

Факултет инжењерских наука

Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Друмски саобраћај

Предмет: Механика саобраћајне незгоде

Број индекса: 708/2012

Далибор К. Михајловић

Ток саобраћајне незгоде

завршни рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. **Др Александра Јанковић, проф. - ментор**

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да опише и анализира:

- предсударну фазу (pre crash),
- сударну фазу (crash),
- постсударну фазу (post-crash),
- пример судара два путничка возила.

Препоручена литература:

[1] Јанковић, А. и Симић, Д.: БЕЗБЕДНОСТ АУТОМОБИЛА, Крагујевац 1996. године

Крагујевац, 29.11.2013.

ментор:

Др Александра Јанковић, проф.

Резиме

Анализом експерименталних истраживања која су вршена у циљу одређивања коефицијента реституције дошло се до закључка да вредност овог коефицијента не зависи само од својства материјала како је то раније сматрано. У новије време, испитивањем возила доказано је да коефицијент реституције приликом судара возила, поред врсте материјала зависи и од брзине кретања возила, односа маса између сударених возила, облика делова који су у контакту, међусобног положаја возила, угла судара, итд.

При изради експертиза саобраћајних незгода један од бројних задатака који се постављају вештаку саобраћајно-техничке струке представља дефинисање пропуста. Кроз квалификацију пропуста, вештак даје велики допринос схватању околности под којима се догодила и услова под којима се могла избећи саобраћајна незгода.

У раду је приказано неколико метода и практичних поступака за одређивање реалних вредности коефицијента реституције на основу резултата CRASH тестова.

Кључне речи: ВЕШТАК, САОБРАЋАЈНА НЕЗГОДА, ПРОПУСТИ УЧЕСНИКА НЕЗГОДЕ, КОЕФИЦИЈЕНТ РЕСТИТУЦИЈЕ, СУДАР ВОЗИЛА.

Abstract

Analysis of experimental studies were conducted to determine the coefficient of restitution, it was concluded that the value of this coefficient depends not only on material properties, as was previously considered. More recently, testing of vehicles has been proved that the coefficient of restitution in a collision of vehicles, in addition to the type of material depends on the speed of vehicles, the mass between the colliding vehicles catch, shaped parts that are in contact, mutual position of the vehicle, the angle of collision.

While doing traffic accident expertise one of many problems an expert should solve, is the defining of the mistakes of the participants. Within the classification of the mistakes, an expert gives important contribution to the understanding of the circumstances during which a traffic accident has occurred and conditions for possible ways to avoid the accident.

This paper describes several methods and practical procedures for determining the real value of the coefficient of restitution based on the results of tests Crushes.

Key words: TRAFFIC ECCIDENT EXPERT, TRAFFIC ACCIDENT, MISTAKES OF THE TRAFFIC ACCIDENT PARTICIPANTS, COEFFICIENT OF RESTITUTION, VEHICLE COLLISION.

Садржај

Резиме.....	2
1. Увод	4
2. Безбедност у саобраћају	7
2.1. Мере за квантифицирање незгоде	10
3. Предсударна фаза (pre crash)	12
4. Учесталост појединих врста судара.....	17
5. Сударна фаза (Crash)	20
5.1. Метода енергетског прстена	22
5.2. Пример одређивања брзине возила након судара.....	24
6. Постсударна фаза (Post-crash)	26
6.1. Метода импулсног дијаграма	27
6.2. Метод симетрије импулса	28
6.3. Одређивање брзине на основу извршеног рада точкова возила	30
7. Употреба софтвера PC Crash уз помоћ изведених експеримената реалних судара	31
7.1. Програми за динамику људи у возилу	34
8. Судар два путничка возила.....	36
8.1. Место судара	36
8.1.1. Оштећења VW-а и OPEL -а.....	40
9. Механизам настанка судара и динамика кретања тела у возилу	45
10. Закључак	47
11. Литература.....	48

1. Увод

Незгода која се догодила на путу или је започета на путу је саобраћајна незгода у којој је учествовало најмање једно возило у покрету и у којој је најмање једно лице погинуло или повређено или је настала материјална штета. Зато и представља изузетно значајан проблем савремене цивилизације. [1]

Поред термина саобраћајна незгода, који је по закону о безбедности саобраћаја званични назив, код нас се користе и називи - саобраћајна несрећа, судар или удес.

Најчешћи узроци саобраћајних незгода су непоштовање саобраћајних прописа и неприлагођавање брзине временским условима. Када у саобраћајној незгоди дође до повреде живих субјеката, односно људи, неопходно је да се утврди врста и тежина повреде којој је подлегао субјекат.

Процењује се да данас у свету у саобраћајним незгодама годишње погине око 300.000 људи, док се око 10 милиона људи повреди.

Најчешће је неопходно извршити реконструкцију случаја, без обзира на тежину саобраћајне незгоде. Основни циљ реконструкције је да се све чињенице које се односе на саобраћајну незгоду обухвате тако да се добије целовит временски и просторни ток незгоде. Али, врло често се дешава да то није могуће урадити, већ се посматрају само парцијални аспекти. Разликују се три фазе незгоде, у општем случају:

- Фаза без контакта (**pre-crash фаза**) - обухвата период од момента прве реакције возача до тренутка контакта учесника у незгоди;
- Фаза контакта (**crash фаза**) - обухвата временски период када су возила у контакту;
- Фаза по раздвајању (**post-crash фаза**) - обухвата период од раздвајања учесника у незгоди до њиховог потпуног заустављања.

Прва фаза саобраћајне незгоде почиње од оног момента када возач уочи опасну ситуацију и предузме мере у циљу избегавања судара. То је динамичка фаза и претходи незгоди, односно дешава се у покрету. Приликом нормалног одвијања саобраћајног тока, у овој фази долази до извесних поремећаја који за последицу имају судар возила. У почетној-првој фази кретање возила је условљено силама које делују на тачкове и које се на коловозу манифестују у виду различитих типова трагова и то: трагови кочења, заношења, клизања и сл. На основу тих трагова изводи се закључак о начину и току кретања возила, положају возила, прорачун брзине кретања возила итд.

Друга фаза је фаза самог судара. Ова фаза представља период времена који протекне од момента директног контакта возила до момента када се возила после судара раздвоје и крену ка својим крајњим позицијама. Јављају се у другој фази, силе које изазивају посебне врсте трагова и то трагове повреда посаде возила, деформације и оштећења (на возилима, путу, путним објектима, роби), трагове гурања, гребања, вучења и сл. На основу наведених трагова, а нарочито на основу деформација и оштећења могуће је извршити део анализе судара као што је: одређивање међусобног

положаја возила или положај возила у односу на препреку, прорачун сударне брзине, тј. брзине која је изгубљена на деформацију возила. [2]

Код друге фазе постоји примарна и секундарна фаза:

- Примарна фаза траје од тренутка контакта међу возилима до тренутка достизања најмањег међусобног растојања. У овој фази долази до сабијања или деформисања, а тежишта возила се приближавају. И она се завршава у тренутку достизања најмањег растојања између тежишта, када деформације возила достигну максимум, а брзина њихових приближавања буде једнака нули. Током ове фазе кинетичка енергија релативног кретања (изгубљене брзине) возила се претвара у трајне деформације, у потенцијалну енергију еластичних деформација, топлотну енергију, енергију звучних вибрација итд.
- Секундарна фаза траје од тренутка достизања најмањег растојања између возила до тренутка њиховог размицања. При размицању возила потенцијална енергија пластичних деформација се претвара у кинетичку енергију возила. У овој фази се размак између тежишта возила повећава и на крају се између њих у потпуности губи контакт.

Трећа фаза представља временски период који протекне после судара од момента раздвајања возила до момента њиховог заустављања у крајњим позицијама. Њу чини процес смиривања возила након судара и трећа фаза се још назива постсударна фаза. Карактеристично за ову фазу је то што се она састоји од елемента прве и друге фазе, тј., у овој фази могу да се јаве сви или само неки трагови који су карактеристични за прву и другу фазу.

Методe реконструкције судара возила које базирају на налажењу енергије деформације, добијају све више на значају у процесима арбитраже од стране судских вештака. Приликом примене метода којима се одређује долазна брзина возила, основно је проценити еласто-пригушне карактеристике возила које су блиске реалним. Тада се проналазе различити облици изражавања коефицијената крутости, који би адекватно репрезентовали крутост возила и то зависно од типа незгоде, односно места контакта возила. Али, техника израчунавања деформационе енергије преко коефицијената крутости не може да се генерализује, већ се емпиријски утврђује за одређену класу возила. Наиме, један од проблема који доводи до додатне грешке у примени ових метода је и губитак енергије у контакту пнеуматика и тла.



Слика 1 – Пример саобраћајне незгоде [1]

На слици 1 је дат приказ примера саобраћајне незгоде. Доношењем прописа (FMVSS¹, CEE²) се интензивира значај експеримента и захтева се проба на удар. Разним истраживањима постигнута је систематизација коефицијента крутости чеоне структуре по типовима и класама возила. Прорачун чврстоће на бази структуралне анализе омогућио је израчунавање крутости голе шкољке, али не и целог возила због његове сложености.

На фазу контакта се углавном односи реконструкција, а временом су се развиле и многобројне методе које се примењују при реконструкцији са циљем да се добију што прецизнији подаци. Енергетске методе су једне од таквих метода које добијају све више на значају у процесима арбитраже од стране судских вештака, а базирају се на налажењу енергије деформације. [2]

Како би се одредила енергија при судару возила, неки од начина је да се из великог броја креш (crash) тестова и удеса, снима оштећење возила. Али, овај начин је дуготрајан и није увек изводљив. Други начин је да се упореди оштећење настало при удесу са оштећењем, при тесту. Пошто се ретко дешава да је оштећење при незгоди исто као и оштећење при тесту, како би се дошло до резултата неопходно је поставити модел на бази еквивалентних енергија удара.

¹ Federal Motor Vehicle Safety Standards - су амерички савезни стандарди за безбедност моторних возила.

² Common Event Expression – је иницијатива развоја од стране заједнице која представља продавце, истраживаче, и крајње кориснике.

2. Безбедност у саобраћају

Да би на путевима било што мање страдалих и тешко повређених – пет држава EU, FIA, ауто-мото друштва и удружења потрошача широм Европе формирали су 1997. године Еуро NCAP (*European New Car Assessment Program*) институцију. [4]

И раније су се спроводили креш (crash) тестови, али је тек Еуро NCAP увео строги систем испитивања повреда путника приликом судара, а да би се купци лакше сналазили уведен је систем – звездица (до максималних пет звездица) и поена. Захваљујући популаризацији Еуро NCAP теста, произвођачи аутомобила настоје да конструишу што безбедније аутомобиле, на првом месту да би испунили прописани минимум безбедности који је потребно испунити да би се возило уопште продавало у земљама EU, а потом и да би надмашили конкуренцију. Последњих година се као резултат свега тога, бележи констатни пад броја смртно повређених широм EU-а.

За Еуро NCAP испитивања су референтни фронтални (као статистички најчешћи) и бочни (као статистички најфаталнији) удари. Приликом реализације ових тестирања се на основу добијених резултата сабирају поени (чеоних и бочних судара) и тако се добија укупна оцена о неком моделу, односно додељују се Еуро NCAP звездице:



= Тестирања и процедура рангирања примењена до 31. децембра 2001.;



= Стриктнија тестирања и процедура рангирања измењена за тестирања аутомобила од 1. јануара 2002.

НАПОМЕНА: С обзиром на промене тестирања које се односе на пешаке и начин рангирања, резултат **плава звезда** се не може поредити са резултатом **зелена звезда**.

Сходно томе, релевантно поређење безбедности аутомобила се своди на њихову компарацију звездица истих боја, али само из истих класа аутомобила, јер је на пример 5 звездица Клиа (Clio) III неупоредиво са 5 звездица Лагуне (Lagune), из разлога различитих критеријума за мање и веће аутомобиле.

Што значи, безбеднији аутомобил је онај са што више освојених поена (звездица) на Еуро NCAP тесту, и то што већих димензија и што веће тежине, при чему већу вредност имају зелене звездице. [4]

Повреде људских одељења за истраживање обавља Америчка истраживачка институција (NHTSA - *National Highway Traffic Safety Administration*) која има мисију спровођења истраживања за унапређење научних сазнања у утицају да биомеханика моторних возила повећава безбедност путника и подржава NHTSA мисију за чување живота, као и да спречи повреде и смањење економских трошкова због падова у друмском саобраћају. Преко 25 година, NHTSA истраживање је помогло да се побољша разумевање механизма људских повреда и толеранције различитих региона људског тела на механичким силама које проистичу из саобраћајне несреће. Креш лутке, повреде критеријума и моделирање алата развијених у оквиру истраживања је

омогућила Агенција за развој прописа и информације о корисницима како би возила била безбеднија.

Коришћењем напредне компјутерске технике моделирања за процену људских повреда и побољшања садашњих и будућих судара, у многоне су помогле лутке. План за спровођење истраживања биће подељен са намером да стимулише будуће идеје и сарадњу.

У складу са подацима светске здравствене организације у саобраћајним незгодама у свету годишње гине око 1,3 милиона људи, а 30-50 милиона људи бива повређено. Саобраћајне незгоде су водећи узрок смрти младих од 15 до 29 година. Преко 90% погинулих у саобраћајним незгодама дешава се у ниско и средње развијеним земљама, иако је број возила у овим земљама мањи од половине укупног броја возила у свету. Скоро половину ових смртних случајева чине рањиви учесници у саобраћају (пешаци, бициклисти и мотоциклисти). Светска здравствена организација процењује, ако се настави досадашњи тренд, да ће у узроку смрти људи саобраћајне незгоде са деветог места у 2004. скочити на пето место у 2030. години (табела 1 - WHO, 2009). [3]

Табела 1 - Главни узроци смрти људи, (WHO, 2009.)[3]

2004.			2030.		
Ранг	Узрок смрти	%	Ранг	Узрок смрти	%
1.	Исхемија срчаног мишића	12,2	1.	Исхемија срчаног мишића	12,2
2.	Цереброваскуларне болести	9,7	2.	Цереброваскуларне болести	9,7
3.	Инфекције нижих дисајних путева	7,0	3.	Хронична опструктивна болест плућа	7,0
4.	Хронична опструктивна болест плућа	5,1	4.	Инфекције нижих дисајних путева	5,1
5.	Дијареја	3,6	5.	Саобраћајне незгоде	3,6
6.	ХИВ/АИДС	3,5	6.	Канцер трахеја, бронхија и плућа	3,5
7.	Туберкулоза	2,5	7.	Дијабетис	2,5
8.	Канцер трахеја, бронхија и плућа	2,3	8.	Повишени крвни притисак	2,3
9.	Саобраћајне незгоде	2,2	9.	Канцер желуца	2,2
10.	Превремени порођај	2,0	10.	ХИВ/АИДС	2,0

У последњој деценији, основни показатељи безбедности саобраћаја у Србији, су приказани у табели 2. Анализом података о саобраћајним незгодама и повређеним и погинулим лицима у њима може се уочити неравномерност у броју незгода и настрадалих.

Помаци у унапређењу стања безбедности саобраћаја приметни су у задње три године (2010., 2011. и 2012.), као последица процеса доношења и примене новог закона о безбедности саобраћаја на путевима. И поред ових помака чини се да ефекти примене новог закона нису потпуни. Антић и остали (Antić et al., 2011) су у свом раду утврдили да су ефекти новог закона били најизраженији у првих неколико месеци примене и да су слабили како се 2010. година ближила крају.

Разлог ове појаве последица је интензивних медијских акција на промоцији новог закона које су започете током јануара 2010, али које нису у пуном интензитету настављене у другој половини 2010. године. Подаци о броју незгода са погинулим и број погинулих у 2011. потврђују ову тезу.

Табела 2 – Основни показатељи безбедности саобраћаја у Србији од 2002. до 2012. [3]

Година	Укупно СН	СН са настрад.	СН са м. штет.	СН са погин.	СН са повређ.	Погинули	ТТ повреде	ЛТ повреде
2002	52.177	11.586	40.591	769	10.817	854	4.314	10.446
2003	55.660	12.415	43.245	769	11.646	868	4.551	11.403
2004	62.356	13.374	48.982	864	12.510	960	4.864	12.709
2005	62.036	12.769	49.206	765	12.004	843	4.401	12.490
2006	63.954	13.923	50.001	808	13.115	910	4.778	13.633
2007	70.789	16.594	54.195	861	15.733	968	5.318	16.891
2008	67.786	16.672	51.057	820	15.852	905	5.197	17.100
2009	64.887	15.814	49.070	734	15.080	810	4.638	16.873
2010	47.757	14.179	33.578	593	13.856	660	3.893	15.433
2011	42.438	14.119	28.319	659	13.460	728	3.777	15.535
2012	37.559	13.333	24.226	615	12.718	684	3.545	14.861

У задње три године неравномерност броја незгода и настрадалих у саобраћајним незгодама, показују да Србија нема стабилан заштитни систем безбедности саобраћаја. Чини се да увођење новог закона о безбедности саобраћаја није довољно за дуготрајне ефекте унапређења безбедности саобраћаја, већ се само сталним јачањем свести учесника у саобраћају и детаљно планираним спровођењем законских одредби може обезбедити тренд смањења броја настрадалих у саобраћају. [3]

2.1. Мере за квантификације незгоде

Приликом описивања степена тежине саобраћајне незгоде при судару или удару било ког типа, користи се више величина. Неке од најчешће коришћених су приказане, а уобичајена подела ових величина је на кинематске и динамичке. [2]

Као *кинематске величине* фигуришу: v (брзина кретања возила у моменту удара) и Δv (промена брзине).

Као *динамичке величине* фигуришу: деформациони рад и промена кинетичке енергије. Није довољно само познавање промене брзине возила како би се описале промене које се збивају у путничком простору. Познавање других величина, као што су деформација возила или средње успорење путничког простора, су од већег значаја за реконструкцију саобраћајних незгода.

Уведене су тзв. величине за квантификације саобраћајне незгоде, у циљу процене тежине незгоде, од којих су најчешће коришћене следеће:

- **EBS** - *Equivalent Barrier Speed*, (1968. год.) представља брзину у реалној саобраћајној незгоди при којој се ствара исто деформисано стање возила као и при удару у баријеру;
- **ETS** - *Equivalent Test Speed* (1973. год.) је брзина удара у реалној незгоди при којој се ствара иста деформациона енергија као и при удару у непокретну баријеру;
- **EES (1980. год.)** - *Equivalent Energy Speed* је брзина удара у слободан објект при којој се извршава исти деформациони рад као у реалној незгоди;
- **Промена брзине, Δv ;**
- **Промена убрзања, Δa :** временска промена убрзања представља параметар за квантификације тежине саобраћајне незгоде. Циљ је да се утврди што поузданија корелација између ове величине и последица незгоде и да се за снимљену карактеристику убрзања у путничком простору или на моделу путника - манекену, предвиди тежина незгоде. Ово би довело до могућности оптимизације безбедности путничког простора;
- **SPUL** - Специфична снага незгоде.

$$SPUL = \Delta v \cdot a = \frac{\Delta E \cdot c}{m \cdot T} \quad (1.0)$$

где су:

c - константа пропорционалности,

ΔE - промена кинетичке енергије возила,

m – маса возила и

T - трајање удара.

$UKGs$ - ова величина се користи само за бочни удар; квантифицира кретање путника у возилу и изражава се релацијом:

$$UKGs = v_b \cdot \mu^{1/6} \cdot \xi \quad (1.1)$$

где су:

v_b - брзина возила које је постављено бочно,

$\mu = m_b/m_c$ - однос маса бочно и чеоно постављеног возила, респективно,

$\xi = c_b/c_c$ - однос крутости бочно постављеног возила и чеоно постављеног возила, респективно.

- **VDI** - *Vehicle Deformation Index* (1971. год.) - описује деформацију на возилу. Садржи врсту, тип и меру деформације. Њиме се процењује тежина оштећења возила.
- **VIDI** - *Vehicle Interior Deformation Index* - служи за опис деформације путничког простора. Њиме се такође квалифицира само тежина штете на возилу. [2]

3. Предсударна фаза (pre crash)

Узрок је основни предуслов за настајање неке појаве саобраћајне незгоде. Утврђивање узрока саобраћајних незгода је веома деликатан и сложен процес који се може постићи само на основу резултата великог броја научних дисциплина. Због тога веома често се констатује да утврђивање узрока саобраћајних незгода представља милтидимензионално питање. Сложеност узрока саобраћајних незгода је приказана на слици 2. [6]



Слика 2 – Упрошћен шематски приказ поступка квантифицирања узрока саобраћајне незгоде [6]

Опасна ситуација је саобраћајна ситуација³ која захтева реаговање бар једног учесника, у циљу избегавања незгоде. Опасна ситуација настаје тек када се може недвосмислено уочити настала опасност, односно када се може очекивати и захтевати

³ Саобраћајна ситуација је ситуација у саобраћају дефинисана положајем и начином кретања учесника, као и околностима и димензијама од утицаја на понашање учесника.

да учесник у саобраћају реагује на опасност коју уочи и препозна. За утврђивање тренутка и/или настанка опасне ситуације, неопходно је сагледати од чега зависи препознавање саобраћајне ситуације као опасне ситуације.

Фактори који могу директно утицати на настанак опасне ситуације, а могу се поуздано утврдити на увиђају, су видљивост, прегледност и атмосферске прилике на месту и време настанка незгоде. Наиме, ове околности могу утицати на уочавање учесника у саобраћају, односно могу ограничити могућност уочавања.

Смањена видљивост и/или прегледност на месту незгоде утиче на смањење могућности уочавања препрека. Имајући то у виду, утврђивање даљине уочавања неосветљених препрека (пешака, другог возила, и итд.) или дужине пута који осветљавају фарови возила, може бити и онемогућена у зависности од пута и путне околине на месту незгоде.

Недовољно витоперење коловоза (превоји, серпентине...), ограничавање прегледности због објеката на банкинама, и сл. Може створити услове да је онемогућено уочавање понашања других учесника и благовремено реаговање на опасност на путу.

Понекад возачи, због лошег стања коловоза буду принуђени на изненадно реаговње, а што за последицу може имати и губитак стабилности – управљивост возила па и настанак саобраћајне незгоде. У таквим околностима се као узрок саобраћајне незгоде, најчешће погрешно, узима грешка односно начин реаговања возача. Овакво доношење закључка о узроку настанка саобраћајне незгоде би било погрешно и не би било у складу са дефиницијом опасне ситуације. Реаговање возача на изненадно насталу опасну ситуацију је последица изненадно створене опасне ситуације а не последица грешке. Дакле, ако је реаговање условљено неочљивим стањем коловоза (слика 3), а није последица начина вожње, тада се узрок настанка незгоде не тражи у начину вожње већ у разлогу изненадног настанка опасне ситуације која је претходила реаговању возача. [7]



Слика 3 – Стање коловоза [7]

Године 1980., термин **Equivalent Energy Speed (EES)** су дефинисали Burg, Martin и Zeidler и био је предложен за заједничку употребу. EES је брзина која ће бити трансформисана у деформациону енергију током судара. За реконструкцију удеса постоје алати неопходни за реалне околности под којима се догодила незгода. Али у већини случајева нема довољно података за поуздану изјаву о незгоди, а поготово када су незгоде са тешким последицама, што ствара велике проблеме вештацима.

Две фазе које се могу разликовати код судара су: **фаза компресије и фаза реституције**. **Компресиона фаза** траје од контакта возила са препреком (друго возило или било која друга препрека) до максималне компресије. Током ове фазе, енергија деформације достиже свој максимум. **Фаза реституције** почиње када се завршава максимална деформација и долази до одвајања возила од препреке. Током ове фазе деформациона енергија се ослобађа. [2]

EES вредности могу се израчунати за различите типове возила коришћењем различитих једначина. Деформациона енергија може бити написана:

$$E_D = \frac{1}{2} \cdot m \cdot EES^2 [kph] \quad (1.2)$$

E_D – Енергија деформације,

m – маса возила.

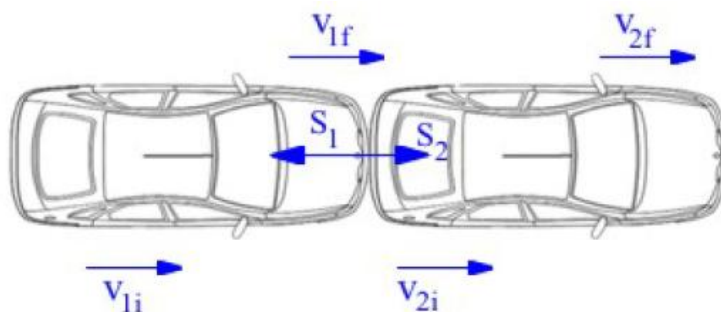
Промена брзине, Δv – грчко слово Δ (делта) користи се да означи промене а слово v означава брзину, што аплицира да Δv значи промену брзине. Пре судара возила, она се се кретала различитим брзинама као и током фазе судара возилима тј. од

тренутка почетне фазе контакта до тренутка њиховог раздвајања. Разлика између тих брзина може се написати као:

$$\Delta v = v_f - v_i [kph] \quad (1.3)$$

v_f - коначна брзина,

v_i - иницијална брзина.



Слика 4 – Пример судара возила [7]

На основу слике 4 дате су једначине испод на основу којих се може израчунати разлика поменутих брзина.

$$m_1 \cdot (v_{1f} - v_{1i}) = -S_1 \quad (1.4)$$

$$m_2 \cdot (v_{2f} - v_{2i}) = S_2 \quad (1.5)$$

$$\Delta v_1 = v_{1f} - v_{1i} = -\frac{m_2 \cdot (1 + \varepsilon)}{m_1 + m_2} \cdot (v_{1i} - v_{2i}) \quad (1.6)$$

$$\Delta v_2 = v_{2f} - v_{2i} = \frac{m_1 \cdot (1 + \varepsilon)}{m_1 + m_2} \cdot (v_{1i} - v_{2i}) \quad (1.7)$$

Коефицијент реституције карактерише расипање механичке енергије при судару. Користе се три коефицијента за описивање природе судара. То су према (k) коефицијент реституције, (k_p) коефицијент пуноће ударног процеса и (k_e) коефицијент енергетских губитака.

Коефицијент реституције (k) зависи од материјала од кога су возила направљена, као и углавном од еластичних својстава тела која се судару и у том случају постоје два гранична случаја: потпуно пластичан и потпуно еластичан судар.

$$k = \frac{v_{2f} - v_{1f}}{v_{1i} - v_{2i}} \quad (1.8)$$

где је:

v_{1t} - брзина првог возила након судара,

v_{2t} - брзина другог возила након судара,

v_{10} - брзина првог возила пре судара,

v_{20} - брзина другог возила пре судара,

v_{sz} - заједничка брзина возила након судара.

Ако је вредност $v_{1t} = v_{2t} = v_{sz}$, ради се о нееластичном судару - $k = 0$.

Док је судар еластичан ако је $k = 1$, где се укупна кинетичка енергија након завршетка ударног процеса потпуно успоставља.

Експериментално је доказано да се код путничких возила при судару коефицијент реституције креће у распону $k = 0.05 \div 0.1$, па се задњи, централни судари могу сматрати готово нееластичнима у подручју великих износа изгубљених брзина у процесу судара.

k_p - коефицијент пуноће се може дефинисати изразом:

$$k_p = 1 + k \quad (1.9)$$

Максималне деформације структуре возила у судару настају када је коефицијент пуноће $k_p = 1$, тј. кад је коефицијент реституције једнак нули (пластичан судар).

k_e - коефицијент енергетских губитака у ударном процесу је дефинисан изразом:

$$k_e = 1 - (\pm k)^2 \quad (1.10)$$

Енергетски губици су највећи кад је $k = 0$ (потпуно пластичан судар).

Анализа саобраћајне незгоде је анализа околности под којима је настала саобраћајна незгода и анализа околности под којима би се незгода могла избећи, ради утврђивања узрока незгоде. Анализом видео снимака новијих Crash тестова могуће је уочити да приликом судара путничких аутомобила, коефицијент реституције има знатно веће вредности од предложених. Оваква констатација наводи на закључак да

препоручене вредности коефицијената треба прихватати са великом резервом из разлога што су они утврђени на основу испитивања од пре тридесетак година. [2]

4. Учесталост појединих врста судара

На слици 5 је дат приказ статистике учесталости врста најчешћих саобраћајних инцидената. Од 1960. године број људи који је повређен или настрадао у саобраћајним несрећама је смањен континуално иако је обим саобраћаја повећан у истом периоду.

Статистике показују да је чеони судар најопаснији и са највећим ризиком повреде, а то је због великих брзина на почетку чеоног судара. [9]



Слика 5 – Случај најчешћих инцидената [9]

Примећује се на слици 5 да је при саобраћајним незгодама, највећи проценат судара фронталног типа и то чеони бочни удар (48%). Поред тога је статистички утврђено да се контакт при фронталном удару најчешће остварује са 40% ширине аутомобила, и то при просечној брзини кретања возила пре непосредног контакта са око 64 km/h.

Наиме, велики проценат возача касно кочи у опасним ситуацијама, али ипак успева да смањи брзину са 90-100 km/h на „просечних“ 64 km/h. Управо ови параметри дефинишу симулационе услове креш (crash) теста на чеони бочни удар. Еуро NCAP тест представља симулирање ситуације из стварног живота. [5]

На тај начин се врши фронтални, односно чеони судар који најбоље одсликава шта се дешава када се два аутомобила фронтално сударе под одређеним углом, затим бочни судар, али најновијим симулацијама се мере и повреде пешака које настају евентуалним ударом аутомобила у истог, као и симулација саобраћајних незгода у којима учествују деца. Код просечне брзине кретања возила пре непосредног контакта се одвија симулација фронталног судара. Параметри фронталног судара су приказани на слици 6.

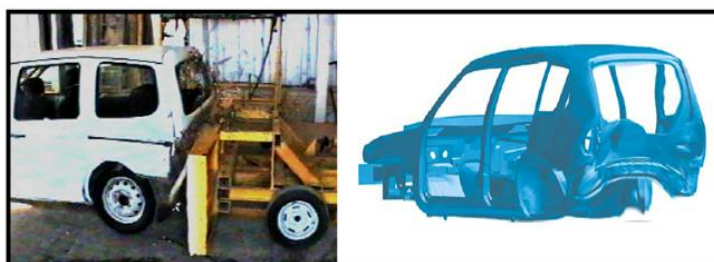


Слика 6 - Параметри фронталног судара [5]

У просеку, аутомобили су најрањивији при судару с бока, односно бочни судар симулира оно што се свакодневно дешава на раскрсницама (процентуално највећа смртност је код бочних судара). На тај начин што специјална колица (са деформабилним предњим делом ширине 50 cm и дужине 150 cm) ударају аутомобил брзином од 50 km/h и то тако да је центар удара у тзв. тачки – Т, односно месту где се налази торакс возача. Испитује се тако бочна чврстина каросерије, као и ефикасност деловања бочних ваздушних јастука и завеса. На слици 7 је дат приказ симулације бочног судара.

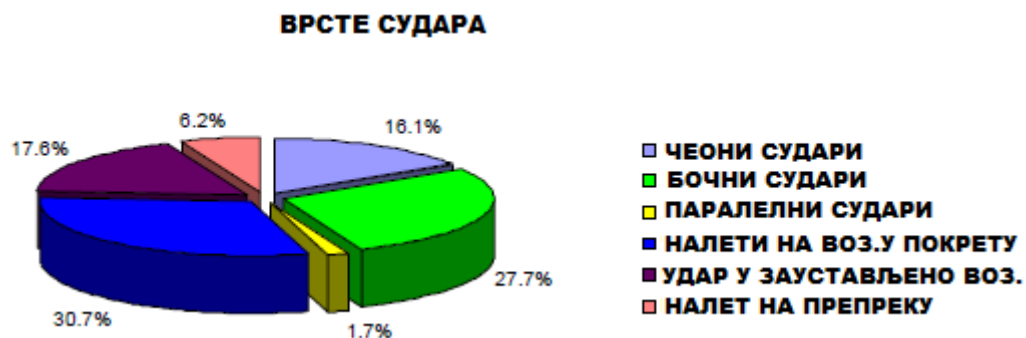


Слика 7 – Приказ бочног судара [5]



Слика 8 – Приказ задњег судара (лево), приказ превртања око уздужне осе (десно) [5]

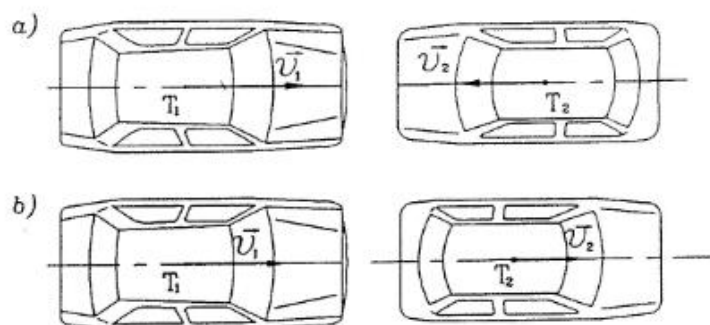
Примењују се поред поменутих тестова, и симулације мање карактеристичних задњих удара (слика 8-лево), симулације превртања возила (слика 8-десно) и многи други. Статистички резултати анализе учесталости врсте судара су процентуално изражени на слици 9, где је највећа концентрација, чак 30,7 % на налет на возило у покрету, и одмах затим 27,7% је учесталост бочних судара. [9]



Слика 9 – Приказ врсте судара процентуално изражени

5. Сударна фаза (Crash)

Приликом судара возила у реалној ситуацији у саобраћају не постоје гранични случајеви, тј. не постоји ни идеално пластичан ни идеално еластичан судар. Дакле, при судару возила (слика 10) долази до трајне деформације оба возила, што значи да се део њихове кинетичке енергије претворио у деформациони рад. На почетку и на крају судара, разлика кинетичке енергије се назива *изгубљена енергија* и она представља деформациони рад пластичног деформисања. [2]



Слика 10 – Прав центричан судар два возила; а) возила се крећу у супротном смеру, б) возила се крећу у истом смеру [2]

Деловање спољашњих сила на возило, као што су нпр. сила ветра, сила отпора котрљања, вучна сила и др., су занемарљиво мале у односу на силу удара, тј. сила удара је неколико десетина пута већа од свих побројаних сила. Ако кажемо да се два возила масе m_1 и m_2 сударају брзинама v_1 и v_2 тада њихова кинетичка енергија на почетку судара износи:

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot (m_1 \cdot v_1^2 + m_2 \cdot v_2^2) \quad (1.11)$$

или у векторском облику:

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot (m_1 \cdot \vec{v}_1 \cdot \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 \cdot \vec{v}_2) \quad (1.12)$$

На крају судара брзине су v'_1 и v'_2 па је кинетичка енергија на крају судара:

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot (m_1 \cdot v_1'^2 + m_2 \cdot v_2'^2) \quad (1.13)$$

Односно:

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot (m_1 \cdot \vec{v}_1' \vec{v}_1' + m_2 \cdot \vec{v}_2' \vec{v}_2') \quad (1.14)$$

Уколико се формира разлика кинетичких енергија добија се:

$$\Delta E_k = E_k - E'_k = \frac{1}{2} [m_1 \cdot (v_1^2 - v_1'^2) + m_2 (v_2^2 - v_2'^2)] \quad (1.15)$$

Користећи релацију равнотеже унутрашњих ударних импулса ΔI_1 и ΔI_2 као и релацију дефиниције коефицијената реституције, може се написати:

$$\overrightarrow{\Delta I_1} = -\overrightarrow{\Delta I_2} \quad (1.16)$$

$$m_1 \cdot (\vec{v}_1 - \vec{v}_1') = -m_2 \cdot (\vec{v}_2 - \vec{v}_2') \quad (1.17)$$

$$k \cdot (\vec{v}_1 - \vec{v}_2) = -(\vec{v}_1' - \vec{v}_2') \quad (1.18)$$

Такође може се написати да општи векторски облик излазних брзина $\vec{v}_1'$ и $\vec{v}_2'$ при правом централном судару:

$$\vec{v}_1' = \vec{v}_1 - (1 + k) \cdot \frac{m_2}{m_1 + m_2} \cdot (\vec{v}_1 - \vec{v}_2) \quad (1.19)$$

$$\vec{v}_2' = \vec{v}_2 + (1 + k) \cdot \frac{m_1}{m_1 + m_2} \cdot (\vec{v}_1 - \vec{v}_2) \quad (1.20)$$

Ако се одлазне брзине замене у израз за кинетичку енергију ΔE_k , добија се разлика кинетичких енергија у облику:

$$\Delta E_k = \frac{1}{2} \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{m_1 + m_2} \cdot (1 - k^2) \cdot (v_1 - v_2)^2 \quad (1.21)$$

За чеони судар изгубљена енергија би износила:

$$\Delta E_k = \frac{1}{2} \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{m_1 + m_2} \cdot (1 - k^2) (v_1 + v_2)^2 \quad (1.22)$$

а за задњи судар је:

$$\Delta E_k = \frac{1}{2} \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{m_1 + m_2} \cdot (1 - k^2) \cdot (v_1 - v_2)^2 \quad (1.23)$$

Разлика $v_1 - v_1'$, односно $v_2 - v_2'$ представља тзв. изгубљену брзину првог, односно другог тела. Једначине (1.21), (1.22) и (1.23) представљају *Карноову једначину*. Губитак енергије је највећи при идеално пластичном судару. А може се и рећи да је губитак кинетичке енергије при правом централном апсолутно пластичном судару два тела једнак оној кинетичкој енергији система та два тела коју би систем имао ако би се кретао изгубљеним брзинама.

Губитак кинетичке енергије за удар возила у непомишно возило би био:

$$\Delta E_k = \frac{1}{2} \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{m_1 + m_2} \cdot (1 - k^2) \cdot v_1^2 \quad (1.24)$$

Губитак кинетичке енергије за удар возила у баријеру би износио:

$$\Delta E_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \cdot (1 - k^2) \quad (1.25)$$

5.1. Метода енергетског прстена

Графоаналитичка метода је метода енергетског прстена којом се преко деформационог рада A одређује импулс у тачки удара ΔI . [2] Како би се применила ова метода неопходно је познавање следећих величина:

- интензитет и правац једног одлазног импулса,
- правци оба долазна импулса,
- укупан деформациони рад за оба возила.

Веза између деформационог рада и промене импулса ΔI се добија ако се узме случај чеоног судара где је промена импулса дата једначином:

$$\Delta I = \frac{m_1 \cdot m_2}{m_1 + m_2} \cdot (1 + k) \cdot (v_1 \cdot v_2) \quad (1.26)$$

Изгубљена кинетичка енергија је дата у облику:

$$\Delta E_k = \frac{1}{2} \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{m_1 + m_2} \cdot (1 - k^2) \cdot (v_1 + v_2)^2 \quad (1.27)$$

Уколико се претпостави да се изгубљена кинетичка енергија у целокупном износу претвара у деформациони рад сударених возила може се написати да је: $\Delta E_k = A$. Ако једначину (1.26) дигнемо на квадрат и поделимо са једначином (1.27), добија се израз за промену импулса у облику:

$$\Delta I = \sqrt{2 \cdot A \cdot m^* \cdot \frac{(1+k)}{(1-k)}} \quad (1.28)$$

где је:

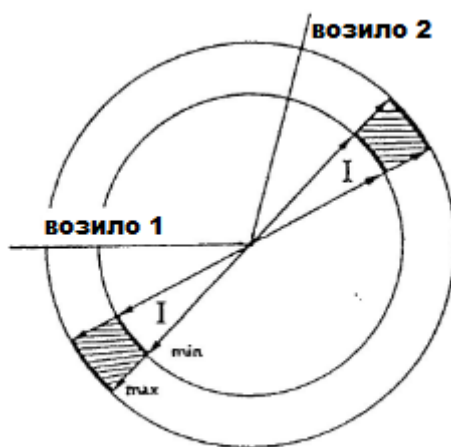
ΔI – промена импулса,

A – деформациони рад на оба возила,

k – коефицијент удара,

m^* - еквивалентна маса $m^* = \frac{m_1 \cdot m_2}{m_1 + m_2}$.

Одређен само интензитет импулса ударне силе, овом једначином, али не и његов правац. Као што је дат приказ на слици 11, графички се може једначина представити кругом, чији центар представља центар удара са полупречником ΔI .



Слика 11 – Енергетски прстен за цилиндричан судар [2]

С обзиром да се полупречник рачуна у одређеним границама (ΔI_{min} , ΔI_{max}), добија се кружни прстен. У пракси се редовно јавља ексцентрични судар, тако да се мора рачунати са тзв. редукованом масом m , која се добија на основу формуле:

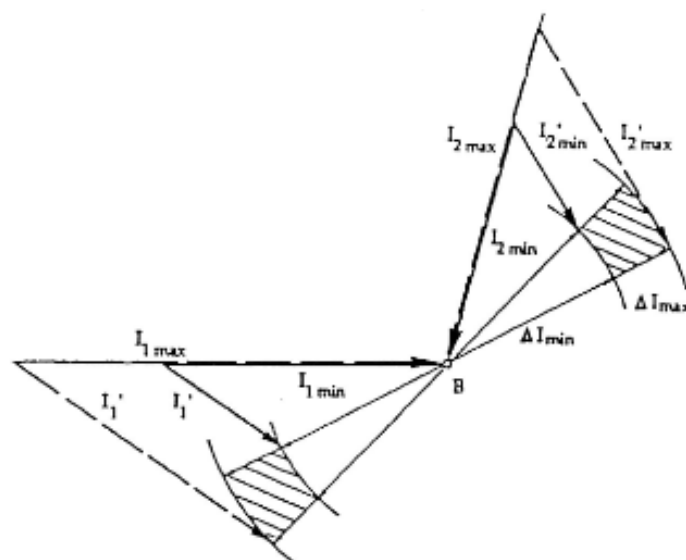
$$m_i = m_a \cdot \frac{\varepsilon^2}{\varepsilon^2 + a^2} \quad i = 1, 2 \text{ (за оба возила)} \quad (1.29)$$

На основу овога, следи да је израз за промену импулса:

$$\Delta I = \sqrt{2 \cdot A \cdot m_i^* \frac{(1+k)}{(1-k)}} \quad (1.30)$$

Не постоји ротација возила када је судар центричан и графичко решење је кружни прстен. Али, ако је у питању ексцентричан судар тада фигурише крак импулса „ a “, преко масе m_i , па се прстен који се јавља при центричном судару деформише у елипсу. Може да има различите вредности крак „ a “, у зависности од правца импулса ударне силе. У пракси се за вредности крака „ a “ узима једна ограничена област, тако да тај сегмент елипсе може да се апроксимира кругом.

Решење за ексцентрични судар је приказано на слици 12. Тражена вредност промене импулса има почетну тачку у центру круга, а крајњу у шрафираном пољу. Проблем који се јавља у овом случају јесте одређивање деформационе енергије. Ако је деформациона енергија позната за једно возило, за друго возило може да се процени узимајући у обзир чињеницу да у тачки судара делује иста унутрашња сила и она је пропорционална дубини деформације.



Слика 12 – Графичко решење методом енергетског прстена [2]

5.2. Пример одређивања брзине возила након судара

Свака саобраћајна незгода се може посматрати као једна реализација догађаја произишла из дејства више различитих фактора од којих неки могу бити и случајни. Зато сваки судар између возила или возила и пешака (свака саобраћајна незгода) има своје специфичне особине, карактеристичне само за тај случај, које га одвајају од других аналогних догађаја.

На слици 13 је приказан чеони судар два некомпатибилна возила тежинских класа 1800 kg и 900 kg. Оба возила се крећу брзином од 48 km/h једно према другом.



Слика 13 – Чеони судар два некомпатибилна возила [2]

У конкретном случају се види да возило веће масе при судару са возилом мање масе мења брзину од 48 km/h на 16 km/h, док мање возило мења брзину од 48 km/h и започиње кретање у супротном смеру брзином од -16 km/h, јер га веће возило практично гура својом количином кретања (mv). Промена брзине мањег возила износи 64 km/h, а већег возила 32 km/h. [2]

Табела 3 – Приказ примера у конкретном случају

Тежина (kg)	1800	900
Брзина (km/h)	48	48
Промена брзине (km/h)	Са 48 на 16	Са 48 на -16
Δv (km/h)	32	64
Ризик за смртни случај	1	8
Ризик за смртни случај у свим типовима незгоде	1	2

6. Постсударна фаза (Post-crash)

Возило се креће под дејством сила које постаје у зони додира пнеуматика и тла и под дејством инерцијалних сила возила, у post-crash фази удара. Тада се формира тзв. post-crash трајекторија, за чије идентификовање је потребно познавати спољашње силе (силе пријањања, погонске или кочионе силе, силе клизања, инерцијалне силе). [2]

Потребно је знати одлазне брзине за ове методе реконструкције. Под претпоставком да је положај неког возила на полчетку фазе контакта означен са 1, а на крају са 1' и да је возило у положају 1' заустављено. Према слици 14 рад трења на промени положаја возила је:

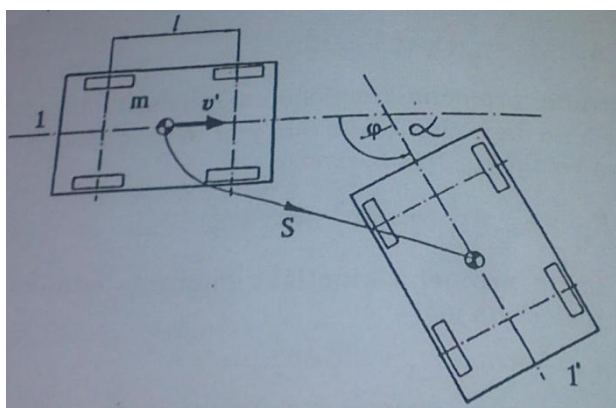
$$A = \varphi \cdot m \cdot g \cdot s + \frac{1}{2} \cdot \varphi \cdot m \cdot g \cdot l \cdot \alpha = A_t + A_r \quad (1.31)$$

φ - коефицијент пријањања,

α - угао заокретња осе возила,

A_t - рад извршен транслаторним кретањем возила,

A_r - рад извршен ротационим кретањем возила.



Слика 14 – Положај возила у post-crash фази [2]

Под претпоставком Burg-Lindermana изједначава се рад транслаторног кретања (A_t), са променом кинетичке енергије од транслаторне компоненте брзине, док рад ротационог кретања (A_r), са променом кинетичке енергије ротације и тада је:

$$m \cdot g \cdot \varphi \cdot s = \frac{1}{2} m \cdot v'^2 \quad (1.32)$$

$$\frac{1}{2} \cdot m \cdot g \cdot l \cdot \alpha = \frac{1}{2} \cdot J_z \cdot \omega'^2 (J_z = m \rho_z^2) \quad (1.33)$$

Одлазна брзина translације и ротације су, респективно:

$$v' = \sqrt{2 \cdot g \cdot \varphi \cdot g \cdot s} \quad \omega' = \frac{1}{\rho_z} \sqrt{g \cdot \varphi \cdot l \cdot \alpha} \quad (1.34)$$

У реконструкцији је почетни податак резултат рачуњања према (1.34).

6.1. Метода импулсног дијаграма

За транслаторне брзине возила редуковане на тежиште се формира импулсни дијаграм. Занемарује се релативна брзина између тежишта возила и центра удара за оба возила. Што води до претпоставке да су импулси у тежишту и центру удара једнаки и што је сагласно Maquard-овој хипотези. [2]

Графичко интерпретирање једначина равнотеже је:

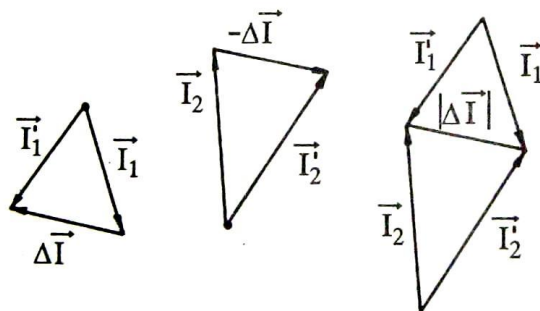
$$m_1 \vec{v}_1' - m_1 \vec{v}_1 = \Delta \vec{I} \quad \Delta \vec{I}_1' - \Delta \vec{I}_1 = \Delta \vec{I} \quad (1.35)$$

$$m_2 \vec{v}_2' - m_2 \vec{v}_2 = -\Delta \vec{I} \quad \Delta \vec{I}_2' - \Delta \vec{I}_2 = -\Delta \vec{I} \quad (1.36)$$

где су:

- m_1 и m_2 - масе возила 1 и 2;
- v_1 и v_2 - вектори брзине возила 1 и 2 пре судара;
- v_1' и v_2' - вектори брзине возила 1 и 2 после судара;
- I_1 и I_2 - импулси возила 1 и 2 пре судара;
- I_1' и I_2' - импулси возила 1 и 2 после судара;
- ΔI - промена импулса ударне силе.

Графички приказ једначина (1.35) и (1.36) је дат на слици 15.



Слика 15 – Импулсни дијаграм [2]

Како би се конструисао импулсни дијаграм треба да буду познати правци кретања возила 1 и 2, односно правци долазних брзина као и одлазне брзине возила. Интензитет одлазних брзина се рачуна преко релације (1.34), односно:

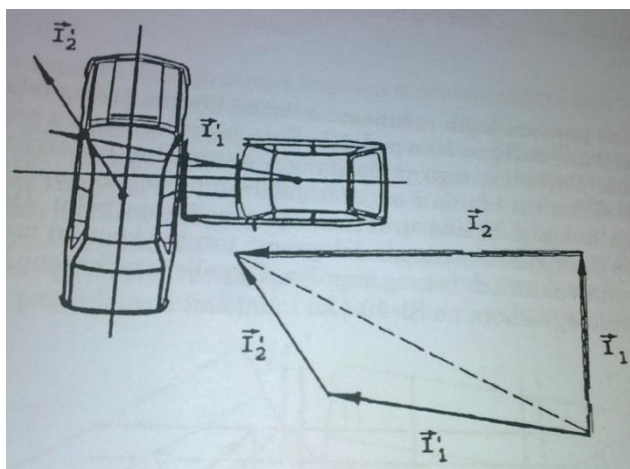
$$v'_1 = \sqrt{2g\varphi s_1} \quad v'_2 = \sqrt{2g\varphi s_2} \quad (1.37)$$

Векторска једначина се добија сабирањем једначина (1.35) и (1.36):

$$\vec{I}'_1 + \vec{I}'_2 = \vec{I}_1 + \vec{I}_2 \quad (1.38)$$

где је лева страна позната ($I'_1 = m_1 \cdot v'_1$, $I'_2 = m_2 \cdot v'_2$).

На слици 16 је дат приказ проблема налажења брзина v_1 и v_2 који се своди на налажење импулса I_1 и I_2 , односно на разлагање њиховог познатог збира на две компоненте чији су правци познати.

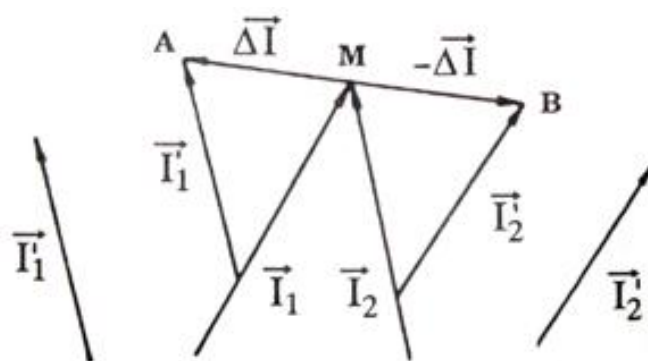


Слика 16 – Налажење долазних импулса [2]

6.2. Метод симетрије импулса

На основу положаја возила треба израчунати одлазне брзине и на тај начин одредити импулсе I'_1 и I'_2 .

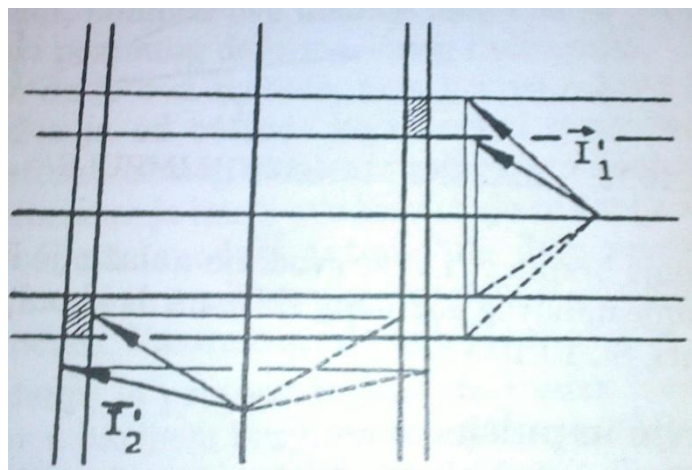
Поступак одређивања импулса ΔI : правци долазних брзина се продужавају до пресека у тачки М; вектори одлазних импулса се транслаторно померају све док се врхови тих вектора и тачка М не нађу на истој правој (слика 17).



Слика 17 – Метод симетрије импулса [2]

Према релацији (1.34) тешко је дати прецизан податак за величине помоћу којих рачунамо одлазне брзине. У неким границама се из тог разлога оне усвајају. Последица тога је да имамо максималне и минималне вредности долазних брзина и одговарајућих импулса, што имплицира и решење за долазне брзине у неком толеранцијском пољу. Значи, темена паралелограма се добијају графички, унутар кога су могући положаји врха вектора долазног импулса. На слици 18 је то поље приказано шрафираним паралелограмом.

Ту се уочава да се кроз врхове вектора одлазних импулса вуку паралеле са правцима возила, односно долазних импулса и то са обе стране. Решење, као и толеранцијско поље се бира оно које одговара физичком кретању возила.

Слика 18 – Поље могућих положаја врха вектора ΔI [2]

6.3. Одређивање брзине на основу извршеног рада точкова возила

Прорачун који се односи на post-crash фазу - ако се кретање судара опише као обртање око тренутног пола, тада је укупна одлазна енергија – енергија ротације око пола. Ова енергија је једнака раду који точкови изврше при свом кретању. У том раду учествују све силе које делују на точак, односно њихова резултанта. При реконструкцији се ове резултанте сила на точковима своди на тежиште, F_R , чиме се проблем упрошћава. [2] Практично, сматра се да је возило представљено једним точком, смештеним на месту тежишта возила. За возило сада може да се напише једначина кретања у облику:

$$\frac{J_M}{2} \cdot \omega_m^2 = \int F_R d_S \quad (1.39)$$

J_M – момент инерције возила за тренутни пол М,

ω_M – угаона брзина обртања возила око пола М после судара,

F_R - резултујућа сила од сила које делују на точкове.

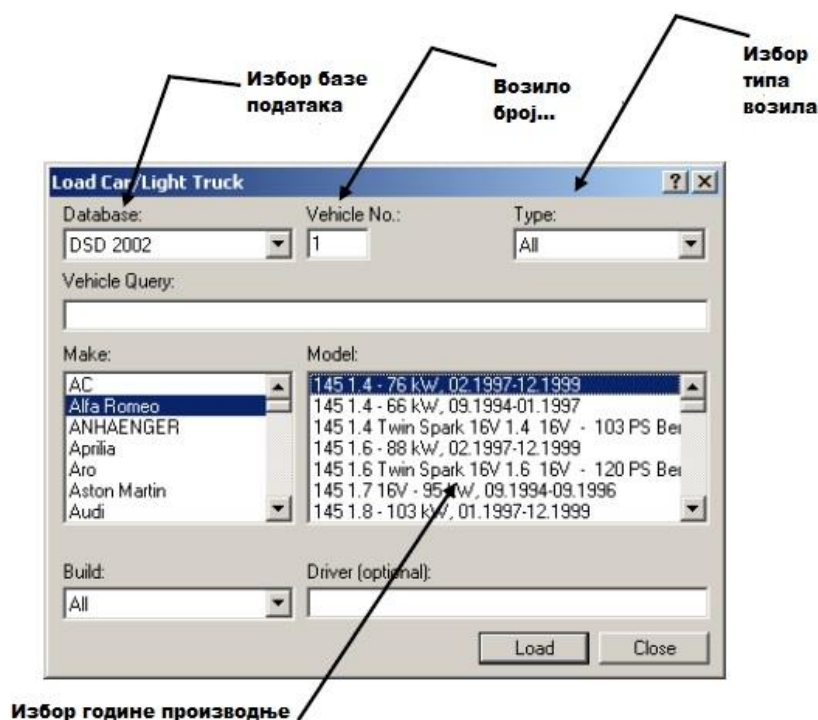
7. Употреба софтвера PC Crash уз помоћ изведених експеримената реалних судара

Вештачење представља техничку помоћ суду базирану на природним законима физике, стручним знањима и вештинама изведеним на бази претходно обезбеђених материјалних трагова. Компјутерски програми се користе за анализу саобраћајних незгода још од раних седамдесетих година прошлог века. Увођењем рачунара почетком осамдесетих година, ови програми су постали доступни за коришћење широј друштвеној заједници која је заинтересована за истрагу незгода. [10]

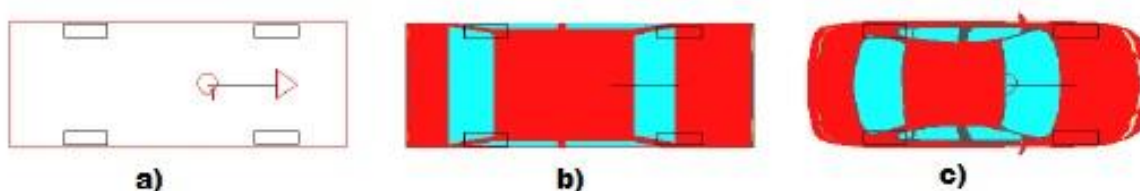
Када се правилно користе ови компјутерски програми су од непроценљиве вредности у анализи незгода као један од алата за њихову анализу. Док, ако се погрешно користе могу произвести погрешне резултате и заблуде о томе шта се заправо догодило током незгоде. У САД је развијен први програм намењен компјутерској анализи (симулацији) судара возила. Програми на том подручју су најчешће засновани на CRASH и SMAC (*Simulation Model of Automobile Collisions*) методама. Касније су развијени програми у Европи али се искључиво темеље на импулсном моделу судара. Примена савремених софтверских алата за анализу саобраћајних незгода је и на просторима Србије, Црне Горе, Босне и Херцеговине, Македоније и Хрватске, па су присутне и злоупотребе у примени ових програма.

PC crash је програмски пакет чијом употребом је могуће прецизније анализирати елементе на основу којих је могуће утврдити узроке и околности под којима се догодила нека саобраћајна несрећа. Програм представља алат који „брзо“ обавља веома сложене прорачуне које „конвенционалним“ методама није могуће спровести. За правилну употребу програма PC crash, неопходно је стручно знање из подручја саобраћаја (посебно анализе саобраћајних незгода) као и познавање рада на рачунару. PC crash представља само помоћ при анализи саобраћајних незгода, а квалитета улазних података на основу којих програм врши прорачуне зависно од квалитета рада вештака и квалитета материјалних доказа из Списа.

Пре саме анализе потребно је спровести израду скице места саобраћајне незгоде која служи као подлога за симулацију. На скици се уцртавају возила која се учествовала у конкретној саобраћајној незгоди. Програм има велику базу података са свим врстама и типовима возила (слика 19). Исто тако постоји и могућност читавања различитог приказа облика возила, приказан на слици 20.



Слика 19 – База података возила [10]

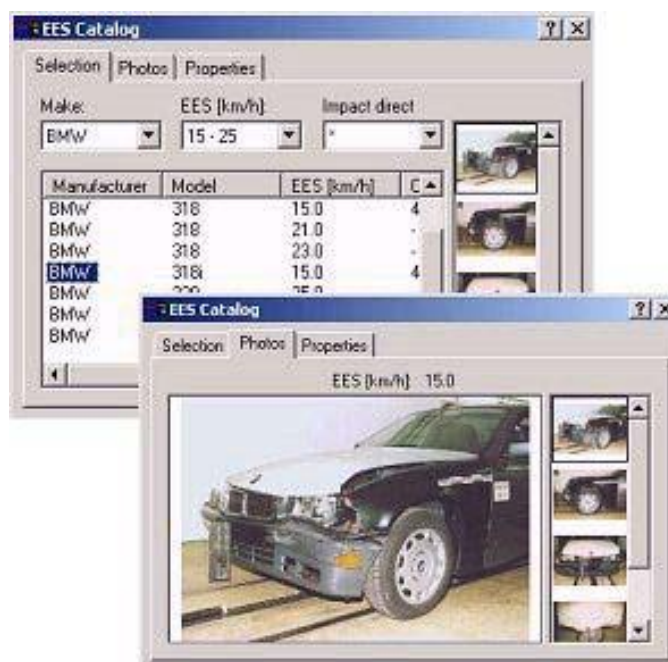


Слика 20 – Различити прикази облика возила - а) једноставно; б) детаљно; в) DXF облик [10]

На слици 21 је видљиво да приликом постављања параметара који су потребни за спровођење симулације, осим сударне брзине (која се мора претпоставити или на темељу раније спроведене рачунске анализе или на темељу EES [11] каталога (слика 22) или слично), потребно је одредити и низ других параметара за потпуну и коначну анализу. Након постављања возила у сударни положај је потребно на темељ оштећења одредити тачку судара и правилну контактну површ. Познавајући квалитет подлоге, временске услове и карактеристике пнеуматика на возилу одређује се и коефицијент трења.



Слика 21 – Симулација судара [10]



Слика 22 - EES каталог [11]

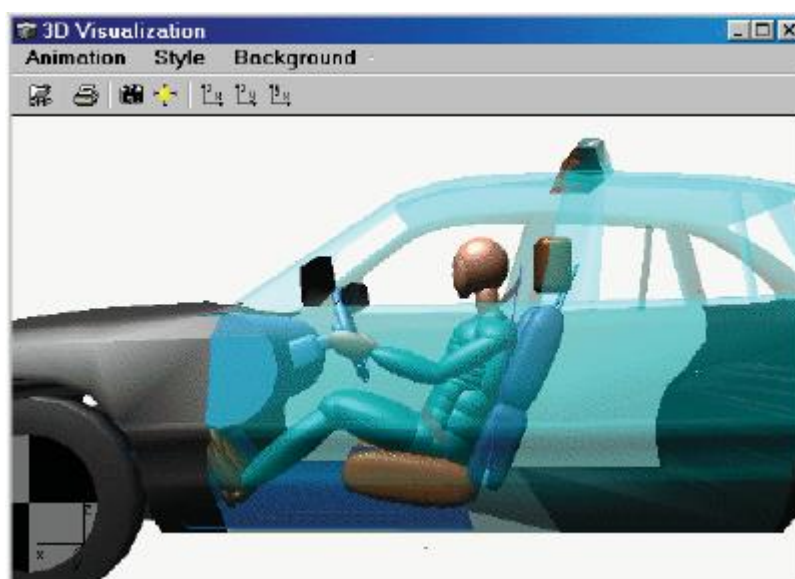
7.1. Програми за динамику људи у возилу

Два програма динамике људи су приказана у табели 4 и они су се међу првима појавили. Ови програми варирају према нивоу усавершености. Иако нису тренутно у толикој употреби као програми за динамику судара, примена у споровима који укључују некоришћење сигурносних појасева може повећати њихову популарност. [12]

Табела 4 – програм динамике људи

Програм	Димензије	Делови тела
MVMA – 2 D	2	9
CVS – 3 D	3	∞

Један од најмодернијих програма у овој области је Madymo (Mathematical Dynamic Model). За моделирање особа у возилу је програм развила TNO (Organisatie voor Toegepast-Natuurwetenschappelijk Onderzoek) организација за примењена научна истраживања, односно истраживачки институт за друмска возила при овој организацији. Madymo користи модел више особа у возилу. То је модел педесетопроцентне хибрид III лутке (енгл. 50th percentile Hybrid III dummy) Madymo (слика 23) укључује седиште са лако променљивим параметрима, точак управљача, сигурносне појасеве и ваздушне јастуке.



Слика 23 – Madymo симулационо окружење [12]

Ови програми се користе да одреде механизам повређивања возача и путника у возилима током судара. Проучавања повреде путника обухвата ефекат дизајна унутрашњости возила, употребу сигурносних појасева и ефективност наслона за главу.

Ови симулатори користе профил импулса да би описали окружење које влада у возилу током судара. Програми CRASH и SMAC могу да обезбеде овај импулс. [13]

Профил импулса у програму CRASH је веома идеализован и није нарчито препоручљив за употребу у програмима за симулацију динамике људи. Профил импулса из програма SMAC иако је још увек идеализован у поређењу са осцилографским записима са креш тестова, обезбеђује нешто реалнији облик импулса.

8. Судар два путничка возила

Центар колизије (судара) је замишљена заједничка тачка сударених возила у којој делује ударна сила. Практично, деформисана зона је у контакту сударених објеката једна просторна површ. У прорачунима реконструкције и при моделирању судара нам је потребна тачка у којој делује ударна сила (односно унутрашњи импулс). Због тога, на основу искуства одређује се у контактної зони возила она тачка која је визуелно, према сопственој процени, имала највеће деформационо померање. Та тачка се назива центар колизије или центар судара.

Време реакције возача представља суму времена потребних да возач уочи спољни надражај (перцепција), издвоји критичан детаљ и схвати степен опасности (идентификација), донесе одлуку на основу схваћених односа (процена) и спроведе акцију у којој се реализују донете одлуке (спровођење). За све то време возило наставља да се креће под истим условима као што се кретало и пре појаве надражаја, а пут који пређе до момента деловања кочница назива се „прелазни пут”.

С обзиром да прелазни пут при великим брзинама може бити и веома дуг, мора се установити са коликим временом реакције возача се мора рачунати. То није једноставно, обзиром на значајне индивидуалне разлике међу возачима, као и на битне разлике у потребном времену за реаговање у зависности од услова саобраћајног тока, временских прилика, одстојања и врсте препреке и итд.

Психофизички-фактори (умор, старост, алкохол и итд.) битно утичу на време перцепције, као и индивидуалне способности и искуство возача. Такође, вожња у колони, када је познат надражај на који треба реаговати (светлосни сигнал возила које је испред) захтева значајно мање време реакције од оног у условима слободног саобраћајног тока.

Мерења времена реакције возача у реалним условима дали су дисперзне резултате у границама од 0.7 до 4 секунде. Због једноставности прорачуна зауставног пута усвојено је време реакције возача измерено у 85% случајева при условима неочекиваног кочења. У већини европских земаља се рачуна са $t_r = 2s$, у САД $t_r = 2.5s$, док наши прописи предвиђају време реакције возача од свега 1.5 секунди. Тако усвојено време, испод реалне просечне вредности, утиче на смањење инвестиционих трошкова приликом изградње путева у усецима или одређивању минималних радијуса вертикалних кривина, али није на страни безбедности.

Размотриће се конкретан пример саобраћајне незгоде два путничка возила VW-а и OPEL-а. У конкретном примеру саобраћајне незгоде путник у OPEL-у је задобио повреде смртним исходом у виду посекотине главе у потиљачном делу, посекотине главе изнад леве обрве, посекотине лица са обе стране носа и посекотине носа. [14]

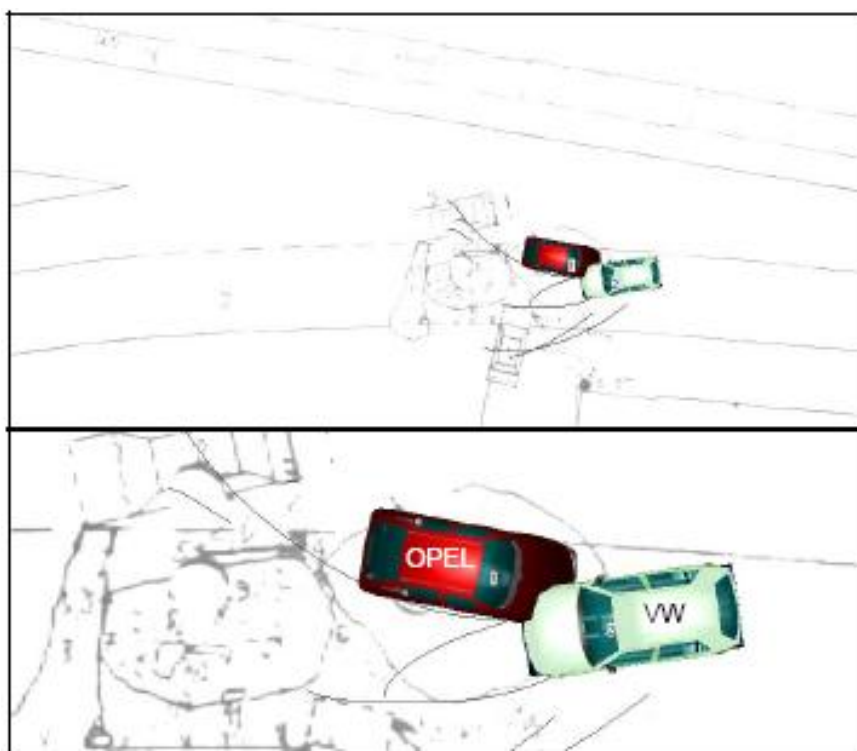
8.1. Место судара

На основу детаљне и упоредне анализе оштећења VW-а и OPEL-а, трагова ове саобраћајне незгоде као и зауставних положаја, дошло је до судара предњег десног ћошка VW-а и средине чеоног дела OPEL-а. OPEL се у тренутку судара чеоним делом налазио пре почетка трага стругања, по мишљењу стручњака- вештака. Након судара

VW се задњим делом заротирао у своју десну страну и доспео у зауставну позицију (слика 24).

Коришћењем програма PC crash, OPEL се у тренутку судара са VW-ом, предњим десним ћошком налазио на 0,4 m пре ПТМ и на 2,5 m удесно од ОП, а задњим десним ћошком се налазио на 3,1 m удесно од ОП и на 3,5 m после ПТМ. VW се у тренутку судара предњим левим ћошком налазио на 1,5 m удесно од ОП и на 0,3 m после ПТМ а задњим левим ћошком на 2,4 m удесно од ОП и на 3,8 m пре ПТМ, што је нађено применом програма PC crash. Такође, применом програма PC crash пронађено је да је OPEL у тренутку судара био укошен у своју десну страну за 10,5 степени, а VW је био укошен у своју леву страну за 8,1 степена (слика 24).

Након судара OPEL се предњим делом заротирао у своју десну страну и доспео у зауставну позицију, а VW се задњим делом заротирао у своју леву страну и доспео у зауставну позицију. [14]



Слика 24 – PC crash приказ сударног положаја [14]

Брзине VW-а и OPEL-а у тренутку судара - Применом програма PC crash, брзина VW-а је у тренутку судара била 70 km/h а брзина OPEL-а је била 24 km/h, тако да за даљу анализу ове саобраћајне незгоде за брзине VW-а и OPEL-а у тренутку судара користи брзине које смо нашли применом програма PC crash.

Временско-просторна анализа је саставни део извештаја вештака и без ње се не могу успешно реконструисати и објаснити узроци, као и ток саобраћајне незгоде. Ова анализа подразумева примену одговарајућих графоанализичких метода и поступака да би се приказао механизам и ток саобраћајне незгоде. Њом се утврђују међусобни

положаји учесника незгоде у тренутку настале опасности, при примарном контакту и у карактеристичним фазама током судара.

Зауставни пут VW-а, при брзини од 70 km/h би био:

$$S = 19,44 \cdot 1,1 + 18,9^2 : 2 : (5,4 \cdot 0,85) \quad (1.40)$$

$$S = 21,39 + 38,91 = 60,03 \text{ m} \quad (1.41)$$

док би време заустављања било:

$$t = 1,1 + 18,9 : (5,4 \cdot 0,85) \quad (1.42)$$

$$t = 5,2 \text{ s} \quad (1.43)$$

Зауставни пут VW-а, при брзини од 60 km/h би био:

$$S = 16,67 \cdot 1,1 + 16,13^2 : 2 : 5,4 \quad (1.44)$$

$$S = 18,33 + 24,1 = 42,4 \text{ m} \quad (1.45)$$

док би време заустављања било:

$$t = 1,1 + 16,13 : 5,4 \quad (1.46)$$

$$t = 4,1 \text{ s} \quad (1.47)$$

Зауставни пут VW-а, при брзини од 24 km/h би био:

$$S = 6,67 \cdot 1,1 + 6,13^2 : 2 : 5,4 \quad (1.48)$$

$$S = 7,34 + 3,48 = 10,08 \text{ m} \quad (1.48)$$

док би време заустављања било:

$$t = 1,1 + 6,13 : 5,4 \quad (1.50)$$

$$t = 2,2 \text{ s} \quad (1.51)$$

VW би од места где се налазио у тренутку када је предњим левим ћошком био у висини разделне линије, до места судара прешао пут дужине 12 m, за време од:

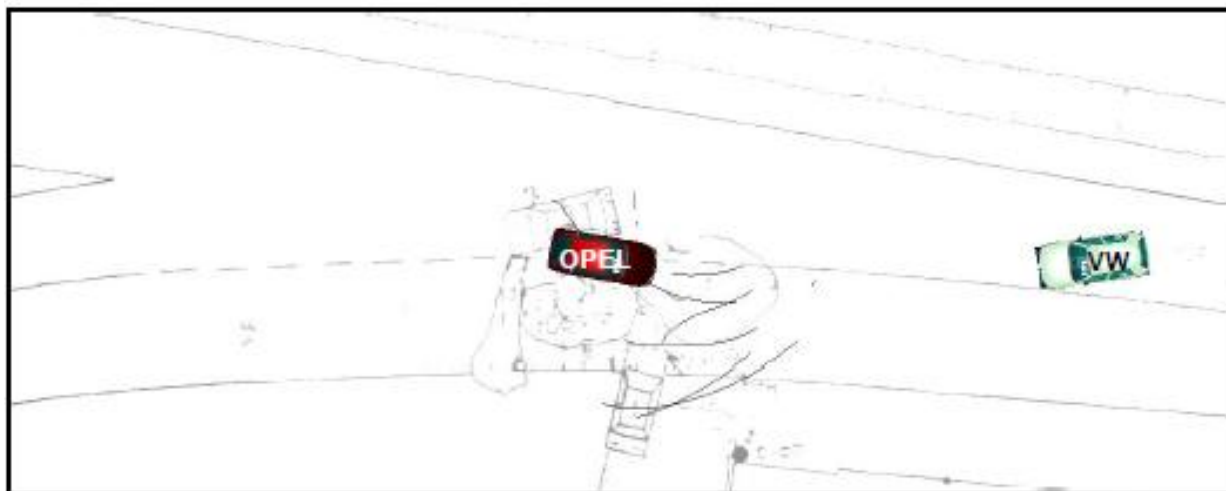
$$t = \frac{12}{70} \cdot 3,6 = 0,6 \text{ s} \quad (1.52)$$

OPEL би, брзином од 24 km/h, за време од 0,6 s прешао пут дужине:

$$S = \frac{24}{3,6} \cdot 0,62 = 4,1 \text{ m} \quad (1.53)$$

Враћајући OPEL уназад од места судара, по правцу закошености који је имао у тренутку судара, OPEL би, у тренутку када је VW зашао у своју леву саобраћајну траку, био закошен у своју десну страну и приближио у правцу улице НН⁴ (слика 25).

Анализом међусобних положаја VW-а и OPEL-а, непосредно пре, као и у тренутку судара, примећујемо да је могуће да је OPEL пре судара дошао из улице НН.



Слика 25 – Анализа места судара [14]

OPEL би од завршетка улице НН до места судара прешао пут дужине 25 m, мерено применом програма PC crash. OPEL би пут дужине 25 m, при брзини од 24 km/h, прешао време за време од:

$$t = \frac{25}{24} \cdot 3,6 = 3,8 \text{ s} \quad (1.54)$$

При брзини од 70 km/h, VW би за време од 3,8 s прешао пут дужине:

$$S = \frac{70}{3,6} \cdot 3,75 = 72,9 \text{ m} \quad (1.55)$$

⁴ Непозната улица.

односно у тренутку када би се OPEL налазио у висини завршетка улице НН, VW би био за 72,9 m уназад од места судара.

8.1.1. Оштећења VW-а и OPEL -а

Детаљном анализом материјалних елемената, а посебно фотографијама Фотодокументације примећује се да је предњи десни ћошак VW-а деформисан деловањем силе укоса, приближно од предњег десног ка задњем левом ћошку GOLF -а. Предњи десни блатобран је дерормисан и у предњем делу потиснут уназад и улево.

Поклопац моторног простора је деформисан тако што је предњи део поклопац моторног простора потиснут ка задњем делу GOLF-а. Предњи браник је деформисан са центром удара у висини предњег десног ћошка, а украсна маска и фарови недостају (као на слици 26).



Слика 26 – Деформисан предњи браник

Предње ветробранско стакло је зракасто разбијено са центром удара приближно у висини средине и у висини горњег левог ћошка предњег ветробранског стакла. Предњи десни стуб је деформисан и потиснут ка задњем делу VW-а, а кров је (у висини предњег десног ћошка крова) потиснут на горе (слика 27).



Слика 27 – Разбијено предње ветробранско стакло



Слика 28 – Оштећење возила приликом судара



Слика 29 – Деформација OPEL-а

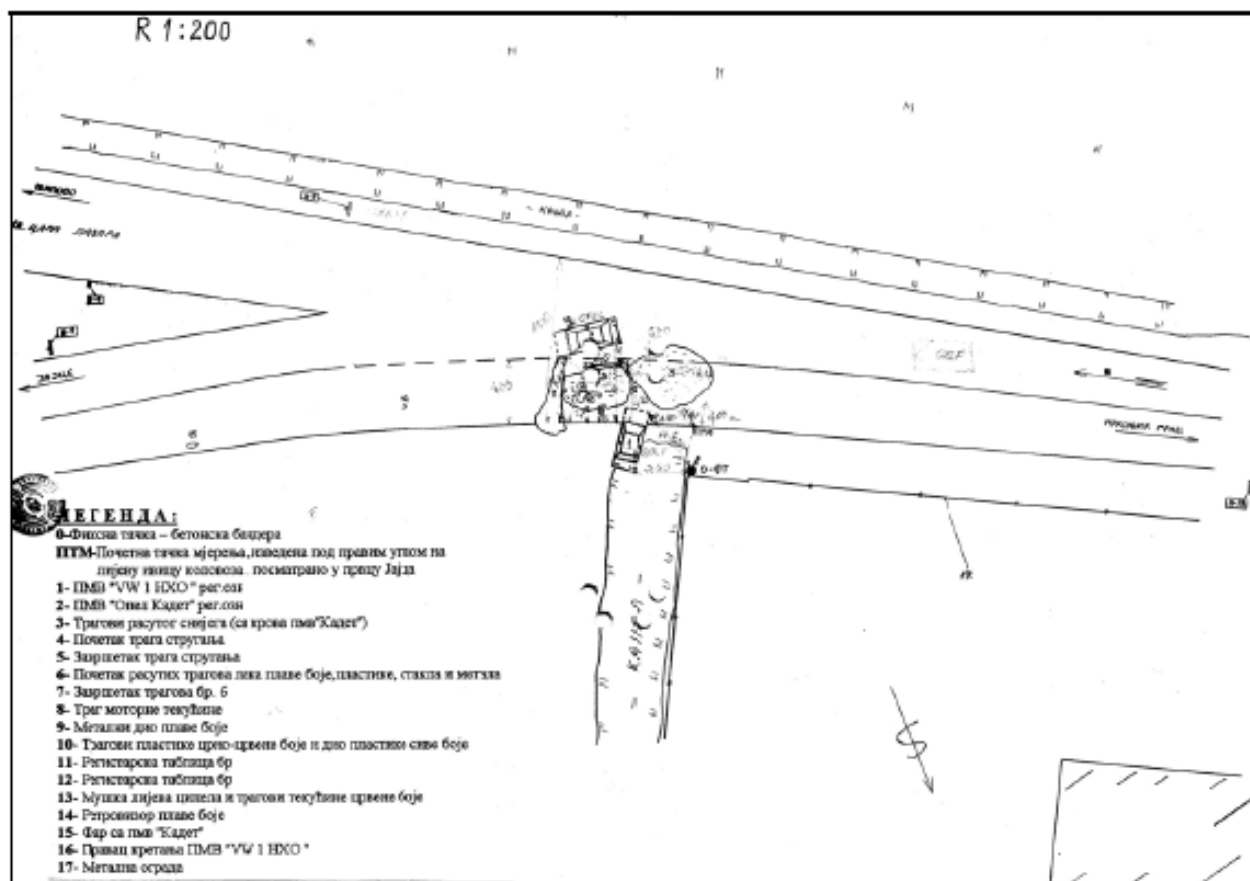
Остала оштећења VW-а су видљива на фотографијама Фотодокументације. Предњи део OPEL-а је деформисан деловањем силе укосо, приближно од средине чеоног дела ка средини десног бока OPEL-а. Поклопац моторног простора је деформисан тако што је предњи део поклопца потиснут ка задњем делу и ка десном боку OPEL-а. Предњи десни блатобран је деформисан тако што је предњи део блатобрана потиснут ка задњем делу OPEL-а и удесно. Предње ветробранско стакло је зракасто разбијено (слика 28 и 29). Предњи леви стуб је деформисан док је кров OPEL-а у предњем десном ћошку крова потиснут на горе (слика 29).

Детаљном и упоредном анализом оштећења VW-а и OPEL-а, примећује се да је у овој саобраћајној незгоди дошло до судара предњег десног ћошка VW-а и чеоног дела OPEL-а. У тренутку судара VW-а и OPEL-а, VW се предњим десним ћошком налазио приближно у висини оштећења средине чеоног дела OPEL-а. Подужне осе VW-а и OPEL-а би у тренутку судара заклапале угао од највише 170°.

Детаљном и упоредном анализом оштећења VW-а и OPEL-а, примећује се да је у овој саобраћајној незгоди дошло до судара предњег десног ћошка VW-а и чеоног дела OPEL-а. У тренутку судара VW-а и OPEL-а, VW се предњим десним ћошком налазио приближно у висини оштећења средине чеоног дела OPEL-а. [14]

Подужне осе VW-а и OPEL-а би у тренутку судара заклапале угао од највише 170°, по мишљењу вештака.

На основу детаљне и упоредне анализе Записника о увиђају, Скице лица места и фотографија Фотодокументације долази се до закључка да Записник о увиђају и Скица лица места нису сагласни са фотографијама Фотодокументације. На фотографијама Фотодокументације се примећује да се траг снега завршава приближно у висини задњег левог ћошка заустављеног OPEL-а, што није сагласно позицији трага снега фиксираним у Записнику о увиђају и на Скици лица места (слика 30). У Записнику о увиђају је наведено да се траг снега завршава на 4,2 m после почетне тачке мерења (ПТМ) и на 3,4 m удесно од орјентациони правац (ОП), а да се задњи леви ћошак заустављеног OPEL-а налази на 5,3 m после ПТМ и на 5,2 m удесно од ОП.



Слика 30 – Скица лица места

У односу на позиције трага снега и заустављеног OPEL-a, фиксираним у Записнику о увиђају, задњи леви ћошак заустављеног OPEL-a је удаљен од завршетка трага снега за 2,1 m, док је удаљеност трага снега од задњег левог ћошка заустављеног OPEL-a, видљива на фотографијама Фотодокументације, највише 0,3 m (што је процењено са фотографија Фотодокументације).

Траг расуте течности из VW-a која се пружа од предњег ка задњем делу заустављеног VW-a. У левој саобраћајној траци, у висини „трага стругања“ се налазе трагови као на „стругање“. Такође су нађени трагови налик на уље који се пружају из леве саобраћајне траке ка зауставној позицији OPEL-a.

Анализом фотографија Фотодокументације на левом боку пнеуматика задњег левог точка VW-a је нађен траг налик на траг заносења VW-a задњим делом у леву страну. На коловозу је траг заносења (слика 27), који би могао одговарати трагу на левом боку пнеуматика задњег левог точка VW-a (слика 31), по мишљењу вештака.



Слика 31 – Траг задњег левог точка VW-а

Код трагова ове саобраћајне незгоде и зауставних позиција VW-а и OPEL-а, до судара VW-а и OPEL-а дошло је пре почетка „трага стругања“. Након судара VW-а се заротирао задњим делом у своју леву страну и доспео у зауставну позицију, а OPEL се предњим делом заротирао у своју десну страну и доспео у зауставну позицију.

На основу вештачења је закључак да је дошло до судара предњег десног ћошка VW-а и средине чеоног дела OPEL-а. OPEL се у тренутку судара чеоним делом налазио пре почетка „трага стругања“, а након судара VW задњим делом заротирао у своју леву страну и доспео у зауставну позицију.

Пошто није могуће прецизно утврдити брзине, на основу програма налази се да је брзина VW-а у тренутку судара била 70 km/h, а брзина OPEL-а је била 24 km/h, тако да је за даљу анализу ове саобраћајне незгоде за брзине VW-а и OPEL-а у тренутку судара коришћене брзине које су нађене применом PC crash програма.

Зауставни пут VW-а, при брзини од 70 km/h, био би 60,3 m; а време заустављања би било 5,2 s. Док при брзини од 60 km/h би био 42,4 m; а време заустављања би било 4,1 s. VW би од места где се налазио у тренутку када је предњим левим ћошком био у висини разделне линије, до места судара прешао пут дужине 12 m, за време од 0,6 s. А OPEL би, брзином од 24 km/h, за време од 0,6 s прешао пут дужине 4,1 m.

Анализом свих околности под којима се догодила ова саобраћајна незгода, због вожње OPEL-а својом левом саобраћајном траком, долази до преласка VW-а на леву саобраћајну траку и из тог разлога је и настала саобраћајна незгода; што је пропуст возача OPEL-а.

Док на страни возача VW-а нису нађени никакви пропусти возача везани за стварање опасне ситуације и настанак саобраћајне незгоде. Вожња VW-а брзином од 70 km/h уместо брзином од 60 km/h био би пропуст возача VW-а, који би могао имати утицаја на тежину последица, по мишљењу саобраћајно-техничког вештачења.

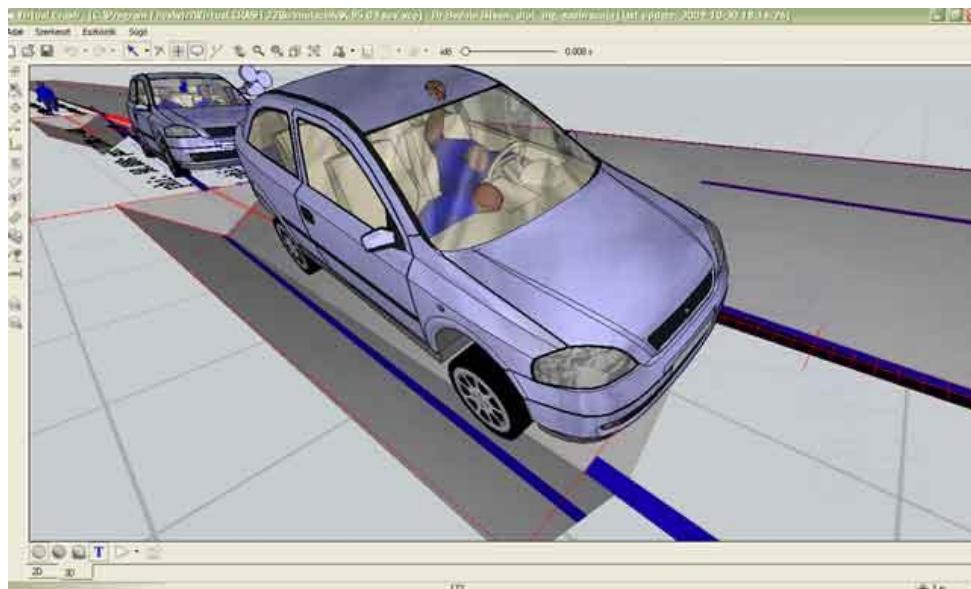
9. Механизам настанка судара и динамика кретања тела у возилу

Механизам настанка судара је интегрални и нераздвојни део механизма повређивања који се налази у делокругу медицинског вештачења. Често је важно одређивање у вези механизма настанка судара како би се определио положај неког од учесника у саобраћају – пешака, возача или путника у возилу (слика 32, 33).

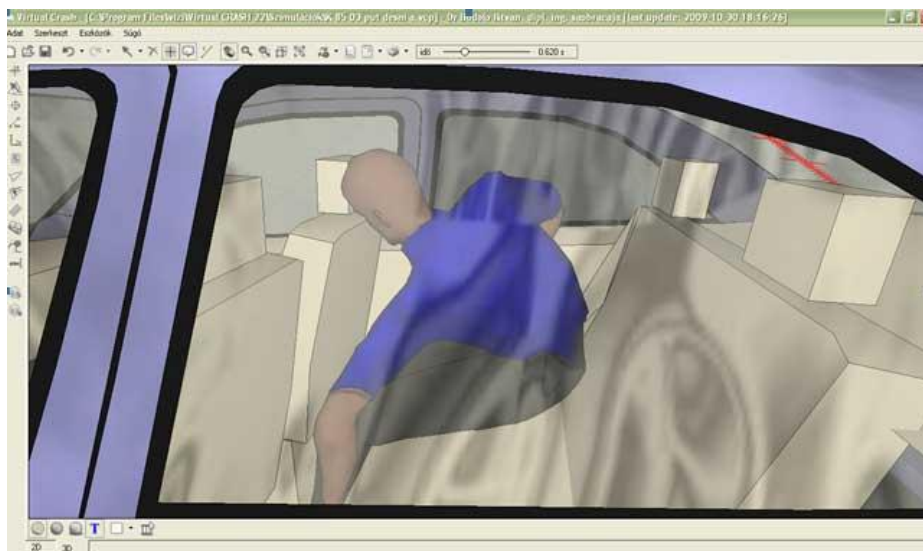
Центар за вештачења и процене (ЦВП, енгл. *Center for expertise and valuation*) редовно израђује налазе у којима се одређује према механизму настанка судара и за те потребе, поред уобичајеног начина рада користи и поткрепљује своје налазе уз употребу потпрограма за динамику кретања тела у возилу у току судара, уз одговоре да ли је неки од учесника био везан сигурносним појасевима или није. Такође, одређује се и према механизму настанка судара у сударима са пешацима.

Веома веома актуелна тема, посебно када се узме у обзир ланац од настанка саобраћајне незгоде па до пресуде у вези вратног дела кичме. Домаћа судска пракса, у потпуној супротности са судском праксом Европских судова намеће све већу друштвену потребу за регулисање ове области.

Центар за вештачења и процене (ЦВП) израчунава технички аспект могућности настанка повреда најлакшег степена, оних које се не могу документовати радиолошким или другим снимцима, након којег медицински вештак на основу сопственог уверења потврђује или оспорава могућност настанка наведених повреда. [15]



Слика 32 – Симулациони приказ судара возила [15]



Слика 33 – Симулација човека у возилу приликом судара [15]

10. Закључак

Дефинисање брзине кретања возила зависи од квалитета и квантитета дефинисаних трагова на лицу места као и од стручности особа на увиђају.

У раду су обухваћене фазе пре судара, у току самог судара и после судара, као и програм за симулацију судара возила и пример судара два путничка возила.

Временско-просторна анализа мора бити саставни део сваке анализе саобраћајне незгоде која се врши у вештачењу. Вештаци треба ту анализу да изврше применом графоаналитичких метода и поступака на које се у овом раду указује.

Применом класичних аналитичких и графоаналитичких метода у поступцима вештачења понекад је немогуће добити поуздане одговоре о три најважније чињенице: позицији возила у тренутку судара; месту судара у подужном и попречном правцу и брзинама кретања возила у тренутку контакта.

Класичне анализе су компликоване и непоуздане уколико се ради о сударима у којима возила нису оставила трагове кретања, у ситуацијама ако није поуздано извршено позиционирање трагова или идентификација делова на возилу од којих су настали трагови. Оправданост примене компјутерских програма у анализи саобраћајних незгода је неоспорна.

Што не значи да се у експертизама предметних незгода није могла применити ниједна друга метода осим компјутерске анализе, већ и да у ситуацијама када се анализа спроводи применом било које класичне аналитичке методе на овај начин се скоро обавезно врши провера добијених резултата. Такву методологију у експертизама саобраћајних незгода која се поставља као стандард у раду научних установа требало би увести и у рад правних и физичких лица која се баве пословима вештачења саобраћајних незгода.

Коришћењем резултата CRASH тестова постиже се знатно већа прецизност метода за одређивање брзине, тако да методе постају далеко поузданије за експертизе саобраћајних незгода. Најбољи резултати у поступку коришћења CRASH тестова постижу се уколико се у бази података пронађу резултати за конкретно возило, па се на основу њих израчуна брзина возила.

Енергетске методе постају све значајније при експертизи саобраћајних незгода. Многа мишљења о доприносу учесника саобраћајне незгоде се заснивају на налазима добијеним управо неком од наведених енергетских метода.

Наиме, ове методе се заснивају на основним принципима механике. Њихов основни циљ је да се утврди брзина кретања возила непосредно пре и током судара и на тај начин донесе закључак о доприносу учесника незгоде. Оне могу бити од посебног значаја у ситуацијама где нема изјава сведока, односно ако се сумња да се узете изјаве не поклапају са реалном ситуацијом.

11. Литература

- [1] http://sr.wikipedia.org/wiki/Саобраћајна_незгода, преузето са интернет странице 06.11.2013.
- [2] Јанковић, А. и Симић, Д.: БЕЗБЕДНОСТ АУТОМОБИЛА, Машински факултет у Крагујевцу, Крагујевац 1996. године.
- [3] <http://www.who.int/whosis/whostat/2009/en/>, преузето са интернет странице 03.11.2013.
- [4] <http://www.euroncap.com/home.aspx>, преузето са интернет странице 01.11.2013.
- [5] <http://www.eurorap.org/about-eurorap/awards/>, преузето са интернет странице 01.11.2013.
- [6] http://www.vtsnis.edu.rs/Predmeti/bezbednost_saobracaja/02%20Etiologija-%20uzroci.pdf, преузето са интернет странице 07.11.2013.
- [7] Костић, С.: Технике безбедности и контроле саобраћаја, Универзитет у Новом Саду – Факултет Техничких наука, Нови Сад, 2002.
- [8] Р.Драгач, М. Ђорђевић,,: „Типични примери експертиза саобраћајних незгода на путевима“ Службени лист СРЈ, Београд 2007.
- [9] <http://www.osman-lindov.i8.com/about.html>, преузето са интернет странице 09.11.2013.
- [10] Wach, W. PC-CRASH, HANDBOOK. s.l.: Institute of Forensic Research Publishers, Krakow, 2001.
- [11] Bowman, B.M., bnnett, R.O., Robbins, D.H. MVMA Two – Dimensional Crash Vistim Simulation, Version 4, Volume 2 s.l.: University of Michigan, Ann Arbor, 1979.
- [12] 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.
- [13] Steffan, H. PC-CRASH OPERATNIG MANUAL. s.l.: DSD, Linyz, 2002.
- [14] <http://www.stv.co.rs/blog/>, преузето са интернет странице 08.11.2013.
- [15] <http://www.vestacenja.co.rs/>, преузето са интернет странице 08.11.2013.

