

PRIMENA RAČUNARSKIH PROGRAMA U EKSPERTIZAMA NALETA VOZILA NA PEŠAKE – UPOREDNA ANALIZA

THE APPLIANCE OF THE COMPUTER PROGRAMS IN THE EXPERTISE CONCERNING VEHICLE RUNNING INTO PEDESTRIANS- COMPARATIVE ANALYSIS

Zoran Papić¹, dipl. inž; Vuk Bogdanović², dipl. inž;
Svetozar Kostić³, dipl. inž; Nenad Ruškić⁴, dipl. inž.

Rezime: U okviru rada je izvršena uporedna analiza postojećih i najčešće primenjivanih analitičkih metoda u ekspertizama saobraćajnih nezgoda tipa nalet vozila na pešaka i računarskih metoda baziranih na trodimenzionalnim modelima pešaka u okviru programskih paketa PC Crash i Virtual Crash. Analiza je izvršena na primeru realne saobraćajne nezgode, u kojoj je došlo do potpunog čeonog naleta putničkog automobila na pešaka. Vrednovanje primenjenih metoda u postupku ekspertize izvršeno je poređenjem dobijenih naletnih brzina, zaustavne pozicije pešaka, kinematike naleta, oštećenja na vozilu i zadobijenih povreda pešaka, kao i kroz kvantitativnu analizu parametara neophodnih za primenu pojedinih metoda. Na osnovu sprovedene analize ukazano je na prednosti i nedostatke metoda primenjenih u postupku ekspertize.

Abstract: In this paper, the comparative analysis of existing and most frequently used analytical methods for reconstruction of pedestrian impact accidents and computer methods based on 3 D pedestrian models in the frame of programs PC Crash and Virtual Crash, have been done. Analysis has been performed on the example of real traffic accident – frontal pedestrian impact. Valuation of methods applied in the accident reconstruction procedure was done by comparison of the vehicle impact speeds, the pedestrian rest position, impact kinematics, vehicle deformations, the pedestrian injuries and a quantitative analysis of parameters necessary for the use of the method. On the basis of analyses performed, advantages and disadvantages of methods used in accident reconstruction procedure, have been emphasized.

¹ Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu, Departman za saobraćaj, z.papic@sezampro.rs

² Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu, Departman za saobraćaj, sm.iva@neobee.net

³ Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu, Departman za saobraćaj, s_kostic@ptt.rs

⁴ Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu, Departman za saobraćaj, nruskic@yahoo.com

1. UVOD

Kod saobraćajnih nezgoda sa učešćem pešaka, sa jedne strane, učesnik je vozilo, koje poseduje kinetičku energiju uslovljenu sopstvenom masom i brzinom kretanja, dok je sa druge strane pešak, kod koga je najčešće jedina zaštita u kontaktu sa vozilom odeća. Prilikom naleta, na pešaka deluju udarne sile velikog intenziteta, impulsnog karaktera, koje uslovljavaju i njegovo kretanje tokom postudarne faze. Iz tog razloga, ovaj tip saobraćajnih nezgoda je u najvećem broju slučajeva okarakterisan teškim posledicama, odnosno visokim stepenom "žestine".

Osnovni cilj ekspertiza saobraćajnih nezgoda je utvrđivanje okolnosti u kojima je došlo do nezgode u cilju utvrđivanja odgovornosti učesnika za njihov nastanak. Pored tradicionalnih metoda u postupku ekspertiza, a u skladu sa permanentnim razvojem nauke i računarske tehnologije, u sve većoj meri su u primeni savremene metode, zasnovane na korišćenju specijalizovanih računarskih programa.

Kinematika naleta vozila na pešaka zavisi od brojnih parametara kao što su oblik vozila, visina pešaka, naletna brzina vozila, režim kretanja vozila, pravac i smer kretanja pešaka, brzina pešaka, položaj pešaka u trenutku kontakta itd. Računske metode za utvrđivanje naletne brzine vozila i mesta naleta na pešaka mnoge od ovih parametara uopšte ne tretiraju, tako da bi se mogao izvesti pogrešan zaključak da daljina odbačaja pešaka zavisi samo od naletne brzine. Sa druge strane, računarski programi namenjeni ekspertizama saobraćajnih nezgoda omogućavaju vizuelno sagledavanje kretanja pešaka od trenutka primarnog kontakta sa vozilom, sve do njegovog zaustavljanja. Na taj način, utvrđeno mesto naleta i naletna brzina, mogu biti potvrđeni uporednom analizom oštećenja na vozilu i povreda pešaka sa kinematikom naleta dobijenom simulacijom.

Za razliku od Crash testova tipa sudar dva vozila, koji se uz pažljivo planiranje i adekvatnu zaštitu vozača koji njima upravljaju mogu bez većih problema sprovedi na ispitnim poligonima, eksperimentalno ispitivanje naleta vozila na pešaka je veoma kompleksno i skupo i zahteva primenu posebno dizajniranih lutaka (HYBRID III, POLAR II,...). I pored toga, primenom ovih lutaka ne može se simulirati kretanje pešaka neposredno pre i u trenutku samog kontakta, koje je od velikog značaja za samu kinematiku naleta. Iz tog razloga, najbolji način za uporednu analizu najčešće primenjivanih programskih paketa u ekspertizama naleta vozila na pešake je njihovo sagledavanje kroz analizu realne saobraćajne nezgode.

Da bi se to moglo realizovati, pored oblika vozila i antropometrijskih karakteristika pešaka, neophodno je poznavati i tačnu poziciju pešaka u trenutku kontakta, njegov pravac i smer kretanja, naletnu brzinu vozila dr.

2. PRIMENA SPECIJALIZOVANIH RAČUNARSKIH PROGRAMA U EKSPERTIZAMA NALETA VOZILA NA PEŠAKE

Prvi specijalizovani programski paketi namenjeni ekspertizama saobraćajnih nezgoda, CARAT (Computer Aided Reconstruction of Accident in Traffic), PC Crash, Virtual Crash, Analyzer Pro, itd., u Evropi su se pojavili devedesetih godina prošlog veka. Svaki od ovih programskih paketa je pre komercijalizacije morao proći kroz složen postupak verifikacije u vidu komparacije dobijenih izlaznih rezultata sa rezultatima eksperimenata sprovedenih na ispitnim poligonima. Da bi se to postiglo, njihovu osnovu je morao činiti odgovarajući simulacioni model, zasnovan na složenim matematičko-fizičkim i empirijskim zavisnostima.

Pod simulacijom se podrazumeva proces modelovanja realnog sistema-grupe objekata koja je u međusobnoj interakciji i koja omogućava istraživanje uticaja pojedinih elemenata sistema na njegovo ponašanje. Simulacija saobraćajne nezgode, omogućava istraživanje uticaja pojedinih parametara relevantnih za tok nezgode i predstavlja veoma efikasno sredstvo za razjašnjenje okolnosti vezanih za njen nastanak.

Većina gore navedenih programskih paketa u sebi sadrži module za vizuelizaciju sprovedenih simulacija u dvodimenzionalnoj i trodimenzionalnoj formi. Ovakav oblik prezentacije olakšava interpretaciju složenih matematičkih zavisnosti i prevodi ih u jezik lako razumljiv za sve u sudnici.

2.1. Primena programskog paketa PC Crash u analizi naleta vozila na pešaka

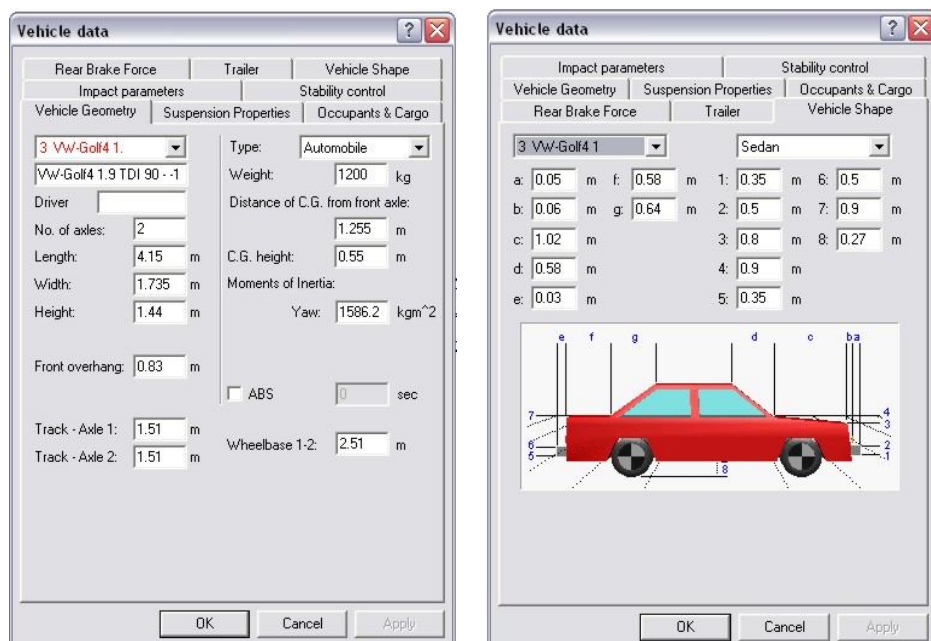
Razvoj programskog paketa PC-Crash počeo je 1990. godine. Danas interfejs grafickog okruženja ima podršku na 18 svetskih jezika, tako da se može reći da je ovaj programski paket, namenjen simulaciji i rekonstrukciji saobraćajnih nezgoda najrašireniji u svetu. Jedna od najbitnijih tržišnih prednosti PC-Crash-a je takav pristup njegovom razvoju, koji omogućava maksimalno približavanje zahtevima korisnika u pogledu upotrebljivosti.

Osnovu ovog računarskog programa čini klasičan Kudlich-Slibar sudarni model, koji je zasnovan na zakonu promene količine kretanja i zakonu o promeni momenta količine kretanja, uz respektovanje koeficijenta restitucije kod potpunih sudara i koeficijenta trenja između vozila, kod sudara koji imaju karakter okrznuća. Pored analize sudara vozila, ovaj programski paket pruža mogućnost analize naleta vozila na pešake, dvotočkaše i dr. U trodimenzionalnoj simulaciji saobraćajne nezgode sa pešacima, vozila se tipično tretiraju kao jedinstvena kruta tela. Međutim, da bi se dobila realna slika naleta vozila na pešaka, telo pešaka se mora tretirati kao sistem međusobno povezanih tela sa svojim specifičnim karakteristikama.

To je omogućeno pomoću Multibody simulacionog modula. PC Crash je opremljen ovim modulom od verzije 5.1. Multibody modul se koristi u biomehaničkoj simulaciji pokreta pešaka na koga je naletelo vozilo, u simulacijama saobraćajnih nezgoda sa učešćem dvotočkaša (bicikl, motor) i simulacijama pokreta putnika unutar vozila.

Model pešaka sastoji se od 16 elemenata međusobno povezanih zglobovima, uz mogućnost definisanja položaja po x, y i z osi za svaki od njih. Na taj način, moguće je u potpunosti definisati položaj pešaka u trenutku kontakta.

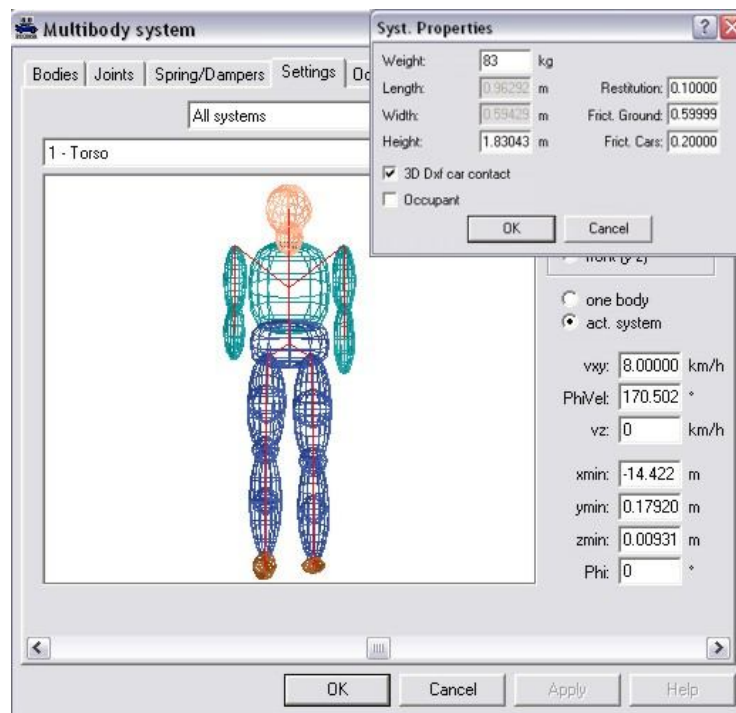
Simulacija naleta vozila na pešaka vrši se tako što se u odgovarajucim prozorskim menijima PC-Crash-a podešavaju parametri vezani za vozilo i pešaka.



Slika 1.,2. Izgled prozora menija za definisanje parametara vozila.

Najpre se iz baze podataka ovog programa unosi marka i tip vozila, a zatim ukoliko je to potrebno, vrši se korekcija parametara mase i geometrije vozila, kako bi ono po svojim karakteristikama odgovaralo vozilu učestvovalom u realnoj nezgodi. Potom se definiše početna brzina vozila i intenzitet usporenja, ukoliko je ono bilo kočeno.

Priprema pešaka za simulaciju vrši se tako što se odredi položaj pešaka u odnosu na vozilo. Treba napomenuti da Multibody sistem nije veštački stabilizovan u stojećoj poziciji i da on deluje po zakonu gravitacije. To znači da ako položaj pešaka zauzima veliku distancu u odnosu na vozilo i počne simulacija, posle nekoliko sekundi pešak može pasti čak i pre nego što dođe do kontakta sa vozilom.



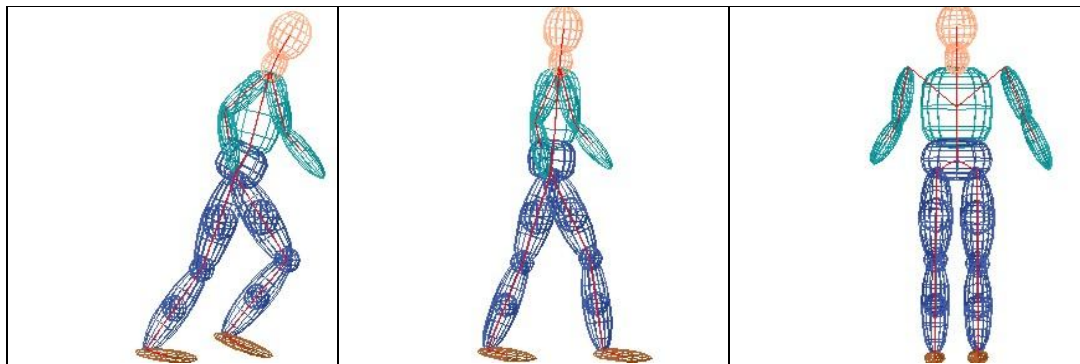
Slika 3. Izgled prozora menija za definisanje parametara Multibody modela pešaka.

PC-Crash omogućava korigovanje mase pešaka (parametri pojedinačnih elemenata sistema biće automatski selektovani), koeficijenta restitucije prilikom naleta na pešaka, koeficijenta trenja između pešaka i podloge i koeficijenta trenja između pešaka i vozila. U okviru samog Multibody modula, može se vršiti i usklađivanje položaja pojedinih delova tela pešaka u odnosu na vozilo, kao i unos mase i visine pešaka, koji imaju značajan uticaj na visinu težišta, odnosno kinematiku nakon naleta.

Pored toga, može se menjati i ugao i položaj pešaka u odnosu na vozilo i na taj način po potrebi definisati raskoračan stav prilikom naleta, zakrenutost u odnosu na vozilo, pognutost, odručenje jedne ili obe ruke, itd. Mogućnost realizacije ovakvih položaja u kontaktu je veoma važna, jer pešak kome pretili nalet vozila, na sve načine taj kontakt pokušava izbeći ili se instinktivno zaštititi, tako da se uvija, skače, naginje. Zbog toga je sve parametre vezane za položaj pešaka važno definisati što je moguće tačnije i realnije.

Položaj pešaka-Multibody modela u odnosu na vozilo može se definisati na osnovu uporedne analize oštećenja na vozilu i povreda pešaka, nastalih u realnoj nezgodi. Sudari pojedinačnih elemenata Multibody sistema sa delovima vozila i podlogom se proračunavaju automatski, bez otvaranja sudarnog dijaloga programskog menija.

Osnovni integracioni korak za izračunavanje pokreta pešaka je 1 [ms]. Nakon završenog proračuna, simulacija naleta može se kreirati kao avi file.



Slika 4. Neki od karakterističnih položaja pešaka kreiranih u Multibody modulu.

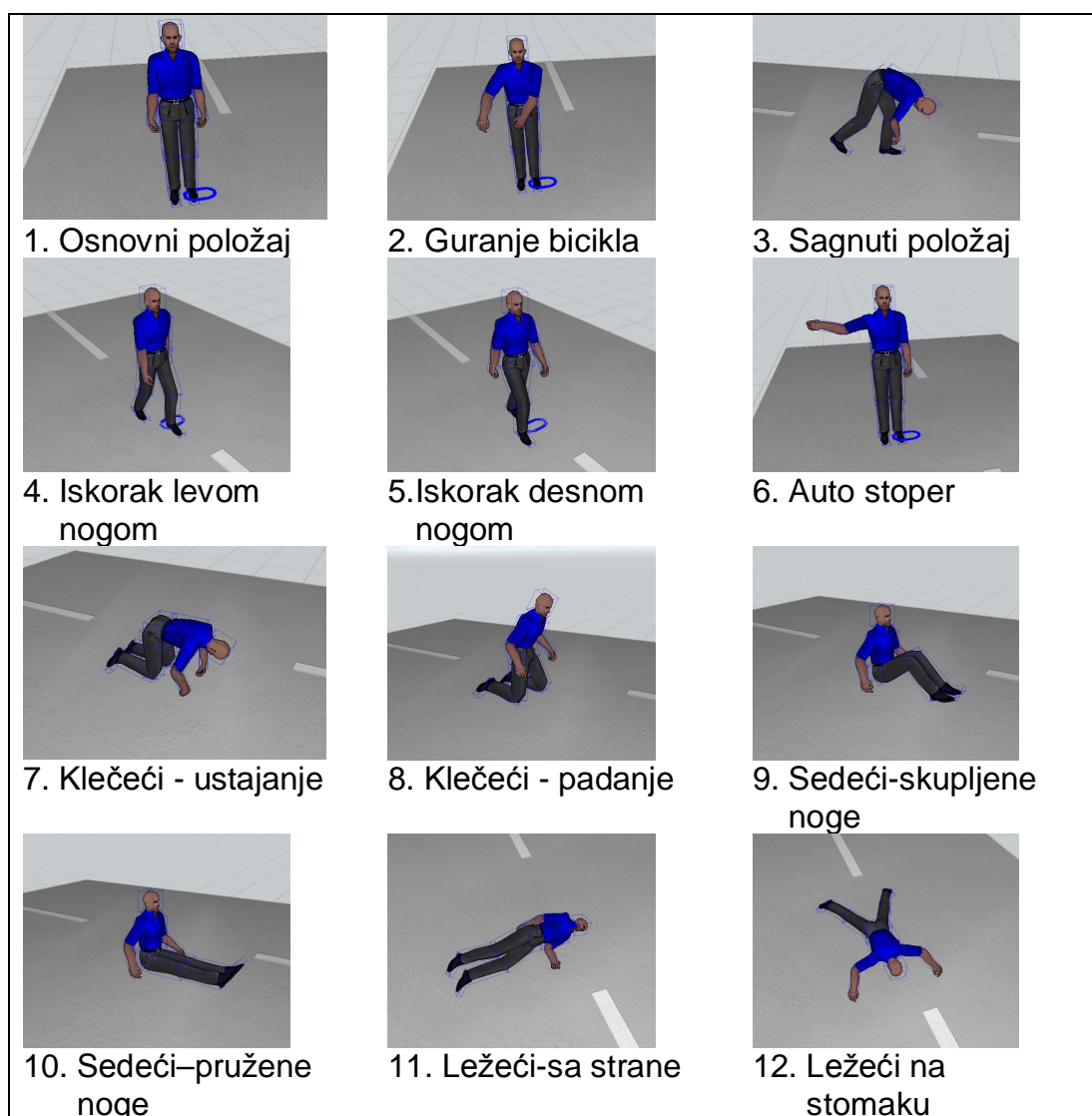
Simulacijama se teže postići zaustavne pozicije vozila i pešaka definisane u uviđajnoj dokumentaciji, uz kinematiku naleta koja je u skladu sa oštećenjima na vozilu i povredama pešaka. U zavisnosti od brzine procesora na računaru, svaka simulacija može potrajati i po nekoliko minuta.

Nakon sprovedene simulacije, vozilo se može prebaciti u dxf format, kako bi se dobio njegov realističan izgled.

2.2. Primena programskog paketa Virtual Crash u analizi naleta vozila na pešaka

Virtual Crash je jedan od novijih računarskih programa namenjenih simulaciji i rekonstrukciji saobraćajnih nezgoda. Program raspolaže bazom od nekoliko hiljada vozila, realističnog oblika, koja se gotovo svakodnevno nadograđuje.

I ovaj programski paket pruža mogućnost simulacije naleta vozila na pešake primenom Multibody simulacionog modela. Za razliku od PC Crash Multibody modula, u programu Virtual Crash nije moguće modelovati položaj pešaka u odnosu na vozilo u trenutku kontakta, već se za potrebe simulacije koriste karakteristični položaji pešaka koji su već definisani. Na raspolaganju su šest položaja pešaka u stajaćem položaju, dva klečeća, dva sedeća i dva ležeća položaja.



Slika 5. Mogući položaji pešaka u programskom paketu Virtual Crash.

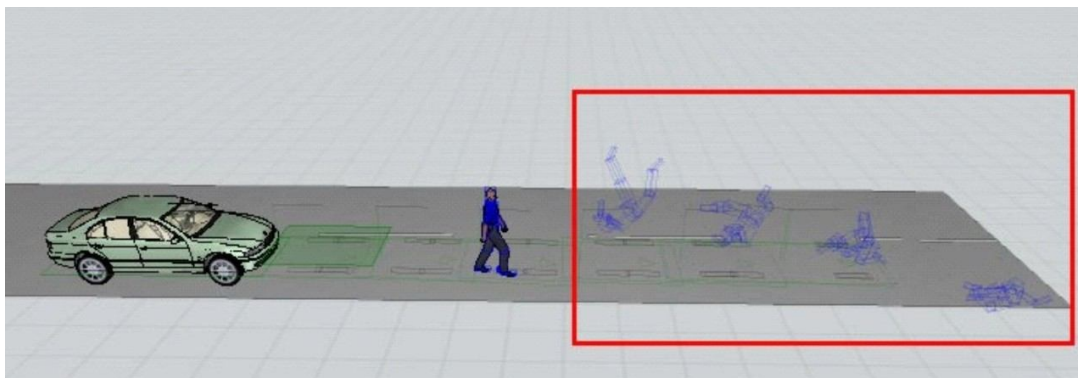
Analiza započinje odabirom vozila odgovarajuće marke i tipa iz baze. Odabirom iz glavnog menija selektuje se Multibody sistem, a potom se on prevlačenjem dovodi na mesto nezgode. Nakon toga se osnovni položaj pešaka, po potrebi, zamenjuje jednim od ponuđenih položaja, a u skladu sa oštećenjima na vozilu, povredama pešaka i pretpostavljenom kinematikom naleta.

Model pešaka se ponaša kao svaki drugi model u programu Virtual Crash, što znači da se u okviru podmenija mogu promeniti osnovni parametri modela, kao što su brzina, pravac kretanja, vektor brzine kretanja i adhezija prema podlozi.

U okviru ostalih podmenija moguće je izvršiti korekciju osnovnih kinematičkih parametara kretanja pešaka, kao što su položaj i ukošenost pešaka u odnosu na X, Y, Z osu i parametara brzine, zatim osnovnih podataka o karakteristikama pešaka (visina, masa) i parametara sudara (restitucija i trenje).

Nakon pozicioniranja vozila i pešaka u pretpostavljenu naletnu poziciju, definišu im se brzine, a vozilu i usporenje, odnosno koeficijent prijanjanja, za slučaj da je bilo kočeno.

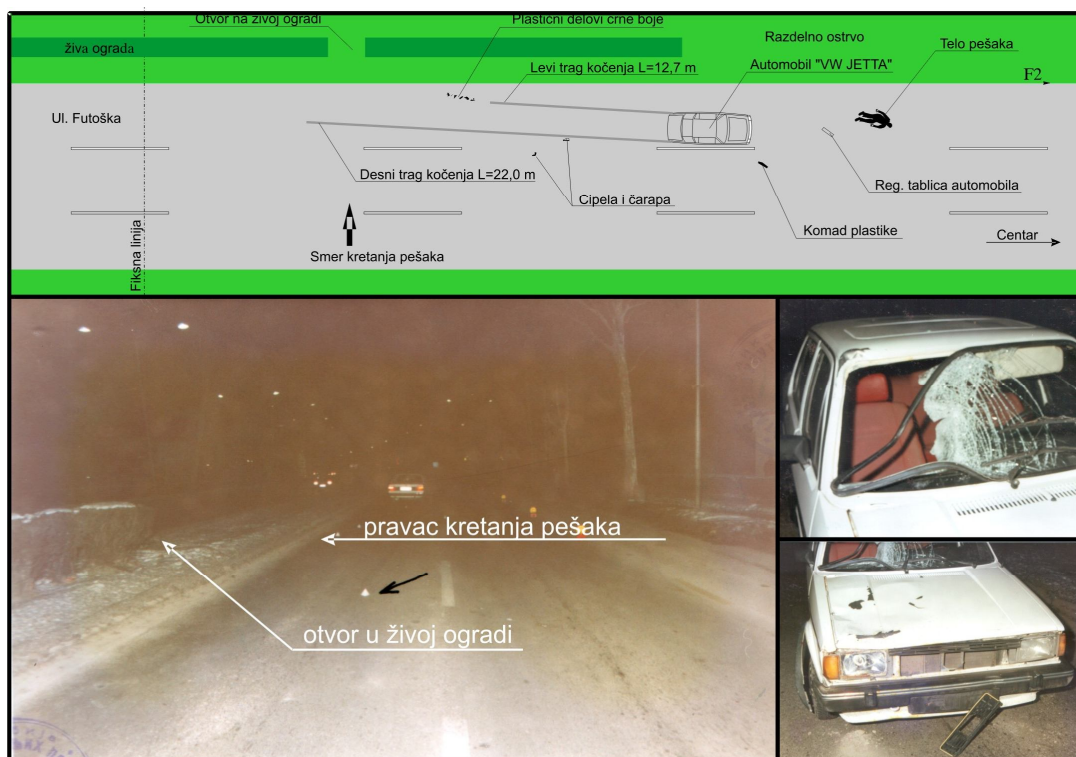
Startovanjem simulacije, iscrtaava se putanja kretanja oba učesnika, tako da se za svega nekoliko sekundi može videti približna zaustavna pozicija i automobila i pešaka.



Slika 6. Kretanje vozila i pešaka nakon kontakta na osnovu zadatih ulaznih parametara u programskom paketu Virtual Crash.

3. UPOREDNA ANALIZA NA PRIMERU REALNE SAOBRAĆAJNE NEZGODE

U cilju sprovođenja uporedne analize, korišćena je realna saobraćajna nezgoda – potpuni čeon nalet automobila na pešaka, koji je kolovoz prelazio sa desne na levu stranu, gledano u smeru kretanja automobila. Nezgoda je karakteristična po tome što je mesto kontakta jasno definisano i u podužnom i u poprečnom smislu, na osnovu mesta kontakta na vozilu, položaja tragova kočenja automobila i otvora u živoj ogradi kroz koji je pešak imao nameru proći. Osim toga, poznate su i zaustavne pozicije oba učesnika nezgode.



Slika 7. Izgled mesta nezgode i oštećenja na vozilu.

Veštak medicinske struke je na osnovu analize povreda na telu pešaka zaključio sledeće:

"... da se u trenutku kontakta oštećeni nalazio najverovatnije u raskoraku pri čemu je o podlogu bio oslonjen svojim levim stopalom kao i da desno stopalo u trenutku kontakta nije bilo oslonjeno na tle ili je taj kontakt sa tlom bio minimalan bez prenošenja težine...da režim i brzinu kretanja pešaka kao ni režim njegovog prethodnog kretanja, ne može utvrditi na osnovu prirode i karakteristika povreda..."

Tabela 1. Podaci o nezgodi.

Datum	16.02.2003.
Vreme	oko 01:00
Lokacija	ul. Futoški put, Novi Sad
Atmosferski uslovi	vreme hladno, bez padavina, kolovoz suv
Vidljivost	noćna, ulična rasveta, dobro osvetljeno
Podaci o pešaku	muškarac, 51 god., visok 177 cm, alkohol 2,03 ‰
Podaci o vozilu	"VW JETTA"
Ostali relevantni podaci	kočni koeficijent radne kočnice na vozilu 65%

Na osnovu analize oštećenja na automobilu "VW JETTA", povreda pešaka i nalaza veštaka medicinske struke, zaključeno je da je primarni kontakt ostvaren između prednjeg desnog ugla automobila "VW JETTA" i leve noge peška na koju je bio i oslonjen. Nakon toga, telo peška je nabačeno na prednji deo vozila pri čemu su gornji delovi tela ostvarili kontakt sa vetrobranskim staklom. Odmah potom, telo peška je odbačeno u napred i u levu stranu, gledano u smeru kretanja automobila.

3.1. Računska analiza

U odnosu na definisano mesto naleta, automobil "VW JETTA" je do svoje zaustavne pozicije prešao put od oko 21 m, dok je pešak odbačen unapred za oko 27,5 m (posmatrano u odnosu na težište).

Na osnovu dužine puta kočenja automobila "VW JETTA" od definisanog mesta naleta do zaustavne pozicije, brzina ovog vozila u trenutku naleta iznosila je oko:

$$V_s = \sqrt{2 \cdot b \cdot S_{4z}} = \sqrt{2 \cdot 7,0 \cdot 21} = 17,1 \text{ m/s} = 61,7 \text{ km/h}$$

Na osnovu opšte prihvaćene i najviše korišćene empirijske zavisnosti naletne brzine u funkciji daljine odbačaja pešaka, dobija se da je brzina automobila "VW JETTA" u trenutku kontakta iznosila oko:

$$V_s = 12\sqrt{S_{od}} = 12\sqrt{27,5} = 62,9 \text{ km/h} \pm 10\%$$

Prema Tooru i Araszewskom, naletne brzina u funkciji daljine odbačaja pešaka iznosila bi:

$$V_s = 8,25 \cdot S_{od}^{0,61} \pm 7,7 \text{ km/h} = 8,25 \cdot 27,5^{0,61} \pm 7,7 \text{ km/h} = 62,3 \text{ km/h} \pm 7,7 \text{ km/h},$$

U određivanju funkcionalne veze između naletne brzine i daljine odbačaja pešaka, Collins je u obzir uzeo i visinu pešaka h , kao i koeficijent adhezije na putu klizanja pešaka, koji je opredelio kao konstantnu vrednost od 0,8, nezavisno od podloge. Daljinu odbačaja pešaka on je izrazio funkcijom:

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

Brzina naleta na pešaka dobija se rešavanjem kvadratne jednačine i uprošćavanjem, kroz izraz:

$$V_s = 15,93\mu \cdot \left(\sqrt{h + \frac{S_{od}}{\mu}} - \sqrt{h} \right).$$

Ako se uzme u obzir visina pešaka učestvovalog u nezgodi, dobija se :

$$V_s = 15,93 \cdot 0,8 \cdot \left(\sqrt{1,77 + \frac{27,5}{0,8}} - \sqrt{1,77} \right) = 59,7 \text{ km/h}.$$

3.2. PC Crash analiza

Za potrebe analize saobraćajne nezgode primenom programskog paketa PC Crash, u Multibody modulu je izvršeno modelovanje pešaka u skladu sa njegovim karakteristikama i naletnim položajem definisanim od strane veštaka medicinske struke. Ovaj položaj je doveden u vezu sa oštećenjima na vozilu nastalim u primarnom kontaktu i na taj način je rekonstruisana naletna pozicija.

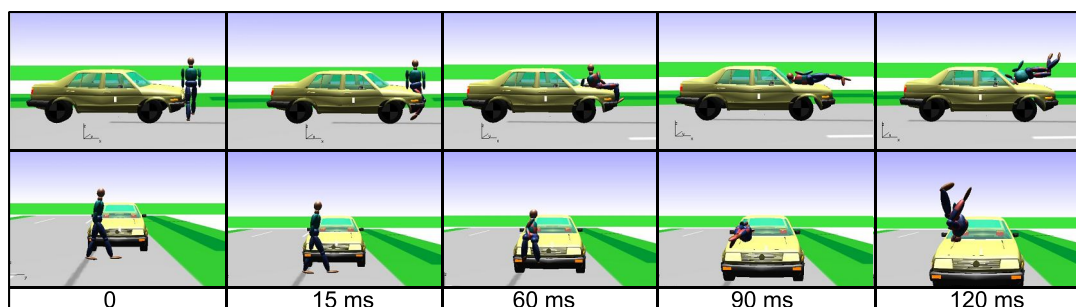
Nakon više sprovedenih simulacija, utvrđeno je da je brzina automobila "VW JETTA" u trenutku naleta na pešaka iznosila 62 km/h. Ovako utvrđena brzina u potpunosti je potvrđena zaustavnom pozicijom pešaka, uz koeficijent adhezije na putu klizanja pešaka od 0,78 i koeficijent restitucije u sudaru od 0,1, kao i zaustavnom pozicijom vozila, uz usporenje od 7 m/s² na putu kočenja. Brzina pešaka u trenutku kontakta iznosila je 7 km/h.



Slika 8. Naletna pozicija definisana u programskom paketu PC Crash.

Osim navedenog, sama kinematika pešaka nakon naleta, u skladu je sa oštećenjima na vozilu. Desna iskoračna noga ostvaruje kontakt sa središnjim delom vozila, u zoni registarske tablice, trup pešaka sa poklopcem motora, a glava sa vetrobranskim staklom, u zoni donje trećine, posmatrano po visini.

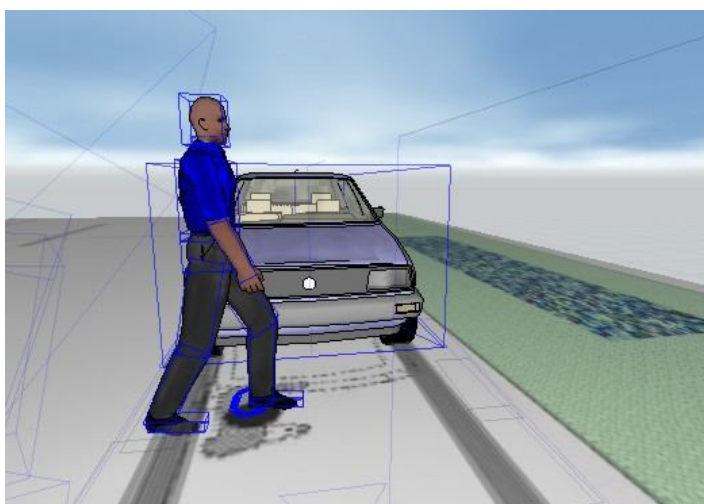
Prikaz kinematike naleta na pešaka po vremenskim sekvencama, a u skladu sa sprovedenom simulacijom, prikazan je na slici 9.



Slika 9. Prikaz kinematike naleta na pešaka u PC Crash programu, po vremenskim sekvencama.

3.3. Virtual crash analiza

U programskom paketu Virtual Crash, izvršen je odabir vozila iz baze i korekcija osnovnog položaja i karakteristika pešaka. Na osnovu oštećenja na vozilu i povreda pešaka, a s obzirom na ograničene mogućnosti u definisanju njegovog položaja u trenutku kontakta, najbolji rezultat dobijen je odabirom iskoračnog položaja levom nogom.

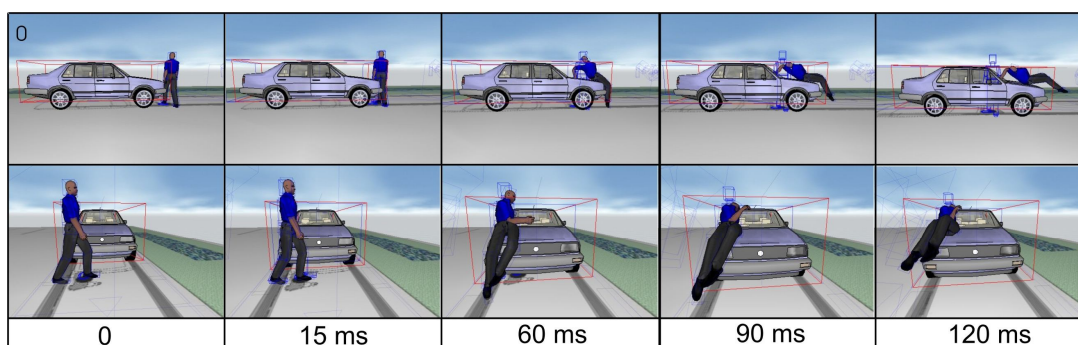


Slika 10. Naletna pozicija definisana u programskom paketu Virtual Crash.

Naletna brzina automobila, koja je u potpunosti potvrđena zaustavnom pozicijom pešaka iznosila je 60 km/h. Brzina pešaka u trenutku naleta iznosila je 5,7 km/h, a koeficijent adhezije u procesu klizanja po kolovoznoj površini 0,54.

Samo vozilo, usporavajući usporanjem intenziteta 7 m/s^2 , zaustavilo se na 0,5 m pre pozicije definisane u uviđajnoj dokumentaciji.

Kinematika samog naleta ne odgovara u potpunosti oštećenjima na vozilu, tako da glava pešaka ni ne ostvaruje kontakt sa prednjim vetrobranskim staklom. Prikaz kinematike naleta na pešaka, po vremenskim sekvencama, dat je na slici 10.



Slika 10. Prikaz kinematike naleta na pešaka u Virtual Crash programu, po vremenskim sekvencama.

3.3. Uporedna analiza

Saobraćajna nezgoda koja je poslužila za uporednu analizu, karakteristična je po tome što je vozilo za sobom ostavilo vidljive tragove kočenja, koji su omogućili izračunavanje naletna brzine na osnovu dužine puta kočenja. Ukoliko je poznato mesto naleta na pešaka, brzina izračunata na ovakav način može se smatrati najpouzdanijom, s obzirom da gotovo sve empirijske metode dozvoljavaju mogućnost odstupanja izračunate brzine u određenom dijapazonu. Računska analiza je pokazala relativno dobro slaganje između vrednosti brzine izračunate na osnovu dužine puta kočenja i empirijskih metoda, koje u obzir uzimaju daljinu odbačaja pešaka. Pri tome samo Collinsova metoda, pored daljine odbačaja pešaka u obzir uzima i njegovu visinu.

Kod računarskih metoda, primenom programskih paketa PC Crash i Virtual Crash, kroz proces vizualizacije je moguće sagledati i kinematiku samog naleta. Uporedni prikaz rezultata i karakteristika sprovedene analize u zavisnosti od primenjene metode, dat je u tabeli 2.

U ovoj tabeli je dat i prikaz ulaznih parametara, neophodnih za analizu, izlaznih parametara relevantnih za ocenu sprovedene analize, nivo preciznosti dobijenih rezultata (ukoliko je on definisan od strane autora), vremena neophodnog za realizaciju analize i oblast primenjivosti.

Analitičke metode korišćene u ekspertizi ove saobraćajne nezgode, zasnovane su na minimalnim ulaznim parametrima odnosno funkcionalnoj zavisnosti između naletne brzine i daljine odbačaja pešaka. Kod ovih metoda, pozicija pešaka u odnosu na vozilo, geometrija samog vozila i režim kretanja pešaka, nemaju nikakvog značaja na izlazni rezultat. S obzirom da se radi o empirijskim zavisnostima utvrđenim eksperimentalnim istraživanjima na modelima pešaka, izračunate vrednosti ne moraju biti egzaktna i u odnosu na njih je dat određen prag tolerancije.

Za razliku od analitičkih metoda, trodimenzionalni Multibody modeli u okviru programskih paketa PC Crash i Virtual Crash, zasnovani su na principima biomehanike i omogućavaju da se pored uticaja naletne brzine na daljinu odbačaja pešaka, sagledaju i drugi elementi relevantni za analizu same nezgode, kao što su: kinematika i dinamika naleta, uticaj naletne pozicije na zaustavni položaj pešaka, usporeenje vozila i pešaka na putu klizanja, uticaj brzine pešaka i što je najvažnije, ispita korelacija između oštećenja na vozilu i povreda pešaka.

Stoga se može zaključiti da su trodimenzionalni Multibody modeli najbolji način za istraživanje ovog tipa nezgoda. Primenom ovog modela, multidisciplinarnim pristupom u postupku ekspertize, uz posredno ili neposredno angažovanje stručnjaka medicinske struke, mogu se dobiti veoma pouzdani rezultati, neophodni za dalju analizu toka nezgode.

Za ekspertizu naleta vozila na pešaka primenom programskog paketa PC Crash neophodan je veliki broj ulaznih parametara. Mnogi od njih su definisani kao preporučene *default* vrednosti od strane autora programa, dok je druge neophodno da unese sam korisnik. S obzirom da su rezultati analize primenom programskog paketa PC Crash veoma osetljivi i na najmanje promene pojedinih parametara, za njegovo korišćenje neophodno je određeno predznanje. Kako se radi o komplikovanim modelima, proces simulacije naleta može potrajati nekoliko minuta. Za iznalaženje konačnog rešenja ponekad je potrebno sprovesti veliki broj simulacija, tako da ekspertiza nezgode primenom Multibody modela u programu PC Crash može potrajati i do nekoliko sati. Program se isporučuje uz odgovarajući priručnik i uputstvo, koji daju odgovor na najveći deo pitanja vezanih za njegovo korišćenje.

Tabela 2. Uporedni prikaz rezultata i karakteristika analize u zavisnosti od primenjene metode

primenjena metoda	naletna brzina (km/h)	neophodni ulazni parametri	izlazni parametri	stepen preciznosti	vreme neophodno za analizu	ograničenja u primeni
put kočenja	61,7	mesto naleta, put kočenja, usporenje vozila	naletna brzina, daljina odbačaja	zavisno od intenziteta usporenja	veoma kratko	kočeni nalet
daljina odbačaja	62,9	daljina odbačaja	naletna brzina	$\pm 10\%$	veoma kratko	potpuni čeon kočeni nalet
daljina odbačaja (Toor i Araszewski)	62,3	daljina odbačaja	naletna brzina	$\pm 7,7$ km/h	veoma kratko	bez ograničenja
daljina odbačaja (Collins)	59,7	daljina odbačaja, koeficijent adhezije na putu klizanja pešaka, visina pešaka	naletna brzina	nije definisan	veoma kratko	bez ograničenja
PC Crash 8.1 Multibody model	62,0	geometrija vozila, masa vozila, naletna brzina, usporenje, mesto naleta, naletna pozicija vozila, naletna pozicija pešaka, masa	naletna brzina, naletna pozicija vozila, naletna pozicija pešaka, daljina odbačaja, kinematika naleta	zavisan od kvantitativno-kvalitativne analize ulazno-izlaznih parametara	do nekoliko sati	bez ograničenja

		pešaka, visina pešaka, koeficijent adhezije, koeficijent restitucije.				
Virtual Crash 2.2 Multibody model	60,0	geometrija vozila, masa vozila, naletna brzina, usporenje, mesto naleta, naletna pozicija vozila, izabrana naletna pozicija pešaka, masa pešaka, visina pešaka, koeficijent adhezije.	naletna brzina, naletna pozicija vozila, naletna pozicija pešaka, daljina odbačaja, kinematika naleta	zavisan od kvantitativno-kvalitativne analize ulazno-izlaznih parametara	do jednog sata	bez ograničenja

Programski paket Virtual Crash pruža mogućnost za nešto bržu analizu saobraćajne nezgode tipa nalet vozila na pešaka. U analiziranom slučaju dobijena je naletna brzina od 60 km/h, nešto manja od brzine utvrđene programom PC Crash, dok se samo vozilo, uz primenu istog intenziteta usporenja, zaustavilo na oko 0,5 m pre kraja registrovanih tragova kočenja. Ove razlike javile su se u najvećoj meri zbog toga što na odabranom raskoračenom Multibody modelu pešaka nije bilo moguće vršiti ma kakve korekcije. Primena ostalih raspoloživih položaja pešaka nije davala dobre rezultate. U programskom paketu Virtual Crash, očekivana zaustavna pozicija vozila i pešaka, u zavisnosti od unetih parametara, dobija se odmah po startovanju simulacije. Iz tog razloga sam postupak ekspertize nezgode je znatno kraći nego kod programa PC Crash. Uz program se ne isporučuje priručnik, ali je na raspolaganju detaljna pomoć u okviru samog programa, koja daje objašnjenja i odgovore na gotovo sva sporna pitanja.

4. ZAKLJUČAK

Najčešće korišćene analitičke metode u postupku ekspertiza naleta vozila na pešaka zasnovane su na empirijski utvrđenoj funkcionalnoj zavisnosti između naletne brzine i daljine odbačaja pešaka. Kod pojedinih nezgoda, ove metode mogu dati sasvim zadovoljavajuće rezultate, što je pokazano i na primeru realne saobraćajne nezgode obrađene u ovom radu. Međutim, u situacijama kada se ne raspolože podacima neophodnim za tačno utvrđivanje mesta naleta, odnosno daljine odbačaja pešaka, ovakva analiza može biti i veoma nepouzdana.

Za razliku od analitičkih metoda, specijalizovani programski paketi, PC CRASH i VIRTUAL CRASH, namenjeni rekonstrukciji i simulaciji saobraćajnih nezgoda, pored daljine odbačaja, odnosno naletne brzine, tretiraju i veliki broj drugih ulaznih parametara koji imaju značajan uticaj na kinematiku naleta, kao što su geometrijske karakteristike i režim kretanja vozila, antropometrijske karakteristike i naletnu poziciju pešaka, brzinu pešaka, uslove prijanjanja i dr. Ovi programi pružaju mogućnost trodimenzionalne vizuelizacije i sagledavanje kinematike naleta iz različitih perspektiva i uglova. Na taj način tačnost sprovedene simulacije se pored zaustavne pozicije vozila i pešaka, može sagledati i kroz analizu same kinematike naleta, odnosno, dovođenjem u vezu oštećenja na vozilu sa povredama koje je pešak zadobio prilikom naleta.

Ovakav multidisciplinarni pristup ekspertizama saobraćajnih nezgoda sa učešćem pešaka svakako može dati tačnije rezultate i pouzdanu osnovu za dalju analizu toka nezgode.

LITERATURA

1. Dr. Steffan Datentechnik, PC CRASH, A Simulation Program for Vehicle Accidents – Operating Manual Ver. 8.1, Linz, 2007;
2. Mitchell, J.F., International Guide Book for Traffic Accident Reconstruction – Third Edition, Halifax, Canada, 2002;
3. Parkka, J.D., Equation Directory for the Reconstructionist, Second Edition, IPTM, Jacksonville, Florida, 1996;
4. Toor, A., Araszewski, M., Theoretical vs. Empirical Solutions for Vehicle/Pedestrian Collisions. ASME Paper, (2003-1-0883), 2003;
5. Wach, W., PC CRASH, Program for Simulation of Road Accidents – Handbook, Institute of Forensic research, Krakow, 2001;