

PRIMENA SAVREMENIH SOFTVERSKIH ALATA ZA ANALIZU SAOBRĀCAJNIH NEZGODA

NEW TRAFFIC ACCIDENT RECONSTRUCTION SOFTWARE TOOLS

Milan Vujanić¹; Nenad Milutinović²

Rezime: U radu će biti prikazani programi za analizu saobraćajnih nezgoda, istorijat, problemi vezani za primenu, preporuke za pravilnu primenu i način ocene rezultata analize saobraćajnih nezgoda pomoću ovih programa.

KLJUČNE REČI: SOFTVERSKI ALATI, SIMULACIJA, NALAZ I MIŠLJENJE, POSTUPAK, UZROCI, OKOLNOSTI, SWOT ANALIZA

Abstract: Paper will presents programs for traffic accident analysis, history, using, problems and recommendations and results validating.

KEY WORDS: SOFTWARE TOOLS, SIMULATION, EXPERTS WITNESS, PROCEDURES, CAUSES, SURROUNDINGS, SWOT ANALYSIS

XI Simpozijum
"Analiza složenih saobraćajnih nezgoda
i prevare u osiguranju"

¹ Saobraćajni fakultet u Beogradu, Katedra za bezbednost saobraćaja i drumska vozila, vujanic@mail.com

² Visoka tehnička škola strukovnih studija, Kragujevac, mail: nmilutinovic@vts.edu.rs

1. UVOD

Komputerski programi se koriste za analizu saobraćajnih nezgoda, od ranih sedamdesetih godina [8] prošlog veka. Uvođenjem personalnih računara početkom osamdesetih godina, ovi programi su postali dostupni za korišćenje široj društvenoj zajednici koja je zainteresovana za istragu nezgoda. Baš kao što varira nivo veštine među veštačima, nivo razumevanja primene programa i načina njihovog rada, takođe varira. Kada se pravilno koristi, ovi kompjuterski programi su od neprocenljive vrednosti u analizi nezgoda kao jedan od alata za njihovu analizu. Kada se pogrešno koriste, ovi programi mogu proizvesti pogrešne rezultate i zablude o tome šta se zapravo dogodilo tokom nezgode [8]. Računarski programi za rekonstrukciju sudara vozila su ocenjeni kao veoma važna sredstva od strane većine istraživača ali se programi ponekad mogu i zloupotrebiti. Većinom slučajevi zloupotrebe ili pogrešne primene, proističu iz nehata odnosno nedostatka detaljnog razumevanja programa.

U SAD je razvijen prvi program namenjen kompjuterskoj analizi (simulaciji) sudara vozila. Programi na tom području su najčešće zasnovani na CRASH i SMAC metodama. Kasnije su razvijeni programi u Evropi ali se isključivo temelje na impulsnom modelu sudara [6]. Primena savremenih softverskih alata za analizu saobraćajnih nezgoda je i na prostorima Srbije, Crne Gore, Bosne i Hercegovine, Makedonije i Hrvatske pa su prisutne i zloupotrebe u primeni ovih programa.

U radu će biti prikazani programi za analizu saobraćajnih nezgoda, istorijat, problemi vezani za primenu, preporuke za pravilnu primenu i način ocene rezultata analize saobraćajnih nezgoda pomoću ovih programa.

2. SOFTVERI U PRAKSI SAOBRAĆAJNO-TEHNIČKOG VEŠTAČENJA

Tipovi softvera koji se koriste za saobraćajno-tehničko veštačenje u ekspertizama saobraćajnih nezgoda imaju prednosti u odnosu na klasične postupke analize saobraćajnih nezgoda pa danas imaju važnu ulogu za rekonstrukciju i analizu saobraćajnih nezgoda.

Razvojem računara pojavila se ideja o programima za grafički prikaz, odnosno animaciju saobraćajnih nezgoda, zbog sagledavanja saobraćajne situacije i analize okolnosti i uzroka nastanka saobraćajne nezgode. Ovo bi trebalo da pomogne u sudskim procesima, koji zbog nemogućnosti preciznijeg utvrđivanja parametara od značaju za analizu nezgode, a samim tim i zbog ponovnih veštačenja, mogu da traju i po nekoliko godina. Potrebno je menjutim istaći, da programom može da upravlja samo obučen veštak koji zna klasično veštačenje i ima iskustva.

Kada je reč o programima koji se koriste za potrebe ekspertiza saobraćajnih nezgoda, oni se mogu s obzirom na svoje mogućnosti podeliti na različite načine. Npr, programi koji služe za izračunavanje brzina, programi koji omogućavaju i određivanje mesta sudara itd. Generalno, svi ovi programi se mogu svrstati u šest osnovnih tipova računarskih programa za ekspertize saobraćajnih nezgoda su:

- Programi za opštu (kinematičku) analizu
- Programi za dinamiku vozila
- Programi za dinamiku sudara
- Programi za dinamiku čoveka u vozilu
- Programi za fotogrametriju
- Programi za animaciju

2.1. PRAVILNA I POGREŠNA UPOTREBA SOFTVERA

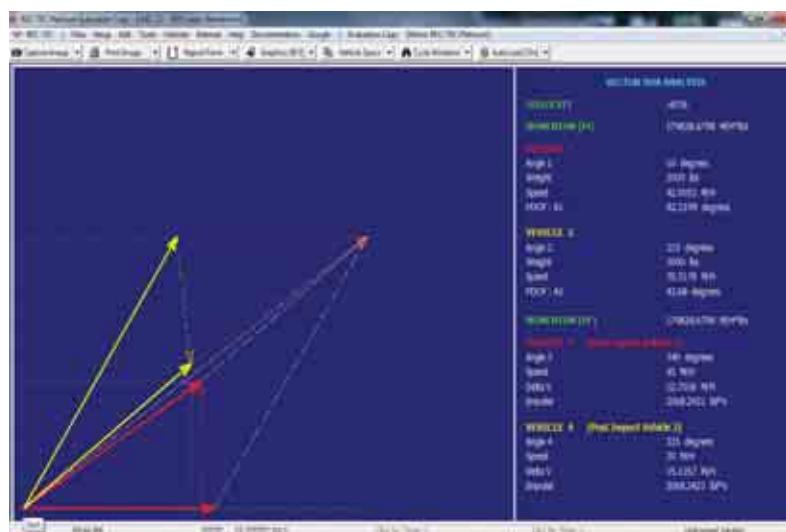
Postoje kompjuterski programi koje veštaci – ekspertri koriste za rekonstrukciju kao važno oruđe eksperata za rekonstrukciju nezgoda. Međutim, programi za rekonstrukciju nezgoda se ponekad i pogrešno koriste [1]. Najčešće, pogrešna upotreba za rekonstrukciju nezgoda nastaje zbog nerazumevanja kako ovi programi funkcionišu. U radu će biti predstavljena serija preporuka za pravilno korišćenje ovih programa.

2.1.1. Programi za opštu (kinematičku) analizu nezgoda

Među programima za opštu tzv. kinematičku analizu saobraćajnih nezgoda, koji su se prvo pojavili bili su:

- BLAQQ BOXX [2]
- C.A.A. System [3]
- A-I-CALC [4]
- C.A.R.S. [5]
- COLLIDE [6]
- CAR [7]

Danas se koriste kvalitetni programi namenjeni proračunu elemenata za analizu toka saobraćajne nezgode. Kinematički modeli proračunavaju jednostavne zavisnosti pozicije, brzine i ubrzanja [8]. Danas postoje programi: REC-TEC [9], VCRware (Vehicle Crash Reconstruction software) [10], ARC 2.5 (Accidents Reconstruction Calculator) i dr., koji pored kinematičkih računaju i sudsarne parametre. Pored komercijalnih verzija softvera, postoji nemali broj softvera ove vrste, koji nisu komercijalizovani, kao na primer [11].



Slika 2.1 REC-TEC radno okruženje

Upotreba

Kao i kod svih analiza, tačan unos podataka je preduslov dobijanja tačnih rezultata. Ovi programi računaju kinematiku, npr. položaj, brzinu i ubrzanje u funkciji vremena. Programi se koriste da obavljaju ove važne kalkulacije na brz i precizan način i koriste dinamiku materijalne tačke uz uobičajenu pretpostavku da je ubrzanje konstantno.

Pogrešna upotreba

Pogrešna upotreba ovih programa proističe iz nerazumevanja uslova i načina primene formula koje programi koriste. Kinematicki proračuni su korisni jer obezbeđuju informacije o brzini vozila. Međutim, jednačine koje se koriste su opšte i mogu se primeniti skoro za bilo koja tela, paje za korišćenje programa potrebno razumevanje zakonitosti koje koriste ovi programi. Na primer, ako su dati pogrešni podaci jednačine će na slepo proračunati stvari koje nisu moguće, kao što je ubrzanje vozila od $18,6 \text{ m/s}^2$ pa od korisnika zavisi da li će prepoznati da postoji problem.

Kinematicke jednačine su korisne za određivanje brzina nakon sudara ako se vozilo kreće približno pravom putanjom i ne rotira između sudsarne i zaustavne pozicije, pri konstantnom usporenju. Ako vozilo rotira, usporenje obično nije konstantno, a dobijeni rezultati se ne mogu praktično primeniti.

Proračuni impulsa koji se koriste u ovim programima prepostavljaju da se sudar odvija u prvom kvadrantu tj. sva merenja su pozitivna. Ova prepostavka stavlja restrikciju na koordinatni sistem i može da dovede do grešaka za neke konfiguracije sudara. Uz to, jednačine nisu tačne za kolinearne sudare i postaju izuzetno osetljive za približno kolinearne sudare. Korisnik mora da bude siguran da su jednačine koje program koristi tačne za određenu konfiguraciju sudara koja se analizira. Jednačine koje se nalaze u programima opšte analize mogu se koristiti za rekonstrukciju celu nezgodu. Međutim, zbog toga što se svaka od formula koristi nezavisno, nema računarske provere među jednačinama. Provere kompatibilnosti faze sudara i faze posle sudara (koje normalno rade programi za rekonstrukciju) su ostavljene korisniku a to znači da korisnik mora posedovati znatnu veština i stručnost.

2.1.2. Programi za dinamiku vozila

Programi za analizu dinamike vozila variraju po nivou usavršenosti, kao na primer po pitanju karakteristika raspodele opterećenja po točkovima, sistema vešanja, priključnih vozila itd. Ovi programi se zasnivaju na tzv. kinetičkim modelima.

Kinetički modeli rešavaju diferencijalne jednačine kretanja vozila i uglavnom uključuju proceduru koja se sastoji iz:

- kalkulacije sila na točkovima,
- formulacije jednačina kretanja (Njutnove i Ojlerove jednačine),
- numeričke integracije jednačina,
- određivanja novih koordinata težišta vozila u globalnom koordinatnom sistemu i
- kalkulacije promena vertikalnih sila za svaki točka [8].

Neki od programa za dinamiku vozila koji su se među prvima pojavili navedeni su u sledećoj tabeli.

Tabela 2.1 Programi dinamike vozila

<i>Naziv programa</i>	<i>Mogućnosti programa</i>		
	<i>Raspodela opterećenja</i>	<i>Udvojene osovine</i>	<i>Skupovi vozila</i>
EDSVS [12]	×	×	
EDVTS [13]	×	×	
SMAC [14] [15]			
VTS [16]	×		

Upotreba

Ovi programi se koriste za analizu ponašanja vozila na ubrzavanje, kočenje i upravljanje. Veštaci na osnovu programa mogu da steknu uvid u način vožnje i preduzete radnje od strane vozača, razloge gubitka kontrole nad vozilom, kao posledica velike brzine, kočenja, i drugih pogrešnih manevara vozača. Pošto se efekti vešanja zanemaruju, programi su najpodesniji za režime niskog trenja, gde efekti vešanja nisu preterano značajni.

Programi se takođe koriste za analize efekata promene trenja, raspodela težine, dimenzija vozila, sistema vešanja i drugih parametara. Programi za dinamiku vozila su korisni za ilustraciju preduzetih manevara. Dakle, ovi programi se mogu koristiti za analizu mogućnosti izbegavanja saobraćajne nezgode. Dodatna primena ovih programa je analiza postsudarne faze, naročito brzina vozila u postsudarnoj fazi. Ovi programi koriste model sa neravnomernim usporenjem vozila od sudara do zaustavljanja. Svi ovi programi prepostavljaju da se vozilo kreće po ravnoj i horizontalnoj površini pa su to glavni razlozi nekorišćenja programa za naučno-istraživačke studije. U rekonstrukciji nezgoda, čiji je cilj ispitivanje mogućih i nemogućih događaja pomoću fizičkih modela, ovi programi su veoma korisni.

Računarske analize nezgoda su korisne jer ilustruju, šta je moguće a šta nemoguće u toku nezgode, primenom fizičkih modela.

Pogrešna upotreba

Jedna analiza ne bi trebalo da se koristi kao dokaz ili prikaz jedinog načina na koji se nezgoda mogla dogoditi.

Programi dinamike vozila koriste model pneumatika da bi odredili sile na pneumaticima kao funkciju vertikalnog opterećenja pneumatika, klizanja pneumatika, koeficijenta pranja (trenja) i ugla bočnog skretanja tj. krutosti pneumatika. Model pneumatika se zasniva na naduvanom pneumatiku koje ide po asfaltu ili betonu. Ako je pneumatik bez pritiska, ovaj model će unapred prepostaviti ugao bočnog skretanja tj. krutost pneumatika sve dok se znatno ne smanje koeficijent pranja (trenja) i krutost. Problem je što korisnik mora da proba niz vrednosti da bi definisao ova ograničenja. Iz sličnih razloga, upotreba ovih programa se ograničava na tvrde površine, jer primena na vozila koja se kreću po mokrom tlu nije testirana i verovatno nije opravdana.

2.1.3. Programi za dinamiku sudara

Tri od mnogih programa dinamike sudara su prikazana u tabeli 5.2. Iako se ovim modelima akcenat stavlja na fazu sudara, neki od njih takođe analiziraju faze pre i posle sudara.

Tabela 2.2 Programi dinamike sudara

Naziv programa	Analizirane faze		
	<i>pre sudara</i>	<i>sudar</i>	<i>posle sudara</i>
CRASH [17] [18]		x	x
SMAC [14] [15]	x	x	x
IMPAC [19]		x	

Upotreba

Programi dinamike sudara se koriste za analizu nezgoda koje obuhvataju sudare vozilo-vozilo i sudare vozilo-prepreka. Primarna svrha ovih programa je da proceni brzine pri

sudaru i promenu brzine (ΔV). Ovi programi polaze od pretpostavke da se nezgoda dogodila na ravnoj, horizontalnoj površini, ali se mogu koristiti i za nezgode koje se dogode na manjim nagibima i površinama sa manjim uzvišenjima. Raspodela opterećenja i efekti vešanja se zanemaruju, što ih čini tačnijim za režime niskog trenja.

Ovi programi vrše veći broj dugih proračuna koje kompjuter izvodi veoma brzo a kao rezultat se korisniku daje mogućnost da pravi izmene u ulazu i testira efekat na izlazne rezultate. Opcija analize „šta–ako” čini ove programe veoma upotrebljivim. Često rezultati ne mogu da se direktno primene na predmet istraživanja, ali mogu da obezbede dragocena saznanja.

Pogrešna upotreba

Programi dinamike sudara su korisni za analizu sudara motornih vozila koji su, po svojoj prirodi, izuzetno složeni. Ovi programi mogu biti pogrešno upotrebljeni zbog nerazumeavanja načina funkcionisanja programa.

Svaki od programa zahteva mnoge podatke sa mesta nezgode i podatke o vozilima. Ovi podaci se traže za bilo koju rekonstrukciju, bez obzira na analitičku tehniku. Neki od podataka se mere a neki se procenjuju. Podaci koji često moraju da se interpretiraju procenom obuhvataju poziciju sudara, ugao pod kojim su vozila ostvarila sudar, putanju od sudara do zaustavljanja, kočenje točkova i oštećenja. Pogrešna interpretacija podataka sa lica mesta utiče na dobijene rezultate.

Mnoge podatke veštaci koriste iz tablica, ali ti podaci pretpostavljaju tipične vrednosti pa se moraju uzeti konkretni podaci. Npr, parametri iz tablica vezani za masu vozila treba da se koriguju ako je vozilo prevozilo pet putnika i pun prtljažnik tereta.

U nekim sudarima, udarenog vozilo može da se prelomi na dva dela. Pod ovim okolnostima nijedan od programa ne bi trebalo da se primenjuje. CRASH i SMAC koeficijenti čvrstoće neće biti valjni, dovodiće do precenjivanja ΔV . Slično tome, jednačine impulsa koje koriste CRASH i IMPAC, a koje pretpostavljaju mase dva vozila, a ne tri, nisu važeće, a pogrešni su rezultati koji se zasnivaju na impulsu. Ovi programi su najpodesniji za proučavanje sudara u testiranom opsegu za ΔV , približno 15 do 65 km/h. Rezultati van ovog opsega mogu biti nepouzdani.

Druga potencijalna greška u primeni je upotreba za lančane sudare. Nijedan od programa ne uzima u obzir sve stepene slobode. Efekti zanemarivanja rotacije oko osa mogu biti značajni i moraju se proceniti od slučaja do slučaja.

Nezgode sa vozilima koja imaju veliku disproportciju masa moraju se razmatrati sa izuzetnim oprezom. U situacijama ako je jedno vozilo teže od drugog 10 i više puta, analiza će otkriti da je sudarna brzina lakšeg vozila izuzetno osetljiva na podatke o licu mesta nezgode i sudarnim parametrima.

Primenjene jednačine impulsne teorije sudara ponekad ne daju dobre rezultate za sudare automobila i kamiona, zato što sile na pneumaticima kamiona možda neće biti zanemarljive u odnosu na sudarne sile. Ako se uzme na primer, da kamion teži 200.000 N. Sile na pneumatiku mogu lako preći 100.000 N. U takvom slučaju maksimalna sudarna sila može da bude manja od sile na pneumatiku, pa veštak mora da razmotri ove faktore od slučaja do slučaja.

Pogrešnu upotrebu programa za analizu karakteriše i to da ako se koristi samo jedna simulacija ona ne može da opiše jedini način na koji se nezgoda mogla desiti.

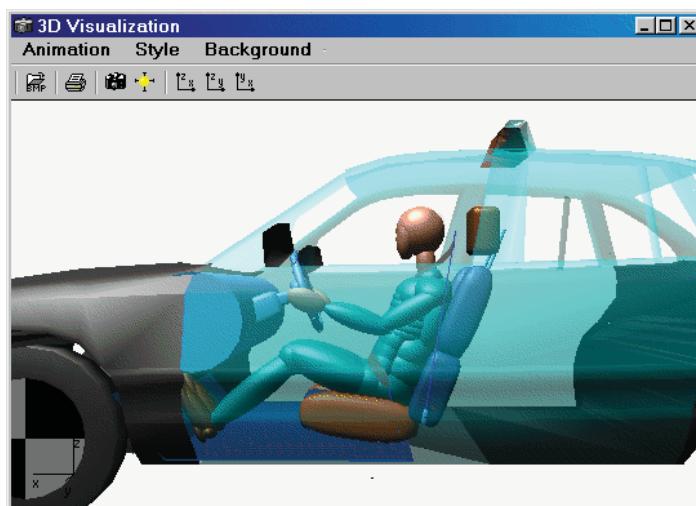
2.1.4. Programi za dinamiku ljudi u vozilu

Dva programa dinamike ljudi su prikazana u tabeli 5.3 i oni su se među prvima pojavili. Ovi programi variraju prema nivou usavršenosti. Iako nisu trenutno u tolikoj upotrebi kao programi za dinamiku sudara, primena u sporovima koji uključuju nekorišćenje sigurnosnih pojaseva može povećati njihovu popularnost.

Tabela 2.3 Programi dinamike ljudi

Program	Dimenzije	Delovi tela
MVMA-2 D [20]	2	9
CVS – 3 D [21]	3	∞

Jedan od najmodernejših programa u ovoj oblasti je Madymo (MAthematical DYnamic MOdel). Za modeliranje osoba u vozilu program je razvila je TNO (Organisatie voor Toegangsgeschiedenis-Natuurwetenschappelijk Onderzoek) organizacija za primenjena naučna istraživanja odnosno istraživački institut za drumska vozila pri ovoj organizaciji. Madymo koristi model višedelnih osoba u vozilu. To je model pedesetoprocentne hibrid III lutke (50th percentile Hybrid III dummy) [22]. Madymo uključuje sedište s lako promenljivim parametrima, točak upravljača, sigurnosne pojaseve i vazdušne jastuke.



Slika 2.2 Madymo simulaciono okruženje [22]

Upotreba

Ovi programi se koriste da odrede mehanizam povređivanja vozača i putnika u vozilima tokom sudara. Proučavanja povreda putnika obuhvata efekat dizajna unutrašnjosti vozila, upotrebu sigurnosnih pojaseva i efektivnost naslona za glavu.

Ovi simulatori koriste profil impulsa da bi se opisali okruženje koje vlada u vozilu tokom sudara. CRASH i SMAC mogu da obezbede ovaj impuls. Profil impulsa u programu CRASH je veoma idealizovan i nije naročito preporučljiv za upotrebu u programima za simulaciju dinamike ljudi. Profil impulsa iz programa SMAC iako je još uvek idealizovan u poređenju sa oscilografskim zapisima sa kreš testova, obezbeđuje nešto realniji oblik impulsa.

Pogrešna upotreba

Programi dinamike ljudi imaju karakteristiku da ne opisuju jedini mogući ishod nezgode. Male promene u bilo kom od velikog broja procenjenih parametara, mogu dovesti do velikih promena u rezultatima. Upotreba bi trebalo da se ograniči na proučavanja mehanizma povređivanja za rekonstrukciju nezgoda. Tačnost simulacije zavisi ne samo od tačnosti podataka o vozilu i putnicima, već i od tačnosti impulsa. Ako se SMAC koristi da generiše impuls, detaljna analiza ljudske simulacije će zahtevati detaljnu analizu simulacije sudaara, da bi se dobili valjani rezultati.

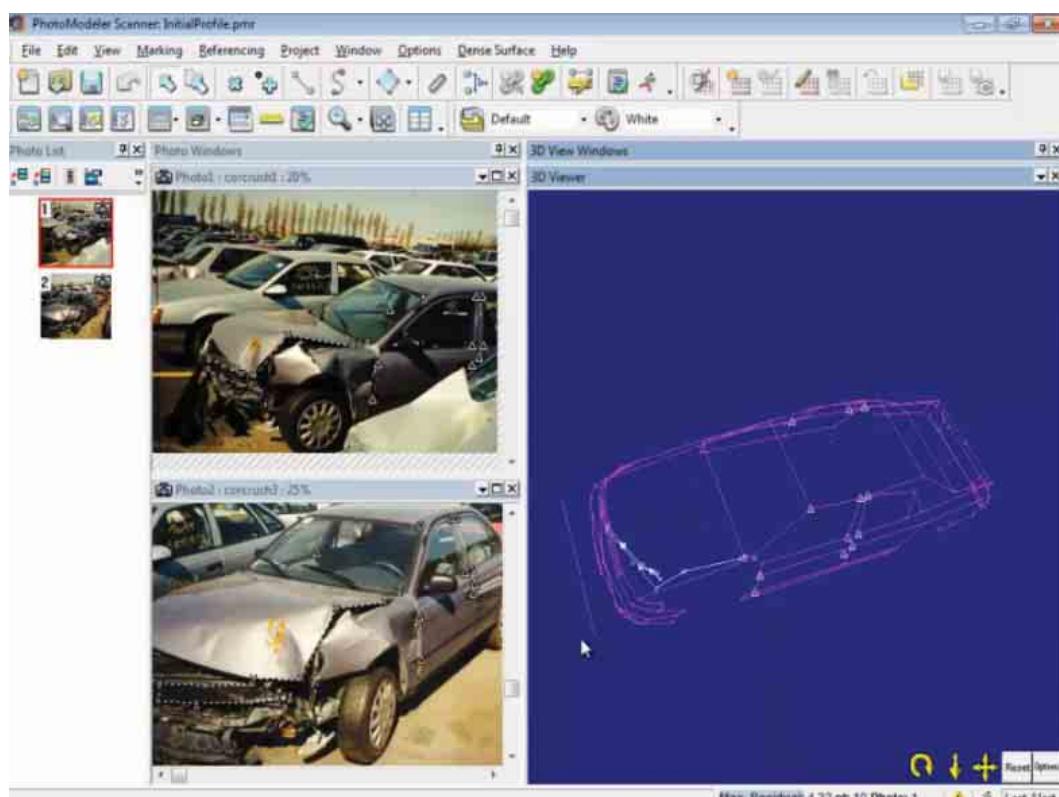
2.1.5. Programi za fotogrametriju

Prvi programi, koji su bili namenjeni fotogrametrijskim analizama mesta nezgode su se pojavili sredinom osamdesetih godina. Četiri fotogrametrijska programa, koji su se među prvima pojavili su:

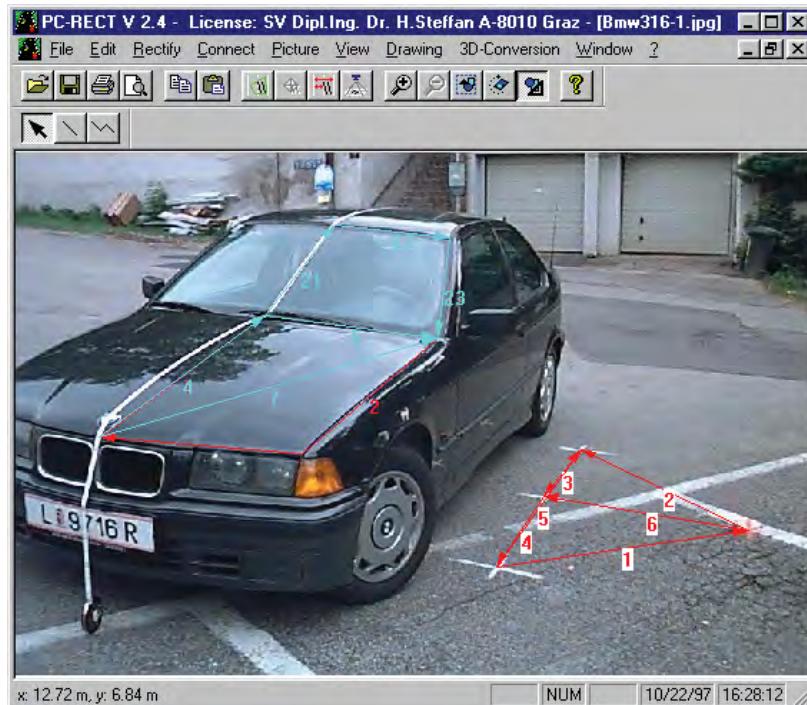
- TRANS4 [23]
- FOTOGRAM [24]
- AICALC [4]
- EDCAD [25]

Nivo usavršenosti ovih programa varira u pogledu analiza koje se mogu izvesti na osnovu raspoloživih podataka.

Danas se koriste programi koji obradom fotografskog materijala omogućavaju merenje potrebnih dužina, generisanje digitalnog modela mesta nezgode, kao i merenje deformacija na vozilima. Takvi programi su na primer iWitness [26], PhotoModeler [27] i PC-Rect [28].



Slika 2.3 PhotoModeler radno okruženje



Slika 2.4 PC-Rect radno okruženje [28]

Upotreba

Programi fotogrametrije se koriste za materijalne tragove, pozicije tragova, delova i krhotina vozila sa fotografijom lica mesta nezgode. Da bi se koristila fotogrametrija, neophodne su kvalitetne fotografije. Korisnik poredi izmerene koordinate četiri tačke pronađene na mestu nezgode, sa iste četiri tačke vidljive na fotografiji. Ove tačke se zovu tačke kalibracije i moraju se pažljivo izabrati zbog tačnosti rezultata.

Pogrešna upotreba

Fotogrametrija zahteva da tačke kalibracije budu pažljivo izabrane i da tri od četiri tačke ne budu na pravoj liniji. Ako tačke leže pored prave linije, rezultati će biti osetljivi na greške. Za najbolje rezultate, tačke bi trebalo da okruže lokaciju predmeta analize. Sve tačke kalibracije i druge tačke treba da leže u istoj ravni. Pogrešna upotreba fotogrametrije proizilazi najčešće iz primene na neravne površine. Potencijalni problemi uključuju ivičnjake, jarke i sl. Čak i oni programi koji obezbeđuju procenu greške, pretpostavljaju grešku koja se događa na ravnom putu. Korisnik ovakvog programa treba da proveri tačnost fotogrametrije poređenjem rezultata pomoću pete tačke na mernoj lokaciji.

Tačnost fotogrametrije se smanjuje udaljenjem predmetne lokacije od fotoaparata. Ponekad je neophodno da se koriste dodatne fotografije kojima je fiksirano bliže mesto nezgode.

2.1.6. Programi za animaciju

Postoje i programi koji su osim za rekonstrukciju namenjeni i za animaciju, kao što je Crash Zone 8 [29]. Razlika animacije i simulacije je značajna, mada se ponekad ova dva termina poistovećuju pa treba napomenuti da animacija predstavlja tehniku postizanja pokreta primenom računara.



Slika 2.5 Crash Zone animaciono okruženje

Ovi programi služe za analizu (rekonstrukciju) nezgode i pravljenje animacija kojima se olakšava prikaz toka nezgode, ali ne i za analizu. Animacije se kreiraju tako što se zadaju karakteristične pozicije i položaji vozila, uz zadavanje brzina u tim pozicijama. Međupozicije i međupołożaji, kao i brzine vozila, određuju se interpolacijom podataka. Proces kretanja vozila u animacijama ne podleže zakonima fizike, što treba imati na umu prilikom ocenjivanja rezultata rekonstrukcije koji se ne mogu zasnovati na rezultatima animacije, već isključivo na uklapanju sa materijalnim dokazima i eventualno rezultatima dobijenim drugim kompjuterskim tehnikama.

2.1.7. Diskusija o softverima

Studije validnosti, koje se izvode kod kompjuterskih programa koji se koriste u rekonstrukcijama nezgoda, pokazuju da programi mogu da obezbede tačne i korisne rezultate ako se koriste pravilno. Dobri rezultati se postižu kada se programi pažljivo koriste od strane obučenih profesionalaca koji razumeju kako programi rade i koriste ih u skladu s tim, tj. kada obraćaju pažnju na pretpostavke programa i njihova ograničenja. Većina grešaka pri upotrebi dolazi zbog nerazumevanja načina funkcionisanja programa i podataka koje koriste.

Nijedan kompjuterski program ne bi trebalo da se smatra crnom kutijom koju bilo ko bez obuke može dosledno koristi za dobijanje tačnih rezultata. Veština je osnovni element u dobijanju korisnih rezultata kod svih kompjuterskih programa. Veštaci bi trebalo da pažljivo pregledaju dokumentaciju i literaturu, pre primene programa na realnim slučajevima. Poznavanje klasičnih metoda proračuna, dinamike sudara i ostala znanja vezana za bezbednost saobraćaja su neophodna za korišćenje softverskih alata.

Pogrešna upotreba često nastaje ako istraživač pokušava da intuitivno nadoknadi netačne ili informacije koje nedostaju ili neki važan detalj koji je prevideo.

2.2. ISTORIJAT RAZVOJA SOFTVERA ZA ANALIZU DINAMIKE VOZILA I DINAMIKE SUDARA

Programi za dinamiku sudara i dinamiku vozila su najčešće korišćeni programi u praksi saobraćajno-tehničkog veštačenja, pa će zato u nastavku biti prikazan razvoj pojedinih programa kojima se modelira dinamika sudara i dinamika vozila uopšte.

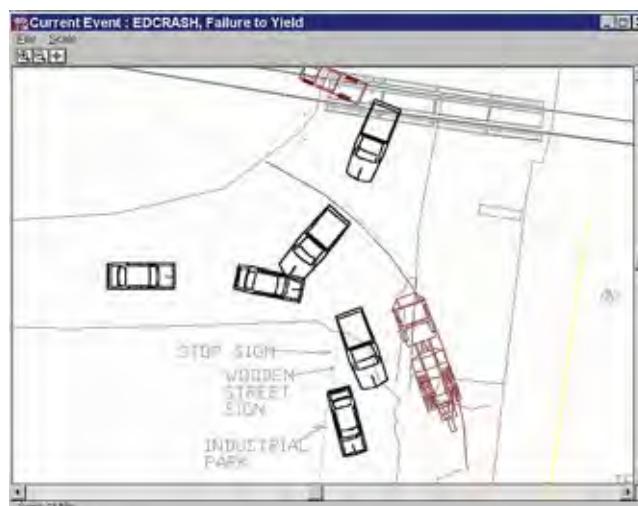
Prvi pokušaji definisanja modela za određene zakonitosti u procesu sudara i pokušaji primene za analizu saobraćajnih nezgoda vezuju se za drugu polovicu prošlog veka. Godine

1952., kreiran je pionirski program u istraživanju bezbednosti na putevima ACIR (Automobile Crash Injury Research Program), sa ciljem utvrđivanja uzroka povređivanja posade automobila koji su učestvovali u saobraćajnim nezgodama, kako bi se sprečile povrede ili ublažile kroz bolji dizajn vozila. Do sredine šezdesetih godina prošlog veka, 31 država je učestvovala u programu i obezbedile su preko 50.000 predmeta za studiju [39]. Glavni kriterijum za klasifikaciju nezgoda u pogledu težine u ACIR programu se zasnivao na poređenju slika oštećenih vozila [40].

Tokom 70-ih godina prošlog veka, za Američki departman za saobraćaj razvijen je u laboratoriji Calspan kompjuterski algoritam koji je nazvan CRASH (Calspan Reconstruction of Accident Speeds on the Highway). Ovaj program računao je sudsarne brzine i ΔV vozila u saobraćajnoj nezgodi, na osnovu informacija o vozilu i lica mesta nezgode. CRASH je ažuriran nekoliko puta. U ranim 80-im, CRASH2 je preimenovan u CRASH3 ažuriranjem koeficijenta krutosti karoserije vozila. U januaru 1997. CRASH3 promenjen je u SMASH (Simulating Motor Vehicle Accident Speeds on the Highway) ažuriranjem koeficijenata krutosti karoserije vozila i omogućavanjem upotrebe vozila sa određenim koeficijentima krutosti. SMASH omogućava i unos određenih dimenzija vozila. CRASH, a takođe i SMASH imaju dve opcije računanja brzine, na osnovu deformacije vozila i trajektorijskom metodom. Rezultat ΔV proračuna na osnovu deformacije tj. CRASH algoritma predstavlja promenu brzine težišta vozila u trenutku dostizanja maksimalne deformacije i ne uključuje brzinu odbijanja. Proračun se zasniva na održanju impulsa i apsorbovanoj energiji. Energija se obračunava merenjem rezidualnih deformacija vozila uz primenu koeficijenata krutosti na izmerenoj oštećenoj oblasti. Tom prilikom prepostavlja se linearna veza između sudsarne sile i deformacionog pomeranja. Sudari su razvrstani u kategorije i u slučaju sudara sa preklopom u proračunu ΔV u obzir se uzima i rotacija vozila tokom sudara.

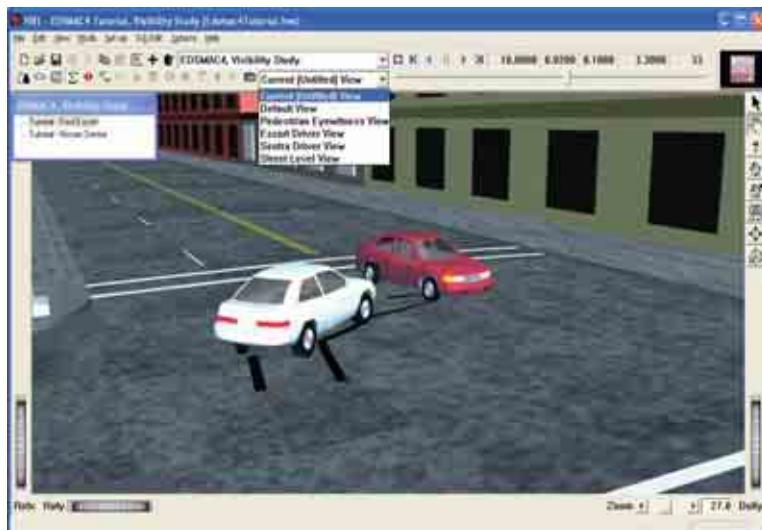
Trajektorijski algoritam (druga opcija) zahteva detaljne informacije sa lica mesta saobraćajne nezgode i više pretpostavki o izgubljenoj energiji, npr trenje pneumatika o kolovoz u postsudarnoj fazi i sl. Proračun sudarnih brzina vrši se na osnovu zakona održanja impulsa.

CRASH kompjuterski program [41] koji je razvio Mekhenri na osnovu energetske i impulsne metode a kasnije je više puta proširivan, prvo NHTSA [17], a zatim drugi istraživači kao što su Dej (EDCRASH) [42], Big (Bigg) (WinCRASH) [43], Fonda (Fonda) [44]. CRASH je još uvek zasnovan na impulsnoj i energetskoj metodi i takav je u upotrebi već nekoliko decenija. Dodatnim istraživanjima Vuli (Woolley) (IMPAC) [45], Smit (Smith) [46], Stefan (Steffan) (PC-CRASH) [47], programirane su impulsne jednačine za izračunavanje brzina vozila nakon sudara na osnovu prepostavljenih sudarnih brzina.



Slika 2.6 EDCRASH radno okruženje [48]

Suštinski nov pristup analizi sudara omogućen je razvojem digitalnih računara. Ranih 70-ih, razvijen je simulacioni program za rekonstrukciju sudara automobila SMAC (Simulation Model of Automobile Collisions) u laboratoriji Calspan pod sponzorstvom NHTSA. Prvi sudarni simulacioni model, SMAC [49] koji je razvio Mekhenri, kasnije su razvijale različite organizacije. Godine 1986., Dej i Harkens (Harqens) kreirali su EDSMAC, s tim što je SMAC verzija za personalni računar iz 1974. konvertovana u programski jezik BASIC. U kasnim 90-im, poboljšana je verzija EDSMAC i tada se pojavljuje EDSMAC4.



Slika 2.7 EDSMAC4 simulaciono okruženje [48]

Oba programa imaju dostupne modele putanje i deformacije i mogu se kombinovati, što omogućava precizniji proračun. SMAC u svom matematičkom modelu uključuje vremenski domen u kome se koriste jednačine Njutnove mehanike u kombinaciji sa empirijskim zakonitostima i modelima kao što su na primer karakteristike deformacija, karakteristike pneumatika itd. Za rešavanja diferencijalnih jednačina kretanja koristi se numerička integracija, a korisnik određuje parametre kao što su karakteristike vozila, sudsarne brzine, sudarni položaji vozila itd. U sudarnom simulacionom algoritmu najpre se izračunava sudarna sila i momenti koji deluju na vozilo, a zatim se rešavaju jednačine kretanja u malim, korisnički definisanim vremenskim intervalima. Program daje detaljan vremenski prikaz toka saobraćajne nezgode uključujući i njene faze, korak po korak. EDSMAC4 je program sa interaktivnim menijem koji je razvio Dej, 1999. godine za personalni računar. Njegov sudarni algoritam je dvodimenzionalan, a uzeta su u obzir i priključna vozila, bez ograničenja ukupnog broja vozila u simulaciji.

Korišćen je 3DOF (degrees of freedom) model vozila, tj. model sa tri stepena slobode, sa simulacijom translatornog kretanja vozila u X-Y ravni i rotacijom oko vertikalne ose Z. Kretanje u pravcu vertikalne ose, prevrtanje, rotacija oko uzdužne i rotacija oko poprečne ose vozila, računa se na kvazi-statičkoj osnovi. Primenjen je Fialin (Fiala) model pneumatika koji podrazumeva krug trenja za izračunavanje komponenata sila na svakom pneumatiku. Pored Deja (EDSMAC4), SMAC algoritam su proširili kasnije Big (WinSMAC) i drugi istraživači [42], [43], [50]. Ova metoda je na području Amerike još uvek najpopularnija metoda simulacije koja je u upotrebi do danas.

HVOSM (Highway Vehicle Object Simulation Model) je simulacioni model razvijen u laboratoriji Calspan za FHWA (Federal Highway Administration) tokom kasnih 60-ih i ranih 70-ih. EDVSM (Engineering Dynamics Vehicle Simulation Model) je uveden od strane EDC (Engineering Dynamics Corporation) u kasnim 90-im i tom prilikom je korišćen HVOSM

model za poboljšanje modeliranja kontakta pneumatik-kolovoz. EDVSM je kompatibilan sa HVE (Human Vehicle Environment) u pogledu 3D simulacije jednog vozila. Model vozila uključuje prednje i zadnje vešanje, krute osovine i sistem sa nezavisnim vešanjem. Model uključuje 14 stepeni slobode, 6 stepeni za ovešane mase (kretanja u pravcu sve tri ose X, Y, Z i rotacije oko istih tj. valjanje, plivanje, galopiranje) i dva stepena slobode za svaku neovešanu masu (okretanje točka i odskakanje). Modelirano je upravljanje, kočenje, ubrzavanje i izbor stepena prenosa. A teren tj. lice mesta saobraćajne nezgode se automatski modelira u HVE okruženju. Sličnosti između programa HVOSM i EDVSM su da su u osnovi dala dva ista modela vozila, oba programa zahtevaju iste ulazne i daju iste izlazne rezultate, postupak samog proračuna je takođe isti. Razlike postoje u programskom jeziku u kome su pisani, u modeliranju površine puta i definisanju karakteristika pneumatika.

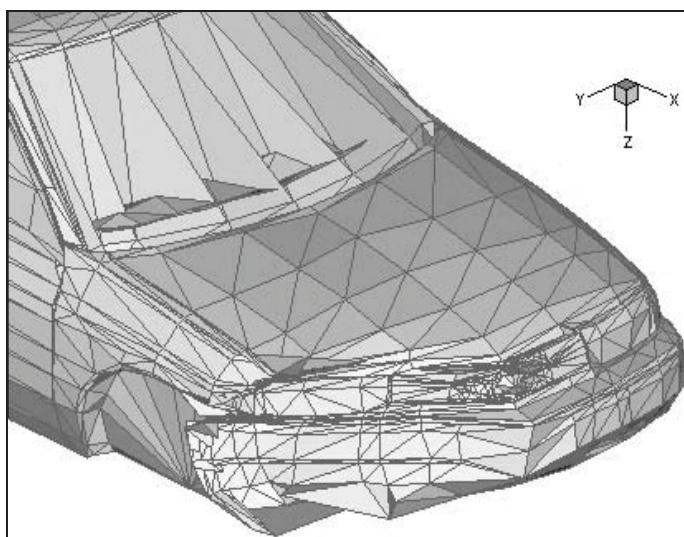
PHASE je program za simulaciju dinamike teških vozila koji je 70-ih godina razvijen na Univerzitetu u Mičigenu pod pokroviteljstvom Američke federalne vlade (U.S. Federal Government).

Ovi modeli su razvijeni sa ciljem da pomažu inženjerima i istraživačima u oceni konstrukcije novih vozila kako bi vozila zadovoljila sve oštire propise koje su nametnuti autoindustriji od strane Američke federalne vlade. Rezultati ovih simulacija korišćeni su od strane konstruktora vozila i istraživača njihove bezbednosti kako bi izabrali komponente kočnog sistema, pneumatike i sistem vešanja koji će maksimizirati performanse vozila. Simulacije su korišćene i u identifikaciji uzroka saobraćajnih nezgoda. Različite verzije su tokom godina razvijane, a poslednja i najnovija je PHASE4. PHASE 4 je razvijen za Udruženje proizvođača motornih vozila MVMA (Motor Vehicle Manufacturer's Association) i Američku federalnu upravu autoputeva FHWA od strane Transportnog istraživačkog instituta na Univerzitetu u Mičigenu (University of Michigan Transportation Research Institute) koji je u to vreme imao naziv HSRI (Highway Safety Research Institute) [51], [52], [53], [54], [55]. Ova verzija ima trodimenzionalni simulacioni model i omogućava kretanje vozila u pravcu sve tri ose uključujući i rotacije oko istih. Takođe simulira i reakcije vozača kao što su upravljanje, ubrzanje, kočenje (uključujući i ABS sistem), simulira skupove vozila sa jednim i više priključnih vozila koja mogu biti sa udvojenim osovinama. Korisnik određuje parametre vozila, kontrolu vozača i definiše početne uslove. Svi parametri koje se unose koriste se da se na osnovu fizičko-matematičkog modela odrede spoljašnje sile koje deluju na vozilo, a rezultujuća sila i moment se koriste za određivanje ubrzanja za svaki stepen slobode. Dvostrukom integracijom ubrzanja dobija se pozicija vozila u bilo kom trenutku.

EDC je koristila PHASE4 model za razvoj novog simulacionog modela koji je nazvan EDVDS (Engineering Dynamics Vehicle Dynamics Simulator). Matematički model za EDVDS je izведен iz PHASE 4 programa, na taj način što je izvršeno portovanje PHASE4 originalnog koda u HVE simulaciono okruženje. Pošto je preveden u HVE platformu omogućeno je simuliranje kretanja točka preko 3D terena bilo kakvog oblika i složenosti. Proces portovanja se sastojao u tome što je za pisanje programa korišćen programski jezik C, a ulazni i izlazni potprogrami su zamenjeni sa HVE ulaznim i izlaznim interfejs funkcijama.

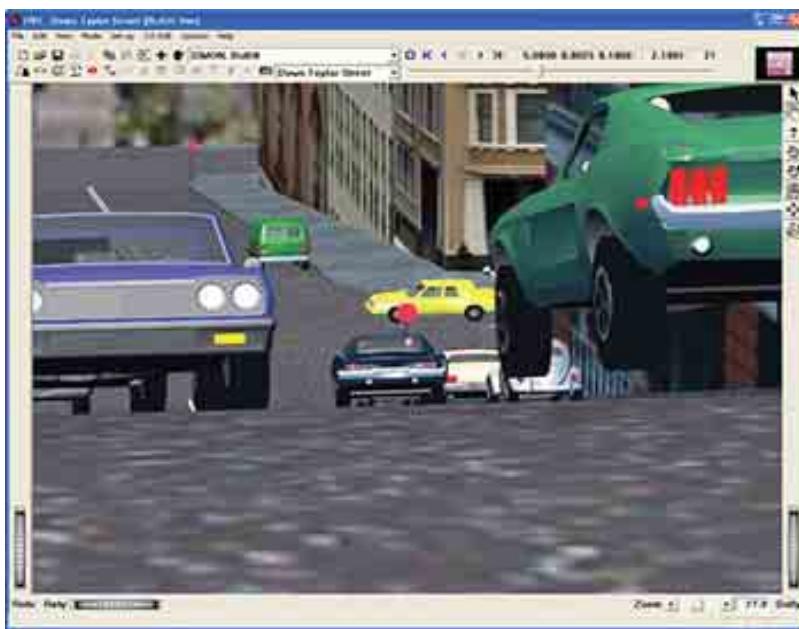
Metoda dinamičkih mašinskih ljudskih DyMesh ima potencijal da omogući realnije simulacije sudara nego što je to ranije bilo moguće. Eksplicitnim Lagranžovim modelom kodova opisane su mreže kojima se modeluje vozilo. Kontaktni algoritam tj. penetracija, sudar i deformacija su slični kao i kod programa PRONTO3D [56], [57], EPIC-3 [58], DYNA3D [59], JAC [60] i NIKE [61]. Ovaj metod omogućava realniji numeričke proračune i poboljšava vizuelnu efikasnost simulacije. Deformacija vozila nije toliko realna kao i kod metode konačnih elemenata tj. DyMesh neće simulirati izvijanje poklopca motora, ali su rezultati o promeni brzina veoma dobri. Penetracija tela manjih nego što je veličina mreže ne može se rešiti DyMesh metodom [62]. Proračun simulacije traje kraće, po nekoliko sekundi ili minuta, a ne nekoliko sati što je tipično za metode konačnih elemenata. Međutim, prilikom rada u simulacionom interaktivnom okruženju ekspert koji vrši rekonstrukciju sudara vozila če-

sto je u prilici da u svakoj novoj iteraciji izvrši promenu neke od ulaznih veličina tako da u pogledu komfornijeg i efikasnijeg rada ipak se očekuje skoro istovremeno izvršavanje simulacije nakon unetih izmena bez čekanja na proračun.



Slika 2.8 DyMesh model deformacije na vozilu [62]

EDC je 2001. godine razvila novi HVE kompatibilan simulacioni model SIMON (Simulation Model Nonlinear). To je 3D nelinearni simulacioni model koji predstavlja najnovija dostignuća iz oblasti softvera i simulacione tehnologije, uključujući i DyMesh sudarni model. Najnovija verzija HVE je 8.2 koja je ažurirana juna 2011.



Slika 2.9 HVE simulaciono okruženje [48]

U cilju sažimanja prethodno opisanog istorijata razvoja različitih programskih paketa za modelovanje sudara vozila, na sledećoj slici dat je šematski prikaz najznačajnijih programa uključujući njihove autore i istraživače koji su u ovoj oblasti dali najveći doprinos, kao i najznačajnije ustanove koje su se bavile poslovima njihovog razvoja, uz pregled institucija bez čije materijalne podrške ne bi bila moguća realizacija projekata razvoja softvera.

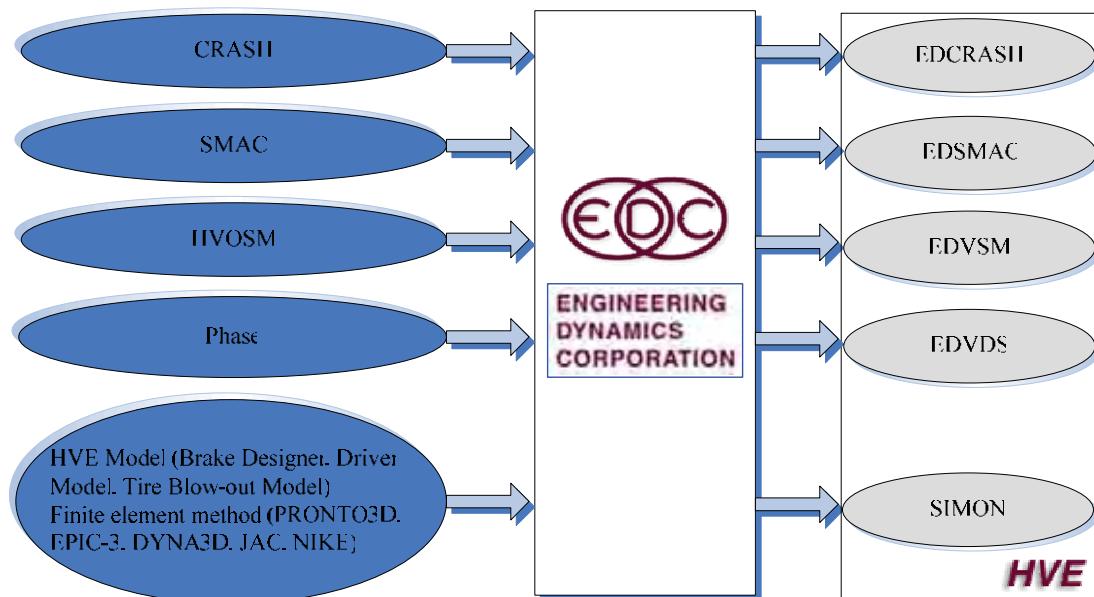


Slika 2.10 Proces razvoja računarskih modela sudara vozila

Uglavnom svi današnji komercijalni programski paketi za analizu sudara automobila nastali su kao kompilacija modela, potprograma i funkcija prvih programa ovog tipa (CRASH, SMAC) koji su razvijeni u Aeronautičkoj laboratoriji Calspan od strane vodećih svetskih stručnjaka iz ove oblasti, pre svih Mekhenrija. Ovo se najpre odnosi na prevođenje originalnog izvornog koda iz programskog jezika FORTRAN u druge programske jezike (BASIC, C i dr.), izmene sudarnog modela, modela kojim se opisuje krutost karoserije vozila, karakteristike pneumatika i celokupnog sistema oslanjanja automobila, sistema za kočenje, kao i na poboljšanje metoda kojima se rešavaju problemi numeričke prirode. Svi oni u osnovi koriste iste bazične algoritme u pogledu modelovanja kretanja automobila pre i posle sudara, s tim da programi impulsnog tipa imaju nešto drugačiji način modelovanja samog sudarnog procesa.

Devedesetih godina prošlog veka iz programa SMAC nastali su mnogi komercijalni programi kao što su: EDSMAC, WinSMAC i m-SMAC, svi veoma malo izmenjeni u odnosu na prvobitni model proračuna SMAC [40]. Iz programa CRASH nastali su uz određene izmene komercijalni programi: EDCRASH, PC-CRASH, CRASHEX, SLAM, WINCRASH [40]. Nešto kasnije, na osnovu programa PC-CRASH nastali su i programi CARAT, Analyzer Pro i Virtual CRASH .

Pored laboratorije Calspan čiji su istraživački projekti u oblasti modelovanja dinamike vozila i metoda za rekonstrukciju sudara postavili temelje kompjuterskog modelovanja i analize saobraćajnih nezgoda, institut UMTRI je takođe dao velik doprinos razvoju ove oblasti. Ove dve ustanove su u višedecenijskom radu dale originalne kompjuterske modele, međutim izuzetno značajan doprinos daljem razvoju i usavršavanju svih ovih modela koje se zasnivalo prvenstveno na kompilaciji ali zatim i na otklanjanju problema i manjkavosti postojećih modela (slika 5.13), dala je kompanija EDC.



Slika 2.11 Proces razvoja EDC modela sudara vozila

Pošto je HVE visoko sofisticirano 3D simulaciono okruženje koje se koristi u rekonstrukciji saobraćajnih nezgoda, to je u sledećim tabelama dat sažet prikaz primene i karakteristika ovog paketa. Postoji više verzija HVE paketa. Jedna od verzija je i EDVAP, koja objedinjuje EDCRASH za rekonstrukciju sudara vozila, EDSMAC za simulaciju sudara vozila, EDSVS (Engineering Dynamics Single Vehicle Simulator) za simulaciju gubitka kontrole pojedinačnog vozila, EDVTS (Engineering Dynamics Vehicle-Trailer Simulator) za simulaciju gubitka kontrole skupa vozila i EDCAD (Engineering Dynamics Computer-Aided Drafting) za objedinjeno prikazivanje rezultata rekonstrukcije ili simulacije direktno kroz situacijske planove. Pored ove verzije paketa, postoji mogućnost da se prema potrebi kupca programskog paketa napravi posebna kombinacija pojedinačnih programa različite namene.

Mogu se navesti sledeći primeri aplikacija HVE programa [48]:

- Određivanje brzine
- Vremensko-prostorna analiza
- Osnovni manevri vozilom (upravljanje, ubrzavanje, kočenje)
- Bočni sudar, čeoni sudar, sudar od pozadi, lančani sudari
- Analiza deformacione energije / Analiza sudsarne sile
- Simulacija sudara sa fiksnim i pokretnim barijerama
- Akvaplaning simulacija / Simulacija pritiska u pneumatiku
- Korišćenje virtualnih termometara za kočnice
- Pomeranje točkova zbog sudara
- 3-D Sudar / Sudari skupova vozila
- Simulacija prevrtanja uključujući unutrašnje deformacije
- Simulacija otpora vazduha
- Simulacija ABS kočenja
- Pogon (motor, menjач, spojnica)
- Korišćenje virtualnih akcelerometara na bilo kom delu vozila
- Efekti neravnog i kosog terena, površina sa različitim prianjanjem
- Interakcija guma sa ivičnjacima, rupama i mekim zemljишtem
- Kinematika osoba u vozilu

Tabela 2.4 Karakteristike HVE programa

Opšte karakteristike	HVE
Pogledi	3-D
Upustvo za upotrebu	PDF i štampano
Izlazni izveštaji/Filmske simulacije	Da
Podrška za instalaciju	Da
Abdejtovanje	Opcija godišnje obnove
Kontrola licenci	Hard disk kod ili ključ
Čovek	
Baza podataka ljudi	Da
Vozilo	
Standardna baza podataka	Opšta
Baza podataka po izboru	EDVDB-3D i korisnikova
Baza podataka pneumatika	EDVDB-3D i korisnikova
Dostupni tipovi vozila i objekata	Putnički auto Kamionet Sportski Kombi Tegljač Prikolica Lutka Fiksna barijera Pokretna barijera
Vizuelni izgled vozila	Opšti i stvarni
Korišćenje prilagođenih CAD modela na vozilu	Da
Okruženje	
Importovanje slika i fotografija	Da
Importovanje DXF i VRML CAD modela	Da
3-D Editor	Da
Fizički programi	
Program koji je uključen	EDGEN
Programi i moduli po izboru	EDCRASH EDSMAC, EDSMAC4 EDSVS, EDVTS, EDVSM, EDVDS SIMON, DyMESH EDHIS, HVE BrakeDesigner GATB, GBF ReadDataFile
Vožnja na 3-D modelu terena	Da

Karakteristike HVE programa, kao i pojedinačni programi koji mogu biti uključeni u HVE okruženje, prikazani su u tabelama 2.4 i 2.5.

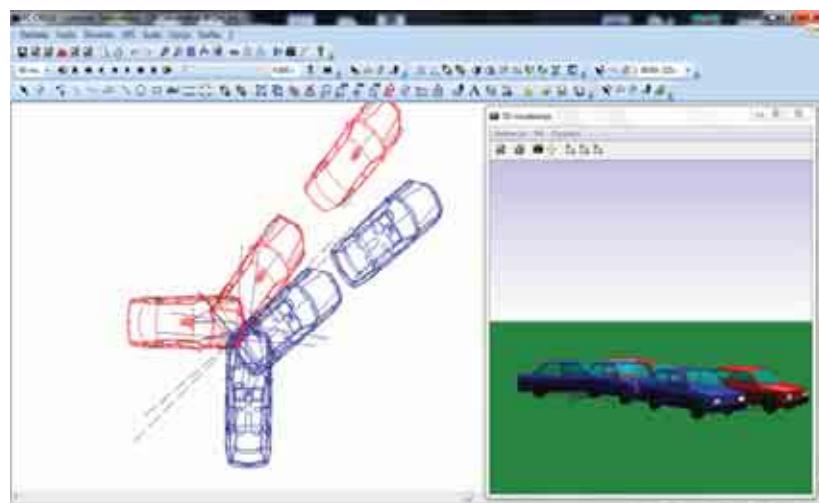
Tabela 2.5 Programi u HVE okruženju

Naziv programa	EDCRASH	EDSMAC	EDSMAC4	EDSVS	EDVTS	EDVSM	EDVDS	SIMON
Tip programa	Rekonstrukcija	Simulacija	Simulacija	Simulacija	Simulacija	Simulacija	Simulacija	Simulacija
2-D/3-D	2-D	2-D	2-D	2-D	2-D	3-D	3-D	3-D
Stepeni slobode	3/Voz	3/Voz	3/Voz	3	4	16	19/vučno voz 22/skup voz	21/vučno voz 36/skup voz
Broj vozila	1 ili 2	1 ili 2	Neograničen	1	2	1	1 do 4	Neograničen
Tipovi vozila	Barijera ili bilo koja dvoosovinska	Bilo koja dvoosovinska	Svi tipovi	Bilo koja dvoosovinska ili troosovinska	Bilo koja dvoosovinska ili troosovinska	Bilo koja dvoosovinska	Troosovinska vučna Četvoroosovinski skupovi	Barijera ili bilo koja troosovinska Četvoroosovinski skupovi
Sudarni model	Deformacioni i impulsni	2-D Rho vektori	2-D Rho vektori	Ne	Ne	Ne	Ne	DyMESH (3-D Ljuska)
Broj priključnih vozila	Ne postoji	Ne postoji	Neograničen	Ne postoji	1	Ne postoji	1 ili 3	Neograničen
Model vešanja	Ne	Ne	Nezavisan	Nezavisan	Nezavisan	Nezavisan ili kruta osovina	Kruta osovina	Nezavisan ili kruta osovina
Udvojene osovine	Ne	Ne	Da	Da	Da	Ne	Da	Da
Max br. pogonskih osovina	2	2	3	2	3	1	3	3
Udvojeni točkovi	Ne	Ne	Da	Da	Da	Da	Da	Da
Prevrtanje	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Da	Da	Da
Otpor vazduha	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Da	Ne	Da
<u>HVE dizajner kočnica</u>	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Da	Da	Da
<u>HVE model točka</u>	Ne	Ne	Da	Ne	Ne	Da	Ne	Da
Anti-lock model kočenja	Ne	Ne	Ne	Običan	Običan	Ne	Ne	<u>HVE ABS simulacioni model</u>
Model automatske transmisije	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Da
<u>HVE upravljanje trajektorijom</u>	Ne	Ne	Da	Ne	Ne	Da	Da	Da
<u>HVE upravljanje brzinom</u>	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Da
Stepen slobode u upravljanju	Ne	Ne	Da	Ne	Ne	Da	Ne	Da
Poboljšan model točak-podloga	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Da
<u>HVE Akvaplaning model</u>	Ne	Ne	Da	Ne	Ne	Ne	Ne	Da

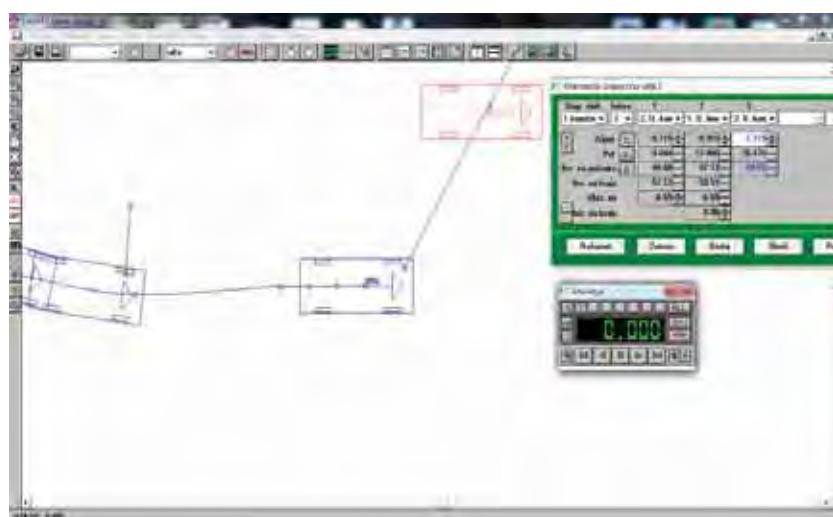
Dodatni modeli za simulaciju čoveka, kao EDHIS i GATB nisu nabrojani u ovom poređenju. Dvodimenzionalni modeli EDSMAC, EDSMAC4, EDSVS i EDVTS mogu biti prošireni i pripremljeni za korišćenje u HVE simulacionom okruženju kroz prikaz u 3-D formatu, ali u biti oni su još uvek dvodimenzionalni fizički simulacioni programi. Ako se koriste ED-

SMAC, EDSMAC4, EDSVS, EDVTS u HVE okruženju, editori čovek, vozilo i okolina imajuće dodatne funkcije koje nisu dostupne u HVE-2D ili HVE-CSI. Neki dijalozi će izgledati drugačije kod HVE, HVE-2D i HVE-CSI, ali potrebni inputi za ove programe nalaze se u svim simulacionim okruženjima. Cene navedenih softvera kreću se od 750 do 10 000 US\$, zavisno od nivoa sofisticiranosti, a za sistemske softvere koji objedinjuju više pojedinačnih softvera dosežu i 20 000 US\$.

Na području Evrope, kompjutersko modelovanje saobraćajnih nezgoda počinje dve decenije kasnije u odnosu na SAD. Početkom '90-ih, u austrijskoj istraživačkoj kompaniji DSD (Dr Steffan Datentechnik) počinje razvoj programa PC-CRASH [63]. Autori mehaničkih modela su Stefan i Moser [47]. Tako se u Evropi sredinom '90-ih pojavljuju PC-CRASH, a zatim i program CARAT [64] (Computer Aided Reconstruction of Accidents in Traffic) čiji je autor Burg (Burg) [65].

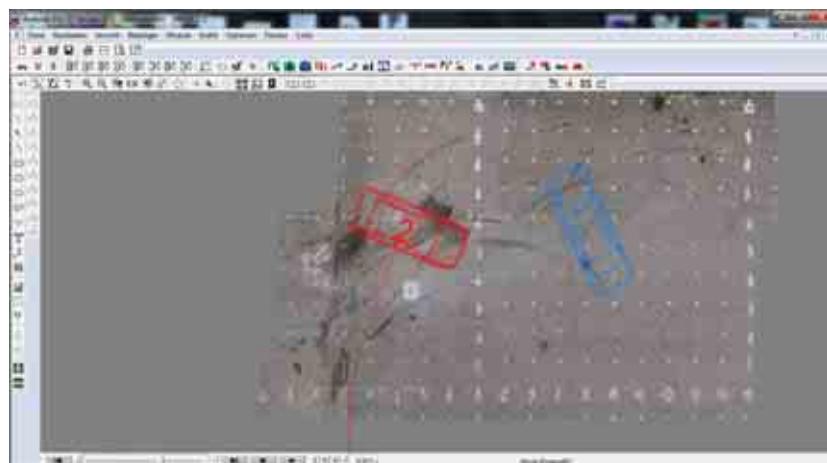


Slika 2.12 PC-CRASH simulaciono okruženje

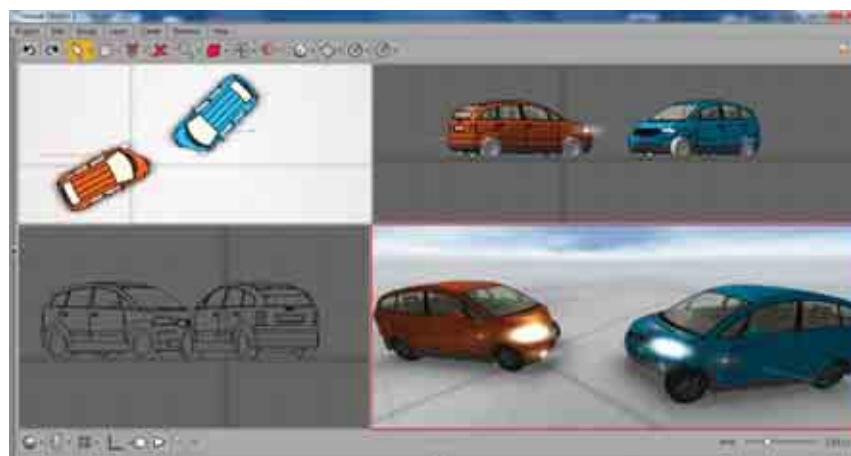


Slika 2.13 CARAT simulaciono okruženje

Nakon ovih softvera na tržištu se pojavljuje Analyzer Pro u vlasništvu Gracera (Gratzer) [66] koji se zasniva na Burgovim modelima, a zatim i Virtual CRASH [67] čiji je autor Meleg (Melegh) [68], [69]. Radi se o trodimenzionalnim sudarnim modelima impulsnog tipa. Cene ovih softvera impulsnog tipa kreću se od 1 650 do 3 500 €.



Slika 2.14 Analyzer Pro simulaciono okruženje



Slika 2.15 Virtual CRASH simulaciono okruženje

Osnovu evropskih programa impulsnog tipa čini Kudlič-Slibarov (Kudlich-Slibar) sudarni model. Ovaj model zasnovan je 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, tj. kada se javlja klizanje između vozila. Programi omogućavaju animaciju tako da se kretanje vozila može vizuelno pratiti. Zajedničke osobine navedenih programa, bitne za analizu sudara su:

- Kudlič-Slibarov model sudara
- Višestruki – lančani sudari između različitih vozila
- Automatski proračun svih sekundarnih sudara
- Simulacija prevrtanja vozila
- Simulacija i analiza sudara vozila sa prikolicama i poluprikolicama
- 3D kinetički model proračuna
- Definisanje reakcije vozača, ubrzanja, kočenja, upravljanja i drugih parametara
- Specifikacija elastičnosti sudara preko koeficijenta restitucije
- Izbor pneumatika
- Definisanje parametara sistema vešanja na vozilu
- Mogućnost definisanja raspodele sile kočenja između prednje i zadnje osovine
- Istovremena simulacija neograničenog broja vozila u sudaru
- Automatsko generisanje animacije
- Definisanja terena, uključujući nagibe, neravnine i prianjanje

- Kinematicka i kinetička (difolt mod) specifikacija puta vozila
- Ispis izveštaja ulaznih/izlaznih vrednosti, uključujući sve parametre sudara
- Razni dijagrami za put, brzinu i vreme
- DXF crteži lica mesta nezgode
- Bitmape mogu se koristiti kao podloga za simulaciju
- Integrirani program za crtanje
- Merne alatke

U okviru softvera namenjenih kompjuterskoj analizi saobraćajnih nezgoda nalazi se informaciona baza sa tehničkim podacima za preko 4 000 različitih marki i tipova vozila. Raspoloživi softveri uz pomoć vektorske grafike omogućavaju dvodimenzionalni ili trodimenzionalni prikaz vozila, saobraćajnih i urbanih objekata, odnosno terena, kao i prikazivanje simulacije u obliku trodimenzionalnog kratkog filma. Iskustva zapadnih zemalja pokazuju da je upotreba simulacionih tehnika u ekspertizama saobraćajnih nezgoda veoma jako dokazno sredstvo u pravosudnoj praksi. Koriste se kao sredstvo koje na brz i tačan način, računski i vizuelno, putem slika i animacija, prikazuje analizirani sudarni proces u svim sudarnim fazama. Veliki broj promenljivih ulaznih parametara po vremenu omogućava da se simulira odnosno proveri mogućnost dešavanja različitih scenarija sudarnog procesa. Primena specijalizovanih softvera je veoma prisutna i uviđajnoj praksi i kasnije istražnom postupku. Zahvaljujući tome znatno se unapređuje rad u obavljanju istražnih radnji, što se kasnije direktno odražava i na efikasnost sudske postupak. Ovo se postiže prvenstveno kroz obezbeđivanje kvalitetne uviđajne dokumentacije koja je preduslov kvalitetne eksperțe i kroz efikasnije i pravednije podizanje optužnica koje se temelji na potpunijim sagedavanjem okolnosti koje su prethodile saobraćajnoj nezgodi na osnovu preliminarnih simulacija koje sprovode istražni organi. Tako na primer HVE-CSI je jedinstvena verzija HVE koja je fokusirana direktno na potrebe policije.

2.3. DISKUSIJA O VRSTAMA KOMPJUTERSKIH METODA ZA MODELOVANJE SUDARA VOZILA

Prikazano je niz programa za dinamiku sudara i dinamiku vozila kojima se modelira dinamika sudara i dinamika vozila uopšte. Generalno, iako postoji više metoda na kojima se programi zasnivaju, mogu se izdvojiti dve osnovne metode:

1. Diskretna metoda koja odvojeno razmatra sudaru od ostalih faza i zasniva se isključivo na impulsnoj teoriji u kombinaciji sa trenjem i restitucijom kao i kombinaciji impulsa sa odnosom između veličine deformacije i gubitka energije (IMPAC, CRASH, PC-CRASH i dr.). Razlike postoje samo u načinu rešavanja impulsnih jednačina i načinu računanja deformacione energije. Ovi modeli za vreme faze sudara uzimaju u obzir samo delovanje sudarnih sile dok ostale sile zanemaruju. Da bi sudarni proces bio u potpunosti modelovan na ovaj način, dodatno se uvode modeli kretanja vozila koje se inače u sudarnoj fazi zanemaruju.
2. Kontinualna metoda ima više pristupa, a svakom od njih zajedničko je da bez prekida modeluju kretanje vozila počev od faze pre sudara, tokom sudarne faze i u fazi nakon sudara. Iako postoji više modela u okviru ove metode svi oni uzimaju u obzir delovanje svih sile na vozilo tokom faze sudara. Najveća razlika među ovim modelima je u načinu modelovanja sudarne faze. Tu se izdvajaju model dinamičkih mašinskih ljudskih (DyMesh), model radikalnih vektora (SMAC) i Kosera model (MEDUSA).

Modeli kojima se definiše kretanje vozila imaju zajedničku osobinu da se zasnivaju na diferencijalnim jednačinama kretanja. Razlike jedino postoje u načinu interpretacije sile na pneumaticima, a ako se radi o trodimenzionalnim modelima onda i u načinu modelovanja sistema vešanja na vozilu, modelovanju aerodinamike i sl.

Pošto svaka metoda zahteva veoma različite ulazne parametre, literatura bi mogla da na vede na pomisao o njihovoj potpunoj različitosti, međutim sve one polaze od osnovnih zakona fizike sa različitim pristupima rešavanja sudarnog problema od kojih neke uzimaju u obzir rezultate empirijskih istraživanja. Ovi empirijski rezultati prvenstveno se odnose na karakteristike pneumatika, karakteristike sistema vešanja i karoserije vozila.

2.4. ZLOUPOTREBA SOFTVERA

Reč simulacija ima različita značenja. Simulacija je proces koji uspostavlja vezu između modela i računara. Simulacija predstavlja imitaciju neke stvarne pojave ili sistema³, odnosno računarsko modeliranje stvarnog stanja stvari ili procesa. Posebnu kategoriju čine simulacije složenih dinamičkih sistema i pojava kao što su sudari vozila.

U programima za kompjutersku analizu sudara vozila često se koriste termini „simulacija unapred“ i „simulacija unazad“. Sve kalkulacije u kojima se vreme meri unapred nazivaju se *simulacija* (umesto „simulacija unapred“), dok kalkulacije koje rade unazad nazivaju se *rekonstrukcija* (umesto „simulacija unazad“) [39].

Po pravilu što je program složeniji, to je i veća mogućnost da zbog (ne)namernih propusta dođe do većeg (željenog) odstupanja u kompjuterskoj analizi od realnog stanja [30]. Ovo posebno dolazi do izražaja kod veštačenja onih saobraćajnih nezgoda kod kojih nema dovoljno pouzdanih podataka – tragova, na osnovu kojih bi se primenom klasičnih metoda sprovelo veštačenje. Ovakve simulacije karakteriše visoka nepouzdanost usled velikog broja pretpostavljenih parametara. Tada se kompjuterskom simulacijom ispituju određene alternative i tako kroz više iteracija dobija približan tok saobraćajne nezgode koji može ponекад da prilično odstupa od realnog stanja. Samim tim, ako je kompjuterska simulacija netačna, biće netačna i saobraćajno-tehnička obeležja do kojih se došlo u kompjuterskoj analizi, a na osnovu njih i sud o okolnostima pod kojima je došlo do saobraćajne nezgode, pod uslovom da su ta obeležja u uzročnoj vezi sa nastankom predmetne nezgode.

Iako veštaci treba da se pridržavaju date zakletve i etičkog kodeksa, činjenica je da u određenim slučajevima dolazi do kršenja osnovnih moralnih principa te i do zloupotrebe veštine. Ovo se odnosi i na korišćenje softvera za rekonstrukciju i simulaciju saobraćajnih nezgoda, gde se izborom odgovarajućih vrednosti velikog broja ulaznih parametara u pojedini slučajevima može uticati na dobijanje željene, a ne realne situacije.

Svačiji rad se može proveriti, ali vizuelno prikazivanje toka saobraćajne nezgode koje treba da predstavlja krunu sprovedenog veštačenja, često je izvan stručnosti i upućenosti ostalih učesnika u sudskom postupku (po nekad i samih veštaka) tako da je onima koji žele da obavljaju veštačenja po interesnim, a ne, moralnim i naučnim principima, ostavljeno više mogućnosti da se oslanjajući na korišćenje zvučnih, afirmisanih i sofisticiranih programskih paketa vrše zloupotrebu sopstvenog položaja i samih softvera.

Pogrešna upotreba nije isto što i zloupotreba. Kada je u pitanju zloupotreba, svaka primenjena rekonstrukcijska metoda se može zloupotrebiti. Zloupotreba je međutim u najvećoj suprotnosti sa principom objektivnosti veštaka pa je neprimereno smatrati kompjuterske metode apriori sredstvom zloupotrebe.

Istraživanja [31] su iznašla niz krivično-procesnih principa veštačenja. Od svih principa, za predmet ovog rada najbitniji je princip objektivnosti veštaka i veštačenja.

³ Mićunović, Lj.: Savremeni rečnik stranih reči

Principi procesne samostalnosti veštaka, individualnosti veštaka i njegovog slobodnog uverenja neodvojivo su povezani sa principom objektivnosti ispitivanja objekta veštačenja koji je normiran Zakonom o krivičnom postupku [32]. Brižljivost, tačnost i nepristrasnost rezultiraju iz nepostojanja lične zainteresovanosti veštaka za ishod sudskog postupka, kompetentnosti veštaka i visoko moralnog i profesionalnog stava veštaka.

Odredbe ZKP-a sadrže upravo pojavne odlike neobjektivnosti nalaza i mišljenja: bitno razilaženje podataka u nalazu veštaka, nejasnoća nalaza, nepotpunost nalaza, protivrečnost sa sobom ili sa izvedenim dokazima, su nedostaci koji dokazuju neobjektivnost nalaza veštaka. Protivrečnosti ili drugi nedostaci u mišljenju veštaka i osnovana sumnja u tačnost njegovog mišljenja ukazuju na neobjektivnost veštaka. ZKP propisuju pod kojim okolnostima objektivne prirode usled razumno nastalog podozrenja u objektivnost lica, koje je veštak, valja izvršiti izuzeće odnosno ne odrediti ga za veštaka.

Načelo objektivnosti u radu veštaka je i etičko pravilo veštačenja [31]. Etičko načelo koje je neposredno povezano sa načelom savesnosti i poštenja, jeste načelo objektivnosti u radu veštaka.

Klasične metode se mogu znatno lakše zloupotrebiti za razliku od kompjuterskih, mada kompjuterske a naročito simulacione daju uverljivije rezultate, koje je znatno teže proveriti od klasičnih. Za eventualnu zloupotrebu mnogo podesniji su programi za animaciju nego za simulaciju. Teško je, a u većini slučajeva i nemoguće, simulacijom dobiti željenu situaciju koja nije u kontradiktornosti sa materijalnim dokazima. Ovu činjenicu potkrepljuju i istraživanja u [33]. U navedenom istraživanju došlo se do zaključka da se ne može dobiti kompjuterska simulacija koja bi usled neodgovarajućeg (neistinitog) prikaza toka saobraćajne nezgode uticala na pogrešno određivanje propusta učesnika nezgode i sudske odluke, a da se pri tome ne pojavi očigledna sumnja u pogledu tačnosti korišćenih inputa i dobijenih autputa.

Svim programima je zajedničko da su pre pojave komercijalnih verzija prošli kroz proces validacije [34], [35]. Ovo se navodi iz razloga što nezadovoljna strana u sudskom procesu ponekad pokušava da osporava rezultate kompjuterske analize na taj način što dovodi u pitanje pouzdanost samog programa. Neki programi su prilikom ispitivanja dali bolje, a neki lošije rezultate zavisno od nivoa sofisticiranosti. Ali svi su zadovoljili postavljene uslove u pogledu tačnosti i realnog modeliranja jer se zasnivaju na realnim modelima i ni jedan ne bi mogao da se nađe u primeni bez sertifikacije koja podrazumeva i proveru valjanosti.

2.5. OCENA RAČUNARSKOG MODELIRANJA, SIMULACIJA I ANIMACIJA

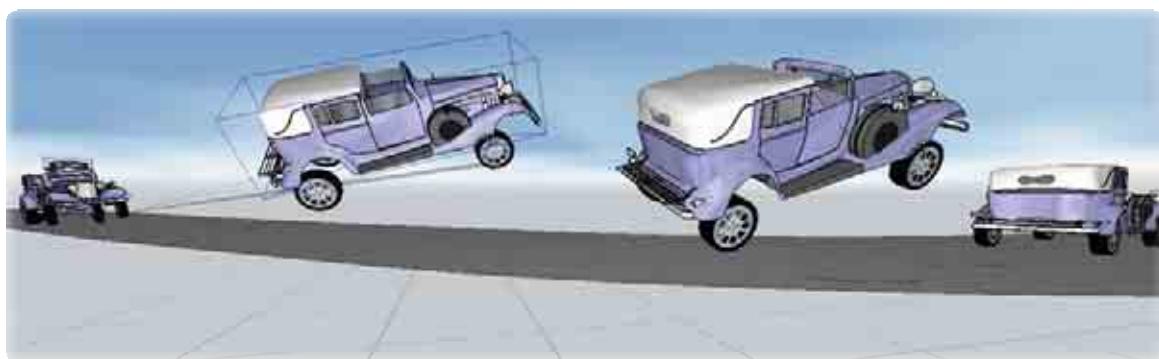
Praksa je pokazala da se kompjuterski programi mogu koristiti za analizu nezgoda. Činjenica je da su rezultati iz računara i da se ne mogu se prihvati bez provera klasičnim konvencionalnim metodama. Uvek treba obratiti pažnju na unos podataka i koliko su rezultati osetljivi. Ovo važi, bilo da se koristi računar ili kalkulator, jer prilikom pogrešnog unosa podataka rezultati mogu biti veoma osetljivi i pogrešni⁴.

Povećanjem performansi računara javlja se sve veći broj programa posebne namene namenjenih različitim tehničkim aspektima, pa i u oblasti rekonstrukcije saobraćajnih nezgoda, iz razloga što mnogi programi za rekonstrukciju nezgoda imaju za cilj da sudu prikazu nezgodu. Programi se stalno razvijaju ali naglasak je na razvoju i upotrebi digitalne grafike visoke rezolucije nasuprot razvoju tehnika za precizniju rekonstrukciju. Grafičke mogućnosti dozvoljavaju kreiranje animacija u kojima sve što može da se zamisli može i da se ostvari, a da pri tome izgleda realno [36].

⁴ Traffic Accident Reconstruction Northwestern Traffic Institute

Može se desiti, da se u animaciji prikažu stvari koje nisu realne i ponekad suprotne Njutnovoj dinamici. Za rekonstrukciju saobraćajnih nezgoda nisu potrebne neograničene mogućnosti koje animaciju čine nerealnom, već je potrebna pažljiva i detaljna analiza uz istovremeno kontinuirano ispitivanje i ocenjivanje metodologije koja se primenjuje u računarskim programima, kako bi se postigla najtačnije moguća rekonstrukcija [36].

Danas na računaru svako može da napravi 3D animacije koje se mogu odgovarati najboljim Holivudskim animacijama. Računarska simulacija i programi pokazuju isto ono što i mašine vredne više miliona dolara, pa je današnja prednost da se sve simulacije mogu pokrenuti i na personalnom računaru a da ne koštaju ni približno toliko. Sa novootkrivenim mogućnostima, veoma je lako napraviti sve što se zamisli, a da pri tome izgleda realno [37].



Slika 2.16 Animacija leta automobila Ford T

Može se kreirati animaciju krave koja leti, pa bi bilo lako animaciju pretvoriti u realnu i nakon pregleda bi se moglo poverovati da krava leti! Da li bi na sudu stručnjak sa visokim stepenom obrazovanja, sa cenjenog univerziteta i sa godinama radnog iskustva svedočio da „krava može da leti” i kao deo svedočenja ponudio video da to i dokaže! Iako je svima poznato da krave ne lete, bar ne još uvek, kada bi impresivan stručnjak svojom akademskom akreditacijom, ponudio brojne argumente i dodatke sa animacijama leta krave, poroča bi mogla da poveruje u nešto što je očigledno neistina [37].

Ovaj karikirani primer može pomoći u sagledavanju problema koji se mogu javiti u vezi sa nepravilnom primenom animacije i/ili simulacije u sudskim procesima.

U oblasti rekonstrukcije saobraćajnih nezgoda sve je veća upotreba (ponekad i zloupotreba) simulacione i animacione tehnike za pokazivanje dokaza. Često se dešava da se neko (ekspert, advokat) suočava sa rekonstrukcijom koja je dopunjena kompjuterskom simulacijom, animacijom ili ilustracijom. Šta raditi i kako ceniti računarske simulacije i animacije? Da bi se došlo do odgovora, prvo treba sagledati šta je sve potrebno da bi se izvršila rekonstrukcija nezgode. Proces rekonstrukcije sudara vozila uključuje prikupljanje dostupnih informacija o interakciji vozila, uključujući i informacije o putanjama vozila, oštećenjima, o licu mesta saobraćajne nezgode itd.

Tehnika rekonstrukcije sudara se primenjuje da bi se preliminarno odredile sudarne brzine, mesto sudara, ΔV itd. Postoje dve osnovne tehnike za rekonstrukciju, a to su tehniku analize putanja i tehniku analize deformacija.

Vizuelizacijama i animacijama se često predstavljaju rezultati simulacionih modela ili mišljenja veštaka. U ovim slučajevima je važno da se tačno dokumentuju grafički rezultati koji su predstavljeni. Slike, ili video snimci, treba da budu dokumentovani tako da svaki kvalifikovani analitičar može da ih reprodukuje [38].

Da bi se olakšalo ocenjivanje šta je uređeno u animaciji i/ili simulaciji, potrebno je imati kompletну dokumentaciju i podatke o sprovedenoj proceduri. To naročito zahteva:

- Kompletne ulazne i izlazne podatke računarskog programa u štampanoj ili elektronskoj formi.
- Originalan fajl simulacije i podatke o programskoj verziji kojom se fajl može otvoriti.
- Sve datoteke animacija koje su korišćene za kreiranje video CAD fajlova i podatke o programima kojim se animacije i originalni fajlovi mogu otvoriti.

Ako se ocenjuju rezultati animacija i/ili simulacija stručnjaka za rekonstrukciju, treba:

- Testirati osetljivost i utvrditi koje su ulazne veličine najosetljivije.
- Utvrdi da li je „dokaz“ tj. dobijeno rešenje jedinstveno ili se iz simulacija mogu izvući i drugi zaključci.

Provera rekonstruisanog, odnosno modeliranog sudarnog procesa i zaključaka koji su izvedeni na osnovu toga, treba da bude transparentno u smislu prikaza osnovnih parametara koje je usvojio operater. Kompjuterska simulacija se može smatrati tačnom, odnosno prihvatljivom sa aspekta saobraćajno-tehničkog veštoca ukoliko su zadovoljeni sledeći uslovi:

- Izračunata vrednost parametra EES odgovara kataloškoj vrednosti parametra EES koja je u skladu sa stvarnim oštećenjima na vozilu.
- Direktna oštećenja na vozilima se međusobno uklapaju i odgovaraju definisanim međusobnom položaju vozila u trenutku sudara. Profil deformacija sa fotografija odgovara ravnim sudarama odnosno simuliranim deformacijama.
- Točkovi vozila u postsudarnoj fazi se kreću po tragovima koji su prilikom sudara nastali na kolovozu ili vrlo malo prilikom kretanja odstupaju od njih, ostavljajući pri tome i u simulaciji vidljive tragove ili bar deo njih (a mesto sudara je opredeljeno na osnovu materijalnih dokaza – ukoliko postoje). Ukoliko su nastali tragovi grebanja ili rasute tečnosti vozilo u simulaciji odgovarajućim delom prelazi preko tih tragova ili bar u njihovoj zoni.
- Zaustavne pozicije vozila u simulaciji poklapaju se sa pozicijama registrovanim u uviđajnoj dokumentaciji ili u manjoj meri (u okviru dozvoljene greške) odstupaju od njih.

Ukoliko su ispunjeni prethodni uslovi (ili većina njih), bilo kakva odstupanja ostalih ulaznih parametara od svojih realnih vrednosti, dovela bi do rezultata koji se mogu tretirati tačnim sa aspekta suda, ukoliko je greška kompjuterske analize u prihvatljivim granicama (do 10%). To znači, da se u tom slučaju ne bi mogla dobiti kompjuterska simulacija u kojoj se vozila nakon sudara zaustavljaju na onim mestima i u onim položajima koji odgovaraju podacima iz uviđajne dokumentacije, a da su pri tome netačne sudarne brzine vozila i ostali ulazni parametri, koji su veoma bitni za davanje mišljenja veštaka i koji će dalje biti relevantni za donošenje sudske odluke. Ako se kompjuterskom analizom dobije odgovarajuće kretanje i odgovarajuća pozicija jednog od vozila učestvovalih u sudaru, onda se za drugo vozilo ne mogu tolerisati veća odstupanja istih, uz komentar da za to vozilo nije bilo moguće dobiti odgovarajuće rezultate, što bi značilo da neki od ulaznih parametara nije tačno definisan. Sledi, da bi se kompjuterska analiza smatrala tačnom, svi elementi sudarnog procesa i principi dinamike moraju biti zadovoljeni.

2.6. SMERNICE I KRITERIJUMI ZA POUZDANU PRIMENU SOFTVERA ZA ANALIZU DINAMIKE VOZILA I DINAMIKE SUDARA

Softveri za rekonstrukciju i simulaciju saobraćajnih nezgoda pružaju izvanredne mogućnosti u smislu provere rezultata nalaza veštaka i lakšeg prikaza toka saobraćajne nezgode, čine nalaz egzaktnijim, pod uslovom da se koriste u skladu sa pravilima struke, nauke i etičkim principima.

Pored komfornog rada, mnogo bržeg računanja potrebnih parametara, tačnosti sprovedene analize, mogućnosti ispitivanja različitih varijanti, jednostavnog sagledavanja toka saobraćajne nezgode itd., ogromne prednosti ovih softvera su što kod nekih postoji mogućnost optimizacije parametara sudara, a samim tim i pronalaženje najboljih rezultata. Uz ove softvere mogu se dobiti i katalozi formirani na osnovu kreš testova koji se odnose na EES, preko kojih se može odrediti ekvivalent brzine koji je utrošen na deformacioni rad u procesu sudara, a koju je ranije bilo jako teško pouzdano odrediti.

Softveri koji su prethodno pomenuti, nisu svemogući i nisu proizvod čijim se korišćenjem garantuje nepogrešivost, pa za egzaktnost sprovedene analize nije dovoljno samo poznavanje osnovnih funkcija programa, već je pored dobrog poznavanja dinamike sudara vozila, potrebno sagledati pojedinosti i zamke koje mogu uticati na rezultat.

U cilju objektivnosti, treba insistirati na transparentnosti kompjuterske analize, tj. prikazivanju ne samo gotove simulacije sudara automobila, već i na prikazivanju svih ulaznih parametara, odnosno treba prikazati celokupan izveštaj u kome se vide sve veličine koje figuraju u kompjuterskoj simulaciji, što se postiže prilaganjem originalnog fajla simulacije.

Kompjutersku analizu saobraćajne nezgode treba učiniti transparentnom u smislu mogućnosti provere parametara što u kasnjem postupku omogućava detaljnu proveru rekonstruisanog, odnosno simuliranog sudarnog procesa kao i zaključaka koji su na osnovu kompjuterske analize izvedeni.

Uzimajući u obzir ograničenja i specifičnosti modela i programa, mogu se dati sledeće smernice, kako bi se izbegle grešaka u primeni ovih softvera:

1. Smernice koje se odnose na put, tj. podlogu:

- Definisanjem koeficijenta prianjanja, odnosno poligona trenja u slučaju kada se nisu svi točkovi kretali po istoj podlozi, može se uticati i na putanju vozila.
- Treba obratiti pažnju na što vernije prikazivanje okoline puta, odnosno građevinskih elemenata puta i geometrije (bankina, rigol, kosina nasipa i jaraka, ivičnjaka itd.) jer se usled različitih uslova kao što su neravnine, nagibi, koeficijenti prianjanja i sl. može znatno uticati na kretanje vozila do zaustavnih pozicija.

2. Smernice koje se odnose na vozilo:

- Treba obratiti pažnju na tehničke karakteristike vozila koje su za datu marku i tip vozila date u bazi podataka vozila a koje se mogu razlikovati od realnih zbog prepravki vozila i sl. Među ovim karakteristikama veoma su bitne dimenzije vozila s obzirom na to da od njih zavisi moment inercije. Veoma je bitno što preciznije zadavanje ovih fiksnih parametra, kako bi se u narednim iteracijama u cilju dobijanja odgovarajućeg rešenja kompjuterske analize vršile sitne korekcije procenjenih parametara, npr. brzine, mesta sudara, ugla pod kojim su se vozila sudarila itd.
- Definisanjem veličine klizanja i ugla bočnog skretanja pneumatika utiče se na intenzitet uzdužnih i bočnih sila na točku, a samim tim i na kretanje vozila. Zato posebnu pažnju treba obratiti na analizu fotodokumentacije kojom su obuhvaćeni pneumatici na vozilu. Pravilnom interpretacijom karakteristika i stanja pneumatika može se doći do zaključka o neophodnosti izmene pojedinih parametara koji su zadati po difoltu.
- Mase vozila utiču na kinetičku energiju i moment inercije, zato je veoma bitno pravilno proceniti i usvojiti mase vozila koja su učestvovala u sudaru jer se one mogu razlikovati od onih koje su specifikovane u bazi podataka vozila.
- Posebnu pažnju treba obratiti na veličinu i raspored masa putnika i tereta u vozilima, jer iste ne utiču samo na kinetičku energiju vozila već i na položaj težišta, distribuciju opterećenja, a samim tim i na kretanje vozila u postsudarnoj fazi.

- Veoma su retki slučajevi da svi točkovi na vozilu podjednako koče, pogotovo u fazi nakon sudara usled njihovog deformisanja ili blokiranja nekim delovima karoserije, pa zato usporenje vozila u postsudarnoj fazi treba zadati u funkciji vertikalnog opterećenja točka što veštak treba da proceni shodno načinu kretanja vozila, nastalim tragovima na kolovozu (od odgovarajućih točkova) i oštećenjima točkova i karoserije. Sile kočenja točkova (i ubrzanja) kod nekih programa su date u procentima statičkog vertikalnog opterećenja točkova. Faktor kočenja od 100 % predstavlja potpuno zakočen – blokiran točak za koeficijente prianjanja do 1,0.

3. Smernice koje se odnose na sudarni proces:

- Pored trenja između pneumatika i podloge, kod sudara sa klizanjem bitan je i koeficijent trenja između samih vozila odnosno njihovih karoserija, jer se njime može uticati na mogućnost klizanja jednog vozila u odnosu na drugo u procesu sudara, a samim tim i na način njihovog daljeg kretanja. Neki sudarni modeli uzimaju u obzir pravi koeficijent trenja, a neki koeficijent odnosa impulsa koji se samo može dovesti u vezu sa koeficijentom trenja. Bez obzira o kom je koeficijentu reč, posebnu pažnju treba обратити на izbor adekvatnih vrednosti primerenih konkretnoj konfiguraciji sudara.
- Vrednost koeficijenta restitucije utiče na karakteristike sudara, tj. njegovu elastičnost, što za posledicu može imati da vozila nakon sudara pod identičnim ostalim uslovima, ostanu na samom mestu sudara, ili da nastave kretanje u istim smerovima kao i pre trenutka sudara, ili da nastave kretanje u postsudarnoj fazi u suprotnim smerovima. Njime se takođe može uticati i na veličinu deformacija. Zato izbor određene vrednosti ovog koeficijenta mora uvek biti potkorepljen rezultatima eksperimentalnih istraživanja i materijalnim dokazima.
- Položaj ravni sudara između vozila, može uticati na pravac delovanja sudarnog impulsa tj. na komponente impulsa u pravcu normale sudara i tangente, i dalje na način kretanja vozila za vreme sudarnog procesa, a samim tim i na njihovo kretanje u postsudarnoj fazi. Ovo je naročito izraženo kod sudara sa klizanjem. Za orientaciju u početnim iteracijama, ravan sudara svojim položajem treba da što više tangira, odnosno da aproksimira nastala oštećenja na vozilima.
- Tačka sudara treba da se nalazi unutar zajedničke zone sudarenih delova vozila koje obrazuju konture karoserije vozila na kraju faze kompresije, pri čemu rastojanje između ove tačke i konture karoserije, mereno duž normale sudara, predstavlja (srednju) veličinu deformacije. Netačne koordinate tačke sudara (pogotovo Y koordinate) mogu dovesti do odgovarajućih zaustavnih pozicija vozila i sa potpuno različitim sudarnim parametrima, pre svih, sudarnim brzinama. Zato, ne treba znatno menjati koordinate tačke sudara (sudarnog impulsa) od vrednosti koje program sam proračuna, osim u slučajevima kada za to nema jasnih fizičkih opravdanja. Orientacioni položaj tačke sudara može se odrediti kao geometrijsko težište ukupne deformacione površine, pri čemu je potrebno celokupnu površinu podeliti na veći broj manjih površina, tj. pravougaonika.
- Kod određivanja visine tačke sudara treba uzeti u obzir pojavu „posrtanja“ prednjeg dela vozila u trenutku samog sudara (naročito pri intenzivnom kočenju). Takođe, treba uzeti u obzir i visine i oblike karoserija vozila učestvovalih u sudaru.
- Pri istim sudarnim brzinama, sa različitim trajanjem vremena kompresije dobijaju se različite deformacije. Ukoliko se vreme kompresije uvećava i nastale deformacije na vozilima će biti veće, tako da se na ovaj način može uticati na dobijanje odgovarajuće deformacije, ali dobijanje odgovarajućih deformacija treba prvenstveno tražiti kroz odgovarajuće sudsarne odnosno relativne brzine vozila. Već vreme kompresije treba zadržati u slučaju plastičnog sudara i obratno, manje vreme kod elastičnog sudara.
- Kod sudarnih modela koji u obzir uzimaju i karakteristike krutosti karoserije, posebno treba obratiti pažnju na odabir modela krutosti kao i vrednosti samih koeficijenata koji treba da odgovaraju karakteristikama i stanju vozila koje je učestvovalo u sudaru.

4. Smernice koje se odnose na materijalne tragove:

- Tragovi pneumatika najčešće postaju vidljivi na kolovozu kada su zajedno uzdužne i bočne sile pneumatika veće od 95 % dostupne sile trenja. Ova difolt vrednost u nekim programima može se promeniti. Međutim, ukoliko se menja, ne treba je menjati drastično s obzirom na to da će se pri njenim znatno manjim vrednostima tragovi jače i duže ocrtavati na kolovozu u simulaciji, čime se može uticati na dobijanje kompjuterske simulacije koja se razlikuje od realnog stanja u pogledu nastalih tragova u fazi pre i nakon sudara.
- Kod uklapanja vozila u sudarni položaj na osnovu njihovih deformacija, za širinu preklopa treba uzeti samo direktna oštećenja na karoserijama automobila, tj. ona koja potiču neposredno od kontakta, a indirektna oštećenja nastaju kao rezultat povlačenja strukture usled direktnog kontakta. Tom prilikom treba nastojati da se profili deformacija jednog i drugog vozila međusobno poklope duž pravca sudsarne ravni.

5. Ostale smernice:

- Ako se koristi kinematički model simulacije (za razliku od kinetičkog), vozilo će pratiti putanju koju je definisao korisnik, bez obzira da li takvo kretanje odgovara zakonima fizike ili ne. Primena ovog modela retko kada ima opravданje, a naročito u postsudarnoj fazi, osim ako nisu postojali neki složeni manevri od strane vozača.
- Odstupanje vektora brzine vozila od njegove uzdužne ose treba definisati samo u slučajevima kada se vozilo pre mesta sudsara zanosilo, a u slučaju da je rotiralo takvo kretanje treba definisati zadavanjem odgovarajuće ugaone brzine vozila oko njegove vertikalne ose.
- Radi što jasnijeg prostornog prikazivanja pojedinih pozicija učesnika saobraćajne nezgode treba dati i mernu traku preko koje će se moći jasno uočiti razdaljine, a preko nje dalje utvrditi tačnost pozicioniranja učesnika nezgode na situacionom planu, odnosno podlozi za simulaciju koja nakon skeniranja i importovanja mora biti nedefinisana.
- Nakon sudsara, ne može se tolerisati veći broj međupoložaja vozila u kojima se definišu ili koriguju neki parametri, pre svega manevri vozača, kojima se može uticati na kretanje vozila u postsudarnoj fazi. Jedino što se posebno može definisati u ovoj fazi je usporenje koje se naročito prilikom zanošenja vozila može razlikovati od onog u fazi kočenja pre sudsara. Ukoliko je u simulaciji postoji više ovakvih međupoložaja u kojima se definišu pojedini parametri, to može ukazati na pokušaj dobijanja odgovarajućih zaustavnih pozicija vozila korekcijom tih parametara, a da pri tome najbitnije ulazne veličine nisu pravilno određene.

Veliki broj podataka, na koji se ne obraća dovoljna pažnja na uviđaju i na vanrednom tehničkom pregledu, bitna je za pouzdanost kompjuterske analize. Neki od tih podataka su:

- ugao pod kojim su usmereni upravljački točkovi na vozilu u zaustavnoj poziciji,
- pritisak u pneumaticima,
- dimenzije pneumatika,
- tehničke karakteristike vozila (koje se usled prepravki često razlikuju od fabričkih),
- razmaci između točkova i osovina na vozilu nakon sudsara,
- mase vozila,
- mase i raspored putnika i tereta u vozilu itd.

Kada su u pitanju parametri koje veštak procenjuje i usvaja veoma je važno napomenuti da se nikako ne smeju zadavati prosečne vrednosti datih parametara, već veštak treba da se opredeli za one vrednosti koje su pod datim okolnostima povoljnije za okrivljenog.

Komjuterska simulacija treba da predstavlja rezultat sprovedene analize saobraćajne nezgode i izvršenog veštačenja primenom priznate metodologije, a nikako nešto, čemu se treba slepo verovati. Dakle, kompjuterska analiza treba da se zasniva na veštačenju, a ne da se veštačenje jedino i isključivo zasniva na kompjuterskoj simulaciji saobraćajne nezgode. **Veštačenje i dalje treba da se zasniva na priznatim i poznatim klasičnim metodama kojima se dolazi do osnovnih veličina kinematike i dinamike vozila.** Komjutersku simulaciju sudara treba započeti i zasnovati na osnovu tih rezultata, a dalji postupak kompjuterske analize sudara treba da se odnosi na korekciju ulaznih parametara u cilju dobijanja odgovarajućih trajektorija i zaustavnih pozicija vozila u skladu sa materijalnim dokazima. Ovo podrazumeva i optimizaciju parametara koji determinišu sudarni i postsudarni proces, i obaveznu logičku analizu vrednosti tih parametara. Nekada je zbog nedostatka materijalnih dokaza i eventualnih ograničavajućih faktora teško primeniti neku od klasičnih metoda, međutim treba nastojati da se kompjuterska simulacija započne i zasnuje na bar delimičnim i približnim rezultatima ovih metoda, a zatim simulacija, kroz više iteracija, ukoliko zadovoljava osnovne principe pouzdanosti, da potkrepljuje nalaz veštaka.

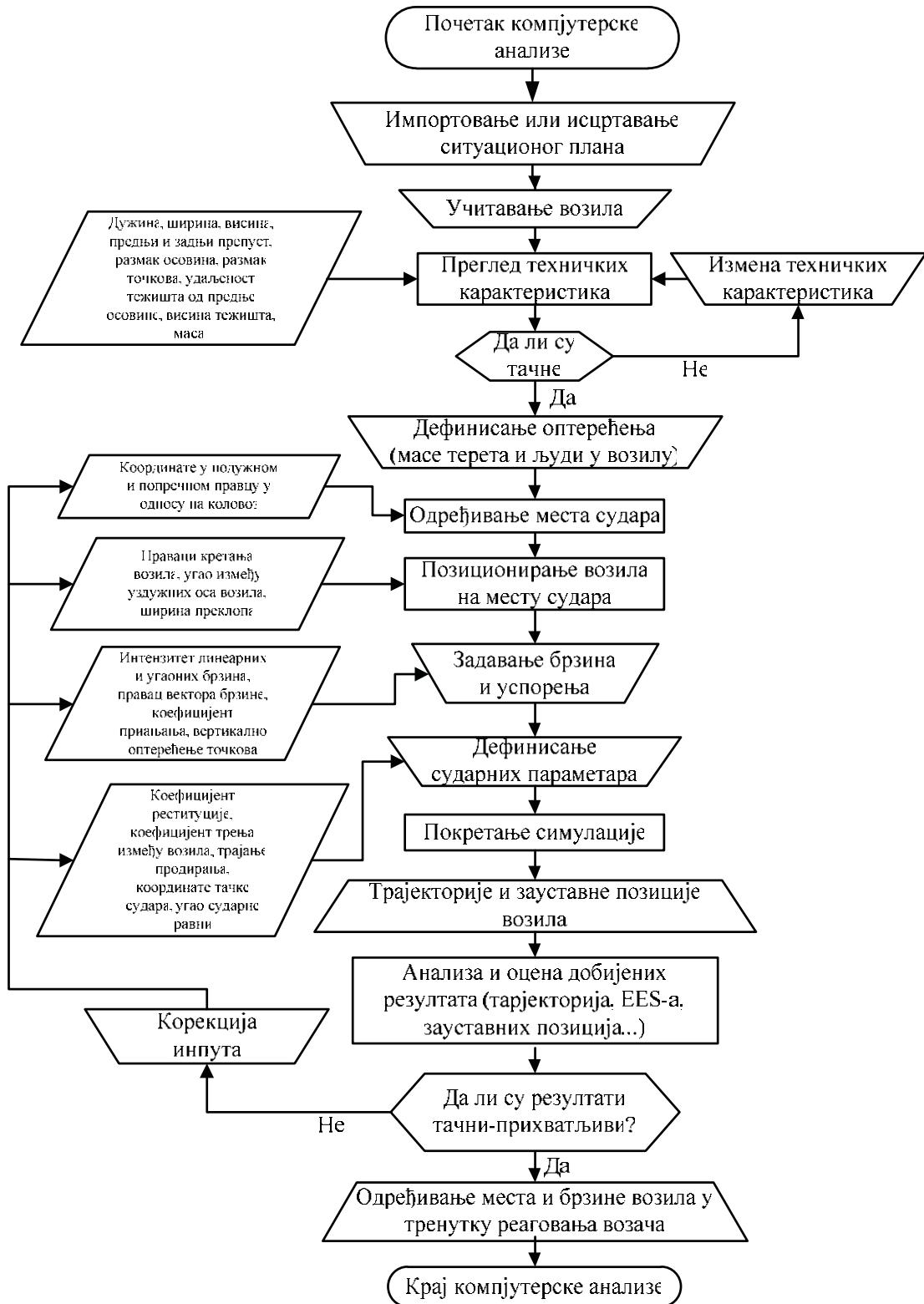
Pored smernica i kriterijuma, mogu se dati i preporuke za one koji se bave analizom nezgoda, kako bi ispravno koristili kompjuterske programe za rekonstrukciju nezgoda:

1. Razumeti program. Pregledati tehničku literaturu koja opisuje program pre njegovog korišćenja na pojedinačne slučajeve. Seminari za obuku su veoma korisni.
2. Koristiti program u predviđenom delokrugu. Ne primenjivati program na sudare koji obuhvataju značajne faktore koje program inače ne uzima u obzir.
3. Izvršiti seriju analiza. Testirati osetljivosti da bi se odredilo koliko greške u merenju mogu da utiču na rezultate.
4. Predstaviti rezultate u seriji. Koristiti seriju analiza da bi se pokazali mogući ishodi.
5. Potvrditi i kad god je moguće ne oslanjati se na jedno sredstvo analize. Treba provjeriti sopstvene rezultate korišćenjem nezavisnih metoda.
6. Predstaviti svoje rezultate. Na važne detalje i propuste može ukazati drugi stručnjak iz iste oblasti. Tokom pregleda treba proveriti da li su prepostavke programa ugrožene, da li su ulazni podaci tačni i da li su rezultati primenljivi.

Mogao bi se definisati postupak rekonstrukcije sudara automobila i iterativni postupak sproveđenja kompjuterske analize koji bi se sastojao kao u prikazu na Slici 5.7.

Najpre je potrebno zadati parametre koje je potrebno pravilno definisati i koji neće biti menjani. To su prvenstveno podaci koji se odnose na tehničke karakteristike vozila i okruženje u kome su se vozila kretala. Zatim je potrebno definisati elemente u skladu sa materijalnim dokazima tj. sa podacima iz uviđajne dokumentacije. U ovoj fazi bitno je pozicioniranje vozila na mestu sudara u skladu sa tragovima i oštećenjima. Zatim treba definisati ostale elemente u skladu sa procenom, odnosno nalazom veštaka. To su kinematske veličine npr brzine vozila, usporenje i dr., ali i parametre kojima se definiše sudarni proces – koeficijent restitucije, položaj sudarne ravni, trajanje prodiranja itd.

Nakon toga može se pokrenuti simulacija koja obično ne rezultuje zadovoljavajućim rešenjem. Zato je bitno da se na početku što veći broj parametara tačno definiše, kako bi rešavanje problema bilo usmereno ka optimizaciji mesta sudara i sudarnih brzina vozila. Na taj način se broj iteracija smanjuje, a takođe smanjuje se i mogućnost grešaka u kompjuterskoj analizi. Potrebno je vršiti korigovanje parametara koje veštak izračuna ili proceni, ali i onih koje je program proračunao, sve dok se ne dobije odgovarajuće rešenje. Pod odgovarajućim rešenjem se ne podrazumevaju samo zadovoljavajuće zaustavne pozicije vozila već i kretanje vozila u postsudarnoj fazi, vrednosti EES ili drugog deformacionog parametra, a posebno logične vrednosti dobijenih parametara.



Slika 2.17 Blok dijagram sproveđenja kompjuterske analize sudara automobila

3. ZAKLJUČAK

Ukoliko se primeni SWOT analiza, doći će se do jasnih zaključaka vezanih za mogućnost korišćenja softvera za ekspertize saobraćajnih nezgoda:

- *Strengths* – Snage (prednosti) su što u odnosu na ostale metode imaju najmanje pojednostavljenja, tj. najsveobuhvatni su. Pravilnom primenom mogu dati najtačnije rezultate.
- *Weaknesses* – Slabosti su postojanje mogućnosti zloupotrebe ili činjenja nenamernih grešaka usled neznanja i nepoštovanja osnovnih principa pouzdanosti. Moguće je potcenjivanje softvera od strane spoljnih faktora – sudija, advokata, ali i od veštaka koji nisu prilično upućeni u računarsku tehnologiju. Ograničenost na institucije koje su tehnički, kadrovski i finansijski dobro razvijene.
- *Opportunities* – Mogućnosti (šanse) se ogledaju najpre u praktičnoj primeni, jer se potvrđuju onoliko koliko se primenjuju. Daju mogućnost provere toka saobraćajne nezgode koje je veštak odredio klasičnim postupcima veštačenja. Postoji mogućnost daljeg usavršavanja, poboljšanjem modela i otklanjanjem bagova.
- *Treats* – Pretnje (prepreke) se ogledaju u borbi između prednosti i slabosti. Između afirmacije i potcenjivanja u pravosudnoj praksi. Pretnje se nalaze i u otporu nedovoljno stručnih veštaka o ovoj oblasti, sudija i pristrasnih advokata.

Jedna od prednosti programa u odnosu na klasične metode, je i ta što automatski detektuje sekundarne sudare između vozila, čak i preko sto sudara nakon primarnog sudara. Obično nakon nekoliko prvih sudara (dva-tri), ostali sekundarni sudari su malog intenziteta, te sudarni impuls koji se tom prilikom javlja ne utiče u većoj meri na kretanje vozila u postsudarnoj fazi. Sa druge strane, iako se radi o sudarima malih intenziteta, ove sekundarne sudare ne treba zanemarivati. Naime, postojanje velikog broja sekundarnih sudara ukazuje na način kretanja vozila na putu zaustavljanja, što za posledicu ima uticaj na trajektoriju vozila u postsudarnoj fazi i na zaustavne pozicije.

Klasične – tradicionalne metode imaju prilično restriktivan skup prepostavki i ograničenja. Brojni matematički modeli koji opisuju sudare automobila u okviru tradicionalnih analitičkih tehnika svojom koncepcijom ne obuhvataju kompletну dinamiku vozila u fazi sudara i nakon sudara. Klasične – tradicionalne metode ne daju odgovore na pitanja o tačnosti trajektorija vozila, kao ni o tačnosti karakteristika deformacija na vozilima.

Primenom klasičnih analitičkih i grafoanalitičkih metoda u postupcima veštačenja ponekad je nemoguće dobiti pouzdane odgovore o tri najvažnije činjenice:

- poziciji vozila u trenutku sudara,
- mestu sudara u podužnom i poprečnom pravcu i
- brzinama kretanja vozila u trenutku kontakta.

Klasične analize su komplikovane i nepouzdane ukoliko se radi o sudarima u kojima vozila nisu ostavila tragove kretanja, u situacijama ako nije pouzdano izvršeno pozicioniranje tragova ili identifikacija delova na vozilu od kojih su nastali tragovi. Opravданost primene kompjuterskih programa u analizi saobraćajnih nezgoda je neosporna. Analizirajući ekspertize saobraćajnih nezgoda koje su izvršene na Institutu Saobraćajnog fakulteta u Beogradu primećuje se da u poslednje vreme potreba za kompjuterskom analizom ovih nezgoda postoji u gotovo stoprocentnom broju slučajeva. Ovo ne znači da se u ekspertizama predmetnih nezgoda nije mogla primeniti ni jedna druga metoda osim kompjuterske analize, već da i u situacijama kada se analiza sprovodi primenom bilo koje klasične analitičke metode na ovaj način se skoro obavezno vrši provera dobijenih rezultata. Takvu me-

todologiju u ekspertizama saobraćajnih nezgoda koja se postavlja kao standard u radu naučnih ustanova trebalo bi uvesti i u rad pravnih i fizičkih lica koja se bave poslovima veštačenja saobraćajnih nezgoda.

LITERATURA

- [1] Day, T.D. and Hargens, R.L. APPLICATION AND MISAPPLICATION OF COMPUTER PROGRAMS FOR ACCIDENT RECONSTRUCTION. s.l.: 890738, SAE, Warrendale, 1989.
- [2] BLAQ BOX User's Manual. s.l.: Criterion Press, Leawood, KS, 1988.
- [3] C.A.A. System User's Manual, Computerized Accident Analysis. s.l.: Casa Grande, AZ, 1988.
- [4] A-I-CALC User's Guide. s.l.: Northwestern University Traffic Institute, Evanston, IL, 1987.
- [5] CARS User's Manual, Computer Assisted Reconstruction Systems. s.l.: Inc., Garnerville, NY, 1988.
- [6] COLLIDE User's Manual, Reconstruction Technologies. s.l.: Inc. Tempe, AZ, , 1988.
- [7] CAR User's Manual, Computerized Accident Reconstruction. s.l.: Salt Lake City, UT, 1988.
- [8] Wach, W. PC-CRASH, HANDBOOK. s.l.: Institute of Forensic Research Publishers, Krakow, 2001.
- [9] <http://www.rec-tec.com>.
- [10] <http://www.brachengineering.com>.
- [11] Radosavljević, M., Milutinović, N. Softver za simulaciju i veštačenje saobraćajnih nezgoda, VIII Simpozijum sa međunarodnim učešćem: Prevencija saobraćajnih nezgoda na putevima 2006. s.l.: Zbornik rada, Institut za saobraćaj Fakulteta tehničkih nauka, Novi Sad, 2006.
- [12] Vehicle Analysis Package – EDSVS Program Manual, Version 4. s.l.: Engineering Dynamics Corporation, Lake Oswego, OR, 1988.
- [13] Vehicle Analysis Package – EDVTS Program Manual, Version 4. s.l.: Engineering Dynamics Corporation, Lake Oswego, OR, 1988.
- [14] P.L. Solomon. SMAC Operator's Manual. s.l.: Department of Transportation, NHTSA, Accident Investigation Division, Washington. DC, 1974.
- [15] Vehicle Analysis Package – EDSMAC Program Manual, Version 2. s.l.: Engineering Dynamics Corporation, Lake Oswego, OR, 1988.
- [16] Anderson, D.O., Woolley, R.L., Tagg, M.D., Warner, C.Y. The VTS Single – Vehicle Trajectory Simulation. s.l.: SAE Paper No. 850252, Warrendale, PA, 1985.
- [17] Noga, T., Oppenheim, T. CRASH3 User's Guide and Technical Manual. s.l.: NHTSA, DOT HS-805 732, Department of Transportation, Washington, D.C, 1982.
- [18] Vehicle Analysis Package – EDCRASH Version 4. s.l.: Engineering Dynamics Corporation, Lake Oswego, OR, 1986.
- [19] Woolley, R.L. The IMPAC Program for Collision Analysis. s.l.: SAE Paper No. 870046, Warrendale, PA, 1987.
- [20] Bowman, B.M., bennett, R.O., Robbins, D.H. MVMA Two – Dimensional Crash Victim Simulation, Version 4, Volume 2. s.l.: University of Michigan, UMHSRI-79-5-2, Ann Arbor , 1979.
- [21] Fleck, J.T., Butler, F.E. Validation of the Crash Victim Simulator, Volume 3, User's Manual. s.l.: Calspan Corporation, report No. ZS-CVS-3D.
- [22] Steffan, H. PC-CRASH OPERATING MANUAL. s.l.: DSD,Linz , 2002.
- [23] TRANS4 Photogrammetry Programs for Accident Investigation. s.l.: Kinney Engineering, Inc., and MC2, Inc., Corvallis, OR, 1988.
- [24] FOTOGRAM. s.l.: G.M. Tech Center, General Motors Corporation, Warren, MI , 1986.
- [25] Vehicle Analysis Package – EDCAD Program Manual, Version 1. s.l.: Engineering Dynamics Corporation, Lake Oswego, OR, 1988.
- [26] <http://www.iwitnessphoto.com>.

- [27] <http://www.photomodeler.com>.
- [28] Datentechnik, S. PC-RECT,A Photograph Rectification Program, Operating & Technical Manual, Version 4.1. s.l.: DSD,Linz, 2009.
- [29] <http://www.cadzone.com>.
- [30] Šotra, D. i N. Milutinović. *Mogućnost (zlo)upotrebe softvera za kompjutersku analizu saobraćajnih nezgoda*. s.l.: XXII Međunarodni naučnostručni skup: Nauka i motorna vozila 2009, Zbornik radova,Beograd, 2009.
- [31] Vodinelić, V. *Saobraćajna kriminalistika*. s.l.: Savremena administracija, Beograd, 1986.
- [32] *Zakonik o krivičnom postupku*. s.l.: Službeni glasnik RS, br. 58/04, 85/05, 115/05, 49/07, 20/09 , 2002.
- [33] Milutinović, N. Ispitivanje mogućnosti primene i pouzdanosti korišćenja softvera za simulaciju u ekspertizama sudara automobila, Magistarski rad. Fakultet tehničkih nauka Novi Sad: s.n., 2008.
- [34] Vujanić, M. i N. Milutinović. *Kompjuterska analiza sudara automobila – validacija programskog paketa Virtual CRASH*. s.l.: IX Simpozijum sa međunarodnim učešćem: Prevencija saobraćajnih nezgoda na putevima 2008, Zbornik radova, Institut za saobraćaj Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu, 2008.
- [35] Kostić, S. i N. Milutinović. *Mogućnost verifikacije programskih paketa na osnovu analize realnih saobraćajnih nezgoda*. s.l.: Savetovanje na temu: Saobraćajne nezgode, Zbornik radova, Zlatibor, 2008.
- [36] McHenry, R. and McHenry, B. *McHENRY ACCIDENT RECONSTRUCTION 2000 Manual*. s.l.: McHenry Software, Cary, 2003.
- [37] McHenry, B. *Evaluating Computer Modeling, Simulation & Animation*. s.l.: IATAI 21st Annual Traffic Crash Reconstruction Conference, 2007.
- [38] Grimes, W., Dickerson,C., Smith,C. Documenting Scientific Visualizations and Computer Animations Used in Collision Reconstruction Presentations. s.l.: SAE parers No. 980018.
- [39] Campbell, B.J. *A Review of ACIR Findings*. s.l.: 8th Stapp Car Conference, 1966.
- [40] <http://www.mchenrysoftware.com/>.
- [41] McHenry, R.R. Extensions and Refinements of the CRASH Computer Program Part I, Analytical Reconstruction of Highway Accidents. s.l.: PB76-252114, 1976.
- [42] Day, T.D. and Harqens, R.L. *An Overview of the Way EDCRASH Computes Delta-V*. s.l.: SAE 870045, Beaverton, 1987.
- [43] Bigg, G., Moebes, T. *WinCrash User's Manual*. s.l.: AR Software, Redmond, 1996.
- [44] Fonda, A.G. *CRASH Extended for Desk and Handheld Computers*. s.l.: SAE Paper No. 870044, Warrendale, 1987.
- [45] Woolley, R.L. *THE 'IMPAC' COMPUTER PROGRAM FOR ACCIDENT RECONSTRUCTION*. s.l.: SAE Paper No. 850254, Warrendale, PA 15096.
- [46] Smith, G.C. *CONSERVATION OF MOMENTUM ANALYSIS OF TWO-DIMENSIONAL COLLIDING BODIES, WITH OR WITHOUT TRAILERS*. s.l.: SAE, 940566.
- [47] Steffan, H., and A. Moser. *THE COLLISION AND TRAJECTORY MODELS FOR PC-CRASH*. s.l.: SAE Paper 960886.
- [48] <http://www.edccorp.com>.
- [49] McHenry, R. R., Jones, I. S. and Lynch, J. P. *MATHEMATICAL RECONSTRUCTION OF HIGHWAY ACCIDENTS - SCENE MEASUREMENT AND DATA PROCESSING SYSTEM* . s.l.: Calspan Corporation, Contract DOT-HS-053-3-658, Calspan Report ZQ-5341-V-2, 1974.
- [50] Day, T.D. *An Overview of the EDSMAC4 Collision Simulation Model*. s.l.: SAE Paper No. 1999-01-0102, Warrendale, 1999.
- [51] Murphy, R.W., Bernard, J.E., and Winkler, C.B. *A Computer-based Mathematical Method for Predicting the Braking Performance of Trucks and Tractor-Trailers*. s.l.: Highway Safety Research Institute, University of Michigan, NTIS PB 212 205, 1972.
- [52] Bernard, J.E., Winkler, C.B., and Fancher, P.S. *A Computer-based Mathematical Method for Predicting the Directional Response of Trucks and Tractor-Trailers, Phase II Technical Report, Motor Truck Braking and Handling Performance Study*. s.l.: NTIS PB-221-630, Highway Safety Research Institute, The University of Michigan, Ann Arbor, 1973.

- [53] Gillespie, T.D. *Validation of the MVMA/HSRI Phase II Straight Truck Directional Response Simulation*. s.l.: Highway Safety Research Institute, Report No. UM-HSRI-78-46, The University of Michigan, Ann Arbor, 1978.
- [54] Winkler, C.B., Bernard, J.E., Fancher, P.S., MacAdam, C.C., Post, T.M., Johnson, L.K. Predicting the Braking Performance of Trucks and Semi-trailers, Phase III Technical Report, Motor Truck Braking and Handling Performance Study. s.l.: NTIS PB-266706, Highway Safety Research Institute, The University of Michigan, Ann Arbor, 1976.
- [55] MacAdam, C.C., Fancher, P.S., Hu, Garrick T., and Gillespie, T.D. A Computerized Model for Simulating the Braking and Steering Dynamics of Trucks, Tractor-semi-trailers, Doubles, and Triples Combinations. s.l.: University of Michigan, Ann Arbor, Report No. UM-HSRI-80-58, 1980.
- [56] Taylor, L.M., and Flanagan, D.P. *PRONTO 3D A Three-Dimensional Transient Solid Dynamics Program*. s.l.: SAND87-1912, Sandia National Laboratories, 1989.
- [57] Attaway, S.W. *Update of PRONTO 2D and PRONTO 3D Transient Solid Dynamics Program*. s.l.: Sandia National Laboratories, SAND90-0102, 1994.
- [58] Lin, T. Belytschko and J.I. *A New Interaction Algorithm with Erosion for EPIC-3*. s.l.: U.S. Army Ballistic Research Laboratory Report BRL-CR-540, 1985.
- [59] Benson, J.O. Hallquist and D.J. *DYNA3D user's manual (nonlinear dynamic analysis of structures in three dimensions)*. s.l.: Lawrence Livermore National Laboratory, UCID-19592, Rev. 3, 1987.
- [60] Biffle, J.H. JAC - A Three-Dimensional Finite Element Computer Program for the Nonlinear Quasi- Static Response of Solids with the Conjugate Gradient Method. s.l.: Sandia National Laboratories, SAND87-1305.
- [61] Hallquist, J.O. NIKE3D: An implicit, finite deformation, finite element code for analyzing the static and dynamic response of three-dimensional solids. s.l.: Lawrence Livermore National Laboratory, UCID-18822, Rev. 1, 1984.
- [62] Day, T.D, Sydney G. Roberts, Allen R. York. *SIMON: A New Vehicle Simulation Model for Vehicle Design and Safety Research*. s.l.: SAE Papers, 2001-01-0503, 2001.
- [63] <http://www.dsd.at>.
- [64] <http://www.ibb-info.com>.
- [65] Fittanto, D.A, Roland A. R., Ericka J. Burg, H. and Burg J. *Overview of CARAT-4, a Multi-body Simulation and Collision Modeling Program*. s.l.: SAE Papers No. 2002-01-1566, 2002.
- [66] Unfallrekonstruktionen, DWG SV-Büro Gratzer. *Handbuch ANALYZER PRO*.
- [67] <http://www.vcrash.com>.
- [68] Melegh, G and G. Vida. *Virtual CRASH, TECHNICAL MANUAL*. s.l.: Budapest, 2007.
- [69] . —. *Virtual CRASH, USER'S MANUAL*. s.l.: Budapest, 2007.