

# ANALIZA MERODAVNIH SAOBRAĆAJNIH PROTOKA U POSTUPCIMA KREIRANJA PROJEKTNIH REŠENJA PUTEVA

**Miloš Petković, dipl. inž. saobr.**

Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet, milospetkovicds@gmail.com

**dr Vladan Tubić, dipl. inž. saobr.**

Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet, vladan@sf.bg.ac.rs

**Nemanja Stepanović, mast. inž. saobr.**

Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet, n.stepanovic@sf.bg.ac.rs

DOI: 10.31075/PIS.64.03.03

Stručni rad

**Rezime:** U procesu planiranja, projektovanja i definisanja argumenata neophodnih za donošenje odluka o ulaganju investicija u predložena rešenja puta ili mreže, značajno mesto zauzimaju i faze vrednovanja projektnih rešenja. Pod pojmom vrednovanje podrazumeva se definisanje argumenata na osnovu kojih se donose odluke od kojih zavisi hoće li, kada, gde i koja od planiranih rešenja prerasti u realnost, ili će ostati neostvarene ideje. Za efikasno izvršavanje proračuna ukupnih koristi, u analitičkim postupcima, značajnu ulogu imaju merodavni parametri saobraćajnog toka, a pre svega PGDS i merodavni saobraćajni protoci. Međutim, problem se javlja u slučaju pogrešnog korišćenja merodavnih protoka u fazama projektovanja i vrednovanja. Uputstva preporučuju i obavezuju analitičare da merodavne protoke analiziraju po klasama, što je veoma retko rađeno u dosadašnjoj praksi. Iz tog razloga, u ovom radu je sprovedena generalna analiza merodavnih saobraćajnih protoka na mreži puteva u Republici Srbiji za period od 2011. do 2015. godine. Poseban akcenat je stavljen na karakter saobraćajnih tokova, vremenske neravnomernosti, distribuciju protoka po klasama i analizu eksploatacionih brzina u zavisnosti od merodavnih protoka i klasa časovnih protoka. Rezultati ovog rada bi trebalo da omoguće sprovođenje argumentovanih analiza u fazama projektovanja, saobraćajnom i ekonomskom vrednovanju putnih projekata.

**Ključne reči:** merodavni protok, PGDS, klase protoka, vrednovanje, projektovanje.

## ANALYSIS OF DESIGN HOURLY VOLUMES IN THE PROCEDURES FOR CREATING PROJECT SOLUTIONS OF ROADS

**Miloš Petković, B.Sc. T.E.**

University of Belgrade, Faculty of Transport & Traffic Engineering, milospetkovicds@gmail.com

**Vladan Tubić, Ph.D. T.E.**

University of Belgrade, Faculty of Transport and Traffic Engineering, vladan@sf.bg.ac.rs

**Nemanja Stepanović, M.Sc. T.E.**

University of Belgrade, Faculty of Transport and Traffic Engineering, n.stepanovic@sf.bg.ac.rs

Professional paper

**Abstract:** In the process of planning, designing and defining the necessary arguments for making investment decisions in the proposed solutions of the road or network, an important place is occupied by the evaluation of the design solutions. The term evaluation considers the definition of arguments on the basis of which decisions are made, that determine when, where and which of the planned solutions become a reality or remain unrealized ideas. For effective calculations of the total benefits in analytical methods, parameters of traffic flow have important role, especially AADT and design hourly volumes (DHV). However, the problem arises in the case of misuse of DHV in the phases of design and evaluation. Directions suggest and obligate analysts to analyze DHV by class, which is rarely done in practice. For this reason, this paper has conducted a general analysis of DHV on the network of roads in the Republic of Serbia for the period from 2011 to 2015. Special importance was placed on the nature of traffic flows, time imbalances, flow distribution by class and analysis of operating speed based on design hourly volumes and classes of traffic flow. The results of this paper should enable better implementation of analysis in the phases of design, operational and economic evaluation of road projects.

**Keywords:** design hourly volume, AADT, classes of flow, evaluation, design.

### 1. UVOD

Primarna uloga vrednovanja u izradi studija opravdanosti izgradnje i poboljšanja puteva, odnosno u upravljanju razvojem i eksploatacijom putne mreže, jeste – definisanje planova i programa razvoja mreže, po meri funkcionalnih zahteva saobraćaja i ekoloških ograničenja, sa maksimalnom ekonomskom opravdanošću, zasnovanih na realnim materijalnim mogućnostima društva. Drugim rečima, pod pojmom vrednovanje podrazumeva se definisanje argumenata na osnovu kojih se donose odluke od kojih zavisi hoće li, kada, gde i koja od planiranih rešenja prerasti u realnost, ili će ostati neostvarene ideje.

Sa druge strane, postupak kreiranja projektnih rešenja puteva se sastoji od skupa koordinisanih i kontrolisanih aktivnosti sa terminima početka i završetka, preduzetih radi dostizanja cilja koji zadovoljava specifične zahteve, uključujući ograničenja u pogledu vremena, troškova i resursa.

U procesu planiranja, projektovanja i definisanja argumenata neophodnih za donošenje odluka o ulaganju investicija u predložena rešenja puta ili mreže, značajno mesto zauzimaju faze vrednovanja predloženih rešenja.

Primena bilo kog modela vrednovanja u lokalnim uslovima i za svaki konkretan slučaj mora u prvoj fazi da se bazira na istraživanju merodavnih vrednosti saobraćajnih zahteva – **merodavnih protoka**, definisanju dovoljnog broja osetljivih pokazatelja nivoa usluge (funkcionalnih kriterijuma), da bi u drugoj fazi definisao niz ekonomskih pokazatelja (modela za kvantifikaciju efekata, nivo cena, karakteristike vozila i sl). Treća, sintezna i ključna faza mora da izvrši tzv. izbalansiranost pokazatelja funkcionalnih i ekonomskih kriterijuma sa ciljem dobijanja jednoznačnih zaključaka i rezultata.

Suštinski razlog osnovnih slabosti dosadašnjih pristupa je u stvari stav prema problemu vrednovanja – naknadnom dokazivanju već gotovih projektantskih rešenja više zasnovanih na intuiciji, a manje na argumentovanju realnih funkcionalnih potreba. U uslovima nepostojanja adekvatne informacione osnove (nerazvijen informacioni sistem o saobraćajnim tokovima, putevima, vozilima i sl.) uz napred navedeni stav o ulozi vrednovanja, stvarao se prostor za razne zloupotrebe, što je kao konačnu posledicu imalo niz pogrešnih odluka (Tubić, V., 2012).

Za efikasno izvršavanje proračuna ukupnih koristi, u analitičkim postupcima, značajnu ulogu imaju merodavni parametri saobraćajnog toka, a pre svega PGDS i merodavni saobraćajni protoci.

Analiza postojećih i budućih saobraćajnih zahteva, odnosno problem korektnog utvrđivanja merodavnih protoka je ono što dominantno utiče na niz strateških odluka u celokupnom procesu optimiziranja putne mreže (dimezionisanje poprečnog profila, novogradnja ili rekonstrukcija, funkcionalno, ekonomsko i ekološko vrednovanje).

Uputstva preporučuju i obavezuju analitičare da merodavne protoke analiziraju po klasama časovnih protoka, a to je veoma retko rađeno u dosadašnjoj praksi.

Iz tog razloga, cilj ovog rada se ogleda u preispitivanju kompletnog pristupa problemu vrednovanja i kreiranja projektnih rešenja puteva, sa posebnim akcentom na analizu promene prosečnog godišnjeg dnevnog saobraćaja (PGDS) i analizu merodavnih saobraćajnih protoka kao ključnim pokazateljima saobraćajnih zahteva.

Poseban značaj u analizi je stavljen na karakter saobraćajnih tokova, vremenske neravnomernosti, distribuciju protoka po klasama i analizu eksploatacionih brzina u zavisnosti od merodavnih protoka i klasa časovnih protoka. Celokupna analiza je izvršena na mreži državnih puteva u Republici Srbiji za period od 2011. do 2015. godine.

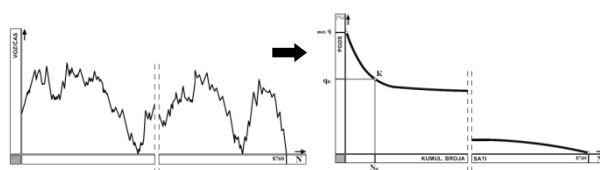
## 2. MERODAVNI SAOBRAĆAJNI PROTOCI

Karakteristika vremenske neravnomernosti saobraćajnog toka ima izuzetan značaj pri definisanju projektnih elemenata i donošenju odluka o opravdanosti izgradnje saobraćajnica. Značaj ove karakteristike saobraćajnog toka je naglašen i za mere koje se preduzimaju u regulisanju i upravljanju saobraćajem na posmatranoj mreži (Tubić, V., 2012). Časovna neravnomernost protoka u periodu cele godine predstavlja variranje protoka vozila po pojedinim časovima u periodu cele godine, tj. u periodu 8760 časova. Uočavanje zakonitosti variranja časovnih protoka u periodu cele godine, tj. u periodu svih 8760 časova predstavljalo je osnovu kod uspostavljanja prvih kriterijuma pri definisanju merodavnog časovnog protoka vozila za dimezionisanje poprečnih profila saobraćajnica.

Ova saznanja su nastala nakon uvođenja automatskih brojača saobraćaja (ABS) pomoću kojih je izvršeno i neprekidno brojanje saobraćaja u svih 8760 sati na putnoj mreži. Praktični rezultati prvih brojanja saobraćaja u svim časovima u periodu godine pokazali su da dijagrami časovnih protoka vozila svrstanih po veličini na svim saobraćajnicama imaju u osnovi sličan oblik (**slika 1**).

Nakon prvih brojanja časovnih protoka u periodu cele godine automatskim brojačima saobraćaja konstatovano je da pored istog opšteg oblika dijagrama, svrstanih po veličini časovnih protoka vozila u svih 8760 sati, za sve puteve približno istog karaktera i značaja u saobraćajnoj mreži, postoji značajna bliskost još i u sledećem:

- u položaju kolena dijagrama (simbol –  $K$ ),
- u relativnoj veličini časovnog protoka u kolenu, izraženoj u % od PGDS-a (simbol -  $q_k$ ) i
- u ukupnom broju časova godišnje u kojima je protok veći ili jednak sa protokom ( $q_k$ ), koji odgovara kolenu dijagrama (simbol -  $N_k$ ).



**Slika 1.** Časovni protoci u periodu godine po hronološkom redosledu časova *Izvor: Tubić, V. (2015)*

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

$$N_k = 30 \text{ i } q_k = 14 - 16 \% \text{ PGDS}$$

Peabody & Norman (1941) su nakon početnih saznanja o zakonitosti časovne neravnomernosti predložili kriterijum za merodavni protok u okviru od 30-og do 50-og časa.

Nakon toga, 1945. godine AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*) je usvojio da se nacionalni sistem međudržavnih puteva dimenzioniše prema veličini protoka koji odgovara 30-om času u 20-toj godini eksploatacije puta.

Kriterijum "30-og časa" se održao dugi niz godina, kao merodavni časovni protok, a u dosta zemalja i danas egzistira. Teorijski posmatrano, još od prvih dana uspostavljanja ovog kriterijuma bilo je nesporno da on ima značenje samo orijentacione mere, a nikako značenje apsolutne istine koja proističe iz suštine značenja merodavnog protoka za planiranje, projektovanje i vrednovanje puteva.

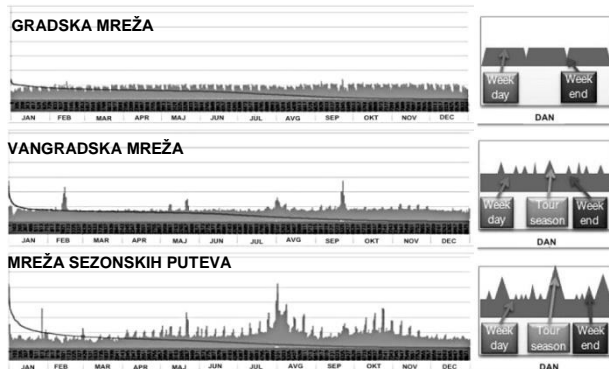
Posmatranjem oblika dijagrama svrstanih časovnih protoka vozila u periodu svih 8760 sati godišnje u dužem nizu godina, sa porastom motorizacije i putnog saobraćaja, uočene su određene zakonitosti u promeni oblika dijagrama. Promene se uočavaju pre svega u pomeranju relativnog položaja kolena na dijagramu svrstanih časovnih protoka. Naime, sa porastom apsolutnih vrednosti protoka vozila (časovno, dnevno, mesečno, godišnje) na dijagramu svih časovnih protoka svrstanih po veličini u 8760 sati uočavaju se sledeće promene:

- u povećanju ukupnog broja časova godišnje u kojima je protok veći ili jednak sa protokom u tački kolena  $q_k$ . Naime,  $N_k$  uzima znatno veće vrednosti od 30;
- u relativnom smanjenju časovnog protoka (%) koji odgovara kolenu dijagrama izraženog u % od PGDS-a. Naime, relativna vrednost protoka  $q_k$  u odnosu na prosečni dnevni saobraćaj postaje sve manja, tj.  $q_k < 0,14\%$  PGDS;
- u relativnom smanjenju najvećih časovnih protoka izraženih kao  $\max q$  u % od PGDS-a.

Sa uočavanjem tendencija u menjanju položaja kolena na dijagramu svrstanih časovnih protoka menjali su se i globalni kriterijumi o merodavnom časovnom protoku. Tako su, nakon kriterijuma "30-og časa" uspostavljeni i kriterijumi: "50-og časa", "80-og časa", "100-og časa", "150-og časa" i "200-og časa". Ovaj poslednji, tzv. merodavni protok 200-og časa danas ima primenu u mnogim razvijenim zemljama.

Vremenska neravnomernost časovnih protoka vozila u periodu svih 8760 sati u godini, zavisna je pored ukupnog protoka vozila u godini ili prosečnog dnevnog protoka još i od funkcije posmatrane saobraćajne deonice u mreži saobraćajnica (vangradska mreža, prigradska mreža, gradska mreža, lokalni vangradski put, sezonski vangradski put i sl). Svaka od kategorija mreže pri određenoj veličini ukupnog godišnjeg ili prosečnog dnevnog saobraćaja, ima svoj karakterističan dijagram svrstanih časovnih protoka vozila (**slika 2**).

U suštini, poznajući opšte zakonitosti časovne neravnomernosti protoka vozila u periodu svih 8760 časova u godini moguće je donositi racionalnije odluke u planiranju i projektovanju saobraćajnica, a pre svega po pitanjima dimenzionisanja poprečnih profila i primeni savremenih softvera u procedurama vrednovanja kao što je HDM 4.



**Slika 2.** Karakterističan oblik krive svrstanih časovnih protoka za različite kategorije mreže. Izvor: Bum Cho, W. (2015)

Generalno, merodavni protok iskazan kao % od PGDS-a je veći ukoliko su veće neravnomernosti saobraćajnog opterećenja u periodu cele godine. Maksimalna vrednost  $q_m$  se dostiže na putevima sa dominantno sezonskim (turističkim) kretanjima, dok se vrednost postepeno smanjuje na putevima sa dominantno daljinskim kretanjima, potom na vangradskim putevima, prigradskim i gradskim putevima. Sa druge strane, može se uspostaviti veza između veličine PGDS-a i  $q_m$ , odnosno sa povećanjem PGDS-a, smanjuje se faktor merodavnog protoka. U **tabeli 1** su prikazane prosečne vrednosti merodavnog protoka, u zavisnosti od veličine PGDS-a, preporučene od strane HCM<sub>2010</sub>-a (*Highway Capacity Manual*).

**Tabela 1.** Veličina merodavnog protoka u zavisnosti od veličine PGDS-a

PGDS (voz/dan)	Prosečna vrednost $q_m$ (% PGDS)	Broj analiziranih saobraćajnica		
		Urbane saobr.	Rekreacione saobr.	Ostale vangradske saobr.
0 – 2.500	15,1	0	6	12
2.500 – 5.000	13,6	1	6	8
5.000 – 10.000	11,8	2	2	14
10.000 – 20.000	11,6	1	2	15
20.000 – 50.000	10,7	11	5	10
50.000 – 100.000	9,1	14	0	4
100.000 – 200.000	8,2	11	0	0
> 200.000	6,7	2	0	0

Izvor: HCM (2010)

Projektanti i eksperti koji se bave ovom oblašću su u prošlosti pokrenuli ozbiljna pitanja u pogledu validnosti tradicionalnog pristupa određivanju merodavnog protoka. Jedna od kritika se odnosi na koncept određivanja merodavnih vrednosti strogo u zavisnosti od objekta (puta), a pritom ne sagledavši perspektivu korisnika.

Iz tog razloga je Sharma (1986) sproveo studiju koja se ogleda u preispitivanju tradicionalnog faktora 30-og sata kao merodavnog, iz perspektive korisnika. Osnovni ciljevi njegove analize su bili: (1) da se istraži uticaj različitih tipova puteva na vrednosti merodavnog protoka; (2) da se sugerišu vrednosti merodavnog protoka sa ciljem da se u procesu projektovanja sagleda ukupan procenat korisnika koji će biti pod uticajem zagušenja, a ne broj sati zagušenosti puta, kao što je u slučaju primene faktora 30-og sata, gde se sagledava ukupno zagušenje od 30 sati tokom godine za sve kategorije puteva.

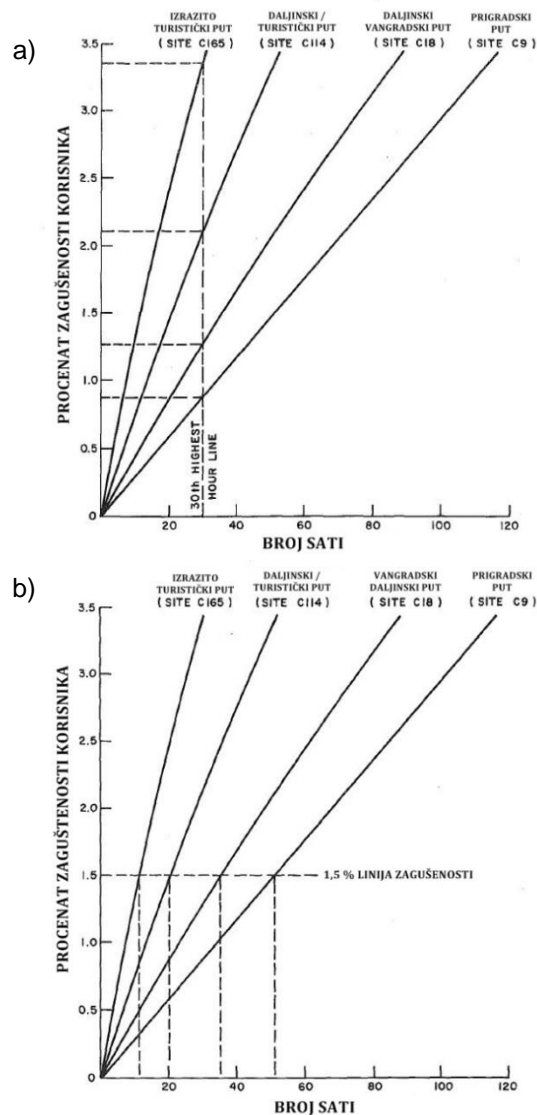
Alternativni pristup određivanju merodavnog protoka, koji je predložen u njegovom radu, takođe je zasnovan na preraspodeli časovnih opterećenja tokom godine. Međutim, primarni interes predloženog pristupa je vrednost verovatnoće da će korisnici iskusiti (doživeti) saobraćajno opterećenje koje prevazilazi vrednost faktora n-tog sata (merodavnog časovnog protoka). Ovakva vrednost verovatnoće može biti aproksimirana sledećim odnosnom (obrazac 1):

$$P(CON)_n = \frac{100}{365 \cdot (PGDS)} \cdot \sum_{i=1}^n V_i \quad (1)$$

gde je  $P(CON)_n$  – verovatnoća iskazana u procentima da će korisnici iskusiti saobraćajno opterećenje koje prelazi vrednost faktora n-tog sata; a  $V_i$  – vrednost saobraćajnog opterećenja tokom  $i$ -tog sata.

Na osnovu sprovedenih analiza ustanovljeno je da se primenom tradicionalnog pristupa odabira faktora 30-og sata kao merodavnog za sve tipove puteva, verovatnoća zagušenja korisnika značajno razlikuje u odnosu na vrstu puta (slika 3). Sa druge strane, kod alternativnog pristupa, definisanjem jedinstvenog stepena zagušenosti korisnika moguće je uspostaviti jedinstven nivo usluge na svim putevima primenjujući različite vrednosti merodavnog protoka u zavisnosti od vrste puta. Na primer, može se predvideti da se na svim deonicama dozvoli procenat zagušenja korisnika od 1,5%, a na osnovu toga definisati merodavne protoke za put sa određenim karakterom tokova.

Glavni zaključak ove studije samo potvrđuje već pomenuti stav da karakter tokova, odnosno različita vrsta puta nesumnjivo predstavlja veoma značajan faktor koji treba razmotriti u procesu određivanja merodavnih časovnih protoka za projektovanje i vrednovanje putnih rešenja. Takođe, rezultati ukazuju i na opravdanu primenu različitih vrednosti merodavnih časovnih opterećenja u procesu kreiranja projektnih rešenja puteva u funkciji različitih karaktera tokova koji se na njima realizuju, kako bi se ostvario jedinstveni (zahtevani) nivo usluge.



Slika 3. Tradicionalni (a) i alternativni (b) pristup određivanju  $q_m$  sa aspekta zagušenosti korisnika

Izvor: Sharma, S. (1986)

### 3. PROMENE SAOBRAĆAJNIH TOKOVA NA PUTNOJ MREŽI SRBIJE U PERIODU 1988 – 2015. GODINE

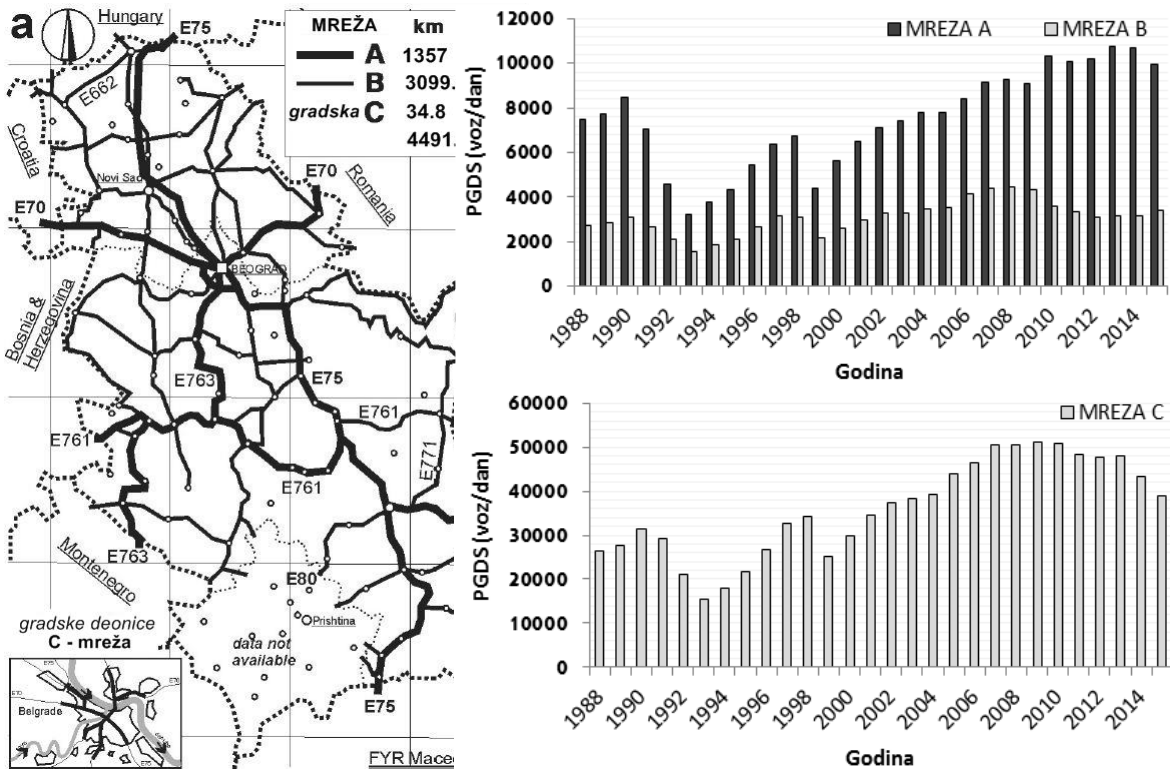
Generalna analiza saobraćajne potražnje, odnosno prosečni godišnji dnevni saobraćaj (PGDS) predstavlja osnov za analizu merodavnih protoka i raspodelu saobraćajnih tokova po klasama časovnog opterećenja ( $q_m$ ). Iz tog razloga najpre je izvršena generalna analiza PGDS-a za period od 1988. do 2015. godine kako bi se utvrdio trend promene saobraćajnog opterećenja. Neophodno je napomenuti da je sa ciljem identifikovanja promene saobraćajnog opterećenja s obzirom na dominantno učešće pojedinih kategorija tokova (tranzitni – daljinski, izvorno ciljni i lokalni), primarna putna mreža Republike Srbije podeljena u tri funkcionalne podgrupe.

Funkcionalne podgrupe, odnosno, mreže koje su posebno analizirane (slika 4) su :

**A. mreža** (165 deonica ukupne dužine 1357 km) koja obuhvata mrežu autoputeva i najvažnije delove mreže primarnih dvotračnih državnih puteva;

**B. mreža** (310 deonica ukupne dužine 3099,4 km) sastoji se od deonica ostalih primarnih državnih puteva;

**C. mreža** je najmanja po obimu (2 gradske deonice ukupne dužine 34,8 km); čine je tipično gradske deonice pre svega na kontinualno izgrađenom području Beograda.



Slika 4. Promene prosečnog PGDS-a po funkcionalnim podgrupama deonica (A,B i C)  
Izvor: Autori rada (2018)

Sagledavši promene saobraćajne potražnje po godinama (slika 4) jasno se mogu uočiti određeni trendovi. Nakon burnih 90-ih godina prošlog veka koje su imale itekako veliki uticaj na celokupni sistem funkcionisanja države, uspostavljena je određena stabilnost i primetan je trend blagog porasta saobraćajnog opterećenja.

Na osnovu podataka sa automatskih brojača saobraćaja, na primarnoj mreži puteva u R. Srbiji (mreža A) se može uočiti konstantan trend porasta PGDS-a u periodu nakon 1999. godine pa sve do 2013. godine. Maksimalne zabeležene vrednosti saobraćajnog opterećenja dostižu do 10725 vozila na dan i poslednjih godina su trostruko veće od vrednosti saobraćajnog opterećenja na mreži ostalih primarnih puteva koji pripadaju mreži B. Ne možemo reći da je ovo posledica značajnog porasta daljinskih i turističkih kretanja, koja su karakteristična za mrežu A, već jednostavno niže stope i značajno manji broj vozila na putevima unutar države utiču na značajno nižu vrednost PGDS-a na mreži B.

Upravo je to razlog i ne preteranog osciliranja saobraćajnog opterećenja na mreži B. Naime, tokovi na mreži B su nakon 90-ih godina bili pod manjim uticajem spoljašnjih faktora, s obzirom na to da su na ovoj mreži uglavnom primarna kretanja unutar države koja nisu u velikoj meri opterećena turističkim, odnosno sezonskim kretanjima. Maksimalne vrednosti PGDS-a na mreži B zabeležene su u periodu od 2006. do 2009. godine, kada je saobraćajno opterećenje dostiglo vrednost od 4438 vozila na dan. Kada je reč o mreži C, koja zapravo predstavlja tipično gradske deonice koje su dominantno opterećene lokalnim i delimično izvorno ciljnim kretanjima, očekivano su zabeležene najviše vrednosti saobraćajnog opterećenja. Nakon 1999. pa sve do 2009. godine primećen je značajan porast saobraćajnog opterećenja. Prvenstveno zbog opterećenih deonica na teritoriji Beograda, zabeležene su maksimalne vrednosti PGDS-a od 51304 voz/dan u 2009. g. Nakon toga dolazi do postepenog smanjenja saobraćajne potražnje, ali su vrednosti PGDS-a i dalje značajno veće u odnosu na mreže A i B.

Kada uporedimo sadašnje vrednosti opterećenja na sve tri funkcionalne podgrupe sa vrednostima iz 1990. godine (neposredno pre kriznih perioda), možemo zaključiti da je na **mreži A** zabeležen relativno spor i ne preterano veliki porast PGDS-a, na **mreži B** vrednosti osciluju na nivou nešto višem od onog iz 1990. godine, dok je na **mreži C** PGDS dostigao značajno veće vrednosti od bazne 1990. godine.

#### 4. REZULTATI ANALIZE MERODAVNIH PROTOKA I DISKUSIJA

Detaljna analiza časovnih neravnomernosti protoka u toku svih 8760 sati moguća je jedino na osnovu podataka sa savremenih automatskih brojača saobraćaja (ABS). U ovom radu generalna analiza merodavnih časovnih protoka ( $q_m$ ) izvršena je za period od 2011. do 2015. godine. U procesu analize posmatrana je celokupna putna mreža, a na osnovu uslova u saobraćajnom toku, dominantnih karaktera saobraćajnih tokova i vremenskih neravnomernosti saobraćajnog opterećenja na dnevnom, nedeljnom, mesečnom i godišnjem nivou definisane su sledeće kategorije puteva koje su posebno razmatrane:

- putevi sa dominantno **daljinskim** kretanjima,
- tipično **vangradski** putevi,
- putevi sa dominantno **lokalnim** kretanjima i
- putevi sa dominantno **sezonskim** (turističkim) kretanjima.

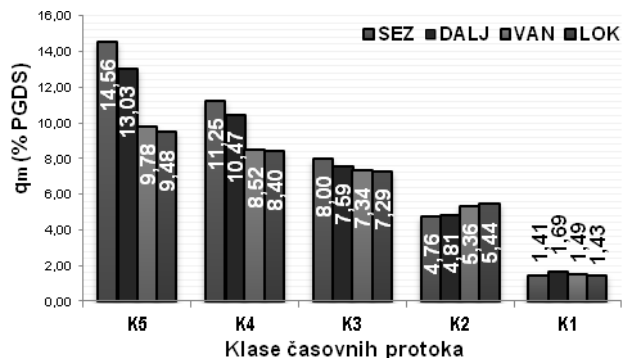
##### 4.1. Rezultati analize časovnih protoka po klasama

Značajno je istaći da su na današnjem nivou znanja iz teorije saobraćajnog toka i ekonomike saobraćaja, razvijeni novi postupci za utvrđivanje realnih vrednosti merodavnog protoka vozila, a oni su zasnovani na analizi protoka po klasama. Prilikom analize distribucije tokova i raspodele tokova po klasama kao polazna raspodela uzeta je raspodela iz modela HDM 4 u kojem je definisano pet karakterističnih perioda „učestalosti toka“ i to po klasama od K1 do K5:

- K1** - period minimalnog protoka vozila,
- K2** - period protoka vozila koji je ispod proseka,
- K3** - period prosečnog protoka vozila,
- K4** - period natprosečnog protoka vozila,
- K5** - period vršnog protoka vozila.

Prethodne analize prema preporučenim vrednostima broja sati po klasama od strane HDM modela (K5-87,6; K4-350,4; K3-613,2; K2-2978,4; K1-4754,4) rezultirale su malu osetljivost, odnosno malu promenu vrednosti prosečnih protoka naročito u poslednje dve klase (K4 i K5). Iz tog razloga broj sati po klasama je redefinisano (K5-50; K4-200; K3-1000; K2-4000; K1-3534). Na ovaj način je omogućeno realnije praćenje stanja u saobraćajnom toku s obzirom na karakter saobraćajnih tokova (Tubić, V., 2012).

Analizom rezultata ustanovljeno je da u slučaju svih kategorija puteva ne postoje velika odstupanja u vrednostima %PGDS-a po godinama. Međutim, u pogledu raspodele protoka po klasama uočavaju se značajne razlike između različitih kategorija puteva (**slika 5**).



**Slika 5.** Distribucija  $q_m$  po klasama časovnih protoka za različite tipove puteva (2011-2015.god) *Izvor: Autori rada (2018)*

Naime, kod puteva sa dominantno sezonskim i daljinskim kretanjima zabeležene su značajne razlike u prosečnim vrednostima protoka između klase. Sa druge strane, uprkos redefinisano broja sati po klasama, kod vangradskih puteva i puteva sa dominantno lokalnim kretanjima zabeležena je znatno manja osetljivost, odnosno manja promena %PGDS-a, naročito između poslednje tri klase (K3, K4 i K5). Ovo ukazuje na relativno malu promenu merodavnog vršnog opterećenja po klasama kod vangradskih puteva i puteva sa dominantnim lokalnim kretanjima, za razliku od ostale dve kategorije, gde jasno postoje razlike između klase. Iz tog razloga, neophodna je dalja analiza i kontinualno praćenje promene saobraćajnog opterećenja u funkciji karaktera saobraćajnih tokova sa ciljem uočavanja promena u vrednostima opterećenja i daljeg prilagođavanja broja sati po klasama kako bi se stvorio osnov za realnije oslikavanje uslova u saobraćajnom toku u funkciji karaktera tokova.

##### 4.2. Rezultati analize merodavnih časovnih protoka

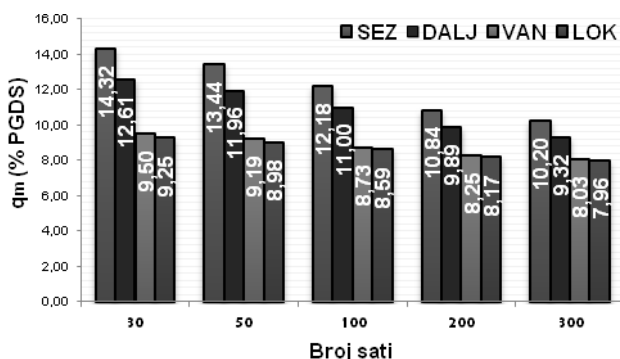
Veličina merodavnog saobraćajnog protoka se definiše na bazi pretpostavke da na konkretnom putu neće biti zadovoljeni zahtevi za saobraćajem sa određenim nivoom usluge za n% ukupnog godišnjeg protoka vozila, odnosno da će na tom nivou usluge biti udovoljeni zahtevi za (100-n)% ukupnog godišnjeg protoka vozila (Kuzović, Lj., 1987).

Kao što je ranije pomenuto, vremenska neravnomernost časovnih protoka vozila u godini u najvećoj meri zavisi od: ukupnog protoka vozila, odnosno nivoa dostignutog PGDS-a, ali i od funkcije posmatranog puta u mreži i dominantnog karaktera tokova.

Svaka od kategorija mreže (vangradske, prigradske, gradske i dr) pri određenoj veličini ukupnog PGDS-a ili PDS-a, ima svoj karakterističan dijagram svrstanih časovnih protoka.

Shodno tome da je u ranijim istraživanjima i analizama ustanovljeno da je razlika u funkciji broja sati (N od 30 do 200) značajno smanjena, kriterijum 200-og sata logično se nameće kao merodavan. Iz tog razloga u ovom radu je izvršena analiza i 300-og sata sa ciljem da se proverii mogućnost dodatnog pomeranja granice merodavnog saobraćajnog opterećenja.

Analizom merodavnih protoka u funkciji broja sati utvrđeno je da postoje značajna odstupanja u odnosu na preporučene vrednosti merodavnih protoka po kategorijama puteva. Značajno su manje vrednosti po svim kriterijumima kao posledica niske baze PGDS-a, redukcije daljinskih kretanja, problema međunarodnog tranzita, odnosno društveno ekonomskih prilika u Republici Srbiji. Međutim, i pored toga u rezultatima se može primetiti napred pomenuta smanjena razlika u funkciji broja sati, naročito kod kategorija vangradskih puteva i puteva sa dominantno lokalnim kretanjima (slika 6).

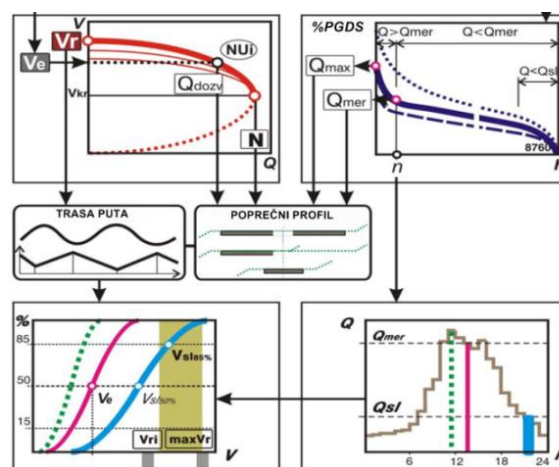


Slika 6. Distribucija  $q_m$  u funkciji broja sati za različite tipove puteva (2011-2015.god.). Izvor: Autori rada (2018)

Naime, razlike merodavnih protoka između 30-og i 300-og časa kod vangradskih i puteva sa dominantno lokalnim kretanjima iznose 1,47% i 1,29%, redom, što nedvosmisleno ukazuje na mogućnost dodatnog pomeranja granice merodavnog opterećenja prema 300-om času. U slučaju ostale dve kategorije puteva, razlike između merodavnih protoka u funkciji broja sati su relativno veće, što je posledica karaktera tokova, odnosno većih neravnomernosti saobraćajnog opterećenja u toku godine. Kod puteva sa dominantno sezonskim (turističkim) kretanjima karakteristična su drastično veća opterećenja u letnjim/zimskim periodima i kod ovih puteva je opravdana primena merodavnih časovnih protoka u funkciji nižeg broja sati, jer u pojedinim delovima zemlje turizam predstavlja izuzetno važan privredni faktor koji je permanentno primaran u tim oblastima.

### 4.3. Rezultati analize eksploatacionih brzina ( $V_e$ ) u funkciji časovnih protoka po klasama

Ekploataciona brzina ( $V_e$ ) je polazni programski parametar koji u suštini predstavlja indikator nivoa usluge određenog putnog pravca pri merodavnom saobraćajnom opterećenju ( $q_m$ ). Ova brzina se određuje na osnovu saobraćajnog značaja putnog pravca i makropokazatelja prostornih ograničenja, i zapravo treba da oslikava realne uslove u saobraćajnom toku pri merodavnom saobraćajnom opterećenju. Budući da je eksploataciona brzina ( $V_e$ ) približno jednaka srednjoj brzini saobraćajnog toka u idealnim uslovima i da je  $V=f(Q)$ , usvajanjem eksploatacione brzine istovremeno se definiše i dozvoljeno saobraćajno opterećenje pri kome je  $V_e$  realno ostvarljiva (slika 7).



Slika 7. Algoritam merodavnih brzina koje se primenjuju u projektovanju vangradskih puteva  
Izvor: Prilagođeno na osnovu izvora - Anđus, V., (2007)

Kao što je prikazano na slici 7, eksploataciona brzina  $V_e$ , indirektno se primenjuje (preko dozvoljenog protoka) u procesu dimenzionisanja poprečnog profila puta. Svakako da će se na putu javiti bolji uslovi vožnje kada je saobraćajno opterećenje manje od graničnog protoka za slobodnu vožnju ( $q < q_{sl}$ ), tj. kada brzina saobraćajnog toka teži maksimalnoj brzini  $V_{max}$ . Prema osnovnoj zakonitosti saobraćajnog toka,  $V=f(Q)$ , može se takođe zapaziti da je maksimalna brzina direktno povezana sa eksploatacionom brzinom, i da u situacijama kada  $V \approx V_{max}$  dominantan postaje kriterijum bezbednost vožnje. Vrednosti eksploatacione brzine utvrđuju se u studiji koncepcije projekta na osnovu analiza Generalnog plana (master plana) putne mreže i služe kao programski parametar za izradu generalnog projekta puta (Anđus, V., 2007).

Postavlja se pitanje kako utvrditi prosečnu eksploatacionu brzinu koja će biti najbolji reprezent uslova u saobraćajnom toku.

Linearni model za proračun  $V_e$  (**obrazac 2**) u obzir uzima samo jednu vrednost merodavnog časovnog opterećenja (npr. 30-og, 200-og časa), dok se pritom zanemaruju, odnosno ne uzimaju u obzir ostali časovi u toku godine koje karakterišu znatno niži nivoi saobraćajnog opterećenja.

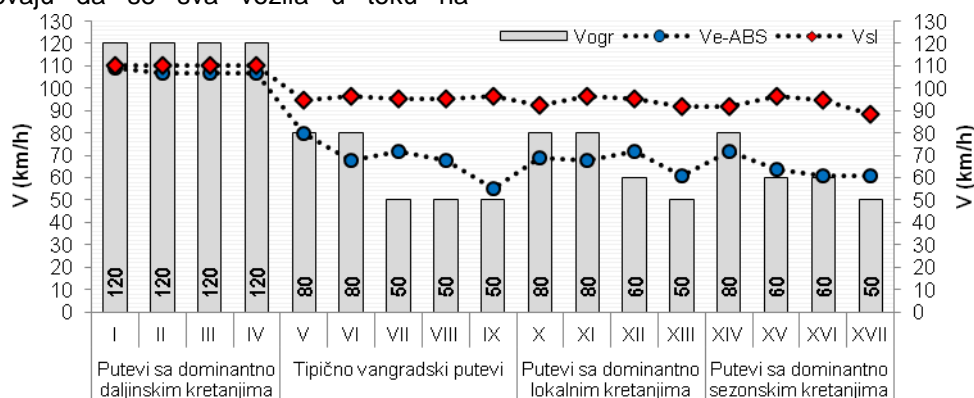
$$V_e = [V_{sl} - q_m/C(V_{sl} - V_C)] \cdot \left[ (1 - R) + \frac{R \cdot P}{100} \right] \quad (2)$$

Upravo ovo može dovesti do niza pogrešnih strateških odluka u procesu vrednovanja i kreiranja projektnih rešenja puteva. Jedini način realnijeg predstavljanja uslova u saobraćajnom toku se može postići uključivanjem ponderisanih vrednosti klasa časovnih protoka u funkciji broja sati u proces proračuna eksploatacionih brzina. S tim u vezi, u ovom radu je izvršena detaljna analiza svih brzina koje su povezane sa eksploatacionom brzinom saobraćajnog toka.

Drugim rečima izvršena je analiza slobodnih brzina ( $V_{sl}$ ), ograničenih brzina ( $V_{ogr}$ ), eksploatacionih brzina dobijenih na osnovu modela iz HCM<sub>2000</sub> u funkciji 200-og časa ( $V_{eHCMqm200}$ ), potom eksploatacionih brzina sa automatskih brojača saobraćaja ( $V_{eABS}$ ), i na kraju su sve brzine upoređene sa eksploatacionim brzinama po linearnom modelu u funkciji 30-og i 200-og časa, kao i u funkciji klasa časovnih protoka ( $V_{eqm30}$ ,  $V_{eqm200}$  i  $V_{eklase}$ , redom).

Kompletna analiza, kao i sve prethodne, je sprovedena za različite kategorije puteva u odnosu na dominantan karakter saobraćajnih tokova. Na samom početku analizirane su slobodne brzine na deonicama, koje su zapravo vezane za slobodni tok i podrazumevaju da se sva vozila u toku na

posmatranom odseku kreću u identičnim uslovima ili uslovima kretanja koji odgovaraju kretanju pojedinačnog vozila na tom odseku. Neophodno je napomenuti da su prilikom analiza slobodnih i eksploatacionih brzina analizirane tehničko-eksploatacione karakteristike deonica u zonama automatskih brojača (1 km pre i 1 km posle brojača) kako bi se izbegli uticajni putni elementi koji se ne nalaze u uticajnoj zoni brojača. Kako bi se sagledao uticaj ograničenih brzina na stvarne brzine kretanja vozila, slobodne brzine su upoređene sa realnim brzinama očitanih sa ABS-a (**slika 8**). Kao što se može videti na **slici 8** kod puteva sa dominantnim daljinskim kretanjima (autoputevi) postoji bliskost između  $V_{sl}$  i  $V_{eABS}$  iz razloga što su uslovi na ovim putevima najpribližniji praktično idealnim uslovima i ne postoje putne karakteristike koje mogu uticati na smanjenje brzine u toku (kritični uzdužni nagib, minimalni radijus horizontalne krivine, itd). Međutim, kod ostalih kategorija puteva se primećuju drastične razlike između  $V_{sl}$  i  $V_{ogr}$ , koje dostižu vrednost i do 46 km/h. Ovakvi rezultati mogu ukazati na problem kredibiliteta samih ograničenja i postojanja mogućnosti velikog procenta nepoštovanja ograničenih brzina od strane korisnika. Sa druge strane, rigorozna ograničenja, koja su često u funkciji bezbednosti saobraćaja ili prilagođavanja puta potrebama naselja, negativno utiču na efikasnost saobraćajnog toka i iz tog razloga dolazi do značajno manjih realizovanih brzina, iako putne karakteristike dozvoljavaju kretanje znatno većim brzinama. Upravo to je zabeleženo na pojedinim analiziranim deonicama gde su, kao posledica nižih vrednosti ograničenja, realne brzine u saobraćajnom toku, očitane sa ABS-a, značajno niže od proračunatih brzina u slobodnom toku.



**Slika 8.** Odnos slobodnih, ograničenih i eksploatacionih brzina očitanih sa ABS-a  
Izvor: Autori rada (2018)

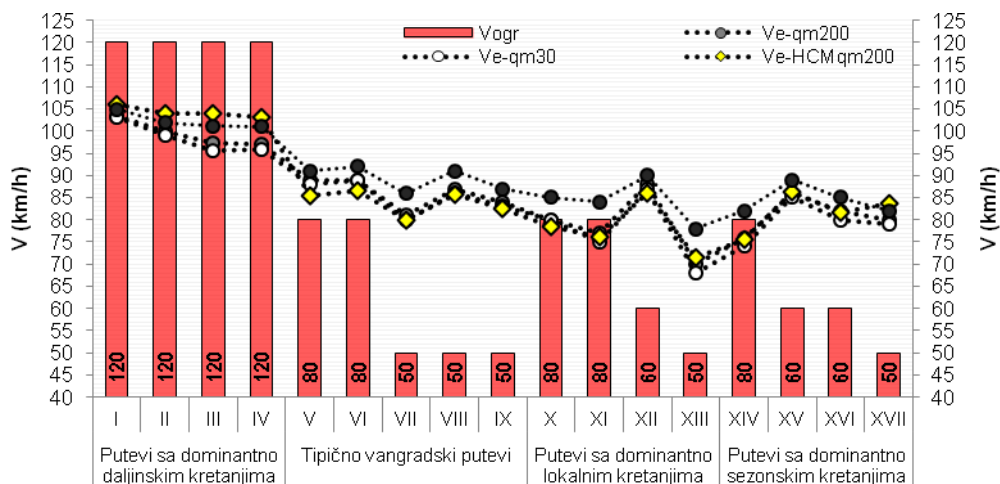
Nakon generalne analize slobodnih i realnih brzina, pristupljeno je analizi eksploatacionih brzina dobijenih po linearnom modelu ( $V_{eqm30}$ ,  $V_{eqm200}$  i  $V_{eklase}$ ) i po modelu iz HCM<sub>2000</sub>-a (**slika 9**). Osnovni rezultati ove analize ukazuju na prilično malu razliku između vrednosti analiziranih eksploatacionih brzina.

Ono što je bitno naglasiti jeste da se vrednosti  $V_e$  po linearnom modelu u funkciji 200-og sata u većini slučajeva poklapaju sa vrednostima  $V_e$  u funkciji 30-og sata, što samo potvrđuje prethodno pomenutu smanjenu razliku u funkciji broja sati, iskazanu u % PGDS-a.



Na osnovu toga, sa sigurnošću možemo istaći da se kriterijum 200-og sata logično nameće kao merodavan. Sa druge strane, definisanje jedinstvene vrednosti saobraćajnog opterećenja u postupku proračuna  $V_e$ , koje je u funkciji samo jednog, odabranog, merodavnog sata, ne može u potpunosti da oslika realne uslove u saobraćajnom toku. S tim u vezi, u ovom radu je predstavljen i primenjen novi koncept proračuna  $V_e$  zasnovan na ponderisanim vrednostima klasa časovnih protoka u funkciji broja sati sa odgovarajućim vrednostima saobraćajnog opterećenja u periodu cele godine (8760 sati).

Ovako dobijene eksploatacione brzine karakterišu relativno više vrednosti u odnosu na vrednosti dobijene u funkciji jedinstvenog merodavnog protoka. Ovi rezultati su i očekivani s obzirom na to da su u postupku proračuna  $V_e$  uključeni ostali časovi u toku godine koje karakterišu značajno niži nivoi saobraćajnog opterećenja. Na ovaj način je omogućeno realnije opisivanje uslova koji vladaju u saobraćajnom toku, što potvrđuje i usaglašenost između vrednosti eksploatacionih brzina dobijenih po linearnom modelu u funkciji klasa protoka i brzina dobijenih po HCM-u.



Slika 9. Odnos eksploatacionih brzina (po linearnom modelu i po HCM-u) i ograničenih brzina  
Izvor: Autori rada (2018)

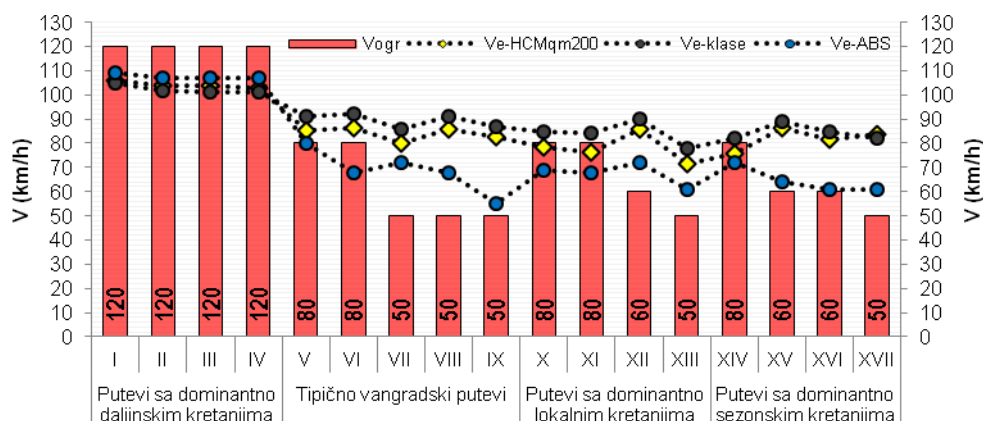
Međutim, ograničenje brzine na deonicama može imati značajan uticaj na realizovane brzine u toku. Na putevima sa dominantno daljinskim kretanjima zbog približno idealnih uslova u saobraćajnom toku i izostanka uticaja ograničenja brzine ( $V_{ogr}=120$  km/h), eksploatacione brzine dobijene na osnovu oba modela su veoma bliske realnim brzinama, što još jednom potvrđuje pomenuti stav o realnijem oslikavanju uslova u saobraćajnom toku. Sa druge strane, na ostalim posmatranim deonicama odnos između analiziranih brzina se značajno razlikuje u zavisnosti od vrednosti ograničenja.

Naime, sa **slike 10** se može primetiti da su dobijene eksploatacione brzine najpribližnije realno ostvarenim brzinama na deonicama sa ograničenjem brzine od 80 km/h. Ovakvi rezultati su očekivani, jer je ograničenje brzine od 80 km/h u skladu sa rangom i funkcijom puta, te vozači ne nailaze na problem neusklađenosti tehničko-eksploatacionih karakteristika puta i vrednosti ograničenja brzine. Međutim, kod nižih ograničenja (60 km/h i 50 km/h) uočavaju se dva karakteristična slučaja u pogledu odnosa analiziranih brzina.

U prvom slučaju (deonice IX, XV i XVI) zabeležene brzine na automatskim brojačima su značajno niže od vrednosti proračunatih eksploatacionih brzina po linearnom modelu u funkciji klasa protoka i po HCM-u. Ovo zapravo ukazuje na to da i pored povoljnih karakteristika puta na pomenutim deonicama uslovi u toku onemogućavaju realizovanje većih brzina. Ovakav problem je sa jedne strane karakterističan za deonice vangradskih puteva koje prolaze kroz naselje, jer su u tom slučaju prisutni drugačiji, nepovoljniji, uslovi u saobraćajnom toku. Sa druge strane, naročito na sezonskim, odnosno turističkim putevima veoma je čest slučaj da vozači održavaju kontinuitet u vožnji i nakon delova puta sa nešto lošijim tehničko-eksploatacionim karakteristikama nastavljaju da voze nižim brzinama i na delovima puta sa povoljnim karakteristikama (na kojima su i locirani brojači koji beleže brzinu kretanja). Pored toga, niže brzine na ovim putevima od onih koje su u skladu sa karakteristikama puta, mogu biti i posledica svrhe putovanja. Drugim rečima, sezonski putevi se najčešće koriste kod putovanja sa svrhom rekreacije ili rasonode, te vozači jednostavno svesno voze nižim brzinama uživajući u okolnim predelima.

Kada je reč o drugom slučaju odnosa analiziranih brzina koji je zabeležen kod ostalih deonica, uočeno je da su realne brzine sa ABS-a niže od dobijenih eksploatacionih brzina, ali ujedno značajno više od vrednosti ograničenih brzina. U ovim slučajevima se dovodi u pitanje kredibilitet postavljanih ograničenja. Kredibilno ograničenje brzine se definiše kao ograničenje brzine koje je u skladu sa percepcijom vozača uslovljenom putnim i saobraćajnim uslovima. Na primer, ako na putu važi ograničenje brzine od 60 km/h, taj put ne bi trebalo da izgleda kao put na

kome bi inače trebalo da važi ograničenje od 80 km/h, kako bi ograničenje bilo verodostojno. Isto tako je loše ako put izgleda kao put za 60 km/h, a da na njemu važi ograničenje od 80 km/h. I izgled puta i njegovo okruženje bi trebalo da učine određeno ograničenje brzine logičnim i kredibilnim. Ovo bi svakako trebalo ispitati praktičnim, terenskim istraživanjima i utvrditi osnovni problem disbalansa između realnih, ograničenih i modelima proračunatih eksploatacionih brzina.



Slika 10. Odnos eksploatacionih (po linearnom modelu u funkciji klasa, po HCM-u, sa ABS-a) i ograničenih brzina  
Izvor: Autori rada (2018)

## 5. ZAKLJUČCI I PREPORUKE

Sprovedeno istraživanje merodavnih saobraćajnih protoka, koji predstavljaju jedan od ključnih parametara u postupcima saobraćajnog i ekonomskog vrednovanja i kreiranja projektnih rešenja puteva, je dovelo do različitih zaključaka.

Pre svega, generalni rezultati analize promena vrednosti  $q_m$  i distribucije protoka po klasama potvrdili su tezu da su promene značajne, ali i veoma različite u funkciji karaktera saobraćajnih tokova. U pogledu distribucije protoka po klasama časovnih protoka, naročito kod tipično vangradskih puteva i puteva sa dominantno lokalnim kretanjima, zabeležena je značajno mala osetljivost, odnosno mala promena % PGDS-a, prvenstveno između poslednje tri klase (K3, K4 i K5). Rezultati su ukazali i da je pitanje kalibrisanja svakog parametra, ali pre svega merodavnog saobraćajnog opterećenja, na realne lokalne uslove veoma složen zadatak. Iz tog razloga, značajne promene koje se dešavaju u saobraćajnim tokovima se moraju permanento pratiti i postati predmet kontinualnih istraživanja.

Daljom analizom uticaja merodavnih protoka na prosečne eksploatacione brzine utvrđeno je da se jedino uključivanjem ponderisanih vrednosti klasa časovnih protoka u funkciji broja sati u proces proračuna eksploatacionih brzina mogu korektnije analitički opisati realni uslovi koji vladaju u

saobraćajnom toku. Vrednosti ovako dobijenih eksploatacionih brzina su približno uravnotežene sa vrednostima dobijenih po modelu iz HCM-a, što dodatno potvrđuje validnost predloženog postupka.

Međutim, u rezultatima je zabeleženo da vrednosti ograničenih brzina imaju značajan uticaj na vrednosti realizovanih brzina u toku. Na putevima sa dominantno daljinskim tokovima koji nisu pod uticajem ograničenja brzine ( $V_{ogr}=120$  km/h), dobijene eksploatacione brzine su veoma bliske realnim brzinama, što nije slučaj kod ostalih kategorija puteva. Kod kategorija puteva sa nižim vrednostima ograničenih brzina značajnu ulogu ima kredibilitet postavljenih ograničenja, što bitno utiče na vrednosti realizovanih brzina. Shodno tome, prilikom definisanja ograničenja brzine za odgovarajuću deonicu trebalo bi uzeti u obzir njen uticaj na mobilnost, bezbednost, životnu sredinu i kvalitet života ljudi koji žive neposredno u blizini puta, kako bi brzine bile u skladu sa uslovima koji vladaju na deonici.

Pored rešavanja problema kredibiliteta ograničenih brzina, trebalo bi preispitati i sam model za proračun eksploatacionih brzina. Trebalo bi detaljno istraživati mogućnost da se u modele proračuna  $V_e$ , pored promene koncepta koji podrazumeva definisanje merodavnih opterećenja u funkciji ponderisanih vrednosti klasa časovnih protoka, razmotri i uključivanje uticaja ograničenih brzina.

Na kraju, s obzirom na to da je analiza saobraćajnih zahteva, odnosno problem korektnog utvrđivanja merodavnih protoka ono što dominantno utiče na niz strateških odluka u celokupnom procesu optimiziranja putne mreže (dimezionisanje poprečnog profila, novogradnja ili rekonstrukcija, funkcionalno, ekonomsko i ekološko vrednovanje), u daljem radu je neophodno nastaviti sa istraživanjem i kontinualnim praćenjem promene saobraćajnog opterećenja u funkciji karaktera saobraćajnih tokova sa ciljem uočavanja promena u vrednostima opterećenja i daljeg prilagođavanja broja sati po klasama kako bi se stvorio osnov za realnije oslikavanje uslova u saobraćajnom toku u funkciji karaktera tokova.

## LITERATURA

- [1] American Association of State Highway and Transportation Officials. *A Policy on Geometric Design of Rural Highways*. Washington, DC: AASHTO. 2004.
- [2] Andus, V. (2007). Merodavne brzine u projektovanju puteva i bezbednost vožnje. *Bezbednost saobraćaja u planiranju i projektovanju puteva*, pp. 81-89
- [3] Bum Cho, W. (2015). Study on Estimating Design Hourly Factor Using Design Inflection Point. *Journal of Emerging Trends in Computing and Information Sciences*. Vol. 6, No. 10.
- [4] Highway Capacity Manual – HCM 2000. *Transportation Research Board, National Research Council*, Washington, D.C. 2000
- [5] Highway Capacity Manual – HCM 2010. *Transportation Research Board, National Research Council*, Washington, D.C. 2010.
- [6] Kuzović, Lj. (1987). Teorija saobraćajnog toka. Saobraćajni fakultet, Univerzitet u Beogradu
- [7] Kuzović, Lj. (1994). Vrednovanje u upravljanju razvojem i eksploatacijom putne mreže. Saobraćajni fakultet, Univerzitet u Beogradu
- [8] Maletin, M., Tubić, V. (2013). Basic characteristics of traffic on primary rural roads in Serbia. *International Journal for Traffic and Transport Engineering*, 3(4).
- [9] Peabody, L. E., O. K. Normann (1941). Application of Automatic Traffic Recorder Data in Highway Planning. *Public Roads*, Vol. 21, No. 11, pp. 203–222.
- [10] Sharma, S. C. (1986). Design hourly volume from road users' perspective. *Journal of Transportation Engineering*, 112(4), 435-440.
- [11] Tubić V. (2015). Vremenske neravnomernosti protoka – teorijske relacije i praktični primeri, Saobraćajni fakultet, Beograd
- [12] Tubić, V. (2012). Merodavni saobraćajni protoci u vrednovanju projektnih rešenja. *Tehnika – saobraćaj*, No. 2.