

UPOREDNA ANALIZA SAOBRAĆAJNIH NEZGODA SA PEŠACIMA PRIMENOM TRADICIONALNIH METODA I RAČUNARSKIH PROGRAMA

Dalibor Pešić¹; Emir Smailović²; Tomislav Petrović³; Miloš Milosavljević⁴; Duško Pešić⁵

XV Simpozijum
"Veštačenje saobraćajnih nezgoda
i prevare u osiguranju"

Rezime: Razvojem informacionih tehnologija u domenu veštačenja saobraćajnih nezgoda stvoreni su uslovi da danas veštak posredstvom određenih programa proveri i/ili analizira saobraćajnu nezgodu u dvodimenzionalnoj i trodimenzionalnoj formi, pre bilo kakvog donošenja mišljenja o njoj. Upporedna analiza daljine odbačaja pešaka primenom tradicionalnih metoda sa kompjuterskom analizom smanjuje mogućnost nastanka greške koju veštak može da učini tokom izrade ekspertiza i svede mogućnosti donošenja pogrešnih odluka i zaključaka na minimum. Najznačajniji softverski alati za analizu saobraćajnih nezgoda sa pešacima koji se koriste kod nas i u Evropi su programi PC Crash i Virtual Crash. U radu je izvršena uporedna analiza daljine odbačaja pešaka primenom metoda eksperimentalnih istraživanja, metoda savremenih istraživanja, Collinsove metode i primenom softverskih alata PC Crash i Virtual Crash. U zavisnosti od karakteristika pešaka i brzine vozila, svaka metoda ima određena ograničenja i definisane uslove u kojima se može primeniti, pri čemu su u radu izvršene uporedne analize daljine odbačaja pešaka za uslove koji omogućavaju primenu svih navedenih metoda. Na osnovu primene statističkih metoda izvršena je korelacija rezultata istraživanja navedenih metoda.

KLJUČNE REČI: DALJINA ODBAČAJA PEŠAKA, METOD ANALIZE SAOBRAĆAJNE NEZGODE, PC CRASH, VIRTUAL CRASH, UPOREDNA ANALIZA, PEARSONS KOEFICIJENT

- 1 Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet Beograd, d.pesic@sf.bg.ac.rs
- 2 Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet Beograd, smailovicemir@gmail.com
- 3 Agencija za bezbednost saobraćaja Republike Srbije, tomlslav.petrovic@abs.gov.rs
- 4 Beograd, milos89milosavljevic@gmail.com
- 5 Agencija za bezbednost saobraćaja Republike Srbije, dusko.pesic@abs.gov.rs

1. UVOD

Prema podacima WHO, skoro polovina nastradalih širom sveta u saobraćaju predstavljaju ranjive učesnike (WHO, 2013). Najveći broj smrtnog stradanja u saobraćaju čine putnici unutar vozila u razvijenim zemalja oko 65%, dok je kod nerazvijenih zemalja to suprotno i oko 70% svih smrtno stradalih u saobraćajnim nezgodama čine upravo pešaci i biciklisti. Dok se u razvijenim zemljama u poslednjih nekoliko godina uočava trend smanjenja broja saobraćajnih nezgoda, u nerazvijenim zemljama ili zemljama u razvoju broj saobraćajnih nezgoda ima trend stagniranja ili porasta (WHO, 2009).

Povećan broj saobraćajnih nezgoda sa učešćem pešaka kod nerazvijenih zemalja i zemalja u razvoju postaje sve istaknutiji problem bezbednosti saobraćaja ove kategorije učesnika u saobraćaju, imajući u vidu da pešaci predstavljaju jednu od najugroženijih kategorija učesnika u saobraćaju u odnosu na ostale učesnike. Razlog tome može se tražiti u povećavanju brzine kretanja vozila, što u direktnoj meri povećava verovatnoću smrtnosti pešaka u trenutku sudara sa vozilom, dok sa druge strane nedovoljna razvijenost i pristupačnost određenih elemenata pasivne bezbednosti vozila, prilikom sudara, dovode do nezaštićenosti ove kategorije učesnika u saobraćaju (Petrović et al, 2015).

Prema statističkim podacima pešaci predstavljaju oko četvrtinu svi poginulih i oko šestinu svih povređenih učesnika u saobraćaju, a ukoliko se u obzir uzme prostorna raspodela čak tri puta više pešaka strada na putevima u naselju u odnosu na puteve van naselja (ABS, 2014). Imajući u vidu pomenute statističke pokazatelje jasno se može zaključiti da sudar vozila i pešaka predstavlja jedan od čestih tipova saobraćajnih nezgoda, što sa druge strane zahteva detaljnu analizu i utvrđivanje okolnosti pod kojima su se dogodile ove saobraćajne nezgode.

Na osnovu analize dosadašnjih saobraćajno tehničkih veštačenja Saobraćajnog fakulteta u Beogradu, uzrok stvaranja opasne situacije i nastanak saobraćajne nezgode je najčešće zbog nediscipline pešaka, dok je veoma mali uzrok na strani vozača. Nezgode sa pešacima se najčešće događaju prilikom prelaska kolovoza od strane pešaka van obeleženog pešačkog prelaza, pri nepravilnom i neopreznom kretanju po kolovozu duž puta, prilikom nepoštovanja svetlosnih signala na semaforu, kao i drugih okolnosti.

Literatura iz oblasti optimizacije oblika karoserije vozila pokazuje da različiti parametri oblika karoserije, kao što su oblik ivice poklopca motornog prostora i prednjeg dela branika, utiču na udarac pešaka pri sudaru na takav način da promena samo jednog parametra utiče na promenu celokupne kinematike pešaka, a naročito na reakciju glave pri udaru (Milutinović et al, 2015). Pored pravilne procene parametara sudara, kao što su sudarne brzine vozila i pešaka, detaljno modelovanje geometrije vozila i antropometrije pešaka ima veliki uticaj na odziv modela. Simulacije pokazuju da geometrija automobila u velikoj meri određuje daljinu odbačaja pešaka i gde će na vozilu doći do udara pojedinih delova tela pešaka.

U složenijim matematičko-mehaničkim modelima kao ulazni parametar koji utiče na odbačaj pešaka prilikom sudara sa vozilom, uzima se u obzir ugao lansiranja pešaka koji se uglavnom procenjuje, a koji zavisi od oblika karoserije vozila (Brach et al, 2005).

Da je brzina u direktnoj vezi sa posledicama nastalim u saobraćajnoj nezgodi pokazuje istraživanje NHTSA, gde su saobraćajne nezgode u kojima je bar jedan vozač prekoračio ograničenje brzine, ili je vozio prebrzo za postojeće uslove, koštale 40,4 milijardi dolara 2000. godine, što predstavlja 20% ukupnih ekonomskih troškova za saobraćajne nezgode u SAD-u. Prema proceni istog istraživanja, oko 32% saobraćajnih nezgoda sa poginulim licima se dogodi usled prekoračenja brzine.

U nastavku izveštaja NHTSA se navodi da je broj poginulih usled veće brzine od 16.947 koliko je iznosio 1986. godine opao na 12.592 u 1993. godini, nakon čega se održavao relativno konstantan trend do 2000. godine. Međutim, od 2000. godine broj poginulih usled prekoračenja

ograničenja brzine se povećava svake godine.

(Rosen i Sander et al. 2009) istraživali su zavisnost smrtnog stradanja pešaka i brzine kretanja vozila u trenutku sudara pri punom čeonom sudaru. U zaključku navode da je rizik smrtnog stradanja pešaka dva puta veći pri brzini vozila od 50 km/h, u odnosu na brzinu vozila od 40 km/h, kao i da je četiri puta veći u odnosu na brzinu vozila od 30 km/h. U nastavku autori navode da je verovatnoća smrtnog stradanja pešaka 50%, ukoliko dođe do saobraćajne nezgode pri brzini vozila od 50 km/h do 80 km/h.

Na osnovu navedenih iskustava analize uticaja brzine na bezbednost pešaka, može se zaključiti da bezbednost pešaka u velikoj meri zavisi od ostalih učenika u saobraćaju. Prema tome, osnovna ideja zaštite pešaka u saobraćaju sadržana je u potrebi razdvajanja tokova kretanja pešaka i motorizovanog saobraćaja, uz posebne uslove saobraćaja na mestima ukrštanja motorizovanog saobraćaja i pešaka.

Od pojave prvog programa namenjenog za kompjutersku analizu sudara vozila prošlo je više od trideset godina. Sredinom devedesetih godina u Evropi se pojavljuje program CART, PC Crash, Virtual Crash i Analyzer Pro, koji predstavljaju najčešće primenjene programe za kompjutersku analizu saobraćajnih nezgoda u praksi. Svaki od pomenutih programa, pre bilo kakve komercijalne upotrebe morao je proći kroz složen postupak verifikacije u vidu uporednog prikaza dobijenih izlaznih rezultata iz programa sa rezultatima eksperimenata sprovedenih na poligonima. Korišćenje programa za analizu saobraćajnih nezgoda omogućava istraživanje uticaja pojedinih parametara na tok saobraćajne nezgode i predstavlja veoma efikasno sredstvo za razjašnjenje okolnosti vezanih za njen nastanak. Najveći broj ovih programa u sebi sadrži mogućnost za pregled sprovedene analize saobraćajne nezgode u dvodimenzionalnoj i trodimenzionalnoj formi, pa na taj način ovakav vid prezentacije olakšava da subjekti koji su uključeni u sudski proces, mogu lakše razumeti sam tok saobraćajne nezgode, odnosno prevodi saobraćajnu nezgodu na razumljiv jezik za sve prisutne u sudnici, imajući u vidu da veliki broj prisutnih nije iz istih oblasti stručan.

S obzirom na stepen ugroženosti pešaka, u stručnoj javnosti se nameće potreba kvalitetne i pouzdane analize saobraćajnih nezgoda u kojima su učestvovali pešaci. Preduslov za kvalitetnu zaštitu pešaka u saobraćaju predstavlja potreba detaljnog i efikasnog prikupljanja podatka o saobraćajnim nezgodama sa učešćem pešaka. U tom cilju, posebno značajnim se ističe prikupljanje svih elemenata saobraćajnih nezgoda sa učešćem pešaka.

Na osnovu navedenog, izvršeno je istraživanje uporedne analiza daljine odbačaja pešaka, koristeći različite klasične metode koje se koriste kod nas u praksi i softverski paket PC Crash i Virtual Crash. Cilj istraživanja je da se prikaže analiza i eventualno utvrditi postojanje razlika u daljini odbačaja pešaka, korišćenjem softverskog alata PC Crash i Virtual Crash, odnosno različitih metoda proračuna daljine odbačaja pešaka. U zavisnosti od karakteristika pešaka i brzine vozila, svaka metoda ima određena ograničenja i definisane uslove primene, pri čemu su u radu izvršene uporedne analize za uslove koji omogućavaju primenu svih navedenih metoda. Na osnovu primene statističkih metoda izvršena je korelacija rezultata istraživanja navedenih metoda.

2. PREDMET I METOD ISTRAŽIVANJA

Predmet ovog istraživanja predstavlja uporednu analizu vrednosti daljine odbačaja pešaka korišćenjem tradicionalnih metoda (na osnovu eksperimentalnih i savremenih istraživanja) i primenom savremenih softverskih alata, a u zavisnosti od brzine kretanja vozila u trenutku sudara. Istraživane su i razlike vrednosti daljine odbačaja pešaka tradicionalnih metoda.

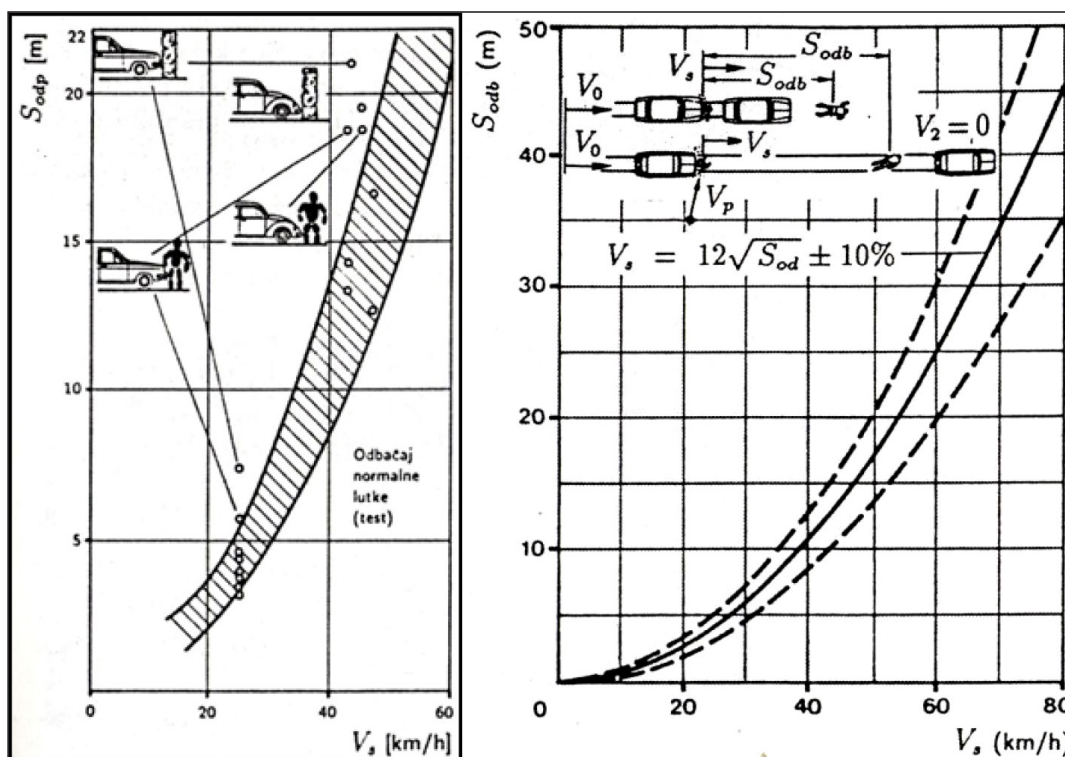
U našoj zemlji, od tradicionalnih metoda analize saobraćajnih nezgoda sa pešacima, u saobraćajno-tehničkom veštačenju se izdvajaju:

- eksperimentalno utvrđena zavisnost daljine odbačaja pešaka i sudarne brzine vozila;
- metoda daljine odbačaja pešaka zasnovana na savremenim istraživanjima;

- metoda "Collins", zasnovana na zavisnosti daljine odbačaja pešaka od brzine vozila i visine pešaka.

Jedan od ključnih elemenata za određivanje mesta sudara u najvećem broju saobraćajno tehničkih veštačenja je daljina odbačaja pešaka. U slučaju kada vozilo koči, gde na kolovozu su vidljivi tragovi kočenja (vozilo forsirano kočeno) i pešaka mogu se odrediti brzina vozila u svakom trenutku, ali za određivanje samog mesta sudara vozila i pešaka vrlo važnu ulogu igra daljina odbačaja pešaka. Mesto sudara, brzina vozila u trenutku sudara, put zaustavljanja vozila posle sudara (zaustavni položaj) i daljina odbačaja pešaka moraju da čine jednu saglasnu i kompatibilnu celinu kako bi analiza sudara vozila i pešaka bila kvalitetna.

Na osnovu raznih eksperimentalnih ispitivanja odbačaja antropometrijske lutke, dobijena je zavisnost odbačaja pešaka lutke od sudarne brzine vozila na Institutu za motorna vozila Tehničkog univerziteta u Berlinu, pri čemu je u eksperimentu korišćena lutka visine 175 cm i težine 75 kg (Slika 1).



Slika 1. Zavisnost daljine odbačaja od sudarne brzine putničkog automobila utvrđena eksperimentalnom i analitičkom vezom (Dragač, 1994)

Najčešće korišćena zavisnost sudarne brzine vozila i daljine odbačaja pešaka predstavlja eksperimentalnu zavisnost u sledećem obliku:

$$S_{od} = \frac{V_s^2}{144} \quad (\pm 10\%)$$

gde je

S_{od} – udaljenost od mesta sudara do krajnjeg položaja pešaka (m),

V_s – brzina vozila u trenutku sudara (km/h).

Jedan deo autora ukazuje da se ova aproksimativna jednačina može koristiti samo u slučajevima kada je vozilo u momentu sudara potpuno kočilo, kao i da je pešak u trenutku sudara nije okrnut već potpuno zahvaćen čeonim delom vozila (Dragač, 2000). Drugi deo autora ukazuje da uslovi za primenu zavisnosti ove jednačine važi samo pod uslovima da automobil u momentu sudara bilo forsirano kočeno usporanjem većim od 3 m/s^2 , kao i da je pešak zahvaćen celom figurom (potpuni čeon sudar) (Vujanić, 2009).

Istraživanja saobraćajnih nezgoda pokazuju da se navedena jednačina može koristiti i kod realnih nezgoda, ali rezultati mogu kretati u granicama tolerancije od $\pm 10\%$. U ovim granicama jednačina daje upotrebljive rezultate nezavisno od oblika prednjeg dela karoserije automobila koje naleće na pešaka i nezavisno od težine, smera kretanja i brzine pešaka koji je učestvovao u sudaru sa automobilom. Međutim, treba naglasiti da se ova jednačina može koristiti u uslovima kad brzina automobila u trenutku sudara nije bila veća od 80-90 km/h. Kod većih brzina pri sudaru pešak biva odbačen na veću visinu od visine krova, pa vozilo na njega ne prenosi svoju brzinu, usled čega se automobil zaustavlja iza mesta na koje pada odbačen pešak, a daljina odbačaja je u ovim slučajevima manja od one koje bi se dobila primenom date jednačine za izračunavanje daljine odbačaja, takođe jednačina se koristi u slučaju kada je visina težišta pešaka viša od visine poklopca motornog prostora tako da pešak biva nabačen na čeonu deo automobila a potom odbačen (Dragač, 2000).

Daljina odbačaja pešaka analizirana je i na osnovu jednačine utvrđene eksperimentalnim putem na bazi savremenih istraživanja i važi samo u slučajevima kada je brzina u trenutku sudara veća od 10 km/h a manja od 90 km/h. Jednačina ima sledeći oblik:

$$S_{od} = 0,0052 \cdot V_s^2 + 0,0783 \cdot v_s \quad (\pm 10\%)$$

gde je

S_{od} – udaljenost od mesta sudara do krajnjeg položaja pešaka (m),

V_s – brzina vozila u trenutku sudara (km/h).

Treća tradicionalna metoda, koja je korišćenja u ovom istraživanju je Collinsova metoda zasnovana na brzini vozila u trenutku sudara i visini pešaka, glasi:

$$S_{od} = \frac{V_s \cdot \sqrt{h}}{7,97} + \frac{V_s^2}{254 \cdot \mu}$$

gde je:

S_{od} – daljina odbačaja tela pešaka;

h – visina pešaka (m);

μ – koeficijent adhezije na putu klizanja tela pešaka (konstantna vrednost iznosi 0,8);

V_s – brzina vozila u trenutku sudara sa pešakom (km/h).

Sudar vozila i pešaka koji je ovom prilikom analiziran može se posmatrati u tri faze. Prva faza predstavlja fazu kontakta vozila i pešaka, gde prvo dolazi do udara najisturenijih delova karoserije (branik ili prednja ivice karoserije) u donje ekstremitete (noge) pešaka, a zatim telo pešaka kontaktira poklopac motornog prostora, pri čemu se tokom samog udara pešaku predaje deo kinetičke energije od strane vozila. U ovom slučaju brzina pešaka približno je jednaka brzini koju u trenutku udara u pešaka ima vozilo. Po isteku faze kontakta započinje faza odbačaja pešaka, gde usled intenzivnog kočenja vozilo zaostaje, a telo pešaka se odvajava od poklopca motornog prostora i nastavlja kretanje kroz vazduh po zakonu kosog hica. Završetkom faze odbačaja tela pešaka počinje faza klizanja tela, nakon čega se telo pešaka zaustavlja u krajnji položaj.

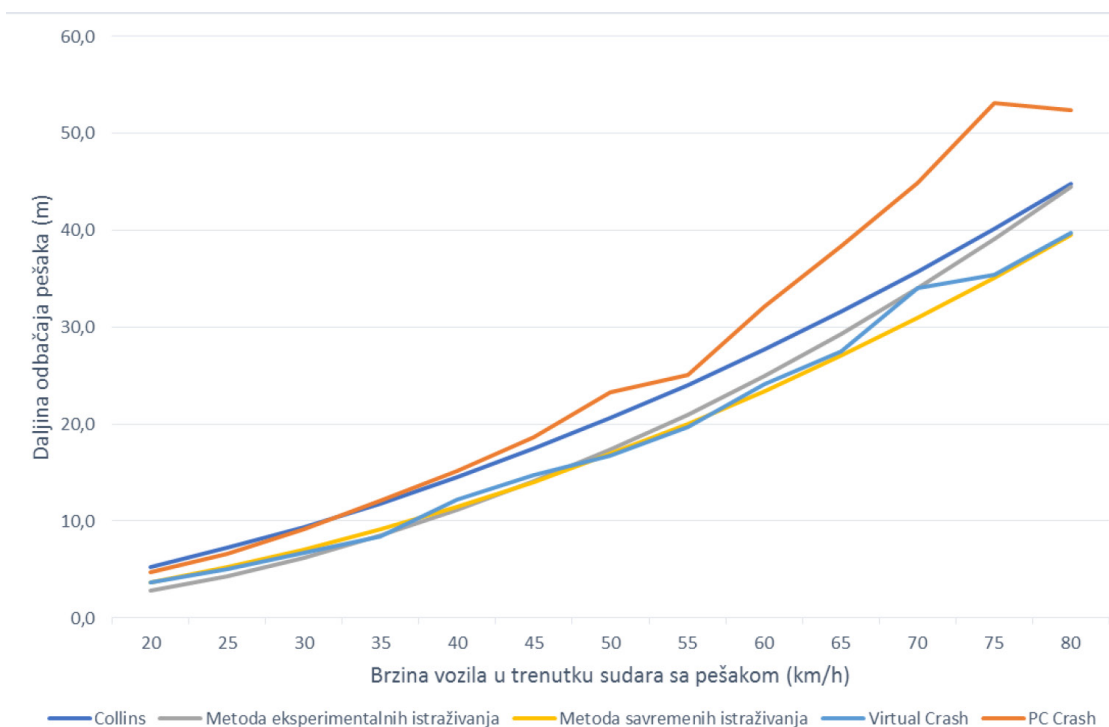
Za potrebe uporedne analize softverskih alata u ovom istraživanju, korišćen je program PC Crash verzija 9.0 i Virtual Crash 2.2, pri čemu su uslovi istraživanja slični onim u kojima se dobijene tradicionalne zavisnosti. Daljina odbačaja pešaka je analizirana po zakonu kosog hica sa vozilom pontonskog oblika karoserije. Pešak korišćen u istraživanju je visine 1,75 m i mase 75 kg. U istraživanju, korišćenjem programa, pešak je u trenutku sudara bio zaustavljen, bokom okrenut nailazećem vozilu. Brzine vozila pri kojima je testirana daljina odbačaja pešaka iznose od 20 od 80 km/h, u rasponima od po 5 km/h.

3. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

Rezultati daljine odbačaja pešaka tradicionalnim metodama i primenom programa Virtual Crash i PC Crash u zavisnosti od brzine vozila u trenutku sudra prikazane su u Tabeli 1. Takođe, u zavisnosti od metoda istraživanja, prikazane su i dopuštene tolerancije daljine odbačaja pešaka. Imajući u vidu karakteristike softverskog programa PC Crash i Virtual Crash, kao i Collinsove metode proračuna daljine odbačaja, prikazane su i vrednosti daljine odbačaja pešaka bez tolerancija.

Tabela 1. Daljina odbačaja pešaka tradicionalnim metodama i primenom programa

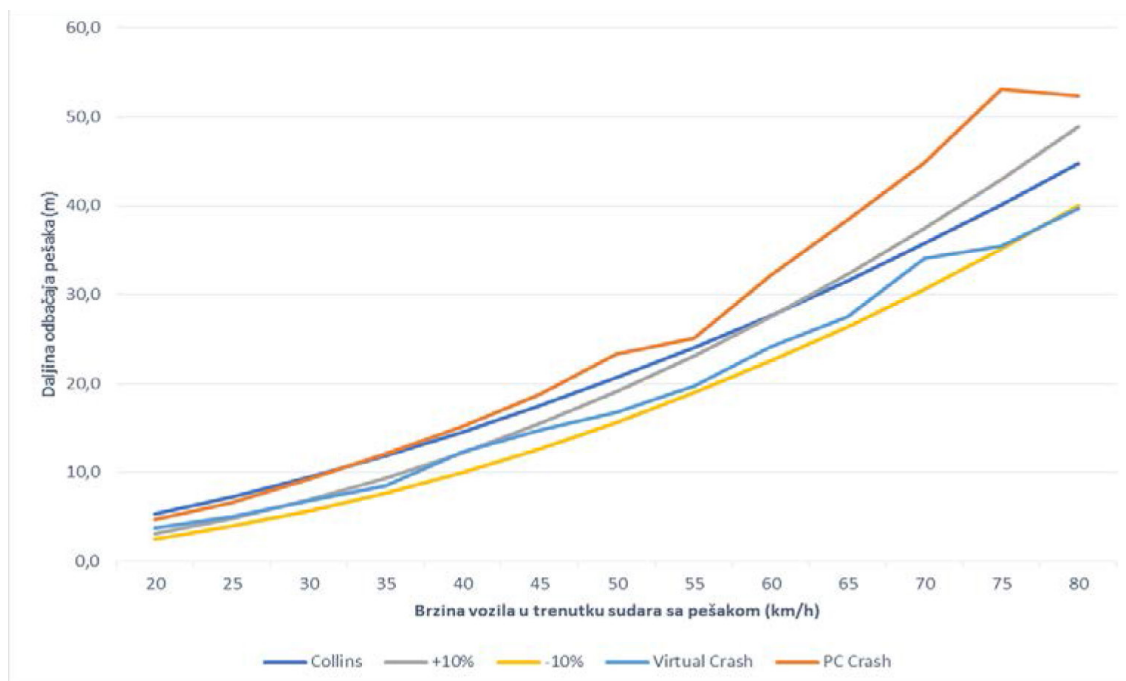
V _s (km/h)	Virtual Crash	Pc Crash	Metoda eksperimentalnih istraživanja	Tolerancija		Metoda savremenih istraživanja	Tolerancija		Collins h=1,75m
				+10%	-10%		+10%	-10%	
20	3,7	4,7	2,8	3,1	2,5	3,6	4,0	3,3	5,3
25	5,0	6,6	4,3	4,8	3,9	5,2	5,7	4,7	7,2
30	6,8	9,2	6,3	6,9	5,6	7,0	7,7	6,3	9,4
35	8,4	12,1	8,5	9,4	7,7	9,1	10,0	8,2	11,8
40	12,3	15,2	11,1	12,2	10,0	11,5	12,6	10,3	14,5
45	14,7	18,7	14,1	15,5	12,7	14,1	15,5	12,6	17,4
50	16,8	23,3	17,4	19,1	15,6	16,9	18,6	15,2	20,6
55	19,7	25,1	21,0	23,1	18,9	20,0	22,0	18,0	24,0
60	24,2	32,2	25,0	27,5	22,5	23,4	25,8	21,1	27,7
65	27,5	38,4	29,3	32,3	26,4	27,1	29,8	24,4	31,6
70	34,0	44,9	34,0	37,4	30,6	31,0	34,1	27,9	35,7
75	35,4	53,1	39,1	43,0	35,2	35,1	38,6	31,6	40,1
80	39,7	52,4	44,4	48,9	40,0	39,5	43,5	35,6	44,8



Slika 2. Daljina odbačaja pešaka tradicionalnih metoda i primenom programa

Na osnovu analize dobijenih rezultata istraživanja daljine odbačaja pešaka, može se zaključiti da se sve testirane metode daljine odbačaja pešaka ne razlikuju značajnije pri brzinama od 20

do 80 km/h. Primenom programa PC Crash daljina odbačaja pešaka, pri brzinama većim od 60 km/h je neznatno veća u odnosu na tradicionalne metode koje su korišćeni u ovom istraživanju. Do brzine oko 60 km/h, dobijene vrednosti primenom programa PC Crash su približnije vrednostima dobijenih na osnovu Collinsove metode, koja pored brzine sudarne uzima u obzir i visinu pešaka, dok su vrednosti dobijene primenom programa Virtual Crash neznatno manje u odnosu na Collinsovu metodu i program PC Crash. Posmatrano za program Virtual Crash, slično kao i kod programa PC Crash, manja odstupanja od tradicionalnih metoda su do brzina oko 60 km/h, dok pri brzinama većim od 60 km/h, odstupanja rezultata daljine odbačaja pešaka programom Virtual Crash i tradicionalnih metoda je veće.



Slika 3. Daljina odbačaja pešaka uz dozvoljene tolerancije eksperimentalnih metoda i primenom programa

Ako se posmatra statistička vrednost standardno odstupanje za analizirane metode, može se zaključiti da je vrednost standardnog odstupanja veće kod računarskih programa u odnosu na tradicionalne metode. Takvi rezultati se mogu objasniti brojem promenljivih koje se analiziraju u sudaru pešaka i vozila. Naime, tradicionalne metode proračun vrše na osnovu matematičke zavisnosti na osnovu malog broja promenljivih, dok računarske metode (PC Crash i Virtual Crash) za analizu daljine odbačaja pešaka korisne značajno veći broj promenljivih.

Poredeći standardna odstupanja između tradicionalnih metoda i programa može se zaključiti da je najmanje odstupanje između programa Virtual Crash i metode savremenih istraživanja. Najveće standardno odstupanje daljine odbačaja pešaka primenom programa Virtual Crash i tradicionalnih metoda se javlja sa Collinsovom metodom. Posmatrano za program PC Crash najmanje odstupanje se javlja sa Collinsovom metodom, dok se najveće standardno odstupanje javlja sa metodom savremenih istraživanja. Dobijeni rezultati se mogu objasniti dopuštenim tolerancijama tradicionalnih metoda i matematičkoj zavisnosti, što kod računarskih programa nije slučaj. Naime, računarski programi analiziraju značajno veći broj promenljivih kod odbačaja pešaka, pri čemu ne postoje dopuštene tolerancije, već se koristi ekzaktna vrednost.

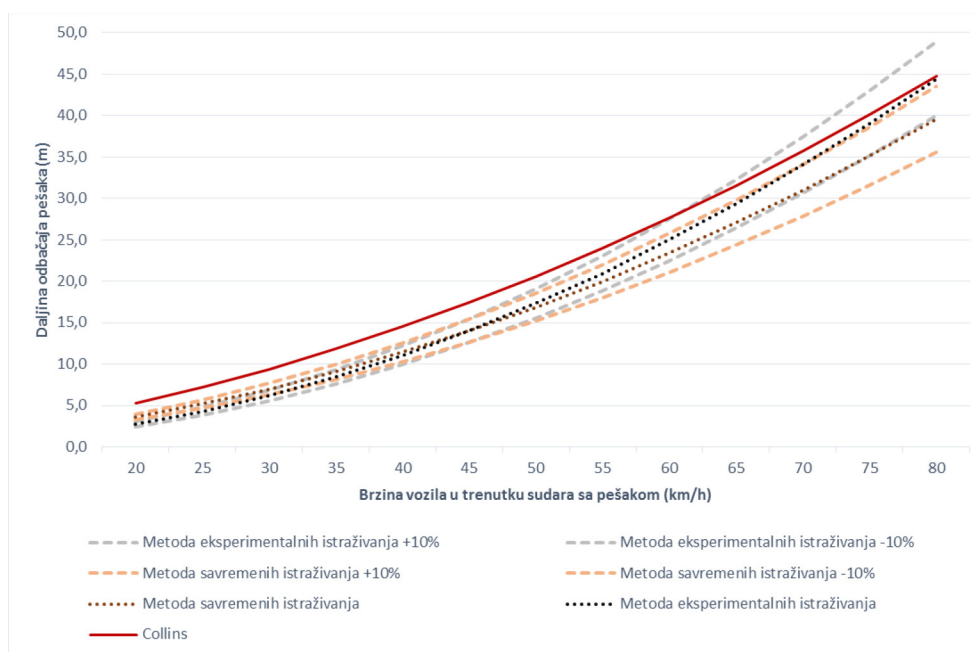
Primenom Pearsons koeficijenta, uporedna analiza daljine odbačaja pešaka zasnovanih na tradicionalnim metodama i računarskim programima pokazuju da postoji jaka pozitivna veza daljine odbačaja pešaka nezavisno od korišćenog metoda odnosno između svih analiziranih metoda. Naime, uporedna analiza daljine odbačaja pešaka, primenom Pearsons koeficijenta kod svih analiziranih metoda pokazuje da postoji jaka pozitivna veza (vidi Tabelu 2.).

Tabela 2. Vrednosti Pearsons koeficijenta i nivo značajnosti za testirane metode

	Pearsons/ nivo značajnosti	Virtual Crash	PC Crash	Metoda eksperimentalnih istraživanja	Metoda savremenih istraživanja	Collins
Virtual Crash	r	-	0,995	0,991	0,998	0,998
	p	-	0,01	0,01	0,01	0,01
PC Crash	r	0,995	-	0,995	0,995	0,995
	p	0,01	-	0,01	0,01	0,01
Metoda eksperimentalnih istraživanja	r	0,997	0,995	-	1,000	0,999
	p	0,01	0,01	-	0,01	0,01
Metoda savremenih istraživanja	r	0,998	0,995	1,000	-	1,000
	p	0,01	0,01	0,01	-	0,01
Collins	r	0,998	0,995	0,999	1,000	-
	p	0,01	0,01	0,01	0,01	-

Uporedna analiza vrednosti daljine odbačaja pešaka primenom metode savremenih istraživanja i metode eksperimentalnih istraživanja pokazuje da između dobijenih vrednosti istraživanja postoji preklapanje. Primenom metode eksperimentalnih istraživanja pri brzinama većim od 50 km/h, dobijaju se veće vrednosti metode eksperimentalnih istraživanja daljine odbačaja pešaka u odnosu na metodu savremenih istraživanja (Slika 4).

Takođe, pri brzini u trenutku sudara 70 km/h preklapanje se javlja i između gornje granice dozvoljene tolerancije metode savremenih istraživanja i vrednosti dobijenih na osnovu metode eksperimentalnih istraživanja, kao i pri brzini od 75 km/h između donje granice eksperimentalnih istraživanja i vrednosti dobijenih na osnovu metode savremenih istraživanja. Primenom Collinsove metode i gornje vrednosti dozvoljene tolerancije metode eksperimentalnih istraživanja, pri brzini od 60 km/h, dobijaju se veće vrednosti metode eksperimentalnih istraživanja.

**Slika 4.** Daljine odbačaja pešaka uz dozvoljene tolerancije tradicionalnih metoda

4. DISKUSIJA REZULTATA I ZAKLJUČAK

Uporednom analizom daljine odbačaja pešaka primenom različitih tradicionalnih metoda i računarskih programa za analizu saobraćajnih nezgoda može se zaključiti da postoji jaka pozitivna veza između svih analiziranih metoda. Istraživanje je pokazalo da se sve posmatrane metode u ovom radu mogu ravnopravno koristiti pri analizi saobraćajnih nezgoda sa pešacima. Razlike koje su evidentirane pri brzinama većim od 60 km/h kod računarskih programa i tradicionalnih metoda mogu se objasniti samom strukturom metode. Naime, tradicionalne metode su zasnovane na matematičkoj zavisnosti, pri čemu se kod analize koristi mali broj promenljivih, dok se kod računarskih programa analizirana značajno veći broj promenljivih, zbog čega se pri većim brzinama primenom računarskih programa javljaju određene razlike. Rezultati istraživanja pokazuju da s obzirom na vrednosti Pearsons koeficijenta, douštene tolerancije tradicionalnih metoda, kao i ograničen uzorak istraživanja primenom računarskih programa, uočene razlike tradicionalnih i računarskih metoda, nisu statistički značajne.

Statistička analiza daljine odbačaja pešaka primenom programa Virtual Crash i programa PC Crash-a pokazuje da postoji jaka pozitivna veza daljine odbačaja pešaka ($r=0,995$; $p\leq 0,01$)

Na osnovu svih sprovedenih istraživanja, a posebno primenom statističkih testova jačine veze rezultata istraživanja, može se zaključiti da postoje jake pozitivne veze između svih testiranih metoda, a što ukazuje na kompatibilnost rezultata navedenih metoda. Naravno, značajno je istaći da svaka metoda ima specifična ograničenja, zbog čega je izuzetno značajno odabrati odgovarajuću metodu. Sprovedeno istraživanje pokazuje da se rezultati svih testiranih metoda mogu koristiti, pri čemu se mora voditi računa o ograničenjima metode.

Uporedna analiza metoda savremenih istraživanja i metoda eksperimentalnih istraživanja pokazuje da se metode, uz dopuštene tolerancije preklapaju. Pri brzinama većim od 60 km/h, najveće vrednosti daljine odbačaja pešaka dobijaju se primenom Collinsove metode, zatim sledi metoda eksperimentalnih istraživanja i nešto manje vrednosti daljine odbačaja se dobijaju primenom metoda savremenih istraživanja. Standardno odstupanje između računarskih programa i tradicionalnih metoda za analizu daljine odbačaja pešaka se povećava pri brzinama većim od 60 km/h. Najmanje standardno odstupanje između vrednosti daljine odbačaja pešaka dobijenih primenom programa i tradicionalnih metoda je između metode savremenih istraživanja i programa Virtual Cash, a za program PC Crash najmanje odstupanje dobijenih vrednosti se javlja sa Collinsovom metodom.

Imajući u vidu karakter i suštinu statističkih testova, uočene razlike daljine odbačaja pešaka primenom računarskih programa i tradicionalnih metoda ne bi trebalo odbaciti. Naime, sa statističkog stanovišta, greške do 1% su prihvatljive, dok se u saobraćajno-tehničkom veštačenju moraju analizirati i slučajevi za koje sa statističkog stanovišta postoji 1% verovatnoće da su mogući. Zbog toga je izuzetno značajno, pri analizi saobraćajnih nezgoda sa učešćem pešaka rezultate dobijene određenom metodom proveriti primenom i neke druge metode.

Istraživanje daljini odbačaja pešaka, koje su opisane u ovom radu, služe veštacima saobraćajne struke da u određenim slučajevima pri uočenim razlikama, budu posebno oprezni u izboru metoda. S obzirom na navedeno u istraživanju, veštaci saobraćajne struke bi svoju analizu daljine odbačaja pešaka trebalo da provere sa bar još jednom metodom odnosno da svoj zaključak u pogledu daljine odbačaja pešaka baziraju na rezultatima više metoda.

5. LITERATURA

- [1] Agencija za bezbednost saobraćaja (2015). Statistički izveštaj o stanju bezbednosti saobraćaja u Republici Srbiji u 2014. godini, Beograd
- [2] Antić, B., Pešić, D., Vujanić, M. (2015). „Uticaj mase i tipa vozila na daljinu odbačaja pešaka, eksperimentalna analiza primenom programa PC Crash“, XIV Simpozijum „Veštačenje saobraćajnih nezgoda i prevare u osiguranju“, Perućac
- [3] Brach, R. M., Brach, R. M. (2005): „Vehicle Accident and Reconstruction Methods“, SAE International
- [4] Datentechnik, S. Operating Manual PC Crash, Version 9.0, Linz, Austria, 2010.

- [5] Dragač, R. (2000). „Bezbednost saobraćaja III”, Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet, Beograd
- [6] <http://www.nhtsa.gov/> posećeno dana: 08.09.2014. godine
- [7] http://www.vcrash.com/download/manual/english_short1.pdf (posećeno 20.12.2015. godine)
- [8] M. Batista: A Simple Throw Model for Frontal Vehicle-Pedestrian Collisions Promet-Traffic&Transportation, Vol. 20, 2008, No.6, 357-368
- [9] Petrović T. Uporedna analiza simulacionih eksperimenata i savremenih postupaka za utvrđivanje sudarne brzine vozila i daljine odbočaja pešaka, sa posebnim osvrtom na uticaj oblika karoserije vozila, Završni rad, Saobraćajni fakultet, Banja Luka, 2014.
- [10] Rosen, E., Sander, U. (2009). Pedestrian fatality risk as a function of car impact speed. Accident Analysis and Prevention 41, 536-542
- [11] Sliogeris, J. (1992). 110-kilometre per hour speed limit: Evaluation of road safety effects, Melbourne
- [12] Smailović, E., Cvijan, M. (2013). „Uporedna analiza tradicionalnih i savremenih načina analize saobraćajne nezgode sa pešacima“, XII Simpozijum „Veštačenje saobraćajnih nezgoda i prevare u osiguranju“, Divčibare
- [13] Trifunović, M. Uporedna analiza postupaka za utvrđivanje sudarne brzine i odbočaja dece pešaka klasičnim metodima i primenom program PC Crash, Završni rad, Saobraćajni fakultet, Beograd, 2010.
- [14] Vujanić, M. (2000) „Priručnik za saobraćajno-tehničko veštačenje i procenu štete na vozilima“, Modul, Banja Luka
- [15] Vujanić, M., Antić, B. (2014). „Specifičnosti analize saobraćajnih nezgoda vozilo – pešak“, XIII Simpozijum „Veštačenje saobraćajnih nezgoda i prevare u osiguranju“, Divčibare
- [16] Vujanić, M., Milutinović N. (2012). „Primena savremenih softverskih alata za analizu saobraćajnih nezgoda“, XI Simpozijum sa međunarodnim učešćem: Analiza složenih saobraćajnih nezgoda i prevare u osiguranju, Zlatibor
- [17] Vukadinović, S., Popović, J. MATEMATIČKA STATISTIKA, Saobraćajni fakultet, Beograd, 2004.
- [18] WHO (2009). Global status report on road safety, Geneva, Switzerland, 2009.
- [19] Woolley J. (2005). Recent Advantages of Lower Speed Limits in Australia, Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol. 6, pp. 3562-3573, 2005.