

UDK: 656:625.7/.8 (497.6RS)

## UTICAJ VREMENSKIH USLOVA NA BRZINU KRETANJA VOZILA NA DVOTRAČNIM PUTEVIMA REPUBLIKE SRPSKE

### WEATHER IMPACT ON VEHICLE SPEED ON TWO-LANE ROADS IN THE REPUBLIC OF SRPSKA

Sladjan Jovović<sup>1</sup>, Vladan Tubić<sup>2</sup> i Marko Subotić<sup>3</sup>

**Rezime:** U okviru rada analizirana je brzina slobodnog toka pod različitim vremenskim uslovima i formulisani su deterministički matematički modeli (linearni i kvadratni) koji optimalno opisuju brzinu slobodnog toka na dvotračnim putevima Republike Srpske. Pod različitim vremenskim uslovima podrazumeva se kišno i suvo vreme, što se odražava na kolovozni zastor, a ujedno menja tehničko eksploatacione karakteristike puta. Istraživanje je rađeno na tri preseka magistralnih puteva M-4 i M-19, a kao posledica različitih vremenskih prilika, javljaju se odstupanja u merenju brzina slobodnog toka pod različitim putnim i ambijentalnim uslovima (uslovima uzdužnog nagiba). Dobijeni modeli za utvrđivanje brzina u različitim vremenskim uslovima poređeni su i analizirani sa HCM-2000 i HCM-2010, kao i sa graničnom brzinom na postojećim odsecima.

**Ključne riječi:** Brzina slobodnog toka, suv kolovoz, vlažan kolovoz, Nivo Usluge

**Abstract:** In this paper, we analyzed the free-flow speed under different weather conditions and formulated deterministic mathematical models (linear and quadratic), which optimally describe the free-flow speed on two-lane roads of the Republic of Srpska. Under different weather conditions we mean rainy and dry weather as well, which is reflected on the pavement surfacing, and at the same time changes technical and exploitation characteristics of the road. The research has been done on three intersections of the trunk roads M-4 and M-19, and as a result of the weather conditions, there are discrepancies in the measurement of the free-flow speed under varying road and ambient conditions (longitudinal gradient). The resulting models for determining the speed in various weather conditions were compared and analyzed with HCM-2000 and HCM-2010, as well as with the speed limit on the existing road sections.

**Keywords:** free-flow speed, dry road, wet road, level of service

#### 1. UVOD

U saobraćajnom toku su uspostavljena dva pojma za definisanje brzine saobraćajnog toka, kao odgovarajuće srednje vrednosti brzina svih vozila koja sačinjavaju posmatrani saobraćajni tok. To su *srednja vremenska* i *srednja prostorna brzina*. U opisivanju zakonitosti kretanja motornih vozila, a obzirom na uslove kretanja vozila u saobraćajnom toku i stepen interakcijskog uticaja pri približno idealnim saobraćajnim i putnim uslovima, srednja prostorna i srednja vremenska brzina dobijaju specifične nazive: *brzina slobodnog toka*, *brzina normalnog toka*, *brzina zasićenog toka* i *brzina forsiranog tok*. (Kuzović, 1987)

Prema HCM priručnicima, brzini toka je oduzeta primarna uloga u definisanju Nivoa Usluge, dok u domaćim preporukama brzini toka je i dalje dodeljena uloga prioritetnog pokazatelja. Vrednost brzine slobodnog toka na dvotračnim putevima je u složenoj funkcionalnoj zavisnosti od procenta vremenskog zastoja, različitih vrsta vozila, vožno-dinamičkih karakteristika vozila i putnih karakteristika (kao i vrste terena), a direktno se izjednačava sa brzinom toka pri Nivou Usluge A, što je osnovni preduslov za analizu kapaciteta i Nivoa Usluge puteva.

---

<sup>1</sup> Jovović Sladjan, master saobraćaja, Saobraćajni fakultet Univerziteta u Istočnom Sarajevu, Vojvode Mišića 52, 74 000 Doboj, Republika Srpska, e-mail: [sjovovic\\_1989@yahoo.com](mailto:sjovovic_1989@yahoo.com)

<sup>2</sup> dr Tubić Vladan, redovni profesor, Saobraćajni fakultet Univerziteta u Beogradu, Vojvode Stepe 305, 11000 Beograd, Srbija, e-mail: [vladan@sf.bg.ac.rs](mailto:vladan@sf.bg.ac.rs)

<sup>3</sup> dr Subotić Marko, docent, Saobraćajni fakultet Univerziteta u Istočnom Sarajevu, Vojvode Mišića 52, 74 000 Doboj, Republika Srpska, e-mail: [msubota@gmail.com](mailto:msubota@gmail.com)

Pod različitim vremenskim uslovima u okviru istraživanja analizirani su *kišno i suvo vreme*, što se odražava na kolovozni zastor, a ujedno menja tehničko eksploatacione karakteristike puta. Pored ovih uticajnih vremenskih uslova, u radu nisu analizirani i drugi vremenski uslovi (uticaj vetra, magle, niske temperature i sl.). Kao posledica različitih vremenskih prilika, javljaju se odstupanja u merenju brzina slobodnog toka pod različitim putnim i ambijentalnim uslovima. Kao osnova za analizu brzina, presudnu ulogu ima analiza brzina vozila u slobodnom saobraćajnom toku. Postoji veliki broj faktora koji utiču na brzinu vozila na putu: uslovi puta, vozač, vozilo, saobraćajni uslovi, okolina puta, *vremenski uslovi* kao i brojni ostali faktori.

## 2. METOD ISTRAŽIVANJA

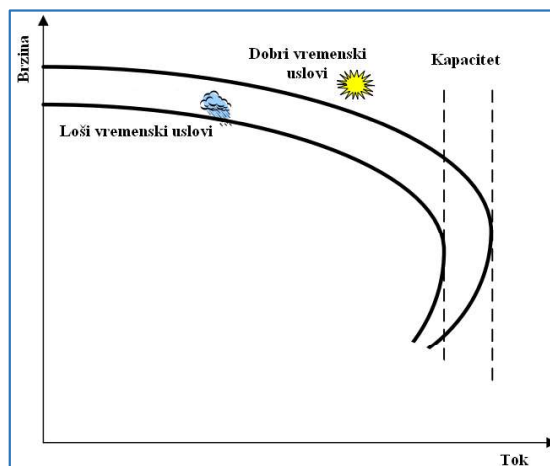
Vremenski uslovi utiču na drumski saobraćaj, odnosno na uslove odvijanja saobraćaja i parametre kao što su brzina i kapacitet puta. Da bi se procenio uticaj vremenskih uslova, potrebno je znati kako različiti vremenski uslovi utiču na odnos između brzine toka i gustine na putu. Svrha analize je da se sazna da li i kako vreme utiče na krivu brzine toka. Očekuje se da vreme može negativno uticati na tri faktora uslova vožnje: (Jensen, 2014)

- Vidljivost (magla, padavine, tama, večer/dan, refleksija svetlosti)
- Stanje na putevima (voda, sneg, mraz, ledene oluje, prljavština, lišće)
- Stabilnost (naleti vetra) (Jensen, 2014)

Unapređenje jednog od ključnih elemenata saobraćajnih analiza, metode za utvrđivanje brzine slobodnog toka, dovešće do pouzdanijih vrednosti pokazatelja kapaciteta i Nivoa Usluge.

Upravo zbog toga, moguće je postaviti hipotetičku pretpostavku da brzina slobodnog toka u praktično idealnim uslovima puta, pre svega je zavisna od veličine saobraćaja, putnih, vremenskih i ambijentalnih uslova, kao i od vožnje dinamičkih karakteristika vozila. Takođe, brzina slobodnog toka je u funkcionalnoj zavisnosti od različitih putnih i ambijentalnih uslova, a posebno od vremenskih uslova (vremenskih (ne)prilika), te su podrazumevana variranja vrednosti pod različitim uticajem vremenskih prilika prihvatljiva u realnim okolnostima.

Očekuje se da će loše vreme smanjiti brzinu za dati saobraćajni tok i maksimalni protok (kapacitet) puta kao što je opisano krivom brzine toka na slici 1. (Jensen, 2014)



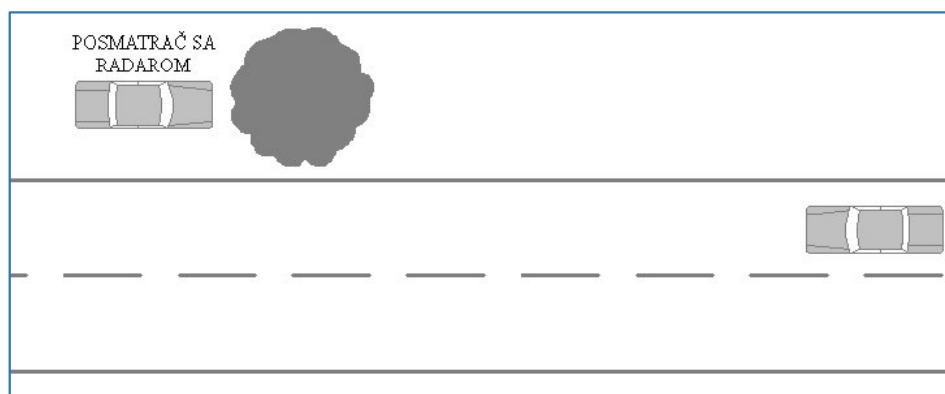
Slika 1. Odnos brzine i toka u zavisnosti od vremenskih uslova (Jensen, 2014)

Ako se posmatra funkcionalna klasifikacija, vangradski putevi se mogu svrstati u smislu njihovih opštih radnih karakteristika kao: (Road Planning and Design Manual, 2007)

- *Vangradski putevi visokih brzina* (To su putevi dizajnirani za minimalne operativne brzine (u mestima) od oko 80 km/h);
- *Vangradski putevi srednjih brzina* (Operativne brzine na ovim putevima su generalno ograničene geometrijom);
- *Vangradski putevi niskih brzina* (Operativne brzine na ovim putevima generalno variraju od 50 km/h do 70 km/h);

- Dobijanje podataka o brzinama vozila može se dobiti korišćenjem jedne od sledećih metoda:
- Metoda merenja pomoću štoperice,
- Metoda merenja pomoću radara,
- Korišćenje opreme koja je instalirana na putu (saobraćajne kamere, pneumatski brojači, induktivne petlje).

U okviru ovog rada korišćena je *metoda merenja brzine pomoću radara*. Ova metoda je način direktnog merenja brzine u studiji brzine. Ovaj uređaj može biti ručni ili montiran na stalak. Efektivna dužina merenja kreće se od 60 m pa do 3200 m. Velika vozila kao što su teretna vozila i autobusi mogu slati jak povratni signal tako da to može uzrokovati neotkrivanje vozila manjih dimenzija. Takođe, neka vozila su opremljena detektorima radara koji ih upozoravaju na rad radara u njihovoj blizini. Vozači će smanjiti brzinu kretanja vozila što će uticati na rezultate merenja. Radarska jedinica takođe treba da bude skrivena od pogleda vozača kako bi rezultati bili merodavni. Posmatrač bi trebalo da zabeleži: datum i vreme merenja, ograničenje brzine, vremenske uslove, nagib terena, širinu saobraćajne trake, širinu bankine i sl. (Sami, 1995)



Slika 2. Položaj elemenata pri merenju pomoću radara (Sami, 1995)

### 3. BRZINA SLOBODNOG TOKA PREMA HCM-2000 I HCM-2010

Brzina slobodnog toka je prosečna brzina kretanja vozila koja se ne kreću pod uticajem interakcije između vozila usled čega dolazi do smanjenja brzine. Generalno, brzina slobodnog toka je brzina u uslovima slabog protoka, a ne pod uslovima kontrolisanja saobraćaja, kao što su signalisane raskrsnice. U analiziranom priručniku brzina slobodnog toka je pri proceni kvaliteta usluge 8 km/h iznad ograničenja brzine. Kao npr., ako je ograničenje brzine 60 km/h, brzina slobodnog toka je 68 km/h. Međutim preciznije je analizirati ako je brzina slobodnog toka dostupna, tada je treba izmeriti na terenu. (Quality/Level Of Service Handbook, 2013)

#### 3.1. Određivanje brzine slobodnog toka

Ključni korak u proceni Nivoa Usluge na dvotračnim putevima je utvrđivanje brzine slobodnog toka. Brzina slobodnog toka se meri pomoću srednje brzine saobraćaja pod uslovima slabog protoka (do 200 voz/h za oba smera). Ako merenja na terenu moraju biti izvršena sa protokom većim od 200 voz/h, podešavanje protoka mora biti izvršeno u određivanju brzine slobodnog toka.

Dva opšta metoda se mogu koristiti za određivanje brzine slobodnog toka za dvotračne puteve: merenje na terenu i sa upotrebom smernica. Procedura merenja na terenu je prikupljanje ovih podataka direktno ili uključujući merenja programskog praćenja (nadgledanja) brzina. Međutim, merenja na terenu nisu neophodna za operativnu analizu brzine slobodnog toka, ona se mogu proceniti na osnovu podataka na terenu i korišćenja znanja o uslovima na putu. (Highway Capacity Manual, 2000)

#### 3.2. Utvrđivanje brzine u slobodnim uslovima na terenu

Brzina slobodnog toka na putu može da se odredi direktno iz studije brzine sprovedene na terenu. Prilikom merenja na terenu nije potrebno bilo kakvo podešavanje podataka. Studija analize brzine se provodi na

репрезентативном месту на деоничи пута која се оцењује (нпр. део пута који је у великом успону не треба одабрати у оквиру одабирања генералног нивоа оцне деониче). Било која техника мерења прихватљива је за различите врсте саобраћајних инжењерских студија brzine и може се користити. Студија на терену спроводи се у периодима ниског протока саобраћаја (двосмерног протока до 200 воз/х) и неопходно је измерити брзину свих возила или системског узorkовања (на пример свако десето возило). Такође, потребно је добијање репрезентативног узorkа brzina од најмање 100 возила ометано или неометано. Далје смернице о студији brzine се налазе у стандардним саобраћајним инжењерским текстовима попут HCM присућника. (Highway Capacity Manual, 2000). Брзина слободног тока се може израћунати на основу података на терену као што је приказано у једначини: (Highway Capacity Manual, 2000, 2010)

$$FFS = S_{FM} + 0,0125 \cdot \frac{V_f}{f_{HV}} \quad (1)$$

где је:

FFS - Брзина слободног тока (km/h),

$S_{FM}$  - Средња брзина саобраћаја измерена на терену (km/h),

$V_f$  - Посматрани проток за период када су добијени подаци за терена (voz/h) и

$f_{HV}$  - Фактор ућећа тежих возила. (Highway Capacity Manual 2010)

Ако мерење на терену није изводљиво, подаци се могу узети из мерења на сличној деоничи. Замена треба да буде слична у односу на варијабле које утићу на брзину слободног тока, које су идентификоване у HCM прирућнику. (Highway Capacity Manual, 2000).

Путне агенције са текућим програмима праћења brzina или са датотекaма података о брзинама могу користити оперативне податке и пре него што се поћне нова студија brzina или корићење индиректне процене brzine. Међутим, ове податке треба користити директно само ако су прикупљени у складу са претходно описаним процедурама. (Highway Capacity Manual, 2000).

#### 4. РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

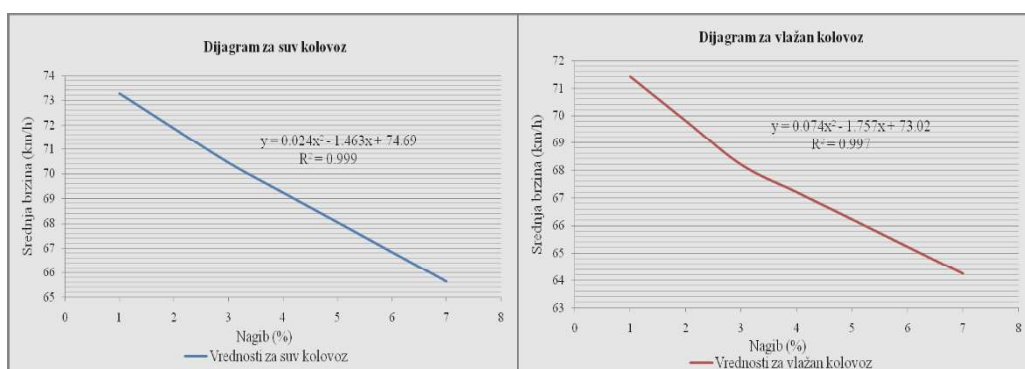
Изабране деониче на којима су вршена истраживања су двортаћни путеви у склопу магистралних путева М-4 и М-19 и налазе се у Републици Српској. Циљ овог емпиријског истраживања је добијање brzine слободног тока под различитим времeнским условима на различитим уздућним нагибима терена. Мерења су вршена на три деониче са различитим уздућним нагибима. Брзине возила мерене су помоћу мeрног уређаја (радар). Сва мерења која су рађена, рађена су само за један смер и то на успону. Избегнути су утицаји раскрсница јер се све три деониче налазе на ванградским путевима. Вођено је раћуна да је возило из кога је вршено мерење склонјено са пута тако да не утиће на брзине кретања долазећих возила. Мeрни уређај је искључиван приликом празнина у саобраћају како надолazeћа возила уколико имају детекторе радара не би добила сигнал да се на путу врши мерење brzina кретања возила и тако возаћи смањили брзину кретања њихових возила, што би утицало на релевантност измерених brzina кретања возила.

Прва деонича се налази на магистралном путу М-19 између Зворника и Бијелјине. Уздућни нагиб на овој деоничи је 1%. Успон је оријентисан од Зворника према Бијелјини. Дућина деониче је 1.200 м. Ограничење brzine на овој деоничи је 80 km/h. Мерење brzine вршено је само у једном смеру и то мерена је брзина кретања возила на успону. Мерење је вршено у два случаја, у условима сувог и влаћног коловоза. Сваки од два узorka (у условима сувог и влаћног коловоза) садржи по 1.000 вредности измерених brzina. Поређ тога извршено је бројање протока возила по ћасу (за ћас у коме је вршено мерење brzina) за смер у коме је мерена брзина и супротни смер. Друга деонича на којој је извршено мерење се налази на магистралном путу М-4 између Зворника и Тuzле. Назив деониче је Ораovac-Karakaj. Уздућни нагиб ове деониче је 3% са успоном оријентисаним од Зворника према Тuzли. Дућина деониче на којој је вршено мерење је 1.080 м. Ограничење brzine на овој деоничи је 80 km/h. Мерење brzine вршено је само у једном смеру и то мерена је брзина кретања возила на успону. Мерење је вршено у два случаја, у условима сувог и влаћног коловоза. Трећа деонича на којој је извршено мерење се такође налази на магистралном путу М-4 између Зворника и Тuzле. Дућина ове деониче је 1.050 м. Пошто се ова деонича састоји од променјивих уздућних нагиба, израћунат је средњи уздућни нагиб који износи 7%. Успон на овој деоничи је оријентисан од Тuzле према Зворнику. Ограничење brzine у мереном смеру је 80 km/h. Проценат зоне забране претикања на овој деоничи износи 60%.

U tabeli su prikazani rezultati merenja brzina kretanja vozila koji su izmereni na terenu. Od svakih 1.000 merenja brzina kretanja vozila sa terena, za suv i vlažan kolovoz, za sve tri deonice na kojima su vršena merenja izračunata je srednja brzina kretanja vozila (AS) i prikazana u tabeli. Rezultati dobijeni merenjem na terenu su za uspone 1%, 3% i 7%, a za ostale vrednosti uspona srednje brzine kretanja vozila dobijene su interpolacijom(ponderisanjem) podataka prikupljenih na terenu. Pored srednje brzine kretanja vozila izračunate su i standardne devijacije za izmerene brzine za uspone 1%, 3% i 7%.

Tabela 1. Rezultati merenja sa izračunatim standardnim devijacijama

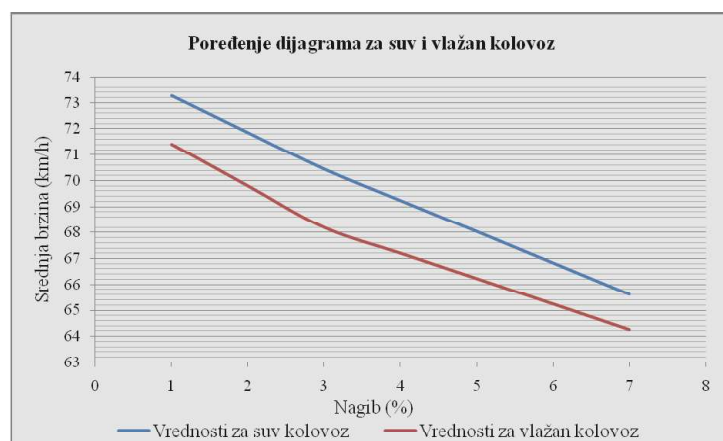
| NAGIB TERENA | AS (SUV)     | AS(VLAŽAN)   | ST. DEV. (SUV) | ST. DEV. (VLAŽAN) |
|--------------|--------------|--------------|----------------|-------------------|
| 1%           | 73,28 (km/h) | 71,42 (km/h) | 11,09835       | 8,97717           |
| 2%           | 71,86 (km/h) | 69,81 (km/h) | -              | -                 |
| 3%           | 70,45 (km/h) | 68,20 (km/h) | 8,9447         | 9,10211           |
| 4%           | 69,24 (km/h) | 67,21 (km/h) | -              | -                 |
| 5%           | 68,04 (km/h) | 66,23 (km/h) | -              | -                 |
| 6%           | 66,83 (km/h) | 65,24 (km/h) | -              | -                 |
| 7%           | 65,62 (km/h) | 64,25 (km/h) | 9,8101         | 9,70928           |



Slika 3. Srednja brzina u funkcionalnoj zavisnosti od suvog i vlažnog kolovoza

Na dijagramu za suv kolovoz vidimo da srednja brzina opada sa povećanjem uzdužnog nagiba. U ovom dijagramu su uključene brzine kretanja svih vrsta vozila. Vrednost za  $R^2 = 0,999$  je zbog toga što su se vrednosti za nagibe između 1%, 3%, 7% dobile interpolacijom i time je postignut konstantan pad vrednosti srednje brzine.

Na dijagramu za vlažan kolovoz vidimo da vrednost srednje brzine opada sa povećanjem uzdužnog nagiba. U ovom dijagramu su uključene brzine kretanja svih vrsta vozila. Vrednost za  $R^2 = 0,997$  je zbog toga što su se vrednosti za nagibe između 1%, 3%, 7% dobile interpolacijom i time je postignut konstantan pad vrednosti srednje brzine.



Slika 4. Uporedna vrednost brzina za suv i vlažan kolovoz u f-ji uzdužnog nagiba

#### 4.1. Statistička analiza združenih rezultata za sve deonice na kojima je vršeno merenje

Na osnovu statističke analize predlaže se regresioni modeli za uticaj vlažnog kolovoza na brzinu slobodnog toka za merenja brzina kretanja vozila na svim deonicama (Jovović, 2015.):

Linearni model:  $B = 3,71 + 0,921 A$

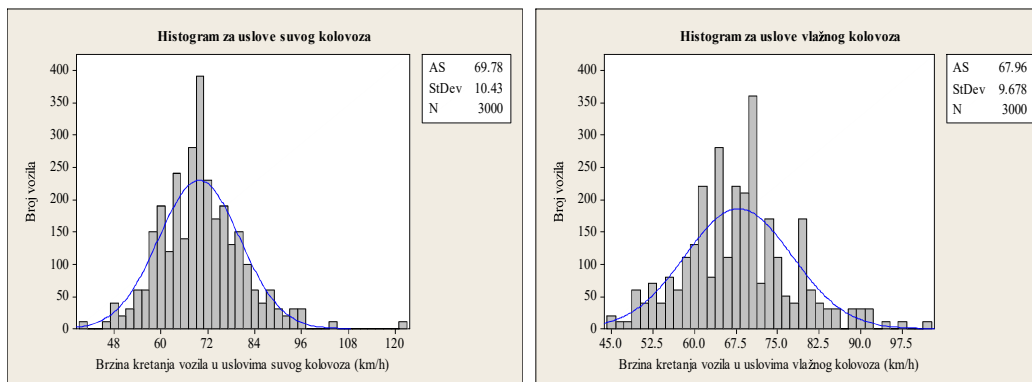
Kvadratni model:  $B = -10,07 + 1,308 A - 0,002655 A^2$

где је:

B – Srednja brzina kretanja vozila u uslovima vlažnog kolovoza

A – Srednja brzina kretanja vozila u uslovima suvog kolovoza

Tačnost regresionih modela za izvršena merenja brzine kretanja vozila na svim deonicama su dobijena sa tačnošću od 98,5 % za linearni model i 98,8 % za kvadratni model.



Slika 5. Histogram klase brzina za suv i vlažan kolovoz

Na slici 5 su prikazane klase brzina izmerenih na terenu u uslovima suvog i vlažnog kolovoza. Na slici se vidi da je najviše bilo vozila koja su se kretala brzinom od 70 km/h, što govori da je osnovni uslov bezbednosti saobraćaja ograničenja brzine od 80 km/h ispoštovan (iz uzorka su izbačene izmerene brzine preko 80 km/h). Kriva koja predstavlja normalnu (Gausovu) raspodelu pokazuje da je broj vozila koja se kreću brzinom od 70 km/h iznad očekivanog prema normalnoj raspodeli.

## 5. ANALIZA REZULTATA IZMERENIH NA TERENU KORIŠĆENJEM METODA HCM 2000 I 2010

Pre nego što se uđe u detaljnu analizu podataka, neophodno je formirati tabelu ulaznih podataka koja daje osnovne tehničko-eksploatacione karakteristike datih deonica.

Tabela 2. Ulazni parametri potrebni za analizu

|                               | Deonica 1   | Deonica 2  | Deonica 3  |
|-------------------------------|-------------|------------|------------|
| Dužina deonice (m)            | 1.200       | 1.080      | 1.050      |
| Širina bankine (m)            | 0,80        | 0,60       | 0,60       |
| Širina saobraćajnih traka (m) | 3,25        | 3,00       | 3,00       |
| Broj saobraćajnih traka       | 2           | 2          | 2          |
| Tip terena                    | Ravničarski | Brdovit    | Planinski  |
| Nagib terena (%)              | 1           | 3          | 7          |
| Ograničenje brzine (km/h)     | 80          | 80         | 80         |
| Gradske/Vangradske            | Vangradske  | Vangradske | Vangradske |

Analizom izmerenih vrednosti na terenu korišćenjem HCM 2000 dobijene su vrednosti koje opisuju stanje toka. Brzina slobodnog toka za deonicu 1 za suv kolovoz je za 2 km/h (razlika između suvog i vlažnog kolovoza je 2,7%) veća od brzine slobodnog toka na toj deonici u uslovima vlažnog kolovoza. Na deonici 2 brzina slobodnog toka je u uslovima suvog kolovoza za 1,1 km/h (razlika između suvog i vlažnog kolovoza je 1,5%) veća nego u uslovima vlažnog kolovoza na istoj deonici. Treća deonica ima najveću razliku u brzini slobodnog toka i ona iznosi 2,3 km/h (razlika između suvog i vlažnog kolovoza je 3,3%). Što se tiče srednje brzine putovanja i ona ima pad na sve tri deonice pri suvom kolovozu u odnosu na vlažan kolovoz. Na prvoj deonici srednja brzina putovanja u uslovima suvog kolovoza je veća 2,1 km/h (razlika između srednje brzine putovanja u uslovima suvog i vlažnog kolovoza je 3%) u odnosu na uslove kada je kolovoz vlažan. Na drugoj deonici srednja brzina putovanja u uslovima suvog kolovoza je veća 0,7 km/h (razlika između srednje brzine putovanja u uslovima suvog i vlažnog kolovoza je 1,1%) u odnosu na uslove kada je kolovoz vlažan. Kao i kod brzine slobodnog toka i kod srednje brzine putovanja najveća razlika je na trećoj deonici i iznosi 2,2 km/h (razlika između srednje brzine putovanja u uslovima suvog i vlažnog kolovoza je 3,5%). Što se tiče

iskorišćenosti kapaciteta vidi se da se radi o slobodnom toku što potvrđuje i procenat vremena proveden sledeći i Nivo Usluge na osnovu tog kriterijuma.

Tabela 3. Analiza rezultata izmerenih na terenu korišćenjem HCM 2000

|            | HCM 2000    |           |           |                |           |           |
|------------|-------------|-----------|-----------|----------------|-----------|-----------|
|            | Suv kolovoz |           |           | Vlažan kolovoz |           |           |
|            | Deonica 1   | Deonica 2 | Deonica 3 | Deonica 1      | Deonica 2 | Deonica 3 |
| FFS (km/h) | 74,30       | 72,40     | 68,00     | 72,30          | 71,30     | 65,70     |
| ATS (km/h) | 70,20       | 65,70     | 62,60     | 68,10          | 65,00     | 60,40     |
| PTSF (%)   | 17,80       | 23,70     | 28,90     | 17,90          | 23,20     | 33,50     |
| PFFS (%)   | -           | -         | -         | -              | -         | -         |
| v/c        | 0,07        | 0,11      | 0,14      | 0,07           | 0,10      | 0,12      |
| LOS(ATS)   | C           | D         | D         | D              | D         | D         |
| LOS (PTSF) | A           | A         | A         | A              | A         | A         |
| LOS (PFFS) | -           | -         | -         | -              | -         | -         |

Analizom izmerenih vrednosti na terenu korišćenjem HCM 2010 dobijene su vrednosti koje opisuju stanje toka. Brzina slobodnog toka za deonicu 1 za suv kolovoz je za 3,21 km/h (razlika između suvog i vlažnog kolovoza je 4,3%) veća od brzine slobodnog toka na toj deonici u uslovima vlažnog kolovoza. Na deonici 2, brzina slobodnog toka je u uslovima suvog kolovoza za 3 km/h (razlika između suvog i vlažnog kolovoza je 4%) veća nego u uslovima vlažnog kolovoza na istoj deonici. Treća deonica ima najmanju razliku u brzini slobodnog toka i ona iznosi 1,33 km/h (razlika između suvog i vlažnog kolovoza je 2%). Što se tiče srednje brzine putovanja i ona ima pad na sve tri deonice u uslovima suvog kolovoza u odnosu na uslove vlažnog kolovoza. Na prvoj deonici srednja brzina putovanja u uslovima suvog kolovoza je veća za 2,9 km/h (razlika između suvog i vlažnog kolovoza je 4%) u odnosu na uslove kada je kolovoz vlažan. Na drugoj deonici srednja brzina putovanja pri uslovima suvog kolovoza je veća za 4,01 km/h (razlika između suvog i vlažnog kolovoza je 5,7%) u odnosu na uslove kada je kolovoz vlažan. Kao i kod brzine slobodnog toka i kod srednje brzine putovanja najmanja razlika je na trećoj deonici i iznosi 1,89 km/h (razlika između suvog i vlažnog kolovoza je 3,1%). Što se tiče iskorišćenosti kapaciteta vidi se da se radi o slobodnom toku što potvrđuje i procenat vremena proveden sledeći i Nivo Usluge na osnovu tog kriterijuma. Procenat brzine slobodnog toka je novi parametar koji je uveden u HCM 2010 i pokazuje da je tok u visokom procentu slobodan tako da se niža brzina od očekivane ne može opravdati sleđenjem sporijih vozila i stvaranjem kolona.

Tabela 4. Analiza rezultata izmerenih na terenu korišćenjem HCM 2010

|            | HCM 2010    |           |           |                |           |           |
|------------|-------------|-----------|-----------|----------------|-----------|-----------|
|            | Suv kolovoz |           |           | Vlažan kolovoz |           |           |
|            | Deonica 1   | Deonica 2 | Deonica 3 | Deonica 1      | Deonica 2 | Deonica 3 |
| FFS (km/h) | 75,31       | 75,00     | 68,08     | 72,10          | 72,00     | 66,75     |
| ATS (km/h) | 72,26       | 70,48     | 60,19     | 69,36          | 66,47     | 58,30     |
| PTSF (%)   | 28,50       | 38,70     | 41,40     | 30,50          | 36,20     | 38,40     |
| PFFS (%)   | 95,90       | 93,60     | 88,40     | 96,20          | 92,00     | 88,90     |
| v/c        | 0,07        | 0,10      | 0,25      | 0,07           | 0,11      | 0,22      |
| LOS(ATS)   | C           | C         | D         | D              | D         | E         |
| LOS(PTSF)  | A           | B         | B         | A              | B         | B         |
| LOS(PFFS)  | A           | A         | B         | A              | A         | B         |

U tabeli 5 analiziran je ukupan efekat za tri deonice uzimajući srednje izmerene vrednosti za suv i vlažan kolovoz tako da se dobije celokupna slika istraživanja.

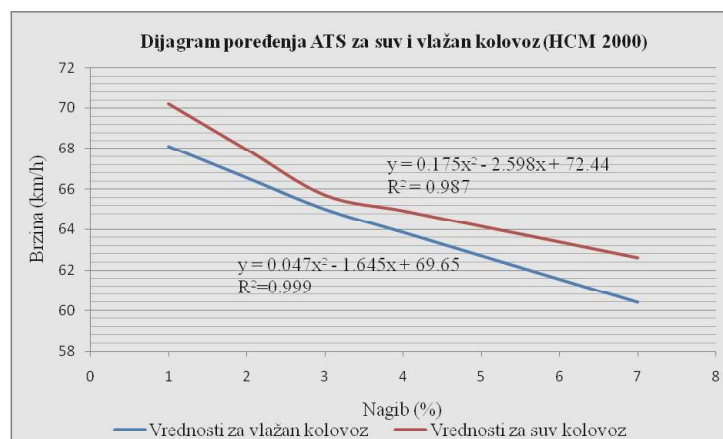
Tabela 5. Analiza rezultata izmerenih na terenu korišćenjem HCM 2000 i HCM 2010

|            | HCM 2000  |           |           | HCM 2010  |           |           |
|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|            | Deonica 1 | Deonica 2 | Deonica 3 | Deonica 1 | Deonica 2 | Deonica 3 |
| FFS (km/h) | 73,30     | 71,85     | 66,85     | 73,71     | 73,50     | 67,42     |
| ATS(km/h)  | 69,15     | 65,35     | 61,50     | 70,81     | 68,48     | 59,25     |
| PTSF (%)   | 17,85     | 23,45     | 31,20     | 29,50     | 37,45     | 39,90     |
| PFFS (%)   | -         | -         | -         | 96,05     | 92,80     | 88,65     |
| v/c        | 0,07      | 0,11      | 0,13      | 0,07      | 0,11      | 0,235     |
| LOS(ATS)   | D         | D         | D         | C         | D         | E         |
| LOS(PTSF)  | A         | A         | A         | A         | B         | B         |
| LOS(PFFS)  | -         | -         | -         | A         | A         | B         |

Na slici 6 prikazan je dijagram srednjih brzina putovanja korišćenjem metode HCM 2000 za uslove suvog i vlažnog kolovoza. Logično je da se korišćenjem ove metode dobijaju manje vrednosti brzina za vlažan kolovoz, što potvrđuje pretpostavku da vremenski uslovi utiču na brzinu. Povećanje uzdužnog nagiba na 3%

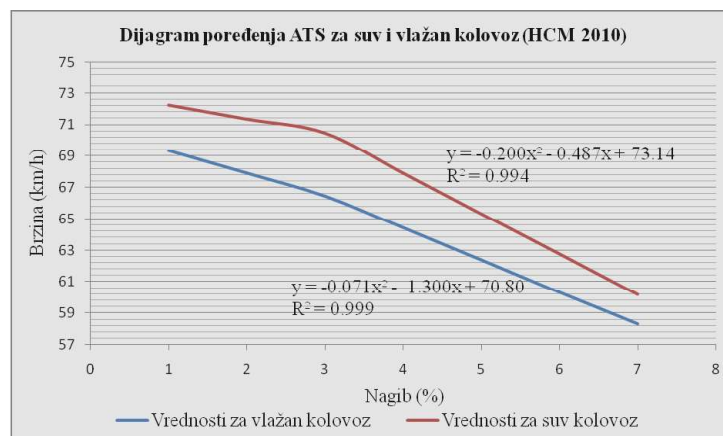


је због тога што се од тог нагиба сматра специфични успон/пад па се користе посебни коефицијенти при прорачуну због тога што се возила не крећу под istim условима (посебно теретна возила) и не могу задржати кретање брзинама као што се крећу на путевима са мањим уздужним нагибом.



Slika 6. Poređenje brzina za suv i vlažan kolovoz po HCM-2000 metodologiji

Na slici 7 prikazan je dijagram srednjih brzina putovanja korišćenjem metode HCM 2010 za uslove suvog i vlažnog kolovoza. Vidimo da se korišćenjem i ove metode dobijaju manje vrednosti brzina za vlažan kolovoz, što potvrđuje pretpostavku da vremenski uslovi utiču na brzinu. I u ovom slučaju povećanje uzdужnog nagiba na 3% je zbog tretiranja tog nagiba kao specifičnog uspona.



Slika 7. Poređenje brzina za suv i vlažan kolovoz po HCM-2010 metodologiji

## 6. DISKUSIJA I ZAKLJUČAK

Analizom rezultata istraživanja, brzina kretanja vozila izmerenih na terenu pri uticaju vremenskih uslova, (u uslovima suvog i vlažnog kolovoza) potvrđen je hipotetički okvir da vremenski uslovi utiču na brzinu slobodnog toka. Na prvoj deonici koja ima uzdужni nagib od 1% prosečna brzina kretanja vozila u uslovima suvog kolovoza je za 1,86 km/h (2,54%) veća nego prosečna brzina kretanja vozila u uslovima vlažnog kolovoza. Na drugoj deonici koja ima uzdужni nagib od 3% prosečna brzina kretanja vozila za suv kolovoz je za 2,25 km/h (3,19%) veća nego prosečna brzina kretanja vozila u uslovima vlažnog kolovoza. Na trećoj deonici sa prosečnim uzdужnim nagibom od 7% prosečna brzina kretanja vozila za suv kolovoz je za 1,37 km/h (1,55%) veća od prosečne brzine kretanja u uslovima vlažnog kolovoza. Najveće smanjenje prosečne brzine kretanja vozila izmereno je na drugoj deonici, a najmanje smanjenje prosečne brzine kretanja vozila izmereno je na trećoj deonici.

Analizom rezultata izmerenih na terenu korišćenjem metode HCM 2000 dobijeni su sledeći rezultati. Na prvoj deonici koja ima uzdужni nagib od 1%, brzina slobodnog toka u uslovima suvog kolovoza je za 2,00 km/h (2,69%) veća nego brzina slobodnog toka u uslovima vlažnog kolovoza. Na drugoj deonici koja ima uzdужni nagib od 3%, brzina slobodnog toka za suv kolovoz je za 1,10 km/h (1,52%) veća nego brzina slobodnog toka u uslovima vlažnog kolovoza. Na trećoj deonici sa prosečnim uzdужnim nagibom od 7 %,



брзина слободног тока за сув коловоз је за 2,30 km/h (3,38%) већа од брзине слободног тока у условима влажног коловоза. Највеће смањење брзине слободног тока под утицајем вremenskih услова је на трећој деоничи, а најмање на другој деоничи.

Анализом резултата измерених на терену коришћењем методе HCM 2010 добијени су следећи резултати. На првој деоничи која има уздужни нагиб од 1% брзина слободног тока у условима сувог коловоза је за 3,21 km/h (4,26%) већа него брзина слободног тока у условима влажног коловоза. На другој деоничи која има уздужни нагиб од 3% брзина слободног тока у условима сувог коловоза је за 3,00 km/h (4,00%) већа него брзина слободног тока у условима влажног коловоза. На трећој деоничи са просечним уздужним нагибом од 7% брзина слободног тока у условима сувог коловоза је за 1,33 km/h (1,95%) већа од брзине слободног тока у условима влажног коловоза. Највеће смањење брзине слободног тока под утицајем вremenskih услова је на првој деоничи, а најмање на трећој деоничи.

У предлогу правца даљих истраживања неопходно је више пажње обратити на мониторинг над брзинама кретања возила, као и на коришћење савремених уређаја за прецизније мерење брзина кретања возила. Такође, потребно је константно и континуално праћење брзина кретања возила. Сталним праћењем брзина могао би се формирати локални део приручника за капацитет путева и поуздано утврдити који фактори и на који начин утичу на одвијање саобраћаја, понашање вођача на датим деоничама, анализирати структура саобраћајног тока, стање безбедности саобраћаја, као и узроци саобраћајних незгода. Самим тим могли би се отклонити недостаци на деоничама пре него што добију нежељене размјере. У локалном приручнику за капацитет (Kuzović, 2000) се налазе специфични утицаји који су карактеристични за dato подручје, који нису обухваћени општим инжињерским приручницима.

## 7. LITERATURA:

- [1]. 2013 Quality/Level Of Service Handbook, (2013), Department Of Transportation, Florida.
- [2]. Highway Capacity Manual 2000, (2000), Transportation Research Board, National Research Council, Washington D.C.
- [3]. Highway Capacity Manual 2010, (2010), Transport Research Board Publications, Volume 4. Applications Guide.
- [4]. Jensen, T., (2014), Weather and road capacity, Artikler fra Trafikdage pa Aalborg Universitet.
- [5]. Jovović, S. (2015), Брзина слободног тока у функцији вremenskih услова на двотрачним путевима, master rad, Saobraćajni fakultet Doboj.
- [6]. Kuzović, Lj. (1987), Теорија саобраћајног тока, Грађевинска knjiga, Beograd.
- [7]. Kuzović, Lj. (2000), Капацитет и ниво услуге drumskih саобраћајница, Saobraćajni fakultet Beograd.
- [8]. Road Planning and Design Manual, (2007), Chapter 6: Speed Parameters, Department of Main Roads, Queensland.
- [9]. Sami H., (1995), Traffic speed study, Ahsanullah University of Science and Tehnology, Department of Civil Engineering.