

ANALIZA MOGUĆNOSTI IZBEGAVANJA SUDARA SA PREPREKAMA KOJE SE KREĆU U SUPROTNOM SMERU

ACCIDENT AVOIDANCE ANALYSIS FOR CRASHES WHERE OBSTACLE IS MOVING IN THE OPOSITE DIRECTION

Boris Antić¹; Milan Vujanic²

Rezime: Analiza mogućnosti izbegavanja nezgode je sastavni deo nalaza i mišljenja veštaka, jer pruža odgovor pod kojim okolnostima, odnosno pri kojoj brzini bi nezgoda mogla biti izbegnuta. Sudari u kojima se prepreka poput bicikliste kreće u susret vozilu nisu brojni kao sudari u sustizanju, ali im je takođe potrebno posvetiti pažnju jer obrasci za proračun brzine izbegavanja iz postojeće literature imaju nedostataka. S obzirom na to, u ovom radu su prikazani postupci za proračun brzine izbegavanja nezgode, a takođe je i prikazana problematika izbora prostornog kriterijuma (na osnovu dužine puta do sudara u odnosu na dužinu međusobne udaljenosti u trenutku preduzetog reagovanja).

KLJUČNE REČI: ANALIZA MOGUĆNOSTI IZBEGAVANJA NEZGODE, PROSTORNI KRITERIJUM, PUT DO SUDARA, MEĐUSOBNA UDALJENOST, VREMENSKI KRITERIJUM

Abstract: Accident avoidance analysis is a part of the Traffic accident expertise, because it gives the answer about the circumstances/the speed under which the accident could have been avoided. Accidents in which the obstacle like the cyclist for example, is moving toward the vehicle are not numerous as the accidents where obstacle is moving in the same direction, but they also deserve to be given a certain amount of attention, because the mathematical solutions for speed under which a vehicle can avoid the accident, which are in the existing literature, are not sufficient. That being said, this paper presents the steps for solving the speed for avoiding the accident, as well as the problem of choosing the space criteria (according to the distance until the accident compared to the distance between the participants in the moment of reacting).

KEY WORDS: ACCIDENT AVOIDANCE ANALYSIS, SPACE CRITERIA, ACCIDENT DISTANCE, MUTUAL DISTANCE, TIME CRITERIA

¹ Saobraćajni fakultet u Beogradu, b.antic@sf.bg.ac.rs

² Saobraćajni fakultet u Beogradu, vujanic@mail.com

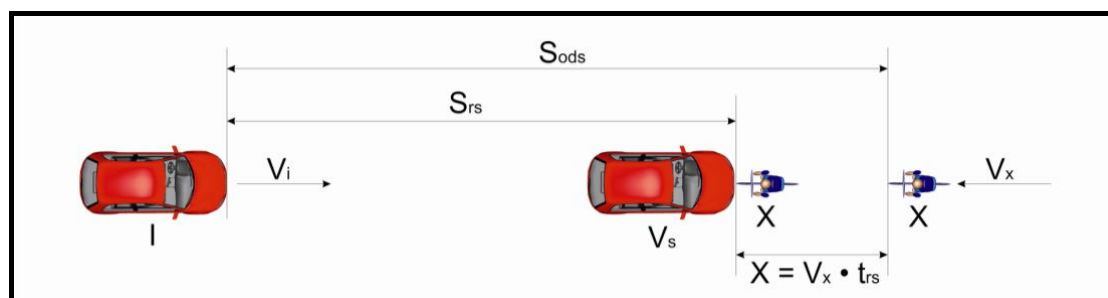
1. UVOD

Sudari do kojih dolazi u saobraćajnim nezgodama nastaju na izuzetno puno načina, tako da je praktično nemoguće za svaku situaciju definisati obrasce koje je potrebno upotrebiti, jer bi tada priručnici za saobraćajno-tehnička veštačenja mogli imati na hiljade strana. Ipak, kako bi posao saobraćajno-tehničkog veštaka bio donekle pojednostavljen, oduvek je postojala težnja da se objedine pojedini tipovi saobraćajnih nezgoda, te za tako objedinjene situacije izvedu obrasci – zakonitosti. Takav slučaj je na primer i za sudare u sustizanju, gde se brzina izbegavanja nezgode može izračunavati na više načina, u zavisnosti da li se koristi vremenski ili prostorni kriterijum, kao i da li se u okviru prostornog kriterijuma posmatra pređeni put do sudara (S_{rs}) ili međusobno odstojanje u trenutku reagovanja vozača (D odnosno S_{ods}), a što je detaljno obrazloženo na prethodnim simpozijumima (X iz 2011. godine i XI iz 2012. godine) o saobraćajno tehničkom veštačenju.

Iako su prethodno navedeni sudari u sustizanju mnogo češći, ne smeju se zaboraviti situacije u kojima je potrebno izračunati brzinu izbegavanja nezgode automobila kome se u susret kreće pokretna prepreka (pešak, biciklista, drugi automobil i sl). U literaturi se često mogu naći različiti obrasci za utvrđivanje uslovno bezbedne brzine tj. brzine izbegavanja sudara sa preprekama koje se kreću u suprotnom smeru. Tako na primer jedan od obrazaca koji se može sresti je:

$$V = \sqrt{(b \cdot t_s)^2 + 2 \cdot b \cdot D} - b \cdot t_s - V_x \quad (1)$$

gde je "D" dužina puta na kome je potrebno da se vozilo zaustavi, što se može poistovetiti sa dužinom puta koju je automobil prešao od mesta reagovanja vozača do mesta sudara. Ipak, postavlja se pitanje da li je gore navedeni obrazac (1) tačan i da li se pored puta koji automobil pređe od reagovanja do sudara (S_{rs}), brzina izbegavanja nezgode može izračunati na osnovu međusobne udaljenosti u trenutku preduzetog reagovanja vozača automobila (S_{ods}).



Slika br. 1 – Shema parametara kod sudara sa preprekom koja se kreće u susret

2. PROSTORNI KRITERIJUM

Za razliku od sudara u sustizanju gde vozač sustižućeg vozila (I) preduzimanjem kočenja mora da smanji brzinu automobila do brzine sustizanog vozila (X) koje se kreće brzinom (V_x), kod sudara sa preprekama koje se kreću u susret, vozač automobila mora da se zaustavi na raspoloživom putu. Naravno, na taj način se analizira mogućnost izbegavanja nezgode od strane vozača automobila, a ne i izbegavanje udara prepreke u automobil, jer nezgoda neće biti izbegnuta zaustavljanjem automobila ako se i prepreka ne bi zaustavila, što za proračun uslovno bezbedne brzine automobila (brzine izbegavanja nezgode) nije ni bitno.

U cilju izbegavanja saobraćajne nezgode vozač automobila (I) preduzima kočenje na rastojanju (S_{ods}) od bicikla koji se u susret kreće brzinom (V_x). Izbegavanje nezgode se analizira zaustavljanjem automobila pa je neophodno da se automobil zaustavi na putu (S_{rs}). Za vreme koje protekne od trenutka reagovanja do trenutka sudara (t_{rs}) vozilo (I) pređe put koji se pri kočenju sastoji od puta reagovanja (S_r) i puta kočenja do sudara (S_{4ds}), a bicikl put (X), tako da se u trenutku reagovanja vozača automobila, automobil i bicikl nalaze na međusobnom rastojanju (S_{ods}).

S obzirom na to, prostorni opis situacije se može analitički predstaviti jednačinom:

$$S_{rs} = S_r + S_{4ds} = S_{ods} - X \quad (2)$$

dok je posmatrano vremenski potrebno da se automobil zaustavi za vreme od trenutka reagovanja do trenutka sudara (t_{rs}):

$$t_{rs} = t_r + t_{4ds} = t_z \quad (3)$$

Ovde je važno da se u vidu ima da se raspoloživo vreme za kočenje dobija kada se od vremena koje je proteklo od trenutka reagovanja vozača automobila do trenutka sudara (t_{rs}) oduzme vreme neophodno za reagovanje sistema vozač vozilo (t_r), odnosno:

$$t_{rs} = t_r + \frac{V_1}{b} = t_z \quad (4)$$

pa put koji pređe biciklista od trenutka reagovanja vozača automobila do trenutka sudara može predstaviti na sledeći način:

$$X = V_x \cdot \left(t_r + \frac{V_1}{b}\right) \quad (5)$$

Imajući prethodno u vidu, prostorni opis situacije iz jednačine (2) postaje:

$$S_r + S_{4ds} = V_0 \cdot t_r - \frac{b \cdot t_3^2}{6} + \frac{V_1^2}{2 \cdot b} \quad (6)$$

odnosno:

$$S_{ods} - V_x \cdot \left(t_r + \frac{V_1}{b}\right) = V_0 \cdot t_r - \frac{b \cdot t_3^2}{6} + \frac{V_1^2}{2 \cdot b} \quad (7)$$

uvođenjem obrasca za brzinu na početku puta kočenja (V_1) izraženoj preko brzine u trenutku reagovanja (V_0):

$$V_1 = V_0 - \frac{b \cdot t_3}{2} \quad (8)$$

dobija se kvadratna jednačina sa jednim realnim i pozitivnim rešenjem (9) koje predstavlja brzinu automobila pri kojoj bi bilo moguće zaustaviti automobil preduzimanjem kočenja kada se bicikl i automobil nalaze na međusobnoj udaljenosti (S_{ods}).

$$V_{iods} = \sqrt{(b \cdot t_s + V_x)^2 + 2 \cdot b \cdot (S_{ods} - V_x \cdot t_s) + \frac{b^2 \cdot t_3^2}{12}} - b \cdot t_s - V_x \quad (9)$$

Uzimajući u obzir vrednosti realnog usporenja putničkog automobila i vreme porasta usporenja poslednji deo izraza pod korenom je zanemarljivo mali u odnosu na preostali deo, odnosno:

$$\frac{b^2 \cdot t_3^2}{12} \ll 2 \cdot b \cdot (S_{ods} - V_x \cdot t_s) + (b \cdot t_s + V_x)^2 \quad (10)$$

Navedeno rešenje se može još uprostiti tako da dobije oblik:

$$V_{iods} = \sqrt{(b \cdot t_s)^2 + 2 \cdot b \cdot S_{ods} + V_x^2} - b \cdot t_s - V_x \quad (11)$$

Izvedeni obrazac (11) predstavlja brzinu automobila pri kojoj bi bilo moguće zaustaviti automobil preduzimanjem kočenja kada se bicikl i automobil nalaze na međusobnoj udaljenosti (S_{ods}), a ne na putu od mesta reagovanja do mesta sudara (S_{rs}). Naime, ako se želi utvrditi brzina pri kojoj bi bilo moguće zaustaviti automobil na putu od mesta reagovanja do mesta sudara (S_{rs}), tada bi se ta brzina mogla izračunati primenom poznatog obrasca za ograničen zaustavni put:

$$V_{irs} = \sqrt{(b \cdot t_s)^2 + 2 \cdot b \cdot S_{rs}} - b \cdot t_s \quad (12)$$

Imajući prethodno u vidu, kao i da je put od mesta reagovanja do mesta sudara (S_{rs}) ustvari put nakome je potrebno zaustaviti automobil (D), obrazac (1) nije tačan, već je potrebno koristiti obrazac (12).

3. VREMENSKI KRITERIJUM

Analiza mogućnosti izbegavanja nezgode saobraćajnih nezgoda sa preprekama koje se kreću u suprotnom pravcu, primenom vremenskog kriterijuma predstavlja izračunavanje brzine pri kojoj bi se automobil morao zaustaviti za vreme od trenutka reagovanja do trenutka sudara (t_{rs}).

S obzirom na to da se vreme do sudara (t_{rs}) sastoji od vremena potrebnog za reagovanje sistema vozač-vozilo (t_r) i vremena do sudara (t_{4ds}), dolazi se do analitičkog izraza (13), kao i obrasca (14) za izračunavanje brzine izbegavanja nezgode (V_i) primenom vremenskog kriterijuma:

$$t_{rs} = t_r + t_{4ds} = t_r + \frac{V_1}{b} = t_r + \frac{(V_0 - b \cdot t_3 : 2)}{b} \quad (13)$$

$$V_i = b \cdot (t_{rs} - t_s) \quad (14)$$

Dakle, za razliku od sudara u sustizanju gde je potrebno dodati i brzinu prepreke, kod sudara gde se prepreka kreće u susret obrazac je identičan obrascu za ograničeno vreme zaustavljanja.

4. PROBLEMATIKA RAZLIKA U IZRAČUNATOJ BRZINI IZBEGAVANJA ZAUSTAVLJANJEM I NA OSNOVU MEĐUSOBNE UDALJENOSTI

Kako je prethodno u tački već opisano, iako bi se primenom proračuna brzine izbegavanja na osnovu međusobnog odstojanja u trenutku reagovanja i na osnovu pređenog puta do sudara trebale dobiti identične brzine, to nije slučaj, a što će biti objašnjeno na sledećem primeru:

Kolovozom se brzinom od 60 km/h kreće AUDI, a biciklista se kreće u susret AUDI-ju brzinom od 15 km/h. Vozač AUDI-ja preduzima kočenje i posle 34 m, ostvarujući usporenje od 6 m/s^2 , dolazi do sudara pri brzini AUDI-ja od 30 km/h. Vremena reagovanja sistema vozač vozilo su: $t_1=0,8 \text{ s}$, $t_2=0,1 \text{ s}$, $t_3=0,2 \text{ s}$

Ako bi se u obzir uzeo put koji je AUDI prešao od mesta reagovanja do mesta sudara, dužine 34 m, a kriterijum bio zasnovan na zaustavljanju AUDI-ja do mesta sudara (obrazac 12), brzina izbegavanja bi bila:

$$V_{irs} = \sqrt{(b \cdot t_s)^2 + 2 \cdot b \cdot S_{rs}} - b \cdot t_s$$

$$V_{irs} = \sqrt{(6 \cdot 1)^2 + 2 \cdot 6 \cdot 34} - 6 \cdot 1 \quad (15)$$

$$V_{irs} = 15,07 \text{ m/s} \quad \text{или} \quad 54,3 \text{ km/h}$$

Kako je od trenutka reagovanja vozača AUDI-ja do trenutka sudara sa biciklom proteklo vreme od:

$$t_{rs} = t_r + \frac{V_1 - V_x}{b} = t_r + \frac{(V_0 - b \cdot t_3 : 2) - V_x}{b}$$

$$t_{rs} = 1,1 + \frac{(60 : 3,6 - 6 \cdot 0,2 : 2) - (30 : 3,6)}{6} \quad (16)$$

$$t_{rs} = 2,39 \text{ s}$$

to bi bicikl brzinom od 15 km/h za to vreme prešao put dužine:

$$X = V_x \cdot t_{rs}$$

$$X = (15 : 3,6) \cdot 2,39 \quad (17)$$

$$X = 10 \text{ m}$$

pa bi od trenutka preduzetog kočenja od strane vozača AUDI-ja, AUDI do sudara prešao put dužine 34 m, a bicikl put dužine 10 m, tako da bi međusobna udaljenost bila:

$$S_{ods} = S_{rs} + X = 34 + 10 = 44 \text{ m} \quad (18)$$

Primenom obrasca (11), brzina izbegavanja nezgode na osnovu međusobne udaljenosti u trenutku reagovanja vozača AUDI-ja iznosi:

$$V_{iods} = \sqrt{(b \cdot t_s)^2 + 2 \cdot b \cdot S_{ods} + V_x^2} - b \cdot t_s - V_x$$

$$V_{iods} = \sqrt{(6 \cdot 1)^2 + 2 \cdot 6 \cdot 44} - 6 \cdot 1 - 15 : 3,6 \quad (17)$$

$$V_{iods} = 13,94 \text{ m/s} \quad \text{или} \quad 50,2 \text{ km/h}$$

Imajući prethodno u vidu, brzina izbegavanja nezgode izračunata na osnovu međusobne udaljenosti je manja od brzine izbegavanja nezgode na osnovu pređenog puta do sudara, za:

$$dV_i = V_{irs} - V_{iods}$$

$$dV_i = 54,3 - 50,2 \quad (19)$$

$$dV_i = 4,1 \text{ km/h}$$

Sledeći problem koji proističe iz analize mogućnosti izbegavanja nezgode na osnovu međusobnog udaljenosti u trenutku reagovanja vozača AUDI-ja odnosi se na zaustavni put AUDI-ja pri izračunatoj brzini izbegavanja od 50,2 km/h (V_{iods} - izračunata brzina izbegavanja na osnovu međusobnog odstojanja) koji iznosi:

$$S_z = V_0 \cdot t_r + \frac{V_1^2}{2 \cdot b}$$

$$S_z = (50,2 : 3,6) \cdot 1,1 + \frac{13,34^2}{2 \cdot 6} \quad (20)$$

$$S_z = 30,17 \text{ m}$$

Dakle, kada se posmatra međusobna udaljenost u trenutku reagovanja vozača AUDI-ja i na osnovu toga utvrđena brzina izbegavanja, put zaustavljanja ($S_z = 30 \text{ m}$) je kraći od puta koji je u realnim okolnostima nastanaka nezgode vozač AUDI-ja imao na raspolaganju ($S_{rs} = 34 \text{ m}$), odnosno do izbegavanja nezgode pri brzini od 50,2 km/h ne bi došlo na mestu sudara, već unazad za:

$$dS = S_{rs} - S_z$$

$$dS = 34 - 30 \quad (21)$$

$$dS = 4 \text{ m}$$

Razlog zbog koga dolazi do razlike u brzinama izbegavanja na osnovu međusobne udaljenosti i pređenog puta do mesta sudara jeste u vremenu potrebnom za zaustavljanje pri izračunatoj brzini izbegavanja od 50,2 km/h (V_{iods} - izračunata brzina izbegavanja na osnovu međusobnog odstojanja) koje iznosi:

$$t_z = t_r + \frac{V_1}{b} = t_r + \frac{(V_0 - b \cdot t_3 : 2)}{b}$$

$$t_z = 1,1 + \frac{(50,2 : 3,6 - 6 \cdot 0,2 : 2)}{6} \quad (22)$$

$$t_z = 3,32 \text{ s}$$

tako da bi bicikl brzinom od 15 km/h, umesto 10 m (obrazac 17), za to vreme prešao put dužine:

$$X_1 = V_x \cdot t_z$$

$$X_1 = (15 : 3,6) \cdot 3,32 \quad (23)$$

$$X_1 = 13,83 \text{ m}$$

Dakle, kada se uzme u obzir zaustavni put pri izračunatoj brzini izbegavanja od 50,2 km/h (V_{iods} - izračunata brzina izbegavanja na osnovu međusobnog odstojanja) dužine 30,17 m i put koji bi bicikl prešao za zaustavno vreme pri toj brzini, dobija se međusobna udaljenost u trenutku sudara:

$$S_{ods} = S_z + X_1$$

$$S_{ods} = 30,17 + 13,83$$

$$S_{ods} = 44 \text{ m}$$

5. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA SA DISKUSIJOM

Primena kriterijuma na osnovu kojeg će biti sprovedena analiza mogućnosti izbegavanja saobraćajne nezgode predstavlja odgovornost veštaka, a u radu je objašnjeno kako različiti prostorni kriterijumi daju različite brzine izbegavanja nezgode odnosno pokazuju različite tehničke mogućnosti za izbegavanje nezgode od strane vozača. Saobraćajno-tehničko veštačenje je jedan od najznačajnijih dokaza i polazna osnovu za utvrđivanje propusta i doprinosa vozača u sudskim postupcima vezanim za saobraćajne nezgode, pa veštak saobraćajno-tehničke struke mora sa posebnom pažnjom i odgovornosti da pristupi analizi saobraćajne nezgode, posebno kada se u vidu imaju elementi važni za sprovođenje vremensko-prostorne analize, kao i analize mogućnost izbegavanja nezgode.

Razlike u primeni prostornog i vremenskog kriterijuma po kojima vremenski kriterijum uvek daje niže brzine izbegavanja nezgode, su odavno dokazane opisivane u brojnim radovima. Kada se radi o sudarima kod kojih se prepreka kreće u susret, analiza mogućnosti izbegavanja nezgode se dodatno komplikuje jer se primenom prostornog kriterijuma na osnovu međusobne udaljenosti u trenutku stvaranja opasne situacije i pređenog puta od stvaranja opasne situacije do mesta sudara, dobijaju različite brzine izbegavanja nezgode. Dakle, umesto dileme da li primeniti prostorni ili vremenski kriterijum, kod ovakvih sudara postoji i ova dodatna dilema.

Ako se donese odluka o izboru prostornog kriterijuma, potrebno je doneti odluku da li primeniti proračun na osnovu međusobnog odstojanja ili na osnovu pređenog puta do mesta sudara. Ta odluka uključuje analizu više parametara. Najpre se mora uzeti u obzir pouzdanost materijalnih dokaza na osnovu kojih je utvrđen put do mesta sudara odnosno na osnovu kojih je utvrđeno međusobno odstojanje. Ukoliko postoje nesporni tragovi koji ukazuju na poziciju mesta sudara (trag grebanja, trag tečnosti, skretanje traga kočenja itd.), jasno je da će pređeni put do sudara biti pouzdaniji parametar od međusobnog udaljenosti.

6. LITERATURA

- [1] Antić, B., Vujanić, M.M., Cvijan, M., Analiza i razlika vremensko prostorne baze analize saobraćajnih nezgoda sa pešakom, *VIII Simpozijum sa međunarodnim učešćem "Sudar vozila i pešaka"*, Zbornik radova str. 133-158, Vrnjačka Banja, 2009.
- [2] Antić, B., Pešić, D., Alempijević, Đ., Radović, A., "Analiza okolnosti nastanka saobraćajnih nezgoda sa učešćem biciklista", *Zbornik radova X International Symposium "ROAD ACCIDENTS PREVENTION 2010"*, 456-463, Novi Sad, 2010.
- [3] Antić, B., Vujanić, M. M., Cvijan, M. "Analiza i razlika vremensko prostorne baze analize saobraćajnih nezgoda sa pešakom", *Zbornik radova VIII Simpozijum sa međunarodnim učešćem "SUDAR VOZILA I PEŠAKA"*, 133-158, Vrnjačka Banja, 2009.
- [4] Ječmenica, D., Alempijević, Đ., Aleksandrić, B., Pavlekić, S., Baralić, I., Antić, B. "Povrede vratne kičme kod korisnika dvotočkaša povređenih u saobraćajnim nezgodama", *Časopis Acta chirurgica iugoslavica*, ISSN 0354-950X, vol. 57, br. 1, str. 135-140, DOI:10.2298/ACI1001135J, 2010.
- [5] Antić, B., Marković, N., Pešić, D. "Elementi vremensko-prostorne analize saobraćajne nezgode", *Zbornik radova VII Simpozijum sa međunarodnim učešćem o saobraćajno tehničkom veštačenju i proceni štete*, 275-288, Vrnjačka Banja, 2009.
- [6] Antić, B., Vujanić, M. M., "Sudari u sustizanju – vremensko prostorna analiza", *Zbornik radova X Simpozijum "ANALIZA SLOŽENIH SAOBRAĆAJNIH NEZGODA I PREVARE U OSIGURANJU"*, 109-121, Zlatibor, 2011.
- [7] Vujanić, M., Antić, B., Pešić, D. "Značaj razlike vremenske i prostorne analize i njihov uticaj na konačnu odluku u sudskom postupku", *Regionalno savetovanje Okružnog suda u Valjevu*, Valjevo, 2008.
- [8] Dragač, R., Vujanić, M. *Bezbednost saobraćaja II deo*, Saobraćajni fakultet, Beograd, 2002.
- [9] Rotim, F. *Elementi sigurnosti cestovnog prometa, Svezak 1 – Ekspertize saobraćajnih nezgoda*, JAZU Zagreb, 1990.
- [10] Kostić, S. *Tehnike bezbednosti i kontrole saobraćaja*, Univerzitet u Novom Sadu – Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2002.
- [11] Vujanić, M. i dr. *Priručnik za saobraćajno-tehničko veštačenje 96*, MID Inženjering, Beograd, 1996.
- [12] Vujanić, M. i dr. *Priručnik za saobraćajno-tehničko vještačenje i procjene šteta na vozilima*, MODUL, Banja Luka, 2000.
- [13] Vujanić, M., Antić, B., Pešić, D. *Zbirka zadataka iz bezbednosti saobraćaja sa praktikumom – 1. deo*, Saobraćajni fakultet, Beograd, 2012.

- [14] Vujanić, M. (1983) Definisanje metodologije izrade vremensko-prostorne analize saobraćajne nezgode tipa pešak-automobil sa posebnim osvrtom na nezgode ovog tipa u uslovima slobodnog i normalnog toka u zoni stajališta JMP-a, magistarski rad, Beograd.
- [15] Vujanić, M. (1984) Kinetičke analize saobraćajnih nezgoda, Doktorska disertacija, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb.
- [16] Kostić, S. (2002) Tehnike bezbednosti i kontrole saobraćaja, Univerzitet u Novom Sadu - Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad.
- [17] Antić, B., Božović, M., Vujanić, M.M. (2009) „Uticaj saobraćajno tehničkog veštačenja na sudske postupke“, VII Simpozijum sa međunarodnim učešćem o saobraćajno tehničkom veštačenju i proceni štete, Zbornik radova str. 1-30, Vrnjačka Banja.
- [18] Antić, B., (2012) „Unapređenje i razvoj metoda za analizu mogućnosti izbegavanja nezgode tipa putnički automobil – bicikl“, Doktorska disertacija, Saobraćajni fakultet u Beogradu.