

UTICAJ MASE I TIPA VOZILA NA DALJINU ODBAČAJA PEŠAKA, EKSPERIMENTALNA ANALIZA PRIMENOM PROGRAMA PC CRASH

IMPACT OF THE MASS AND TYPE OF THE VEHICLE ON PEDESTRIANS' THROWING DISTANCE, EXPERIMENTAL ANALYSIS BY USING PC CRASH

Boris Antić¹; Dalibor Pešić²; Milan Vujančić³

XIV Simpozijum
"Veštačenje saobraćajnih nezgoda
i prevare u osiguranju"

Rezime: Pri izradi ekspertiza saobraćajnih nezgoda sa pešacima, jedan od ključnih koraka predstavlja određivanje mesta sudara vozila i pešaka, pri čemu se ova analiza posebno zasniva na poređenju sudarne brzine i daljine odbačaja pešaka. U postojećoj literaturi postoji nekolicina obrazaca koji tretiraju ovu zavisnost, ali se postavlja pitanje u kojoj meri razlike u tipu vozila (malo, srednje, veliko), a posebno u masi vozila mogu uticati na daljinu odbačaja pešaka, s obzirom na to da masa vozila ne figuriše u ovim obrascima. Ovaj problem posebno postaje interesantan kada se posmatra isto vozilo, čija masa može varirati i za nekoliko stotina kilograma, kao i kada vozila različitog tipa imaju istu masu. U ovom radu će biti prikazani rezultati eksperimentalne analize sprovedene primenom programa PC Crash u kojoj su utvrđivane daljine odbačaja pešaka variranjem mase i sudarne brzine automobila, i to na primeru tri automobila različitog tipa.

KLJUČNE REČI: SUDARNA BRZINA, DALJINA ODBAČAJA PEŠAKA, MASA VOZILA, OBLIK VOZILA, EKSPERTIZA SAOBRAĆAJNE NEZGODE

Abstract: During traffic accident expertise involving pedestrians, one of the key steps is to determine place of collision of vehicles and pedestrians, while this particular analysis is based on a comparison of the collision speed and pedestrian's throwing distance. In the existing literature, there are several forms that deal with this correlation, but the question is in what manner differences in the type of vehicles (small, medium, large), but also in the mass of the vehicle can affect the pedestrian's throwing distance, considering that the mass of the vehicle does not exist in these forms. This problem becomes particularly interesting when the weight of the same vehicle vary by several hundred kilograms, and when vehicles of different types have the same mass. This paper presents the results of experimental analysis conducted using the PC Crash which were determined by varying the mass and the collision speed of the vehicle, by using three different vehicle types.

KEY WORDS: COLLISION SPEED, PEDESTRIAN'S THROWING DISTANCE, VEHICLE MASS, VEHICLE SHAPE, TRAFFIC ACCIDENT EXPERTISE

1 Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet, ul. Vojvode Stepe 305, b.antic@sf.bg.ac.rs

2 Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet, ul. Vojvode Stepe 305, d.pesic@sf.bg.ac.rs

3 Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet, ul. Vojvode Stepe 305, vujanic@mail.com

1. UVOD

Pešaci, kao ranjivi učesnici saobraćaja spadaju u jednu od najugroženijih kategorija učesnika u saobraćaju. Naime, u Srbiji pešaci čine oko četvrtine svih poginulih i oko šestine svih povređenih u saobraćajnim nezgodama (ABS, 2014). Kada se posmatraju saobraćajne nezgode sa poginulim, u naseljima smrtno strada tri puta više ljudi nego na putevima van naselja, pri čemu u raskrsnicama strada oko 8% poginulih u naselju (ABS, 2014). Ako se u obzir uzmu i povređeni, tada povređeni u naselju čine 86% svih povređenih, a oko 25% povređenih u naselju strada upravo u raskrsnicama (ABS, 2014). Kako analiza saobraćajne nezgode ima najmanje dvojak značaj, najpre da bi se utvrdile okolnosti pod kojima se dogodila saobraćajna nezgoda, a potom i da bi se upravljalo bezbednošću saobraćaja, saobraćajne nezgode sa pešacima u raskrsnici moraju biti detaljno analizirane, jer su obično to nezgode sa najtežim posledicama o čemu govore i prethodno iznete statistike.

Kada je reč o ekspertizama saobraćajnih nezgoda sa pešacima, jedan od ključnih koraka predstavlja utvrđivanje mesta sudara koje se najčešće određuje na osnovu uporedne analize sudarne brzine vozila i daljine odbačaja pešaka. Upravo ovaj korak često predstavlja veštacima i najteži korak jer je sve parametre nastanka saobraćajne nezgode, kao što su povrede, oštećenja, tragovi itd. potrebno usaglasiti. Sa druge strane, pitanja koja se po pitanju ovog problema često nameću u diskusijama među veštacima su:

- **Da li masa vozila ima bitnog uticaja na daljinu odbačaja pešaka?**
- **Da li će pri dvostruko većoj masi vozila odbačaj pešaka biti značajno veći?**
- **Da li će pri sudaru putničkih vozila različitog tipa (malo, srednje, veliko), a iste mase odbačaj pešaka značajno varirati?**

$$\begin{aligned}
 S_{\text{od}} &= V_s^2 \cdot 0,084 \\
 S_{\text{od}} &= V_s^2 : 144 \\
 S_{\text{od}} &= 0,0052 \cdot V_s^2 + 0,0783 \cdot V_s \\
 S_{\text{od}} &= 0,062 \cdot V_s^2 + 0,28 \cdot V_s - 0,0348 \\
 S_{\text{od}} &= V_s^2 : (2a) + \sqrt{2h : g} \cdot V_s \\
 S_{\text{od}} &= V_s^2 : (2a) + (0,03 \cdot V_s \cdot a) \\
 S_{\text{od}} &= V_s^2 \cdot 0,094
 \end{aligned}$$

Slika 1. Zavisnosti sudarne brzine putničkog automobila i daljine odbačaja pešaka




Navedena pitanja postaju još interesantnija kada se posmatraju obrasci za daljinu odbačaja pešaka koji se sreću u većini priručnika, jer u tim obrascima ne figuriše masa vozila (Slika br. 1), a opšte je poznato da je kinetička energija srazmerna masi vozila. S obzirom na to, pešak koga bi udario putnički automobil dvostruko veće mase bio bi izložen dvostruko većoj kinetičkoj energiji. Da li je baš tako, kao i na koji način (i u kojoj meri) masa vozila utiče na daljinu odbačaja pešaka biće objašnjeno u ovom radu.

2. MATERIJAL I METODE

Za potrebe realizacije istraživanja, a u cilju davanja odgovora na prethodno sprovedena pitanja sproveden je eksperiment primenom programa PC Crash, a potom su rezultati i teorijski obrazloženi.

Za eksperiment su odabrana tri putnička automobila marke Volkswagen, tipa Polo (kao malo vozilo), Golf (kao vozilo srednje klase) i Passat (kao vozilo više srednje klase), a za svaki od odabranih automobila prema katalogu je određena minimalna i maksimalna masa u zavisnosti od tipa motora, opreme i sl. (Tabela br. 1).

Tabela 1. Mase putničkih automobila korišćenih u eksperimentu

Tip automobila	Minimalna masa (kg)	Maksimalna masa (kg)
	980	1700
	1230	1870
	1420	2270

Pored minimalne i maksimalne mase, razlika između minimalne i maksimalne mase je podeljena na 25, 50 i 75 percentil, tako da je za svaki od izabranih putničkih automobila vršen eksperiment za pet različitih masa, pri čemu je korišćena brzina automobila od 40 km/h, 60 km/h i 80 km/h. Za svaki od navedenih slučajeva vršena su po tri merenja i uzimana je prosečna vrednost, pri čemu je u eksperimentu korišćen pešak visine 175 cm i mase 75 kg. Za potrebe eksperimenta korišćena je opcija u kojoj se sudar pešaka i vozila analizira uzimajući u obzir oblik putničkog automobila, a automobil je u trenutku sudara bio intenzivno kočten uspoređenjem koje odgovara kočnom koeficijentu minimalno ispravnog kočnog uređaja (0,5). Nakon sprovođenja eksperimenta usledila je obrada podataka i uporedna analiza daljine odbačaja u zavisnosti od sudarne brzine, kao i u zavisnosti od mase i tipa putničkog automobila.




3. REZULTATI

Tokom eksperimenta došlo je do problema tokom sprovođenja simulacija pri sudarnoj brzini od 80 km/h, što se može objasniti činjenicom da zavisnost odbačaja pešaka u postojećim obrascima opada sa porastom sudarne brzine, odnosno da se najpouzdaniji rezultati odbačaja pešaka dobijaju za brzine između 40 km/h i 60 km/h. Imajući to u vidu, ovo ograničenje je uzeto u obzir, tako da rezultati za sudarnu brzinu od 80 km/h neće biti predmet analize u ovom radu.

Kada je reč o rezultatima eksperimenta za brzinu automobila od 40 km/h, daljina odbačaja pri maksimalnoj masi je uvek bila veća od daljine odbačaja pri minimalnoj masi, ali je bilo slučajeva da za neki od posmatranih percentila mase, daljina odbačaja pešaka ima nižu vrednost od daljine odbačaja pri manjoj masi (Tabela 2).

Slično je i sa rezultatima za sudarnu brzinu od 60 km/h, pri čemu je za VW Golf eksperimentom dobijena manja daljina odbačaja pešaka pri maksimalnoj nego pri minimalnoj masi (Tabela 2).

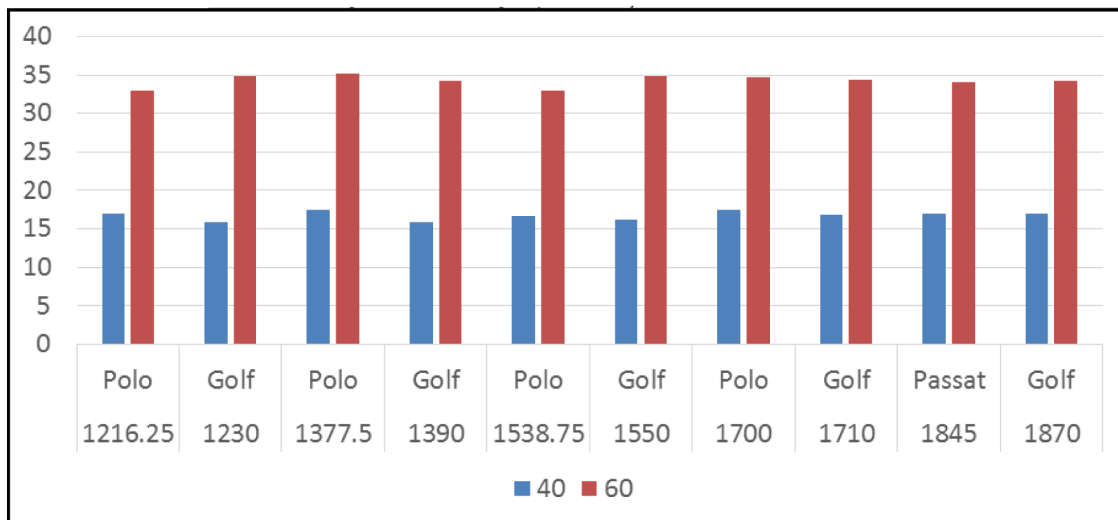
Tabela 2. Daljine odbačaja pešaka dobijene eksperimentom

Tip automobila	Masa (kg)	Daljina odbačaja (m)	
		$V_s = 40 \text{ km/h}$	$V_s = 60 \text{ km/h}$
	980	16,7	32
	1216	16,9	32,9
	1378	17,4	35,1
	1539	16,7	33
	1700	17,5	34,7
	1230	15,8	34,8
	1390	15,5	34,2
	1550	16,3	34,8
	1710	16,8	34,3
	1870	16,4	33,1
	1420	16,5	31,9
	1633	16,5	33,1
	1845	17	34
	2058	17,7	32,5
	2270	17,1	33,6
SREDNJA VREDNOST		16,7	33,6
STANDARDNO ODSUPANJE		0,6	1

Uzimajući u obzir da je programom predviđen minimalan koeficijent prijanjanja pešaka po suvoj podlozi od 0,6, kao i da je predviđen koeficijent prijanjanja kolovoza bio 0,5, dobijene vrednosti daljina odbačaja su veće od uobičajenih. Naime, daljine odbačaja za brzinu od 40 km/h koje su dobijene eksperimentom, odgovaraju brzini od 50 km/h prema obrascima iz literature, dok su daljine odbačaja za brzinu od 60 km/h iz eksperimenta, približne brzini od 70 km/h, a što je posledica korišćenja prethodno navedenih koeficijenata prijanjanja. Ipak, ove razlike nisu od značaja za utvrđivanje uticaja mase na daljinu odbačaja pešaka.

Uporedna analiza rezultata dobijenih eksperimentom pokazuje da su razlike u daljinama odbačaja neznatne, kao i da su sve uočene razlike u granicama tolerancije. Naime, pri brzini od 40 km/h za VW Polo razlika između minimalne i maksimalne mase od 720 kg, dovela je do razlike u daljini odbačaja od 0,8 m. Pri istoj brzini od 40 km/h, za VW Golf i VW Passat uočena je razlika u daljini odbačaja od 0,6 m, iako je razlika između minimalne i maksimalne mase kod VW Golf bila 640 kg, a kod VW Passat 850 kg. Kada se u obzir uzmu sve daljine odbačaja, utvrđivane za različite mase, pri brzini od 40 km/h dobijena je srednja vrednost daljine odbačaja od 16,7 m, sa standardnim odstupanjem od 0,6 m, dok je pri brzini od 60 km/h prosečna daljina odbačaja bila 33,6 m, a standardno odstupanje 1 m. Analizom grafikona prikazanog na Slici 2, jasno se uočava da za različite mase vozila nema značajnog odstupanja u daljini odbačaja pešaka.

Sledeći korak u eksperimentu bilo je utvrđivanje da li oblik, odnosno veličina automobila koja imaju približnu masu značajno utiče na daljinu odbačaja pešaka. U tu svrhu formirana su četiri para automobila VW Polo - VW Golf i jedan par VW Golf – VW Passat sličnih masa, nakon čega su poređene daljine odbačaja (Slika 2).



Slika 2. Dijagram daljina odbačaja za parove automobila približnih masa

Analiza rezultata ovog eksperimenta je pokazala da ni oblik, odnosno veličina vozila koja imaju istu masu, nemaju značajnog uticaja na daljinu odbačaja pešaka, a što se jasno uočava sa grafikona prikazanog na Slici 2.

Objašnjenje prethodno opisanih rezultata eksperimenta je jednostavno. Naime, energija automobila neposredno pre sudara sa pešakom se ne troši u potpunosti na odbačaj pešaka, već je približno jednaka zbiru energija pešaka i automobila posle sudara:

$$\frac{m_a \cdot V_s^2}{2} = \frac{m_p \cdot V_n^2}{2} + \frac{m_a \cdot V_n^2}{2} \quad (1)$$

$$m_a \cdot V_s^2 = (m_p + m_a) \cdot V_n^2 \quad (2)$$




Koliki deo energije automobil preda pešaku, odnosno koliki deo energije automobila se utroši za odbačaj pešaka može se približno izračunati iz prethodno navedenih obrazaca (1) i (2), preko brzine automobila neposredno nakon sudara sa pešakom tj. izlazne brzine automobila iz sudara:

$$V_n = V_s \cdot \sqrt{\frac{m_a}{m_a + m_p}} \quad (3)$$

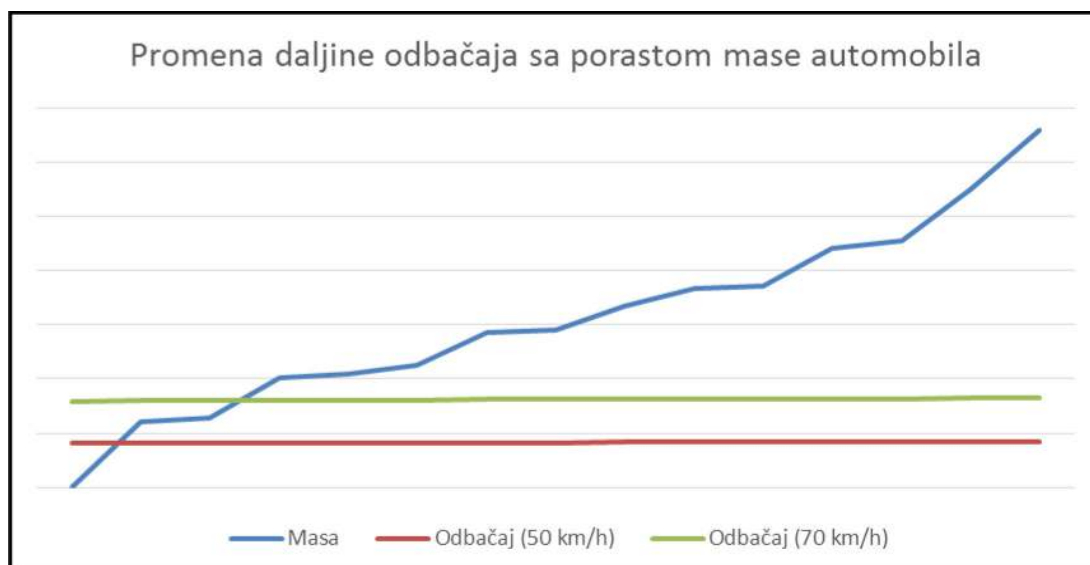
Dakle, ako automobili različite mase ostvare sudar sa pešakom pri istoj sudarnoj brzini (V_s), izlazna brzina automobila iz sudara (V_n), koja zapravo predstavlja brzinu kojom pešak biva odbačen, razlikovaće se (odnosno biće manja od sudarne brzine) za svega nekoliko procenata. S obzirom na to, i daljine odbačaja pešaka se neće značajno razlikovati kada se masa automobila značajno uveća ili smanji. Imajući prethodno u vidu, sproveden je proračun daljina odbačaja pešaka za brzinu od 50 km/h i brzinu od 70 km/h, uzimajući u obzir masu pešaka od 75 kg i mase putničkih automobila VW Polo, VW Golf i VW Passat, korišćenih u prethodno opisanom eksperimentu primenom programa PC Crash, pri čemu je korišćena poznata zavisnost daljine odbačaja pešaka i brzine automobila:

$$S_{od} = \frac{V_n^2}{144} \quad (4)$$

Tabela 3. Daljine odbačaja pešaka dobijene proračunom

Tip automobila	Masa (kg)	$V_s = 50 \text{ km/h}$		$V_s = 70 \text{ km/h}$	
		V_n (km/h)	S_{od} (m)	V_n (km/h)	S_{od} (m)
	980	48,2	16,1	67,5	31,6
	1216	48,5	16,4	67,9	32,1
	1378	48,7	16,5	68,2	32,3
	1539	48,8	16,6	68,4	32,4
	1700	48,9	16,6	68,5	32,6
	1230	48,5	16,4	68,0	32,1
	1390	48,7	16,5	68,2	32,3
	1550	48,8	16,6	68,4	32,5
	1710	48,9	16,6	68,5	32,6
	1870	49,0	16,7	68,6	32,7
	1420	48,7	16,5	68,2	32,3
	1633	48,9	16,6	68,4	32,5
	1845	49,0	16,7	68,6	32,7
	2058	49,1	16,8	68,8	32,8
	2270	49,2	16,8	68,9	32,9
SREDNJA VREDNOST			16,5		32,4
STANDARDNO ODSTUPANJE			0,2		0,3

Slično rezultatima koji su dobijeni eksperimentom, uporedna analiza rezultata dobijenih proračunom pokazuje da su razlike u daljinama odbačaja neznatne, kao i da su sve uočene razlike u granicama tolerancije. Naime, pri brzini od 50 km/h za VW Polo uvećanje mase od 720 kg, dovelo je do povećanja daljine odbačaja od 0,5 m. Pri istoj brzini, uvećanje mase za VW Golf od 640 kg odrazilo se na povećanje daljine odbačaja pešaka za 0,3 m. Kod VW Passat povećanje daljine odbačaja je iznosilo 0,3 m, iako je masa uvećana za 850 kg. Kada se u obzir uzmu sve daljine odbačaja, utvrđivane za različite mase, pri brzini od 50 km/h dobijena je srednja vrednost daljine odbačaja od 16,5 m, sa standardnim odstupanjem od 0,2 m.



Slika 3. Prikaz promene daljine odbačaja usled povećanja mase automobila

Kada se posmatra sudarna brzina od 70 km/h, uvećanje mase kod VW Polo za 720 kg uslovalo je povećanje daljine odbačaja za 1 m, veća masa automobila VW Golf za 640 kg uticala je na povećanje daljine odbačaja za 0,7 m, dok je za automobil VW Passat za 850 kg veća masa

dovela je do veće daljine odbačaja za 0,6 m. Uzimajući u obzir sve daljine odbačaja, utvrđene za različite mase, pri brzini od 70 km/h, dobijena je srednja vrednost daljine odbačaja od 32,4 m, sa standardnim odstupanjem od 0,3 m.

Posmatrano u procentima, povećanje mase automobila VW Polo za 74% dovelo je do povećanja daljine odbačaja pešaka za 3%, kod automobila VW Golf povećana masa za 52% je uvećala daljinu odbačaja za 2%, dok je za VW Passat masa veća za 60% uslovlila dalji odbačaj pešaka za svega 1,9%.

4. DISKUSIJA I ZAKLJUČAK

Analiza rezultata dobijenih kako eksperimentom, tako i proračunom na osnovu izgubljene brzine automobila u sudaru sa pešakom, pokazuje da povećanje mase vozila nema značajnog uticaja na povećanje daljine odbačaja pešaka. Drugim rečima opisano povećanje mase koje je u granicama minimalne i maksimalne mase za konkretan putnički automobil neće se značajno odraziti na povećanje daljine odbačaja pešaka, odnosno moguća je primena postojećih zavisnosti sudarne brzine automobila i daljine odbačaja pešaka bez korekcije jer se dobijene vrednosti nalaze u granicama tolerancije. Razlog za to je što se kinetička energija automobila u sudaru sa pešakom samo manjim delom prenosi na pešaka (ostatak zadržava automobil i najčešće troši na zaustavljanje), odnosno može se smatrati da automobil samo predaje pešaku brzinu koju ima u trenutku odbačaja.

Kada se prethodno ima u vidu, jednostavno je pružiti odgovore na pitanja postavljena u uvodu:

- **Masa vozila pri sudaru nema bitnog uticaja na daljinu odbačaja pešaka.**
- **Pri dvostruko većoj masi vozila odbačaj pešaka neće biti značajno veći.**
- **Pri sudaru putničkih vozila iste mase, a različitog tipa (malo, srednje, veliko), odbačaj pešaka neće značajno varirati (podrazumeva se sličan oblik čeonog dela vozila).**

5. LITERATURA

- [1] Agencija za bezbednost saobraćaja (2014). Statistički izveštaj o stanju bezbednosti saobraćaja u Republici Srbiji u 2013. Godini, Beograd.
- [2] Wood, D. P, Simms, C. K, Walsh, D. G.(2004). „Vehicle–pedestrian collisions: validated models for pedestrian impact and projection, Centre for Bioengineering, Department of Mechanical Engineering, Trinity College, Dublin.
- [3] Гаица, В. (2013). „Анализа специфичности саобраћајних незгода типа возило-пешак“, Мастер рад, Саобраћајни факултет Београд,
- [4] Happer, A, Araszewski, M, Toor, A, Overgaard, R, Johal, R.(2000). „Comprehensive Analysis Method for Vehicle/Pedestrian Collisions“, SAE 2000 World Congress, Detroit, Michigan.
- [5] Kramer, M. (1974). "Ein einfaches Modell zur Simulation des Fahrzeug-Fussgänger-Unfalls", ATZ Automobiltechnische Zeitschrift 76.
- [6] Stcherbatcheff, G (1975) "Simulations of Collisions between Pedestrian and Vehicles using Adult and Child Dummies", SAE 751167.
- [7] [20] Searle, J.A, Searle, A (1983). "The trajectories of pedestrians, motorcycles, motorcyclists, etc., following a road accident", SAE 831622.
- [8] Смаиловић, Е, Цвијан, М. (2013). „Упоредна анализа традиционалних и савремених начина анализе СН са пешацима“, XII Simpozijum Veštačenje saobraćajnih nezgoda i prevare u osiguranju, Divčibare.
- [9] Eubanks, J. J, Haigh, W. R. (1992). "Pedestrian Involved Traffic Collision Reconstruction Methodology, Technical Paper SAE 921591.
- [10] Vujanić, M., Antić, B. (2014). „Specifičnosti analize saobraćajnih nezgoda vozilo - pešak, XIII Simpozijum "Veštačenje saobraćajnih nezgoda i prevare u osiguranju", ISBN 978-86-7395-329-8, Zbornik radova str. 81-100, Divčibare.

