевима највише категорије треба тежити остварењу континуитета тока, што се постиже пре свега пресецањем у два или више нивоа и физичким раздвајањем смерова у складу са саобраћајним оптерећењем.

Ниво услуге је показатељ укупног квалитета одвијања саобраћаја на путу при меродавном саобраћајном оптерећењу за димензионисање елемената пута. Ниво услуге се утврђује у складу са важећом методологијом.

Основна брзина ( $V_0$ ) је полазни програмски параметар, то је један од показатеља нивоа услуге одређеног путног правца при меродавном саобраћајном оптерећењу ( $Q_{mer}$ ). Будући да је основна брзина приближно једнака средњој брзини саобраћајног тока, дефинисањем основне брзине истовремено се дефинише и дозвољено саобраћајно оптерећење  $Q_d$ , при коме је  $V_0$  реално остварљива. Захтевана основна брзина зависи од функционалног ранга и карактера терена, као што је приказано на слици 6-04 овог прилога.

На двотрачним путевима за двосмерни саобраћај условљене вредности основних брзина могу се постићи само ако је на путу у задовољавајућој мери остварена претицајна прегледност. Тај услов исказује се процентуалном дужином деонција на којима треба омогућити претицања и такође зависи од функционалног ранга пута и карактера терена.

Табела Т. 6-01. Критеријуми за вредновање  $NU$  из Propisa за projektovanje puteva

	ПРИСТУПНИ ПУТ		САБИРНИ ПУТ		ВЕЗНИ ПУТ		ДАЉИНСКИ ПУТ	
	ПП-л	ПП-п	СП-п	СП-р	ВП-р	ВП-м	ДП-м	ДП-д
УСЛОВИ САОБРАЋАЈНОГ ТОКА ВОЗИЛА	нема значаја		дисконтинуални (прекинут) ток			пожељан <sup>(а)</sup> континуални (непрекинут) ток		
МЕРОДАВНИ НИВО УСЛУГЕ	није применљиво		$E (D)$		$D (E)$		$D (C)$	
ОСНОВНА <sup>(б)</sup> БРЗИНА $V_0$	равн. 60 брдовит 40 планински 30		равн. 80 брдовит 60 планински 40		равн. 90 брдовит 70 планински 50		равн. 100 брдовит 80 планински 60	
ПРЕТИЦАЊЕ <sup>(в)</sup> % ДУЖИНЕ	равн. 40 брдовит 20 планински 10		равн. 60 брдовит 40 планински 20		равн. 70 брдовит 50 планински 30		равн. 80 брдовит 60 планински 40	

## 6.2 Primena rezultata analize istraživanja na važeće propise

### 6.2.1 Eksploataciona brzina

Obzirom na naslov Doktorske teze i predmet istraživanja, rezultate istraživanja treba prilagoditi već usvojenim normativima u "Pravilniku o uslovima koje sa aspekta bezbednosti saobraćaja moraju da ispunjavaju putni objekti i drugi elementi javnog puta", koji predstavlja podzakonski akt sa obaveznom primenom, od 08.07.2011.god, kraće rečeno, Propisima za projektovanje puteva.

Kao što se vidi u tabeli, T.6.01, u Propisima su određeni nivoi saobraćajne usluge, prema funkcionalnoj klasifikaciji puteva (pristupni, sabirni, vezni i daljinski) i vrednostima osnovne brzine za kategorije terena (ravničasti, brdovit i planinski). Što znači da su to zvanične referentne vrednosti za definisanje funkcionalne opravdanosti investicione intervencije na putevima i da se kao takve moraju prihvatiti u ovom radu. Međutim, uvažavajući u svetu prihvaćenu metodologiju, za definisanje pojmova i kriterijuma za odedivanje nivoa usluge, koja je primenjena u ovoj analizi, to jednostavno nije moguće usaglasiti sa ovakvim Propisima.

Naime, navedena osnovna brzina  $V_o$  treba da bude približno jednaka srednjoj brzini saobraćajnog toka, data je kao deterministička vrednost T.VI.01, za ravničast, brdovit i planinski teren i za svaku funkcionalnu klasifikaciju puta gde su navedeni nivoi saobraćajne usluge (sibirni E(D), vezni D(E) i daljinski D(C)).

Po prirodi pojave, osnovna brzina ne može biti deterministička vrednost, pošto je to stohastička veličina koja se definiše kao srednja vrednost sa procenom devijacije te srednje vrednosti, ili u rasponu ograničenom sa gornje i donje strane, ili pak samo sa jedne strane. Sam naziv "osnovna brzina" nije funkcionalan, jer predstavlja eksploatacionu brzinu  $V_e$ , koja je vrlo bitna za dalju ekonomsku opravdanost, pod uslovom da je funkcionalna opravdanost već potvrđena. Osim toga normativ "približno" ne bi trebalo da bude dozvoljen u Propisima.

U ovom radu su prihvaćene tražene vrednosti  $V_o$  za kategorije terena ali kao donje (najmanje) vrednosti, što znači da nisu ograničene sa gornje strane.

### 6.2.2 Brzina u slobodnom toku

Brzina u slobodnom toku je polazni parametar prilikom određivanja kapaciteta puta. Da bi se dobila eksploataciona brzina, brzina u slobodnom toku pored ograničenja, prvenstveno od konstruktivnih elemenata puta, a zatim i od gustine saobraćaja pri raspoloživoj preglednosti za preticanje, što sve zajedno rezultira vremenskim zastojem  $VZ$  eksploatacione brzine u odnosu na brzinu u slobodnom toku, što je primarni kriterijum za određivanje nivoa saobraćajne usluge  $NU$ .

U navedenim našim Propisima, brzina u slobodnom toku putničkog vozila data je kao "teorijska" zavisnost od radijusa horizontalne krivine i podužnog nagiba nivelete, a dobija se grafičkom superpozicijom dva profila brzine u slobodnom toku, posebno od radijusa horizontalne krivine i posebno od nagiba nivelete. Obzirom da se maksimalni nagibi nivelete primenjuju pri malim računskim brzinama, gde su radijusi horizontalnih krivina ograničavajući faktor za brzinu, to praktično znači da je brzina u slobodnom toku tada određena samo na osnovu radijusa horizontalne krivine (naročito u ravničastim predelima).

U poglavlju 3 (Prethodna znanja i iskustva), u eksperimentalnim istraživanjima u svetu, za uticaj elemenata puta na brzinu zaključeno je da "u svim istraživanjima jeste potvrđeno da brzina zavisi od radijusa horizontalne krivine, ali da sam radijus nije dovoljan za objašnjenje ponašanja vozača i da treba tražiti i druge uticajne promenljive veličine koje su među geometrijskim karakteristikama puta". Sama teorijska vrednost uticaja radijusa krivine je neargumentovana i u velikom raskoraku sa realnim uslovima i eksperimentalnim rezultatima, te kao takva nije prihvaćena u ovoj analizi, nego su usvojeni rezultati eksperimentalnih istraživanja.

### 6.2.3 Nivo saobraćajne usluge $NU$

Uvažavajući vrednosti osnovne brzine  $V_0$  kao minimalne vrednosti eksploatacione brzine, prema podacima iz Propisa (T. 6-01), i primenjujući poznate kriterijume za nivo saobraćajne usluge (L.21.) tabela (T.4-03), dobija se pravilan odnos Nivoa saobraćajne usluge  $NU$ , vremenskog zastoja  $VZ$  i eksploatacione brzine  $V_e$ .

Tabela T. 6-02. Kriterijumi za vrednovanje nivoa usluge NU i na osnovu brzina iz Propisa i na osnovu eksploatacionih brzina  $V_e$ 

Teran	Pristupni putevi			Sabirni putevi			Vezni putevi			Daljinski putevi		
	$V_o$ [km/h]	NU	$V_e$ [km/h]	$V_o$ [km/h]	NU	$V_e$ [km/h]	$V_o$ [km/h]	NU	$V_e$ [km/h]	$V_o$ [km/h]	NU	$V_e$ [km/h]
Ravničast	60	E	60 - 72	80	D	72 - 83	90	C	83 - 91	100	B	91 - 101
Brdovit	40	F	<60	60	E	60 - 70	70	D	70 - 83	80	C	83 - 91
Planinski	30	F	<60	40	F	<60	50	F	<60	60	E	60 - 64
NU	E, F, F			D, E, F			C, D, F			B, C, E		

Tabela T. 6-03. Kriterijumi za vrednovanje nivoa usluge NU na osnovu brzina iz Propisa i na osnovu vremenskog zastoja eksploatacione brzine  $VZ$ 

Teran	Pristupni putevi			Sabirni putevi			Vezni putevi			Daljinski putevi		
	$V_o$ [km/h]	NU	$VZ$ [%]	$V_o$ [km/h]	NU	$VZ$ [%]	$V_o$ [km/h]	NU	$VZ$ [%]	$V_o$ [km/h]	NU	$VZ$ [%]
Ravničast	60	E	80 - 90	80	D	65 - 80	90	C	50 - 65	100	B	30 - 50
Brdovit	40	F	>90	60	E	80 - 90	70	D	65 - 80	80	C	50 - 65
Planinski	30	F	>90	40	F	>90	50	F	>90	60	E	80 - 90

Upoređujući sa tabelom T.6-01, očigledno je neslaganje sa naznačenim nivoima usluge za sabirne puteve E (D), vezne D (E) i daljinske D (C), koji su proizvoljno naznačeni, ako se pri tome prihvate tražene vrednosti za  $V_o$  prema kategorijama terena.

#### 6.2.4 Kriterijumi prema iskorišćenosti kapaciteta $q_m/C$ za traženi nivo usluge

Prema tabeli T.4-7. za traženu vrednost osnovne brzine iz Propisa  $V_o=V_s$ , sledi

Tabela T. 6-04. Kriterijumi prema iskorišćenosti kapaciteta  $q_m/C$  za traženi nivo usluge

Teran	Pristupni putevi		Sabirni putevi		Vezni putevi		Daljinski putevi	
	NU	$q/C$	NU	$q/C$	NU	$q/C$	NU	$q/C$
Ravničast	E	0.578 - 1.000	D	0.343 - 0.578	C	0.218 - 0.343	B	0.125 - 0.218
Brdovit	F	>1.000	E	0.578 - 1.000	D	0.343 - 0.578	C	0.218 - 0.343
Planinski	F	>1.000	F	>1.000	F	>1.000	E	0.578 - 1.000

6.2.5 Kriterijumi prema osnovnom protoku  $Q_m$  za traženo  $V_o$ Tabela T. 6-05. Kriterijumi prema osnovnom protoku  $Q_m$  za traženo  $V_o$  iz Propisa

Teren	Pristupni putevi		Sabirni putevi		Vezni putevi		Daljinski putevi	
	NU	$Q_m [PA/h]$	NU	$Q_m [PA/h]$	NU	$Q_m [PA/h]$	NU	$Q_m [PA/h]$
Ravničast	E	1850 - 3200	D	1100 - 1850	C	700 - 1100	B	400 - 700
Brdovit	F	>3200	E	1850 - 3200	D	1100 - 1850	C	700 - 1100
Planinski	F	>3200	F	>3200	F	>3200	E	1100 - 1850

### 6.3 Predlog kriterijuma za referentne vrednosti pokazatelja funkcionalne opravdanosti

Funkcionalna opravdanost u opštem smislu postoji onda kada postojeća putna mreža ili putni pravac ne zadovoljava saobraćajnu potrebu na određenom nivou usluge.

Referentne vrednosti pokazatelja su praktično definisane Pravilnikom za projektovanje puteva, preko eksploatacione brzine  $V_e$ , za puteve prema funkcionalnoj klasifikaciji i kategorizaciji terena.

U ovom radu je pokazano da ta brzina ne može biti deterministička vrednost nego stohastička vrednost sa određenim opsegom. Prihvaćena je kao minimalna vrednost  $V_e \geq V_o$ , po metodologiji HCM - 94.

- Za rekonstrukciju postojećih puteva sa dostignutim saobraćajem sa  $q_m/C \geq 1.00$  (NU "E" i "F") funkcionalna opravdanost postoji odmah, radi postojanja kapaciteta preko otklanjanja "uskih grla" ili izgradnjom dodatnih saobraćajnih traka da bi put zadovoljio budući saobraćaj na kraju planskog perioda za vrednost  $q_m/C \geq 0.70$ .

- Za rekonstrukciju postojećih puteva ili izgradnju novih putnih pravaca za koje se traži nivo usluge NU "C"("D"), opravdanost postoji ako je dostignuti saobraćaj na tom nivou usluge, pa je potrebno obezbediti povećanje kapaciteta za budući saobraćaj do kraja planskog perioda.



U takvim slučajevima, najčešće se radi o potrebi za autoputem sa po dve odvojene saobraćajne trake u oba smera vožnje.

Projektovanjem puta, traženi nivo saobraćajne usluge treba obezbediti na kraju planskog perioda.

U prvim godinama eksploatacije gustina saobraćaja će biti manja, tako da će nivo saobraćajne usluge biti konforniji od nivoa "C",("D") koji su propisima traženi.

7.

**ZAKLJUČAK**

## 7. ZAKLJUČAK

Na osnovu rezultata analize prikupljenih činjenica o uticaju elemenata puta na brzinu u slobodnom toku i uticaja gustine saobraćaja na eksploatacionu brzinu, može se konstatovati sledeće:

1. Postoji uticaj geometrijskih elemenata puta, obima i structure saobraćaja na određivanje referentnih vrednosti i pri definisanju funkcionalne opravdanosti za intervenciju na putu.
2. Brzina u slobodnom toku je polazni parameter za određivanje uticaja strukture i obima saobraćaja na eksploatacionu brzinu.
3. Uticaj geometrijskih elemenata puta na brzinu u slobodnom toku dobijen merenjem u naučno organizovanom eksperimentu u prirodnim okolnostima i predstavlja srednju vrednost niza izmerenih stohastičkih vrednosti, sa varijacijom  $\vartheta=2.78\%$  za  $R_{\min}$  i  $\vartheta=4.17\%$  za  $R > R_{\min}$ .
4. Rezultati merenja brzine u slobodnom toku kao stohastičke vrednosti se u prihvatljivoj meri poklapaju sa svetskim iskustvima u ovoj oblasti. U ovom radu srednje vrednosti tih merenja tretirane su kao determinističke vrednosti.
5. Rezultati uticaja obima i strukture saobraćaja na smanjenje brzine u slobodnom toku su dobijeni u obimnim eksperimentima u više saveznih država u SAD-u, a publikovani su u uputstvima HCM – 94 u Vašingtonu, i kao takvi, prihvaćeni su za ovu naučnu oblast u celom svetu pa i kod nas.
6. Prema HCM 94 i HCM 2010, uticaj strukture i obima saobraćaja na smanjenje brzine u slobodnom toku je definisan pojmom nivoa saobraćajne usluge (NU) u šest nivoa (A,B,C,D,E i F), koji su osnova za donošenje kriterijuma o referentnim graničnim vrednostima prilikom određivanja funkcionalne opravdanosti građevinskih intervencija na putu.

7. Naš “Pravilnik o uslovima koje put o uslovima koji sa aspekta bezbednosti saobraćaja moraju da ispunjavaju putni objekti i drugi elementi javnog puta” (kraće rečeno Propisi) je podzakonski akt sa obaveznom primenom donet 08.07.2011. god. U njemu su prema funkcionalnoj klasifikaciji javnih puteva date vrednosti za nivoe saobraćajne usluge i osnovne brzine saobraćaja pri tim nivoima usluge koje zapravo predstavljaju eksploatacione brzine.

8. Nakon analize, konstatovano je da referentne vrednosti po Propisima nisu u skladu sa preporukama u HCM 94 i HCM 2010, i kao takve su su neprimenljive iako su po podzakonskom aktu, obavezne.

9. U poglavlju 6. “Primena rezultata na Propise za projektovanje projektovanje puteva” pokazana je neusklađenost ovog poglavlja „Propisa“ sa suštinom materije i pokazateljima za referentne vrednosti kod procene funkcionalne opravdanosti.

10. Rezultati istraživanja, prema usvojenoj metodologiji, zasnovani su na činjenicama dobijenim u naučno organizovanim eksperimentima sa merenjem u prirodnim okolnostima puta i saobraćaja, pa se kao takvi mogu prihvatiti u inženjerskoj praksi projektovanja puteva.

**8.**

**LITERATURA**

## LITERATURA

1. AASHO                    A POLICY ON GEOMETRIC DESIGN OF RURAL HIGHWAYS –  
1965  
Washington D.C. 1972
2. Chapanis, S.            APPLIED EXPERIMENTAL PSYCHOLOGY  
Gardner, V.                John Wiley, NEW YORK  
Morgan, C.
3. Dilling, J.                FAHRVERHALTEN VON KRAFTFAHRZEUGEN AUF  
KURVIGEN STRECKEN  
STRASSENBAU UND STRASSENVERKEHRSTECHNIK 1973.  
Heft 151.
4. Dorsch,                 UPUTSTVA ZA IZRADU STUDIJA O IZVODLJIVOSTI PUTEVA  
Berger                      SAVET REPUBLIČKIH I POKRAJINSKIH ORGANIZACIJA ZA  
PUTEVE  
Ljubljana 1974
5. Emerson, J.             A NOTE ON SPEED-ROAD CURVATURE RELATIONSHIP  
Traffic Engineering and Control 12/1970
6. Köppel, G.              KURVIGKEIT, STETIGKEIT UND FAHRGESCHWINDIGKEIT;  
Bock, H;                    Strasse und Autobahn - 1970.
7. Kuzović, Lj.             OSNOVNI POJMOVI BRZINA U PLANIRANJU PUTEVA I  
Đorđević, T.              NJIHOVA MEĐUZAVISNOST I USLOVLJENOST OD PUTA I  
SAOBRAĆAJA.  
Put i saobraćaj 1-12/1977.
8. Kuzović, Lj.             DEFINIRANJE POSTUPKA PRORAČUNA EKSPLOATACIJSKIH  
BRZINA PROMETNIH TOKOVA NA PUTEVIMA U UVJETIMA  
VELIKIH GUSTINA PROMETA, Ceste i mostovi 1/1980,

9. Lam, R.  
Herring, H. EIN NEUER VORSCHLAG ZUR BEMESSUNG VON RADIUS UND QUERNEINGUNG AUF AUßERORTSSTRAßEN  
Strasse und Autobahn
10. Lindenmann  
Ranft GESCHWINDIGKEIT IN KURVE VEREINIGUNG  
SCHWEIZERISCHER STRASSENFACHLEUTE (VSS)  
Zurich - 1978.
11. Marković, M. RAZMATRANJE IZVESNIH STAVOVA U VAŽEĆIM PROPISIMA  
ZA PROJEKTOVANJE PUTEVA  
Put i saobraćaj 7/1973.
12. Macura, D. UTICAJ PSIHOLOŠKIH FAKTORA NA ODREĐIVANJE  
ELEMENATA PUTA  
X Kongres SDPJ 1973.
13. - Richtlinien für die Anlage von Straßen RAS Teil: Linienführung RAS-  
L. FG, 1995.
14. - Einflüsse der Erhöhung der Geschwindigkeiten und Beschleunigungen  
von Fahrzeugen auf die Entwurfsgeschwindigkeit, FSS, Heft 385.  
1983.
15. Hebenstreit, B. Grindzüge einer verkehrspsychologie  
Johan Ambrosius Bart Verlag, München, 1961.
16. Chapanis, S.  
Gardner, V.  
Morgan, C. Applied Experimental Psychology  
John Wiley, New York, 1949.
17. Šešić, B. Opšta metodologija  
Naučna knjiga, Beograd, 1974
18. Wahlgren, O. The Dependence of Vehicle Speeds on Different Factors-Particularly  
Road Geometry on Two Lane Highways in Finland  
Scientific Research Nr 22, Helsinki, 1967.
19. - Manual on Uniform Traffic Control Devices,  
U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration,  
Washington, D.C., 1988.
20. - Manual on Traffic Signal Design,  
Institute of Transportation Engineers, Washington D.C., 1982.
21. - Highway Capacity Manual Special Report 209  
Transportation Research Board,  
National Research Council, Washington. DC 1994
22. - A Policy on Geometric Design of Highways and Streets 1994.  
Washington DC 2001,
23. Garber, N. J.  
Lester A. Hoel TRAFFIC and HIGHWAY ENGINEERING,  
Department of Civil Engineering University of Virginia, 1996

24. Kuzović, Lj. Topolnik, D. Kapacitet drumskih saobraćajnica, G.K. Beograd, 1989.
25. Kuzović, Lj. Uloga petorežimskog modela međiizavisnosti baznih parametara saobraćajnog toka pri definisanju praktičnog kapaciteta i nivoa usluge autoputeva po HCM 1994. Put i saobraćaj, 1998.
26. Damnjanović, D. Milićević, A. Cvetković, D. Usklađivanje konstriktivnih elemenata pula prema očekivanoj brzini u slobodnom toku, Monografija, Građevinsko - arhitektonski fakultet, Univerzitet u Nišu, Niš, 2002.
27. Pravilnik o uslovima koje sa aspekta bezbednosti saobraćaja moraju da ispunjavaju putni objekti i drugi elementi javnog puta. Službeni glasnik RS br. 50/2011 od 08.07.2011.god.
28. Kuzović, Lj. Vrednovanje u upravljanju razvojem i eksploatacijom putne mreže, Monografija, Saobraćajni fakultet u Beogradu, 1994.
29. Damnjanović, D. Dončeva, R. Cvetković, D. Postupak za određivanje kapaciteta i nivoa saobraćajne usluge dvotračnih puteva, Put i saobraćaj, 2012.
30. Kuzović, Lj. PRILOG UTVRDIVANJU MERODAVNIH PROTOKA VOZILA ZA VREDNOVANJE TEHNIČKIH REŠENJA PUTEVA, Doktorska disertacija, Beograd 1975.
31. Kuzović, Lj. NEW PROCEDURES, MODELS AND CRITERIA IN THE ANALYSIS OF THE PRACTICAL CAPACITY AND THE LEVEL OF ROAD SEGMENT SERVICE, 11th IRF World Meeting, Seoul, Korea, 1989.
32. Kuzović, Lj. FUNKCIONALNO VREDNOVANJE SAOBRAĆAJNIH DEONICA I ODSEKA, Tehnika - Saobraćaj, br.1-2., Beograd 1991.
33. Kuzović, Lj. ULOGA STUDIJA SAOBRAĆAJNO-EKONOMSKE OPRAVDANOSTI IZGRADNJE I REKONSTRUKCIJE PUTNE MREŽE U DEFINISANJU PROJEKTNIH ELEMENATA PUTA PO MERI ZAHTEVA SAOBRAĆAJA, Ceste i mostovi, br.1/1986., Zagreb, 1986.
34. Kuzović, Lj. POSTUPAK PRORAČUNA POKAZATELJA NA KOJIMA SE ZASNIVA PRIMARNA ULOGA FUNKCIONALNOG VREDNOVANJA DEONICA PUTEVA, Tehnika-saobraćaj, br.3-4/1991., Beograd, 1991.
35. Kuzović, Lj. VREDNOVANJE U UPRAVLJANJU RAZVOJEM I EKSPLOATACIJOM PUTNE MREŽE, Put i saobraćaj, br.1/1994., Beograd, 1994.
36. Lobanov, E.M. Siljanov, V.V. i drugi: PROPUSNAJA SPOSOBNOST AVTOMOBILNIH DOROG", Transport, Moskva, 1970.



37. OECD CAPACITE'DES VOIES PRINCIPALES DE CIRCULATION", Recherche en matiere de rovtset de transports rovtiers, Rapport realize par un groupe d'experts scientifiques de L'OCDE, Paris, 1983.
38. Peterson, B.E. SWEDISH CAPACITY MANUAL, Irore, E. Stokholm, 1977.
39. Siljanov, V.V. TEORIJA TRANSPORTNIH POTOKOV V PROEKTIROVANII DOROG I ORGANIZACIJI DVIZENIJA, Transport, .Moskva, 1977,
40. Vukadinović, S. ELEMENTI TEORIJE VEROVATNOĆE I MATEMATIČKE STATISTIKE, Privredni pregled, Beograd, 1990.
41. Damnjanović, D. Utvrđivanje metodologije za teorijsko-eksperimentalno proučavanje optimalnog oblikovanja puta sa gledišta dinamike i psiho-fizioloških reakcija vozača sa sastavljanjem programa za konstrukciju potrebnih elektronskih uređaja, Magistarski rad, GF Beograd, 1976.
42. Damnjanović, D. Korišćenje eksperimenata za rešavanje problema usklađivanja elemenata puta prema dinamici vožnje X Kongres SDPJ, Arandelovac, 1978.
43. Damnjanović, D. Profil brzine u slobodnom toku kao osnova za unapređenje regulative Milićević, A. za projektovanje i rekonstrukciju puteva sa gledišta bezbednosti Cvetković, D. saobraćaja Jugoslovensko savetovanje o tehnickoj regulativi u oblasti puteva, Sombor 1994.
44. Damnjanović, D. Softver "DIP" za vozno-dinamičko ispitivanje i usklađivanje elemenata Dončeva, R. puta prema profilu projektne brzine Cvetković, D. XIV Kongres, DPJ Beograd 1995.
45. Zuberbühler, C. Geschwindigkeiten in Kurven Forschungsberichte des Instituts für ORL, Zurich 1967.
46. Kostić, S. Definisane merodavne bezbedne brzine Ceste i mostovi, god. 36. br.1,Zagreb, 1990
47. Köpel, G., Kurvigkeit, Statigkeit und Fahrgeschwindigkeit Bock, H. Strasse und Autobahn, 1970.
48. Lamm, R. Possible Desing Procedure to Promote Consistency in Highway Choueiri, P.M. Geometric Design on Two Lane Rural Roads Hayward, J.C. TRR 1195. Washington D.C. 1989. Paluri, A
49. Lindenman, R. Geschwindigkeit in kurven Vereinigung schweizerischer strassenfachleute (VSS), Zürich, 1978.
50. Macura, D. Eksperimentalno istraživanje odnosa brzine i radijusa krivine XI Kongres SDPJ, Opatija, 1982.

51. Milošević, S. Saobraćajna psihologija  
Naučna knjiga, Beograd, 1981.
52. McLean, J. Driver Speed Behaviour and Rural Road Alignment Desing  
Traffic Engineering and Control 4/1981.
53. Garber, N. J. Traffic and Highway Engineering  
Hoel, L. A. Department of Civil Engineering University of Virginia, 1997.
54. Rot, N. Opšta psihologija,  
Beograd, 1967.
55. Steffen, H. Sicherheits-überprüfung im Strabenentwurf unter Anwendung  
Lamm, R. Komplexer EDV-Systeme  
Günther, A.K. Strase und Tierbau. Nr. 10, 1992. s. 12-23
56. Snidikor, Statistički metodi (prevod)  
Kohren Beograd, 1971.
57. - Highway Systems, Human Performance and Safety  
Transportation Research Record No 1318 TRB,  
Washington DC, 1991.
58. - RAL-L1 Kommentar zu den Richtlinien für die Anlage von Landstraßen,  
FG. Köln 1979.
59. - Die Neuen Österreichischen Richtlinien für Linienführung von Strasen,  
RVS 3.23 Wien.  
Österreichischen Ingenieur und Architekten Verein FG. Heft 76.
60. Муртазин, Б. О НОВОМ МЕТОДЕ НАЗНАЧЕНИЯ ВЕЛИЧИНЫ УКЛОНА  
ВИРАЖА.  
Аутомобилыные дороги 7/1970,
61. Scotto G.E. LA TORTUOSITA STRADALE  
Strade 44/1964.
62. Wahlgren O. THE DEPEDENCE OF VEHICLE SPEEDS ON DIFFERENT  
FAKTORS - PARTICULARLY ROAD GEOMETRY - ON TWO  
LANE HIGHWAYS IN FINNLAND  
Scientific Research, Nr.22. Helsinki 1967.
63. Zuberbühler C. GESCHWINDIGKEITEN IN KURVEN  
Forschungsberichte des Instituts für Orts,  
Regional fund Landesplanunn an der ETH, Zurich - 1967.
64. - KARAKTERISTIKE PUTEVA U ZAVISNOSTI OD SAOBRAĆAJA.  
NACIONALNI REFERATI: FRANCUSKA, JAPAN, POLJSKA, V  
.BRITANIJA, Z. NEMAČKA, SSSR I ČSSR.  
IV PITANJE, XIV Svetski Kongres za puteve Prag - 1971.

65. - PUTEVI I AUTOPUTEVI  
NACIONALNI REFERATI: V.BRITANIJA, ŠVAJCARSKA,  
Z.NEMAČKA, POLJSKA, IRSKA.  
III TEMA, XVI Svetski kongres za puteve, Beč - 1979.
66. - HIGHWAY CAPACITY MANUAL 1985.,  
Special Report 209, Transportation Research Board,  
National Research Council, Washington, D.C.1985.
67. - HIGHWAY CAPACITY MANUAL 1965.,  
Special Report 87, Highway Research Board,  
Publication 1328., Washington, D.C.1965.
68. Dorsch-Berger UPUTSTVA ZA IZRADU STUDIJA O IZVODLJIVOSTI PUTEVA,  
SOP, Ljubljana, 1974.
69. Kuzović, Lj.  
i gr. saradnika UPUTSTVA ZA IZRADU STUDIJA O IZVODLJIVOSTI PUTEVA,  
Savez organizacija za puteve Jugoslavije, Beograd, 1991.
70. - TRAFFIC CAPACITY OF MAJOR ROUTES,  
Organization for Economic Development, Paris, 1983.
71. Damjanović, D. UTICAJ ELEMENATA PUTA NA BRZINU U SLOBODNOM  
TOKU",  
Doktorska disertacija -, Niš, 1981.
72. Grupa autora HIGHWAY CAPACITY AND LEVEL OF SERVICE,  
Transportation Research Record 699, Washington, D.C. 1979.
73. Krummins, I. CAPACITY AND LEVEL OF SERVICE OF TWO LANE RURAL  
HIGHWAYS IN ALBERTA,  
University of Calgary, Alberta, Canada 1981.
74. Kuzović, Lj.  
Topolnik, D. KAPACITET DRUMSKIH SAOBRAĆAJNICA,  
IRO Građevinska knjiga, Beograd 1989.
75. Kuzović, Lj. TEORIJA SAOBRAĆAJNOG TOKA  
IRO Građevinska knjiga, Beograd 1987.
76. Topolnik, D. Ocena opravdanosti izvedbe većih objekata,  
Planiranje i projektovanje u cestogradnji, Zagreb, 1986, DIT
77. Kuzović, Lj. Teorijsko - metodološke osnove vrednovanja uslova saobraćaja na  
deonicama puteva u područjima gradskih aglomeracija i specifičnosti u  
odlučivanju o potrebi i opravdanosti izrade obilaznice,  
Savetovanje "Planiranje, projektovanje, građenje i eksploatacija puteva  
u područjima gradskih aglomeracija", Niška Banja 1993..
78. Kuzović, Lj.  
Radošević, D.  
Aleksić, B.  
Albreht, I. Osvrt na analitički instrumentarij primenjen u funkcionalnom i  
ekonomskom vrednovanju pri izradi studija opravdanosti izgradnje  
obilaznica u Srbiji,  
Savetovanje "Planiranje, projektovanje, građenje i eksploatacija puteva  
u područjima gradskih aglomeracija", Niška Banja 1993.

79. Kuzović, Lj., Aleksić, B., Tubić, V. Prikaz osnovnih rezultata funkcionalnog i ekonomskog vrednovanja pri izradi studija opravdanosti izgradnje obilaznica Užica i Vršca Savetovanje "Planiranje, projektovanje, građenje i eksploatacija puteva u područjima gradskih aglomeracija", Niška Banja 1993.
80. - Highway Capacity Manual 2010, Chapter 15, Two-lane Highways, Transportation Research Board, Washington, D.C.2010.
81. Harwood, D. W., St. John. A. D. Passing Lanes and Other Operational Improvements on Two - Lane Highways. Report FHWA/RD - 85/028. U.S. Department of Transportation, Washington, D.C., July 1984.
82. Bergh, T. 2+1 Roads with Cable Barrier for Improved Traffic Safety. Proc., Third International Symposium on Highway Capacity, Danish Road Directorate, Copenhagen, June 1998.
83. Hartmann, M., Vortisch, P., Schroeder, B. J. A German Approach to Freeway Facility Evaluation, Transportation Research Board, 94th Annual Meeting, Washington, D.C. 2015.
84. Watson, D.C. Jr, Thomas H.W., Scott W.S. Analysis Methodology for Two-Lane Highways with a Lane Closure, Transportation Research Board, 94th Annual Meeting, Washington, D.C. 2015.
85. Pritam, S., Sarkar, A.K., Pal, M. Assessment of Level-of-Service of Two-Lane Highways with Heterogeneous Traffic Transportation Research Board, 94th Annual Meeting, Washington, D.C. 2015.
86. Kondyli, A., St. George, B., Elefteriadou, L. An Investigation of the Freeway Capacity Definition and Values at Various Types of Bottlenecks, Transportation Research Board, 94th Annual Meeting, Washington, D.C. 2015.
87. Forschungsgesellschaft fuer Strassen- und Verkehrswesen *Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen: HBS (German Highway Capacity Manual)*. Forschungsgesellschaft fuer Strassen- und Verkehrswesen, Cologne, 2009.
88. Forschungsgesellschaft fuer Strassen- und Verkehrswesen *Richtlinien für integrierte Netzgestaltung: RIN (Guideline for integrated network design)*. Forschungsgesellschaft fuer Strassen- und Verkehrswesen, Cologne, 2008.