

MODELOVANJE SUDARNOG POLOŽAJA PEŠAKA I UTVRĐIVANJE BRZINE PEŠAKA U TRENUTKU SUDARA

Nenad Milutinović¹; Marko Maslać²

XIII Simpozijum
"Veštačenje saobraćajnih nezgoda
i prevare u osiguranju"

Abstrakt: Osim mase i visine pešaka, koje se mogu jednostavno i pouzdano utvrditi, za analizu saobraćajnih nezgoda u kojima su učestvovali pešaci, važan je i položaj pešaka u trenutku sudara, kao i brzina kojom se kretao. Položaj pešaka u trenutku sudara veštaci određuju na osnovu uporedne analize povreda pešaka i oštećenja na vozilu, ali za sprovođenje kompjuterske simulacije saobraćajne nezgode sa pešakom važan je i međusoban položaj pojedinih delova tela pešaka prilikom sudara. U praksi saobraćajno-tehničkog veštačenja javljaju se specifični slučajevi u kojima treba utvrditi tačan položaj u kome se pešak nalazio prilikom sudara. Imajući u vidu da programi za kompjutersku simulaciju saobraćajnih nezgoda modeluju pešaka kao višetelesni sistem, to je njihovom primenom moguće simulirati razne položaje pešaka (klečeći, povijeni, sedeći, itd.), što je prikazano u ovom radu. Za utvrđivanje brzine kretanja pešaka, kao polazni osnov veštaci koriste rezultate eksperimentalnih istraživanja koja su sprovedena 70-ih godina prošlog veka, pa imajući u vidu konstantnu evoluciju čoveka (i u načinu života i anatomske osobine) u radu su prikazani i rezultati novijih istraživanja ovog parametra.

Ključne reči: PEŠAK, SAOBRAĆAJNA NEZGODA, BRZINA, UBRZANJE, POLOŽAJ, MODEL.

¹ dipl. inž. saobr.; VTŠSS, Kragujevac

² mast. inž. saobr.; VTŠSS, Kragujevac

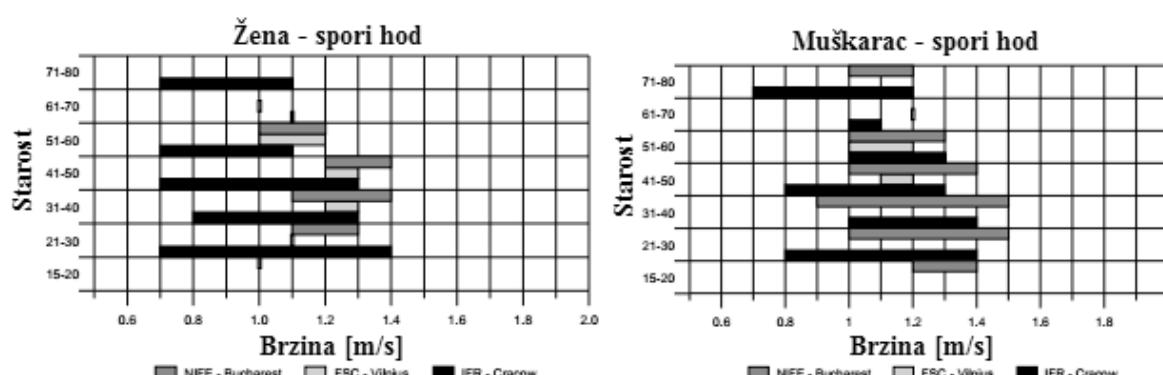
1. UVOD

Za analizu saobraćajnih nezgoda u kojima su učestvovali pešaci, od velikog je značaja pravilno određivanje vremena koje je pešak proveo na kolovozu. Da bi se odredilo ovo vreme potrebno je odrediti brzinu kretanja pešaka, koja se najčešće smatra konstantnom, ali postoje slučajevi u kojima pešak kreće iz stanja mirovanja pa u obzir treba uzeti i ubrzanje pešaka. Eksperti u rekonstrukciji saobraćajnih nezgoda imaju na raspolaganju rezultate brzina pešaka iz sedamdesetih i osamdesetih godina. S obzirom na to da ovi rezultati datiraju od pre 30 i više godina, oni su ponekad osnova za preispitivanje mišljenja veštaka na sudu. Takav pristup je rezultat verovanja da upotrebljeni podaci nisu više validni, jer ljudi stalno razvijaju stil života kao i anatomske osobine. Danas prosečna visina čoveka, posebno mlade osobe, mnogo je veća od prosečne visine osoba koje su učestvovali u istraživanju sprovedenom u toku prošlog veka. Zato je bilo potrebno proveriti rezultate dostupne u literaturi, a koji se odnose na brzine kretanja pešaka u zavisnosti od starosti, pola i načina kretanja. Da bi se tačno utvrdilo vreme koje je pešak proveo na kolovozu, prilikom sprovodenja vremensko-prostorne analiza saobraćajne nezgode treba uzeti u obzir činjenicu da u određenim saobraćajnim situacijama pešak kreće iz stanja mirovanja. U analizama se obično uzima kretanje pešaka konstantnom brzinom, ali nisu retki slučajevi u kojima pešak ubrzava iz stanja mirovanja pa iz tog razloga treba razmotriti i ubrzano kretanje pešaka. Uvek kada postoji mogućnost za to, podatke do kojih je došao ekspert, treba proveriti kompjuterskom simulacijom.

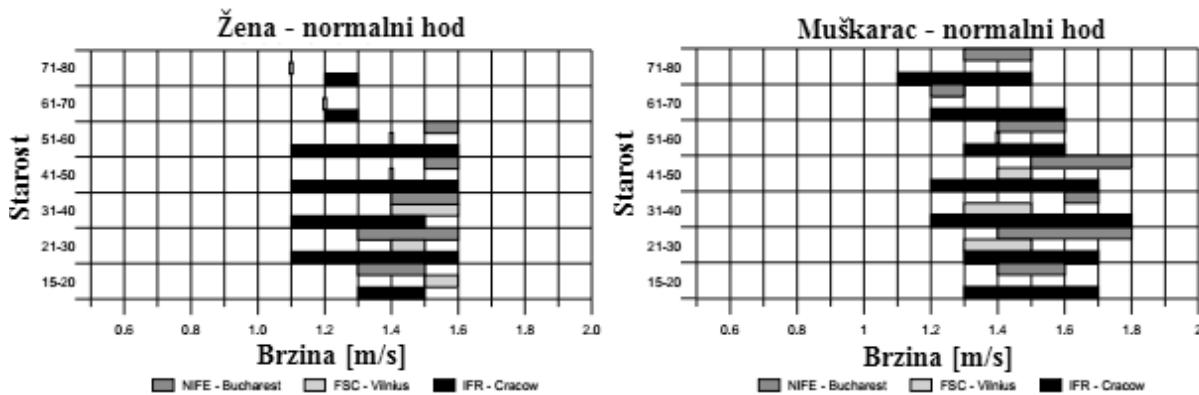
U kompjuterskim simulacijama, kinematika pešaka zavisi od niza parametara koji se odnose na pešaka, a to su brzina, masa, antropometrijske karakteristike i sudarni položaj pešaka. Modelovanjem sudarnog položaja pešaka u odnosu na vozilo vrši se najčešće (i najjednostavnije) korišćenjem gotovih šablonu kojima se definiše raskoračan stav prilikom naleta, zakrenutost u odnosu na vozilo, pognutost, odručenje jedne ili obe ruke, itd. Mogućnost realizacije ovakvih položaja prilikom sudara je veoma važna, jer pešak kome preti nalet vozila, na sve načine taj kontakt pokušava izbeći ili se instinkтивno zaštititi, tako da se uvija, skače, nagnje. Zbog toga je sve parametre vezane za pešaka važno definisati što je moguće tačnije i realnije.

2. REZULTATI EKSPERIMENTALNIH ISTRAŽIVANJA KRETANJA PEŠAKA

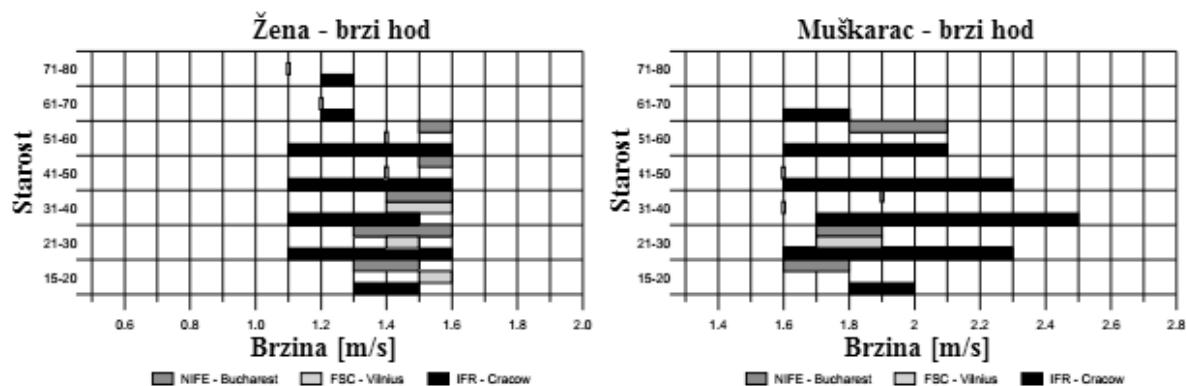
U ovom delu rada biće prikazani rezultati novijih istraživanja brzina kretanja pešaka u zavisnosti od godina, pola i načina kretanja [6]. Odabrani su rezultati istraživanja tri instituta, koji su članovi ENFSI (European Network of Forensic Science Institutes): IFR u Krakovu (Institute of Forensic Research in Cracow), FSC u Vilniusu (Lithuanian Center of Forensic Sciences in Vilnius) i NIFE u Bukureštu (National Institute of Forensic Science in Bucharest) [5]. Prilikom istraživanja, kretanje pešaka snimano je digitalnom kamerom, a brzina je određena analizom podataka sa snimaka [4]. Istraživanjem je obuhvaćeno preko 2500 slučajeva kretanja pešaka. Rezultati su predstavljeni u vidu dijagrama na kojima su prikazane brzine kretanja pešaka zavisno od godina, pola i načina kretanja pešaka (slike 1–5).



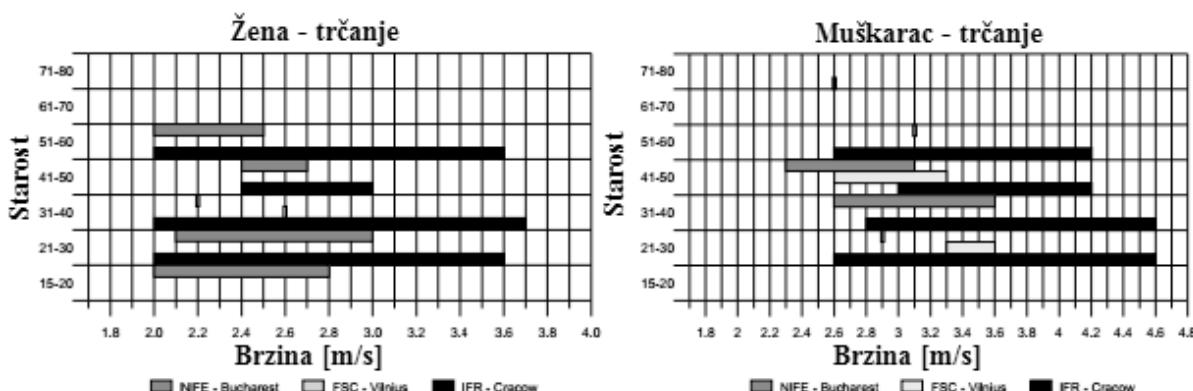
Slika 1. Brzina sporog hoda žena i muškaraca



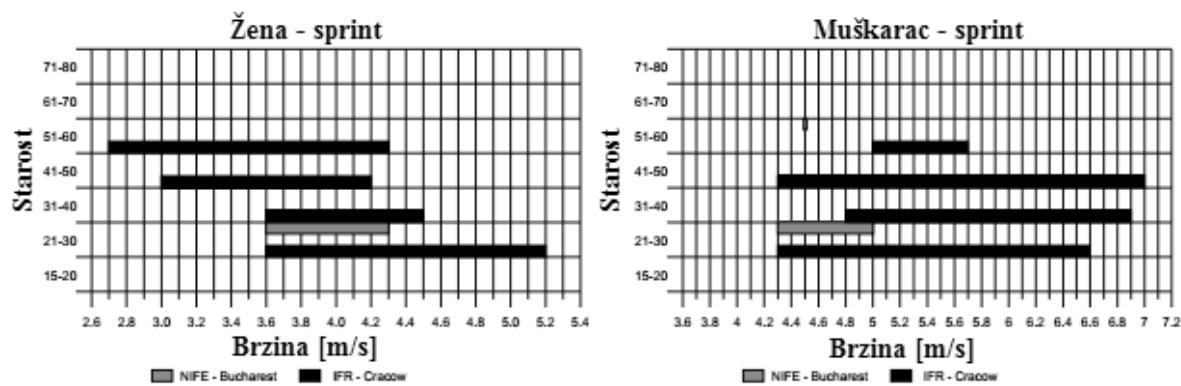
Slika 2. Brzina normalnog hoda žena i muškaraca



Slika 3. Brzina brzog hoda žena i muškaraca



Slika 4. Brzina trčanja žena i muškaraca



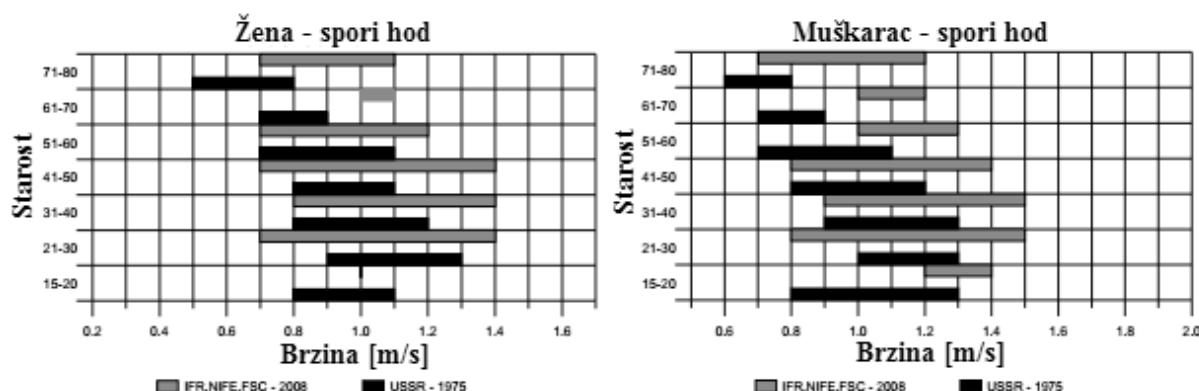
Slika 5. Brzina sprinta žena i muškaraca

Poređenje dobijenih rezultata pokazuje da se rasponi brzina muškaraca i žena za svaki način kretanja i za svaki raspon godina delimično preklapaju. Za spori i normalni tempo hoda razlika u vrednosti brzina ne prelazi 0,5 m/s za donju granicu, a za gornju ne prelazi 0,3 m/s (slike 1–2). Za brzi hod najveća razlika je 0,2 m/s za donju granicu i 0,4 m/s za gornju (slika 3). Prilikom trčanja najveća razlika je 0,7 m/s za donju granicu i 1,1 m/s za gornju (slika 4). Najveća razlika u brzinama postoji prilikom sprinta i iznosi 1,6 m/s (slika 5).

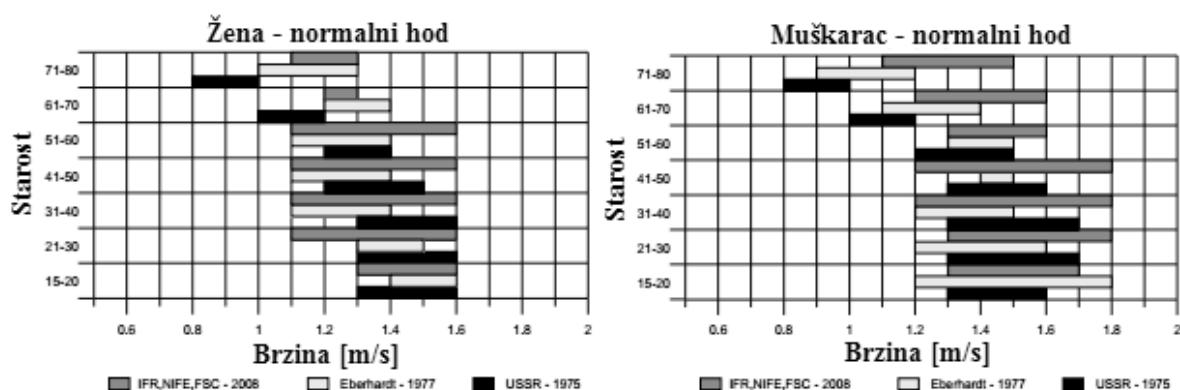
Za muškarce i žene koji hodaju sporo, normalno ili brzim hodom, i koji imaju 15–60 godina, donja i gornja granica se ne razlikuju za više od 0,2 m/s. Ove male razlike ukazuju na mogućnost redukovanja ovih kategorija u jednu grupu pešaka od 15–60 godina. Pri istraživanju je primećeno da je visina pešaka razlog razlike u ocenjivanju načina kretanja, posebno kod visokih osoba. Često je brz hod visoke osobe ocenjen kao normalni hod.

Dobijeni rezultati su upoređeni sa onima koje su publikovali Eberhardt i Himbert 1977. godine i sa rezultatima ruskih instituta iz 1975. godine [1,2,3] (slike 6–10), koji se obično koriste i u domaćoj praksi [7].

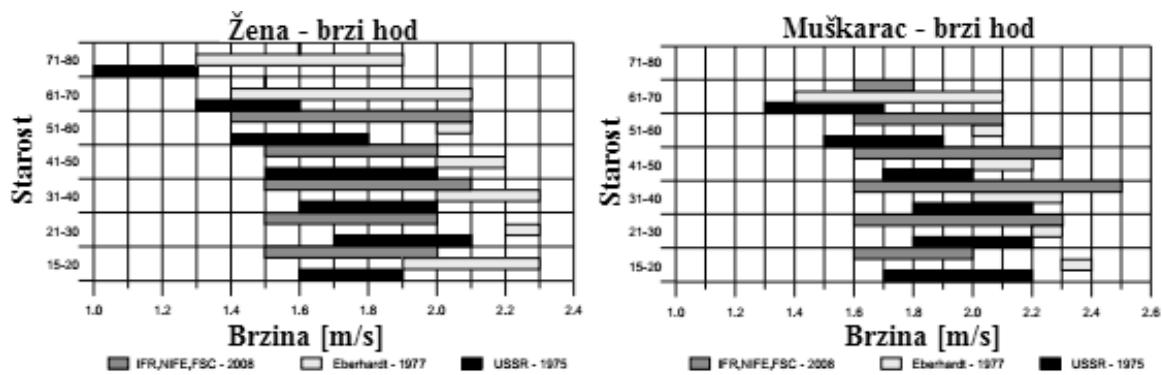
Na osnovu uporedne analize rezultata starijih i novijih istraživanja, dolazi se do zaključka da su novijim istraživanjima dobijene brzine koje su bile veće od onih koje su publikovali ruski instituti. Razlika je od 0,1 m/s do 0,4 m/s (slika 6). Za normalni hod žena, kod osoba starosti 15–60 godina i 71–80 godina, i za muškarce starosti iznad 20 godina, rezultati brzina nisu bili niži od onih koji su dobijeni u istraživanjima sprovedenim sedamdesetih godina (slika 7). Posebno treba naglasiti rezultate trčanja i rezultata sprinta kod žena (slike 9 i 10). Vrednosti najvećih brzina koje su publikovali Eberhardt i Himbert su znatno veće od onih koje su dobijene u novijim istraživanjima i onim sprovedenim u ruskim institutima.



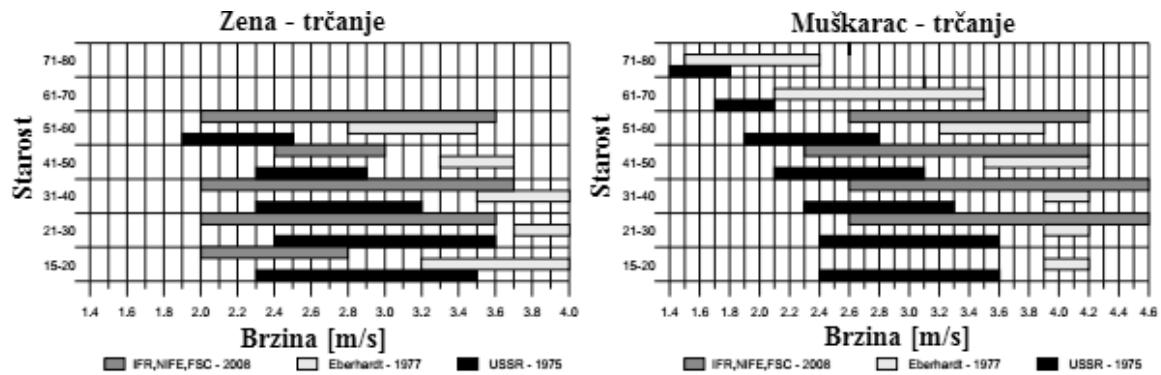
Slika 6. Poređenje rezultata brzine sporog hoda žena i muškaraca



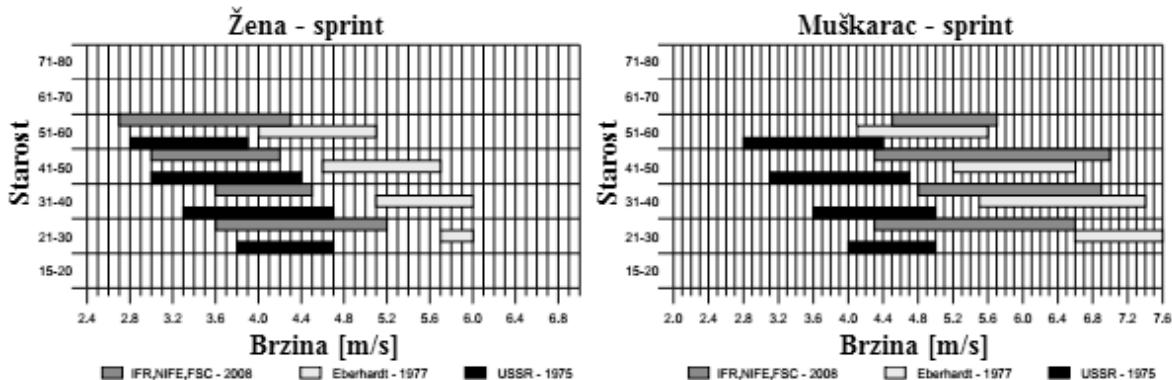
Slika 7. Poređenje rezultata brzine normalnog hoda žena i muškaraca



Slika 8. Poređenje rezultata brzine brzog hoda žena i muškaraca



Slika 9. Poređenje rezultata brzine prilikom trčanja žena i muškaraca

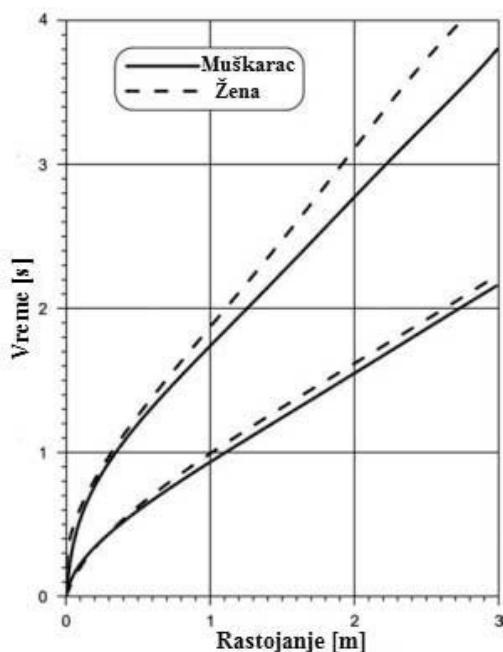


Slika 10. Poređenje rezultata brzine sprinta žena i muškaraca

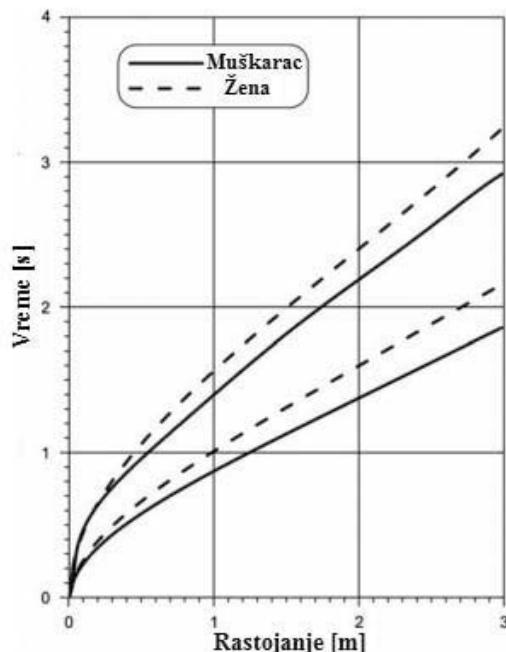
Na osnovu rezultata novijih istraživanja brzina kretanja pešaka u zavisnosti od godina, pola i načina kretanja [6] mogu se izvesti sledeći zaključci:

- 1) Potvrđena je prepostavka da se rezultati iz sedamdesetih godina delimično razlikuju od današnjih.
- 2) Za spori i normalni hod gornja granica brzine je pomerena naviše od odgovarajućih vrednosti brzina dobijenih sedamdesetih godina.
- 3) Za trčanje i sprint kod žena svih starosti, najviše vrednosti su one iz rezultata istraživanja Eberhardt-a i Himbert-a.
- 4) U starosnoj grupi između 20 i 60 godina, za kategorije kretanja od sporog do brzog hoda, nisu primećene razlike u brzinama značajne za rekonstrukciju saobraćajnih nezgoda.

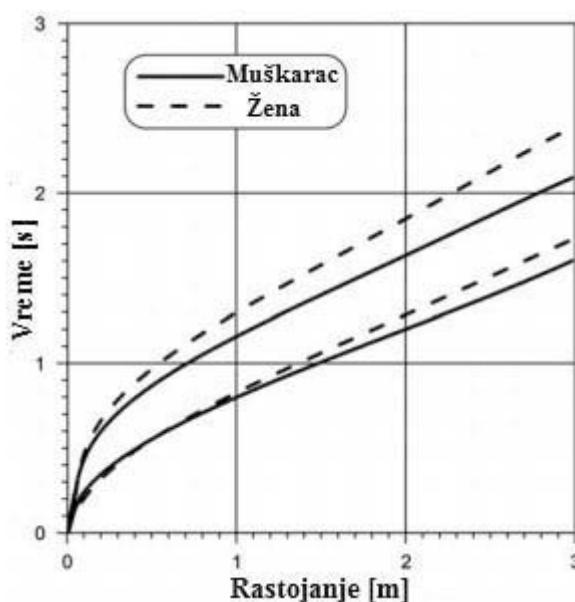
Na Institutu za forenzička istraživanja u Krakovu (IFR) osim istraživanja brzina kretanja pešaka bavili su se i istraživanjem ubrzanja pešaka [8]. U testiranju je učestvovalo 26 ženskih i 28 muških osoba različitih starosnih grupa. Svi pešaci koji su učestvovali u studiji imali su od 20 do 60 godina. Testirane osobe (osim jedne ženske i jednog muškarca), nisu bile gojazne. Svi učesnici su bili u dobroj fizičkoj formi. Na testovima ubrzanja svaki učesnik je ubrzavao tri puta iz stanja mirovanja do sporog hoda, normalnog hoda, brzog hoda, trčanja i sprinta. Merna razdaljina je bila duga 3 m. Testovi su snimani kamerom, a ubrzanja su određena analizom podataka sa snimaka. Iako su rezultati testova za učesnike i učesnice preliminarno podeljeni u starosne podgrupe raspona od po 10 godina, poređenja su ipak pokazala da u posmatranoj starosnoj grupi od 20 do 60 godina starost ne igra odlučujuću ulogu. S toga, podela na starosne grupe je napuštena i nije uključena u rezultate istraživanja. Rezultati su predstavljeni u vidu dijagrama put-vreme zavisno od pola i načina kretanja pešaka (slike 11–15).



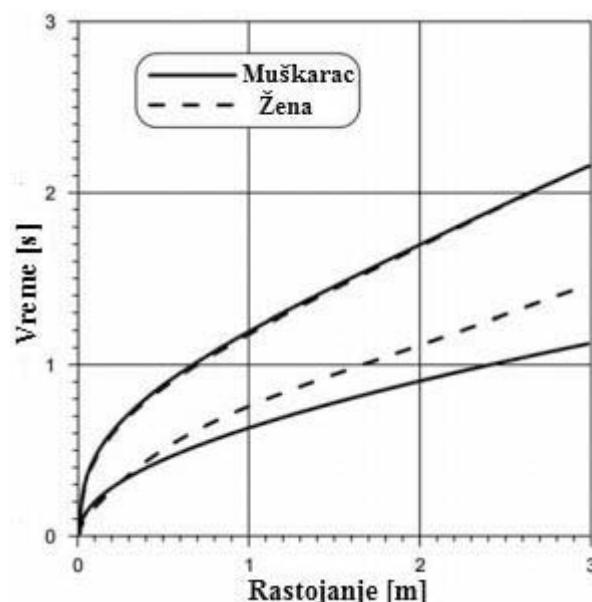
Slika 11. Ubrzanje pešaka do sporog hoda



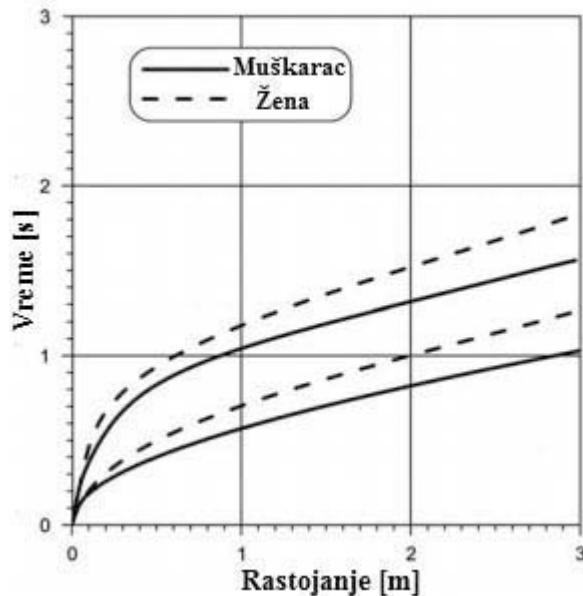
Slika 12. Ubrzanje pešaka do normalnog hoda



Slika 13. Ubrzanje pešaka do brzog hoda



Slika 14. Ubrzanje pešaka do trčanja



Slika 15. Ubrzanje pešaka do sprinta

Uporednom analizom rezultata ubrzavanja muških i ženskih osoba dolazi se do zaključka da za svaki način kretanja muške osobe ubrzavaju brže od ženskih. Jasno se moglo primetiti da je ubrzanje učesnika bilo povezano sa nameravanim načinom kretanja nakon ubrzavanja. Uopšteno se može zaključiti da se ubrzavanje pešaka najčešće završava nakon što pređe put od oko 1m, a da naredno rastojanje pešak prelazi konstantnom brzinom.

2.1 Upotreba rezultata istraživanja od strane sudskih veštaka

Uopšteno posmatrano, pešaci ubrzavaju prilikom promene načina kretanja od normalnog hoda do trčanja, kao i prilikom započinjanja kretanja pri prelaženju puta nakon promene svetla na semaforu na pešačkom prelazu ili kada čekaju da se pojavi određeni interval sleđenja vozila koji bi im omogućio prelazak kolovoza. Ubrzanje pešaka se može opisati kao nelinearno ubrzavanje u toku određenog vremena, tako da se vreme ubrzavanja pešaka može odrediti samo na osnovu eksperimentalno dobijenih rezultata.

Vrednosti ubrzanja se mogu odrediti na osnovu podataka sa grafika i izraza (2.1) pomoću pređenog puta i vremena, pa se dobijaju vrednosti ubrzanja od 0,6 do 6 m/s².

$$a = \frac{2 \cdot S}{t} \quad (2.1)$$

Ukoliko je poznata brzina pešaka u trenutku sudara i put koji je pešak prešao od mesta odakle je krenuo do mesta sudara, onda se za slučaj ubrzanog kretanja pešaka iz stanja mirovanja do trenutka sudara, vreme koje je pešak proveo na kolovozu može odrediti na osnovu izraza (2.2) pa ubrzanje nije ni potrebno jer ne figuriše u izrazu, ali radi logičke analize treba proveriti da li je pešak mogao da ostvari ubrzanje koje bi se dobilo prema izrazu (2.3) sa vrednostima do kojih je došao IFR.

$$t = \frac{2 \cdot S}{V} \quad (2.2)$$

$$a = \frac{V}{2 \cdot S} \quad (2.3)$$

Preporučuje se da se rezultati testova ubrzanja pešaka koriste za razdaljine do 3m. Primena prikazanih rezultata ubrzanja za razdaljine veće od 3m je neopravdvana, je se sa odgovara-

jućim vrednostima ubrzanja za određeni način kretanja na putu dužine 3m postiže brzine kretanja pešaka koje su prethodno prikazane. Kada se analizira slučaj gde pešak prelazi veću distancu od ove, preporučuje se da se vreme kretanje pešaka računa kao suma vremena koje mu je trebalo da pređe ovaj put sa odgovarajućim ubrzanjem i vremena koje mu je trebalo da pređe ostali deo puta konstantnom brzinom.

Početna tačka za vremensko-prostornu analizu nezgode može biti početak kretanja pešaka (mada nastanak opasne situacije može biti i neki drugi trenutak). Ipak, iz perspektive vozača važniji je sam momenat kada je u mogućnosti da primeti kretanje pešaka, nego sam početak kretanja pešaka, jer to vozač ne može da primeti. Ne postoji sumnja da neko vreme mora da prođe između početka kretanja pešaka i momenta kada vozač može da primeti to kretanje. Za to vreme, pešak će preći određenu razdaljinu. Minimalna promena pešakovе pozicije koju vozač može da primeti zavisi od više faktora, npr. doba dana, atmosferskih uslova, boje odeće pešaka i sl. U praksi, može se prepostaviti, da u povoljnim uslovima vidljivosti, u situaciji kada vozač pažljivo vozi, minimalno pomeranje pešaka koje bi vozač mogao da primeti je oko 0,4 m. Na osnovu prikazanih rezultata istraživanja može se zaključiti da pešak koji polazi iz stanja mirovanja može da pređe ovu razdaljinu za vreme od 0,3 do 1,2 s. Ako se umesto toga početak kretanja pešaka uzme kao momenat nastanka opasne situacije, a ne kada je vozač ovo kretanje mogao da primeti, onda bi odstojanje između pozicije vozila u tom momentu i mesto sudara sa pešakom bila veća od odstojanja računatog od momenta kada kretanje pešaka postaje očigledno za vozača. Ako bi jedna takva precenjena razdaljina bila prihvaćena u vremensko-prostornoj analizi nezgode, onda bi se mogao izvesti pogrešan zaključak o mogućnosti izbegavanja nezgode.

Za utvrđivanje brzine kretanja pešaka, kao polazni osnov veštaci koriste rezultate eksperimentalnih istraživanja koja su sprovedena 70-ih godina prošlog veka, pa imajući u vidu konstantnu evoluciju čoveka (i u načinu života i anatomske osobine) prednost treba dati rezultatima novijih istraživanja ovog parametra. Ovo naročito važi za spori i normalni hod pešaka gde je gornja granica brzine pomerena naviše od odgovarajućih vrednosti brzina dobijenih sedamdesetih godina. Pošto se brzine obično daju u određenom opsegu, u praksi saobraćajno-tehničkog veštačenja dešava se da veštak izabere prosečnu brzinu kretanja pešaka, što je pogrešno, jer vozač ne može biti „prosečno“ kriv za nastanak nezgode. Zato veštak treba da ispita granične slučajeve, kako bi sud utvrdio jeste li ili nije vozač kriv za nastanak nezgode, te zato prilikom izbora vrednosti brzine kretanja pešaka veštak treba da se rukovodi načelom „njajpovoljnije po okriviljenog“. Brzinu pešaka, veštak kad god je u mogućnosti treba da provjeri i uporedi sa mehanizmom nastanka povredama pešaka, tragovima i oštećenjima na vozilu i zaustavnim položajem pešaka, a što precizno može da utvrdi jedino kompjuterskom simulacijom saobraćajne nezgode. Koliko može biti veliko rasipanje dobijenih rezultata pri različitim brzinama kretanja pešaka, za iste ostale uslove, pokazano je na slici 16 i 17. Simulacija naleta na pešaka je sprovedena primenom programa Virtual CRASH 3, za brzinu putničkog vozila od 50 km/h i brzine kretanja pešaka od 3 do 18 km/h. Vozilo *audi a4* kočeno je usporenjem od 5 m/s² i sredinom čeonog dela ostvaruje primarni kontakt sa pešakom visine 175 cm, mase 75 kg, koji je pod 90° levom stranom okrenut dolazećem vozilu. Kao izlazni rezultat praćene su zaustavne pozicije pešaka (označene tačkama) i mesto sekundarnog kontakta tela pešaka i vozila (označeno linijama na poklopcu motornog prostora).



Slika 16. Simulacija naleta vozila na pešaka, početni uslovi



Slika 17. Simulacija naleta vozila na pešaka, izlazni rezultati

Na osnovu sprovedenih simulacija, na slici 17, može se videti da su zaustavne pozicije pešaka pri različitim brzinama kretanja pešaka za iste ostale početne uslove ima disperziju na površini od 20 m^2 (poduzno za 5 m i poprečno za 4 m), dok je mesto sekundarnog kontakta tela pešaka i vozila variralo u zoni širine 0,6 m (mereno na poklopцу motornog prostora vozila).

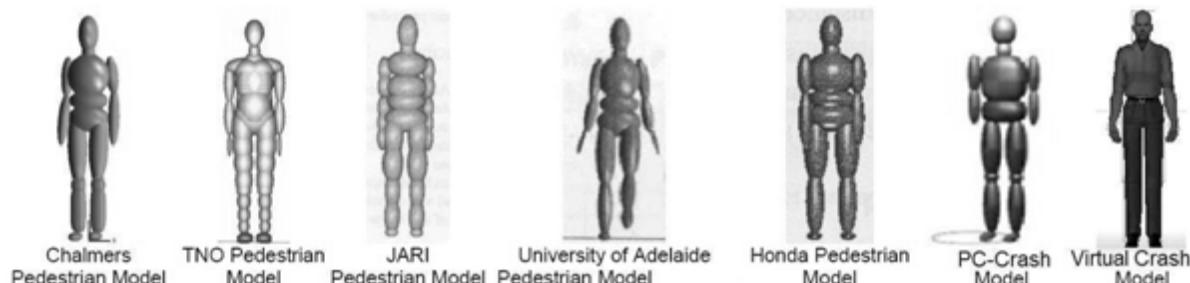
3. MODELOVANJE SUDARNOG POLOŽAJA PEŠAKA

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 [12]. Pored pravilne procene parametara sudara, kao što su sudsarne 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. Osim oblika karoserije, na kinematiku pešaka utiče i vrsta primjenjenog modela pešaka, koji u dobroj meri determiniše mogućnosti modelovanja položaja tela pešaka u trenutku sudara.

Studije Andersona i drugih [11] su pokazale da prilikom naleta vozila na pešaka, položaj tela pešaka pri kretanju utiče na kinematske rezultate i ishode u vidu povreda. IHRA (International Harmonized Research Activities) [9] je sprovela studiju parametara sa multibody modelima pešaka u tri položaja pri kretanju. Studija koju je sproveo Untariou [10] daje opis rekonstrukcije nezgoda bazirane na tehnikama optimizacije i uzima u obzir nekoliko inicijalnih položaja pešaka.

U literaturi su opisani brojni kompjuterski modeli pešaka. Ti modeli se razlikuju po složenosti, važnosti i dostupnosti. U cilju proučavanja sveukupne kinematike čoveka prilikom sudara, kompjuterski modeli zasnovani na krutim telima koja su međusobno povezana, predstavljaju moćno oruđe. Modeli pešaka predstavljeni u više položaja koji su opisani u literaturi, mogu se podeliti u dve kategorije, i to na modele sa „lomljivim“ nogama (sa kolenima) i bez njih. U kategoriji modela sa „lomljivim“ nogama, dva modela koja su u širokoj upotrebi su Chalmers i TNO (Netherlands Organisation for Applied Scientific Research) model pešaka. U kategoriji modela sa „nelomljivim“ nogama postoji veći broj primeraka, kao što su JARI (Japan Automobile Research Institute) model, model Univerziteta u Adelaidi i Honda model. Model Univerziteta u Adelaidi se još obeležava kao RARU (Road Accident Research Unit of Adelaide University), a u literaturi i kao Mizuno [13]. Usled kompleksnog ponašanja ekstremiteta pešaka i preciznosti proračuna, metodom konačnih elemenata razvijaju se i alati zasnovani na ovoj metodi.

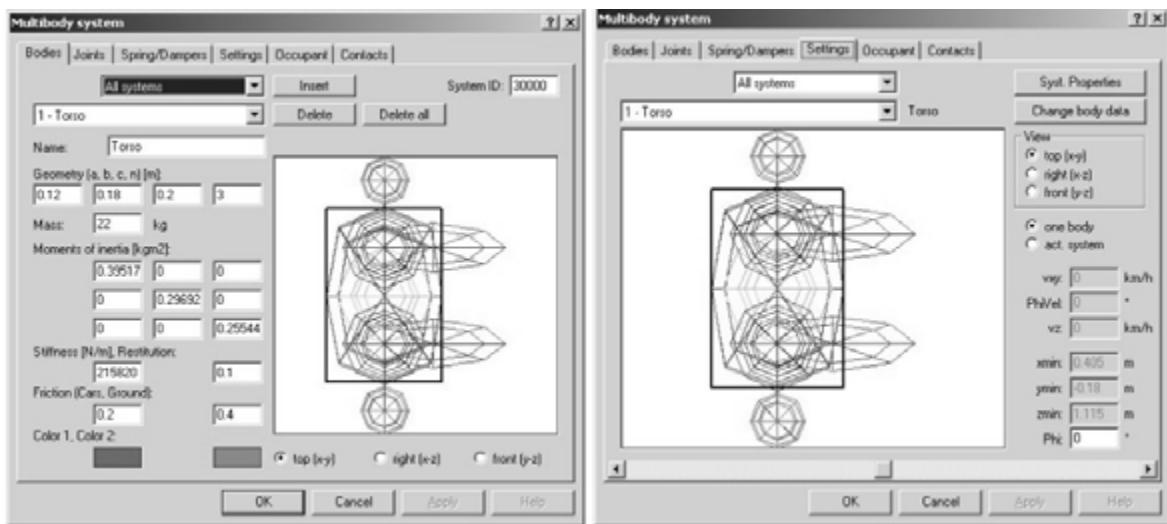
Na slici 18 predstavljeni su neki od navedenih modela. Poređenje valjanosti ovih modela nije predmet ovog rada, s obzirom na to da se svaka procena bazira na različitom skupu parametara što ograničava mogućnost njihovog poređenja. Ilustracije radi, Chalmers model se sastoji od 15 elipsoida i nogu sa kolenima poput ljudskih (sa većim brojem ligamenata). TNO model poznatiji je pod komercijalnim nazivom softvera koji je ovaj institut razvio MADYMO (MAtheematical DYnamic MOdels). On se sastoji od 52 kruta tela i uključuje šest zglobova na svakoj nozi, može se primeniti na telo bilo koje veličine i komercijalno je dostupan. Trenutna verzija MADYMO ljudskog modela pešaka postoji u pet antropometrija, to su: trogodišnje i šestogodišnje dete, 5-0 procenata žena, 50-0 procentni muškarac i 90-0 procentni muškarac.



Slika 18. Modeli pešaka

Položaj pešaka – multibody modela u odnosu na vozilo može se definisati na osnovu uporedne analize oštećenja na vozilu i povreda pešaka, nastalih u saobraćajnoj nezgodi. U kompjuterskoj analizi saobraćajnih nezgoda na ovim područjima najviše se koriste programi PC-Crash i Virtual CRASH, pa su iz tog razloga za modelovanje sudarnog položaja pešaka odabrani ovi programi, čiji modeli pešaka imaju izvesne analogije sa MADYMO modelom koji je u ovim programima znatno pojednostavljen.

Priprema pešaka u programu PC-Crash vrši se tako što se odredi položaj pešaka u odnosu na vozilo. Multibody sistem nije veštački stabilizovan u stoećoj poziciji, što znači da on deluje po zakonu gravitacije. Naime, 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. 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 [14].



Slika 19. Definisanje parametara multibody sistema

I Virtual CRASH pruža mogućnost simulacije naleta vozila na pešake primenom multibody simulacionog modela. Multibody simulacioni model čoveka sastoji se od 14 elemenata međusobno povezanih zglobovima. To su glava, vrat, grudi, struk, butine, potkolenice, stopala, nadlaktice, podlaktice i odgovarajući zglobovi.

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 [14]. Multibody sistem u nultoj (početnoj) poziciji je u ravnoteži, tj. unutrašnje sile i gravitacija su u ravnoteži koja traje do prvog spoljašnjeg uticaja, odnosno kontakta sa drugim telom.



Slika 20. Uobičajeni položaji multibody sistema

Za razliku od najnovije verzije, u ranijim verzijama programa Virtual CRASH direktnim korišćenjem interfejsa nije bilo moguće modelovati specifične položaje pešaka u odnosu na vozilo u trenutku kontakta, već su se za potrebe simulacije koristili karakteristični položaji pešaka koji su već bili definisani. Na raspolaganju su sledeći karakteristični položaji pešaka: stajanje, raskorak levom ili desnom nogom, sedenje u dva položaja, ležanje u četiri položaja, naslonjeni, guranje bicikla, povijeni, stoperski, odručeni, trčeći, klečeći, četvoronoške i dr. (slika 20). Pro-

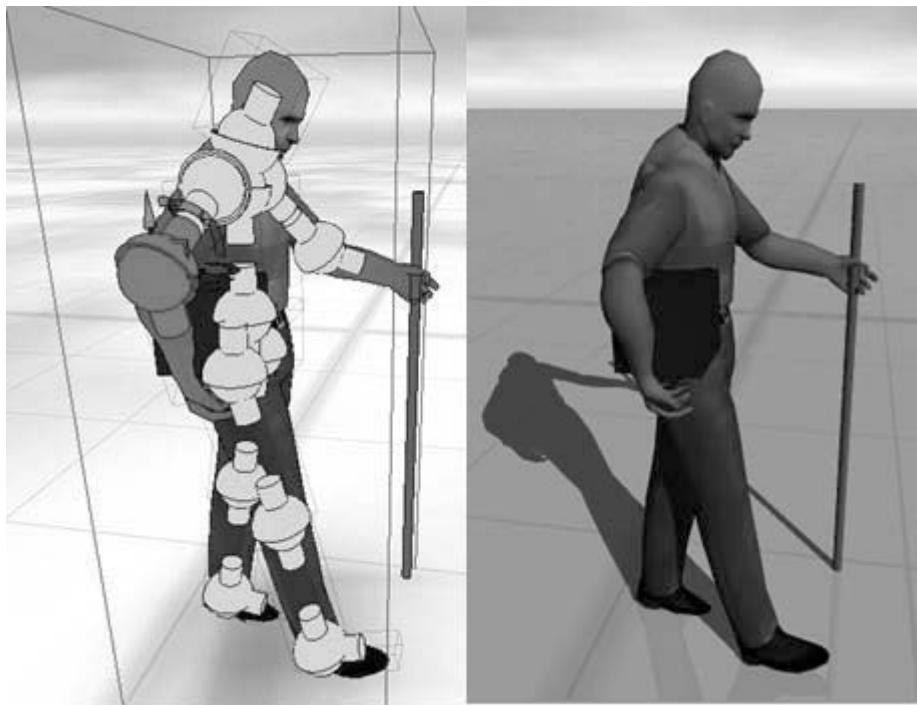
blem modelovanja specifičnih položaja pešaka moguće je bilo rešiti jedino pronašlaskom fajla *pedestrian.def* koji definiše položaj svakog pojedinačnog dela tela i izmenom parametara koji se odnose na koordinate i uglove (slika 21).

```
*COMMENT "pedestrian definition file";

*BODY
{
    *NAME "torso";
    *MASS 22.0;
    *SIZE 0.12 0.18 0.2 3.0;
    *POS 0.0 0.0 1.315;
    *ROT 0.0 0.0 0.0;
    *SF 0.8;
    *SR 0.1;
    *DF 0.2;
    *DR 0.1;
    *BELT 1 0.0 0.18 0.2;
}
```

Slika 21. Definisanje karakterističnih položaja multibody sistema u fajlu *pedestrian.def*

Za razliku od prethodnih verzija, najnovija verzija programa Virtual CRASH omogućava znatno lakše modelovanje specifičnih sudarnih položaja pešaka u interaktivnom radnom okruženju. To se postiže pomoću alatke tolbara *Joint* pomoću koje se aktiviraju zglobovi (slika 22). Zatim se svaki segment pomoću alatke tolbara *Restrict to X,Y,Z*, može postaviti u odgovarajući položaj (pomeranjima i rotacijama duž tri ose). A na raspolaganju su i dalje karakteristični položaji pešaka definisani kroz 28 šabloni (ne računajući stojeći koji je standardan).



Slika 22. Definisanje karakterističnih položaja multibody sistema

4. ZAKLJUČAK

Brzina pešaka je jedan od najvažnijih parametara, koje eksperti koriste prilikom analiziranja nezgoda. Osim brzine, na kinematiku pešaka, kada su u pitanju parametri pešaka, veoma važni parametri su masa pešaka i položaj pešaka.

Rezultati različitih eksperimenata koji se tiču brzine pešaka mogu se pronaći u udžbenicima. Ipak, većina eksperimenata je sprovedeno sedamdesetih i osamdesetih godina dvadesetog veka. S toga, bilo je potrebno proveriti rezultate dostupne u udžbenicima. Tri instituta, članovi ENFS-a učestvovalo je u projektu koji je proučavao brzinu kretanja pešaka u saobraćaju i rezultati istraživanja prezentovani su u ovom radu. Potvrđene su pretpostavke da se rezultati iz sedamdesetih godina delimično razlikuju od današnjih.

U radu su predstavljeni i rezultati istraživanja ubrzanja pešaka, pa je posebna pažnja skrenuta i na primenu dobijenih rezultata prilikom analiziranja mogućnosti izbegavanja nezgode.

Da bi se na adekvatan način sprovela kompjuterska simulacija saobraćajnih nezgoda sa pešacima, 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 i druge parametre, a u ovom radu dat je osvrt i na mogućnosti modelovanja položaja pešaka u programima za kompjutersku simulaciju saobraćajnih nezgoda koji se na ovim područjima najčešće koriste.

5. LITERATURA

- [1] Eberhardt, W.; Himbert, G. 1977. Bewegungsgeschwindigkeiten. Versuchsergebnisse nichtmotorisierter Verkehrsteilnehmer, Der Verkehrsunfall 4/1977, p. 79–81.
- [2] Eberhardt, W. Bewegungsgeschwindigkeiten. Saarbrucken 1977.
- [3] Wypadki drogowe. Vademecum biegłego sądowego, Institute of Forensic Research Publishers, Cracow 2006, p. 860.
- [4] Fugger, T.; Bryan, C. Pedestrian Behavior at Signal-Controlled Crosswalks, SAE Special Publication SP-1572 Accident Reconstruction-Crash Analysis 2001, SAE Technical Paper 2001-01-0896.
- [5] Zebala, J.; Wach, W.; Rusitoru, F. 2006. Speed of pedestrian's movement in real road traffic. Results of proficiency test and uncertainty of pre-impact calculation, Workshop Organiser: ENFSI Road Accident Analysis Expert WG, EAFSHelsinki.
- [6] Zebala, J. et al.: PEDESTRIAN MOTION SPEED WHILE CROSSING THE ROAD, Proceedings of the 6th International Scientific Conference TRANSBALTICA 2009, Vilnius Gediminas Technical University Publishing House "Technika".
- [7] Vujanić, M. i dr., SAOBRAĆAJNO-TEHNIČKO VEŠTAČENJE, priručnik, MID Inženjerija, Beograd 1996.
- [8] Zebala, J.; Ciepka, P.; Reza, A.: PEDESTRIAN ACCELERATION AND SPEEDS, Problems of Forensic Sciences 2012 Vol. 91 (XCI) 227-234.
- [9] Y.Mizuno. Summary of IHRA Pedestrian safety WG activities - Proposed test methods to evaluate pedestrian protection afforded by passenger cars. 2003. Japan Automobile Standards Internationalization Center.
- [10] Costin D.Untaroiu, Mark U.Meissner, J.Crandall, Yukou Takahashi, Masayoshi Okamoto and Osamu Ito. Crash reconstruction of pedestrian accidents using optimization techniques. 2008. International Journal of Impact Engineering.
- [11] R.W.G.Anderson, A.D.Long, T.Serre and C.Masson. Determination of boundary conditions for pedestrian collision reconstructions. Proceedings of the ICRAsh Conference 2008. Kyoto.
- [12] Milutinović, N, i A. Arsić: ANALIZA ODBAČAJA PEŠAKA U FUNKCIJI MODELA KAROSERIJE VOZILA, Savetovanje na temu: SAOBRAĆAJNE NEZGODE, Zbornik radova 172-180, Agencija Ekspert, Zlatibor, 2010.

-
- [13] Linder, A, et al.: Mathematical modelling of pedestrian crashes: Review of pedestrian models and parameter study of the influence of the sedan vehicle contour, ROAD SAFETY COUNCIL OF WESTERN AUSTRALIA, 2004.
 - [14] Papić,Z., S.Kostić, V.Bogdanović i N.Ruškić: PRIMENA RAČUNARSKIH PROGRAMA U EKSPERTIZAMA NALETA VOZILA NA PEŠAKE – UPOREDNA ANALIZA, VII Simpozijum o saobraćajno-tehničkom veštačenju i proceni štete, Vrnjačka Banja, 2009., (Zbornik radova 383-400).