

**ФАКУЛТЕТ ИНЖЕЊЕРСКИХ НАУКА
УНИВЕРЗИТЕТА У КРАГУЈЕВЦУ**



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Мастер академске студије

Модул: Друмски саобраћај

Предмет: Вештачење саобраћајних незгода

Број индекса: 335/2012

Радовановић Д. Милош

Тема: *Реконструкција судара возило-возило-методе и модели*

МАСТЕР РАД

1. др Александра Јанковић- ментор

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

Крагујевац, септембар 2014.

У оквиру овог мастер рада кандидат треба да : опише врсте судара два возила,наведе поступак реконструкције саобраћајних незгода,наведе и објасни методе и моделе за реконструкцију судара возило-возило, прикаже савремене методе реконструкције саобраћајних незгода,одради један пример реконструкције судара два возила методом по сопственом избору.

Препоручена литература:

- [1] Јанковић, А., Симић, Д.: Безбедност аутомобила, DSP-mecatronik, Kragujevac СКБЕР 1996
- [2] Јанковић, А., Симић, Д.: Numerical method of solving the impact car in the immobile barrier, Mobility and Vehicle Mechanics, Vol. 18, No 2, Kragujevac 1992.
- [3] Јанковић, А., Симић, Д., Јоковић, С., Николић, Б.: Математичко моделирање чеоног удара у баријеру, Симпозијум МВМ 1994, Крагујевац 1994.
- [4] Светозар, К.: Експертизе саобраћајних незгода, ФТН Издаваштво, Нови Сад, 2009.

Резиме

Саобраћајна незгода је догађај на путу или другом месту отвореном за јавни саобраћај или који је започео на таквом месту, у коме је учествовало најмање једно возило у покрету и у коме је једно или више лица погинуло или повређено или је настала материјална штета. Тема овог рада је реконструкција судара возило-возило-методе и модели. Методе реконструкције судара које се базирају на налажењу трагова и материјала који ће дати објашњење који од фактора су изазвали саобраћајну незгоду. Кроз овај рад приказане су врсте судара два возила, описане су неке од метода и модела за реконструкцију судара возила. У раду су наведене и савремене методе реконструкције саобраћајних незгода помоћу рачунарских програма. Такође је одрађен пример одређивања брзина возила учесника једне саобраћајне незгоде графоаналитичком методом.

Кључне речи: *возило, судар, реконструкција, метода, модел*

Abstract

A traffic accident is an event on the road or else open to public traffic or who started at such a place, with the participation of at least one vehicle in motion and in which one or more persons killed or injured or caused damage to property subject of this work is the Reconstruction of collision vehicle-vehicle-methods and models. Methods of reconstruction of the collision, which is based on finding clues and materials that will provide an explanation of the factors that caused the accident. Through this work shows the kind of collision of two vehicles, described some of the methods and models for the reconstruction of the crash vehicle class work are listed and modern methods of accident reconstruction by means of the softvera. Also is done example of determining vehicle speed participants a traffic accident one of the methods.

Key words: *vehicle, crash, reconstruction, methods, model*

Садржај

1. Увод	1
1.1. Специфичности и фазе увиђаја саобраћајних несрећа	3
1.2. Активности увиђајног органа на лицу места саобраћајне незгоде	5
1.3. Увиђајна документација	7
2. Судари два или више возила.....	9
2.1. Чеони судар	10
2.2. Бочни судар	10
2.3. Удар позади	12
2.4. Превртање	12
3. Елементи технологије судских вештачења	13
3.1. Анализа уназад	13
3.2. Анализа унапред	15
3.3. Анализа судара у израчунавањем унапред	16
3.4. Додирна тангента и додирна оса	17
4. Реконструкција догађаја при саобраћајној несрећи.....	20
4.1. Трагови саобраћајних несрећа	22
4.1.1. Трагови пнеуматика	23
4.1.2. Трагови делова возила	24
4.1.3. Трагови особа	25
4.1.4. Трагови на возилу и у њему.....	25
5. Реконструкција судара путничких возила.....	26
5.1. Хронолошки развој хипотеза о удару	27
5.1.1. Newton-ova хипотеза.....	27
5.1.2. Marquard-ova хипотеза.....	27
5.1.3. Slibar-ova хипотеза.....	27
5.1.4. Bohm- Horz-ova хипотеза.....	27
5.2. Осврт на раније радове	27
5.2.1. Систематизација коефицијента крутости.....	32

5.3.Реконструкција одређивањем еквивалентне деформационе енергије	33
5.4.Реконструкција применом једначина равнотеже	36
5.4.1. Аналитичко-експериментална метода на бази деформационог рада возила.....	37
5.4.2.Графоаналитичке методе равнотеже импулса,момент импулса и енергије	42
5.5.Кинематске методе реконструкције	54
5.5.1. Прорачунавање брзине на основу трага кочења	54
5.6.Одређивање брзине возила помоћу тахографа	60
5.6.1.Одређивање тренутка судара.....	61
5.7.Одређивање брзине на основу извршеног рада точкова	63
возила	63
6.Употреба симулацијских програмских алата у анализи саобраћајних несрећа PC Crash .64	
6.1.Рад са програмом "CARAT"	69
6.2. Пример израчунавања брзине графоаналитичком методом и симулација судара у софтверском програму Virtual Crash 3.0	73
7. Закључна разматрања.....	77
Литература.....	78

1. Увод

Саобраћај је унео велике новине и промене у живот човека и на тај начин изменио већ постојеће услове, а неминовно створио и нове изворе опасности, на које човечанство до тада није навикло. Човек није изградио одговарајуће механизме заштите и то је један од главних разлога због кога се све чешће дискутује о саобраћају као једној од највећих опасности савременог света, која не бира ни време ни место.

Саобраћај није и никако не може бити проблем за себе, већ се саобраћај преплиће у сложеним зависностима са многим другим појавама, стањима и активностима у људском друштву. Саобраћај повезује основне функције човека, рад, становање, рекреацију, па се не сме спутавати, већ га треба пратити и подстицати. Међутим, задатак човека је да поред тога створи такве услове одвијања саобраћаја који омогућавају уредно и безбедно функционисање овако једног система, саобраћајног система.

Вероватноћа, да доживимо саобраћајну несрећу је сразмерно висока. У овом тренутку, с обзиром на познате статистичке податке готово је сигурно да ће сваки становник Европе најмање једном у животу бити учесник саобраћајне несреће са истим или другачијим исходом. Према томе је у Европи вероватноћа да је узрок смрти појединаца управо саобраћајна несрећа 1:5000, што је висока вредност. Важно је знати, да су више изложени они појединци који су дуже времена учесници у саобраћају (релевантно за учеснике у саобраћају као што су пешаци и бициклисти) или они који прелазе веће раздаљине (релевантно за возаче који управљају моторним возилима).

Постоји више појмова који описују саобраћајну несрећу или саобраћајну незгоду. Међутим, најчешће употребљавана дефиниција је она која дефинише саобраћајну несрећу као судар возила или аутомобила са другим возилом, пешацима, животињама или баријерама.

У поступку који се води као последица саобраћајне несреће је од највеће важности да се у вези са предметном саобраћајном несрећом тачно утврде све релевантне чињенице. Само на основу познавања и разумевања свих релевантних чињеница правни стручњаци (адвокати, тужиоци и судци) могу правилно употребити правне норме и пресуђивати о питањима која се односе на казнену или цивилну одговорност појединаца који су били учесници у саобраћајној несрећи.

Последице саобраћајних несрећа су материјалне штете, повреде и/или смрт појединаца. С обзиром на то, саобраћајне несреће су појаве које имају негативне последице за целокупно друштво, економију и наравно појединце.

У поступку који се води као последица саобраћајне несреће је од највеће важности да се у вези са предметном саобраћајном несрећом тачно утврде све релевантне чињенице. Само на основу познавања и разумевања свих релевантних чињеница правни стручњаци (адвокати, тужиоци и судци) могу правилно употребити правне норме и пресуђивати о питањима која се односе на казнену или цивилну одговорност појединаца који су били учесници у саобраћајној несрећи.

Задатак и мисија вештака је да на технички начин, поштујући правила науке и струке, што тачније утврде све релевантне чињенице у вези са саобраћајном несрећом (место судара возила или учесника, положај возила или учесника при судару, брзину кретања у тренутку судара, брзину кретања непосредно пре судара, начин кретања возила или учесника после судара, могући начин кретања возила или учесника пре судара, техничке могућности за спречавање саобраћајне несреће, механичка оптерећења учесника која делују као последица сударних сила и могуће повреде) те их правним стручњацима представити на разумљив начин и то тако да правни стручњаци могу лако употребити одговарајуће правне норме при доношењу пресуде о питањима кривице и питањима материјалне одговорности.

То је технички поступак где се на основу одговарајуће стручне процене расположивих материјалних трагова (трагови као што су деформације на возилима, трагови кретања возила на и изван коловоза, евидентиране повреде учесника, ...) реши математички формулиран проблем и израчунају релевантна дејства, те на тој основи дају мишљења. Са гледишта струке, реконструкција саобраћајне несреће је захтеван задатак јер је потребно риешити инверзни математички проблем. То је специфичан задатак који се може решити помоћу одговарајуће математичке формулације или одговарајућег математичког модела извршити нумеричка анализа. Нумеричка анализа је поступак при којем је потребно правилно препознати и анализирати какав је утицај појединих почетних услова (почетни положаји и брзине возила, пешака итд.) на израчунато кретање и кроз већи број прорачуна одредити оне почетне услове и вредности кључних параметара при којима се израчунато кретање учесника саобраћајне несреће довољно добро поклапа и одговара расположивим осигураним траговима саобраћајне несреће. Процес је интерактиван, што значи да је увек потребно урадити више прорачуна те на основу добијених резултата и њихове анализе кориговати почетне услове све докле резултат са гледишта струке није прихватљив.

Нумеричке анализе је могуће извести релативно брзо само кориштењем одговарајуће рачунарске опреме, дакле кориштењем рачунара довољно великих перформанси и специјализованих софтвера који су развијени за потребе техничке анализе саобраћајних несрећа. При томе се употребљавају резултате изведених експеримената

(располаже се одговарајућом базом података) а по потреби уз помоћ лабораторијске опреме изводе се различити експерименти из подручја динамике кретања возила и управљања возилима, из подручја судара возила и подручја биомеханике.

Реконструкције саобраћајних несрећа врше високо обучени стручњаци који се у том подручју непрестано едукују и усавршавају, суделују у међународним истраживачким пројектима на подручју саобраћаја и саобраћајне сигурности (посебно сигурности возила и сигурности саобраћајне инфраструктуре). То су стручњаци који су именовани судски вештаци из подручја истраживања и реконструкције саобраћајних несрећа (именовало их је Министарство за правосуђе) и именовани судски вештаци медицинске струке који пружају одговарајућу подршку.

1.1. Специфичности и фазе увиђаја саобраћајних несрећа

Приликом обраде саобраћајних незгода увиђај има важну улогу у реконструкцији незгоде. Резултати увиђаја су кључне чињенице од којих зависи даљи исход поступка. У односу на увиђаје других кривичних дела, код увиђаја саобраћајних незгода основни циљ увиђаја се са питања КО? Премешта на питање КАКО? Код саобраћајне незгоде приликом вршења увиђаја понекад је неопходно на лицу места обавити одређене посебне радње које нису значајне код осталих увиђаја, као што су: изузимање тахографских уложака и тахографа, изузимање сијалица, ванредни технички преглед возила, здравствени преглед лица – учесника незгоде, мерење успорења возила или коефицијента приањања, мерење конкретне видљивости, мерење нагиба коловоза, мерење конкретне прегледности и сл.

Правила за вршење увиђаја саобраћајних незгода могла би се сврстати у три групе. У прву групу спадају општа криминалистичка правила за вршење увиђаја, попут начела брзине изласка на лице места, методичности, темељитости, објективности, јединственог руковођења и подела увиђаја на информативну, статичку и динамичку фазу. Другу групу чине посебне карактеристике увиђаја саобраћајних незгода, као што су вршење увиђаја од периферије према центру, у највећем броју случајева, лице места обухвата најчешће широк круг пута и околине, а трагови и предмети се могу налазити релативно далеко од непосредног места незгоде, за разлику од већине других кривичних дела на лицу места присутан је већи број људи а неопходно је омогућити приступ и лицима која нису чланови увиђајне екипе (медицинским радницима, ватрогасцима), а која могу знатно да измене или униште постојеће трагове и предмете. Такође, много чешће него код већине других кривичних дела потребно је ангажовање стручних лица и вештака приликом вршења увиђаја или у даљем току поступка. Трећу групу правила обухватају конкретне околности саме незгоде, зависно од тога да ли се возила налазе на лицу места или се неко од њих удаљило, о којем облику саобраћајне незгоде се ради (судару два

возила, слетању, превртању, удару у пешака, бициклисту, мотоциклисту, ланчаном судару и сл.), број повређених и погинулих лица, временски услови, место дешавања незгоде (тунел, мост, аутопут, непрегледна кривина, кањон и сл.). Код увиђаја саобраћајне незгоде изузетно је важан брз излазак на лице места ради вршења увиђаја, због њених специфичности у односу на већину других кривичних дела. Лице места саобраћајне незгоде је пут и његова околина, који су најчешће прометни и доступни великом броју људи, због чега је лице места и подложно променама у врло кратком времену. Врло често након настанка саобраћајне незгоде, а пре доласка патроле полиције која врши обезбеђење лица места, учесници у саобраћају настављају кретање преко лица места, радознано застају, разгледају и ходају по лицу места, померајући присутне трагове и предмете, неретко и возила која су учествовала у незгоди. Такође приликом пружања помоћи повређенима долази до измена на лицу места чиме неки трагови и предмети бивају заувек изгубљени. Поред овога, други разлог за хитност увиђаја код саобраћајних незгода је захтев за што брже успостављање одвијања саобраћаја, нарочито уколико се ради о дионици за коју не постоји алтернативни правац. Изузетно је важно да увиђајна екипа буде кадровски добро састављена и да се у њој поред јавног тужиоца, уколико је присутан, налазе и саобраћајни полицајци специјализовани за вршење увиђаја саобраћајних незгода, техничари, фотографи, те стручњаци саобраћајне струке и других различитих профила. Основни задатак увиђајне екипе је да стручно, објективно и свеобухватно сними све важне последице саобраћајне незгоде, те да их успешно пренесе онима који ће одлучивати о незгоди, суду, тако да он стекне утисак као да је био на лицу места. Целокупан увиђај саобраћајне незгоде, у складу са поделом увиђајана фазе, одвија се кроз одређене етапе. У информативној фази увиђаја увиђајни орган, по доласку на лице места саобраћајне незгоде, прикупља криминалистички релевантне информације о догађају. С обзиром на то да је лице места саобраћајне незгоде пре доласка увиђајне екипе по правилу обезбеђено радницима полиције, увиђајни орган најзначајнија сазнања добија управо од ових службених лица. Овлашћено службено лице које врши обезбеђење лица места, по доласку увиђајне екипе упознаје руководиоца увиђаја о свим мерама и радњама које су предузете и свим расположивим подацима и информацијама о незгоди. Информације га о времену догађања саобраћајне незгоде, тачном времену изласка на лице места и предузимања радњи на његовом обезбеђењу, стању затеченом на лицу места, променама које су настале на лицу места до доласка увиђајног органа, о сопственим запажањима која се односе на све релевантне незгоди, атмосферским приликама у време околности незгоде, учесницима и њиховом стању, возилима која су учествовала у догађању саобраћајне незгоде (падавине, видљивост, стање коловоза и сл.). Такође, овлашћено службено лице које врши обезбеђење лица места увиђајном органу презентује податке о лицима затеченим на лицу места или у његовој непосредној близини, очевицима и резултатима већ обављених информативних разговора са тим лицима. [5]

Уколико је било предузимања других мера и радњи, такође о њима информише руководиоца увиђаја. У статичкој фази увиђаја екипа за вршење увиђаја улази у круг лица места и веома смирено, пажљиво и детаљно разгледа лице места у целини, поједине предмете и трагове и њихов међусобни однос. Треба настојати да се уоче и запазе све важне појединости, а да се изглед лица места ни у чему не промени, односно да у статичкој фази задржи свој првобитни изглед. Криминалистички техничар у статичкој фази увиђаја саобраћајне незгоде треба да означи поједине трагове и предмете бројчаним ознакама, да изврши потребна мерења између возила, делова возила, тела погинулих учесника незгоде, предмета испалих из возила и других предмета, трагова кочења, стругања, гребања, вучења, удара, клизања и свих других трагова присутних на лицу места, као и према указаној потреби предузме друге радње. После детаљног и систематичног разгледања лица места, проналажења и означавања трагова и предмета, лице места се описује у записнику, фотографише или снима видео-техником и скицира, чиме се завршава статичка фаза увиђаја саобраћајне незгоде. Динамичка фаза увиђаја, за разлику од статичке, огледа се у ремећењу затеченог стања и изгледа лица места. Карактерише је активнији однос увиђајне екипе према месту саобраћајне незгоде и у оквиру ње се предузимају активности чији је циљ фиксирање, осигурање и безбедно паковање трагова и предмета. Неки од предмета са лица места се померају, детаљно ради описивања али и у циљу утврђивања да ли на њима постоје до тад непримећени трагови. Пронађени трагови се обезбеђују ради даљег чувања.

1.2. Активности увиђајног органа на лицу места саобраћајне незгоде

Са завршетком информативне фазе увиђаја незгоде и прегледу лица места саобраћајне незгоде, увиђајни орган приступа планирању увиђаја. Планирање увиђаја саобраћајне незгоде садржи следеће елементе одређивање врсте саобраћајне незгоде и обима чињеница које су потребне за даљу обраду саобраћајне незгоде; одређивање почетне тачке од које ће се увиђај почети вршити; утврђивање редоследа прегледа лица места; задаци за чланове увиђајне екипе; одређивање техничких средстава потребних за вршење увиђаја; подела лица места на поједине секторе; задаци обезбеђења лица места и регулисања саобраћаја за време вршења увиђаја и мере после извршеног прегледа места саобраћајне незгоде. [5]

На основу почетних сазнања и информација која добије од овлашћених лица на обезбеђењу лица места и затечених грађана, те на основу увида у стање на лицу места, руководиоца увиђаја заједно са члановима увиђајне екипе утврђује о којој врсти незгоде се ради (судар два возила, слетање, удар у пешака и сл.). Зависно од врсте саобраћајне незгоде, увиђајни орган указује које чињенице и околности је неопходно утврдити са

циљем потврђивања или обарања постављених верзија о врсти саобраћајне незгоде. Након тога одређује се почетна тачка од које ће се увиђај вршити, и за њу се најчешће узима место на путу које представља границу лица места. Непосредно затим утврђује се начин и редослед прегледа лица места. У највећем броју случајева преглед се обавља линијски, и то од периферије према центру лица места саобраћајне незгоде. Руководилац увиђаја, на основу до тад прикупљених сазнања и информација, утврђује чије ангажовање је потребно на увиђају и тим члановима увиђајне екипе одређује задатке које требају извршити, те заједно са осталим члановима увиђајне екипе утврђује која опрема и средства су потребни за вршење увиђаја конкретне. У статичкој фази увиђаја, приликом прегледа лица места, увиђајни орган настоји да утврди што више чињеница и околности које могу довести до разјашњавања саобраћајне незгоде. Настоји се утврдити начин настанка незгоде, правац кретања возила учесника, место контакта возила са другим возилом, телом пешака или предметом, место слетања возила с пута. Приликом прегледа лица места пажљиво се посматра сваки његов дио са циљем проналаска свих трагова и предмета на лицу места саобраћајне незгоде. За стручно проналажење, фиксирање и оперативно коришћење трагова код свих видова саобраћајних незгода, нужно је познавати начин њиховог настанка, облике испољавања и њихов криминалистички значај. Трагове обавезно треба тражити и на местима ван пута, на возилу и објектима поред пута, на лицима која су била у возилима, односно на повређеним лицима и лешевима. Трагови и предмети на лицу места се означавају додавањем одговарајућих ознака сваком трагу појединачно. Ознаке су најчешће бројчане. Због присутних пропуста у пракси, битно је напоменути да се ознака никако не ставља на пронађени траг или предмет већ поред њега. Трагови на лицу мјеста, а нарочито трагови кочења, заношења, стругања и други трагови на коловозу настали најчешће од пнеуматика возила, због своје слабе видљивости маркирају се од стране криминалистичког техничара. Маркирање се врши кредом, и то на начин да се пронађени траг пре фотографисања исцрта по ивицама како би био јаснији. Маркирање трага је врло важан поступак на лицу места и предузима се у случају да прети опасност да се траг уништи за вријеме вршења увиђаја, уколико постоји потреба да се неки траг или предмет помјери прије завршетка увиђаја, ако би то олакшало мерења или ако постоји опасност да се неки траг неће добро видети на фотографијама. Све пронађене предмете и траге на лицу места криминалистички техничар након обележавања фотографише, појединачно и приказујући његов положај у односу на друге трагове и предмете на лицу места. Том приликом сачињава се и кроки скица лица места, на коју се уцртава лице места са положајем возила, тијела настрадалих, свих предмета и трагова.

Иако је препоручљиво да се у току вршења увиђаја одмах сачињава и записник о увиђају, у пракси увиђајни орган прави блешке приликом увиђаја, а записник о увиђају сачињава по завршетку увиђаја, на основу евидентираних белешки, фотографија и скице. У циљу превазилажења овог проблема, а ако се уважи чињеница да је сачињавање записника у току вршења увиђаја отежано, а понекад и немогуће, најбоље би било да руководицац

увиђаја током целог увиђаја своја запажања диктира у диктафон, те да се на основу овог снимка касније сачињава записник о увиђају саобраћајне незгоде. Након фиксирања лица места саобраћајне незгоде, свих пронађених трагова и предмета, прелази се на појединачно прегледање сваког возила које је учествовало у незгоди, свих трагова и предмета. Прегледа се унутрашност возила са циљем проналаска до тада непримећених трагова и предмета, утврђују се положаји одређених команди возила (ручица мењача, положај паркирне кочнице, прекидача за светла, показивача правца и сл.), уколико није утврђен идентитет возача или других лица из возила прегледа се унутрашњост са циљем проналажења личних докумената. Делови отпали с возила се подижу с тла и детаљно прегледају с циљем проналаска евентуалних трагова боје, лака, гребања или стругања, који указују на возило или део возила које је остварило контакт са тим возилом. Лични предмети и ствари које су пронађене на лицу места такође се детаљно прегледају ради проналажења трагова контакта са возилом (лака, боје, стакла, пнеуматика), трагова крви и других трагова који до тад нису уочени. Након детаљног прегледа лица места, проналажења свих трагова и предмета на лицу места саобраћајне незгоде и фиксирања затеченог стања, руководиоца увиђаја по потреби консултује стручна лица и вештаке саобраћајне струке у погледу одређених трагова, начина њиховог настанка, положаја возила или предмета на лицу места, уочених оштећења на возилима и других чињеница и околности, а с циљем јасног и недвосмисленог разјашњавања свих чињеница и околности које су релевантне за разјашњавање саобраћајне незгоде.

1.3. Увиђајна документација

Увиђајна документација саобраћајне незгоде састоји се од записника о увиђају, фотодокументације са увиђаја, скице лица места и прилога. Сваки од садржаја увиђајне документације на даје битне елементе за фиксирање затеченог стања на месту саобраћајне незгоде. Међутим, ниједан од садржаја није довољан, тек сви садржаји заједно могу коректно фиксирати затечено стање, јер сваки од њих има своје предности и недостатке. Записник о увиђају саобраћајне незгоде представља писани документ који садржи сва запажања увиђајног органа о чињеницама, које су током увиђаја утврђене као непобитне и на максимално објективан начин. Записник о увиђају не сме да обухвата никаква лична запажања, базирана на, претпоставкама, или чак предрасудама нити сме да садржи икакав закључак о оцени утврђених чињеница. Записник о увиђају је најзначајнији елемент увиђајне документације, и састоји се од три дела: уводни, описни и завршни.

Уводни део записника о увиђају саобраћајне незгоде садржи назив органа који спроводи увиђај, правни основ за вршење увиђаја, податке о увиђајној екипи, незгоди, месту и времену вршења увиђаја, начину обезбеђења лица мјста, метеоролошким приликама, значајним радњама које су реализоване пре почетка увиђаја и сл.

Описни део је најважнији део записника о увиђају и у њему се подробно описује само место саобраћајне незгоде као и све радње које су предузете током увиђаја. У овом делу се описује општи изглед лица места, нађена возила, лица, лешеви, предмети и трагови на лицу места (опис, положај, димензије и друга важна обележја), подаци о путу и времену, подаци о возилима која су учествовала у саобраћајној незгоди и лицима учесницима незгоде, подаци о повредама учесника незгоде, подаци о оштећењима возила и објеката, примењени поступци фиксирања (фотографисање, скицирање, изузимање, мулажирање итд.). У описном делу се прецизно наводе све промене које су настале на лицу места саобраћајне незгоде од момента њеног настанка до почетка увиђаја. У завршном делу записника о увиђају саобраћајне незгоде наводе се радње које ће уследити после увиђаја, као што су упућивање возила на ванредни технички преглед, обдукција леша и сл., евентуалне примедбе и потпис руководиоца увиђаја и записничара. Најчешће грешке приликом сачињавања записника о увиђају саобраћајне незгоде у пракси су: оптерећивање записника великим бројем неважних детаља, па је непрактичан за кориштење; у записник се не уносе важни детаљи, за које се касније утврди да су пресудни за разјашњавање саобраћајне незгоде, и уношење субјективних ставова увиђајног органа у записник.

Фотодокументација направљена на лицу места саобраћајне незгоде допуњава записник о увиђају. Фотодокументација је скуп тачно одређених фотографија са лица места незгоде, и обухвата групе фотографија које приказују шири изглед лица места, ближи изглед лица места, изглед и међусобни положај трагова и предмета саобраћајне незгоде, изглед појединачних трагова и карактеристичних детаља, изглед и положај оштећења возила и изглед и положај лешева, нарочито повреде на њима. С обзиром на то да се у пракси користе дигитални фотоапарати, препоручљиво је да се на лицу места изврши што већи број фотографисања. Поред великог броја предности, фотографија има и своје недостатке, а то су материјални трошкови, субјективност и оптерећеност великим бројем неважних детаља. Приликом употребе дигиталне фотографије много су веће могућности злоупотребе и фотомонтаже, што треба превазићи радом у службеним просторијама и меморисањем фотографија на рачунарима с посебном програмском заштитом. Такође, потребно је нагласити да је за проверу веродостојности фотографије потребна оригинална фотографија, осим ако није другачије прописано Законом о кривичном поступку, а као доказ се може користити и оверена копија оригинала, као и копија која је потврђена као неизмињена у односу на оригинал. Изузетно је корисно приликом вршења увиђаја саобраћајних незгода уз фотографисање користити и видео-камеру.

Скица лица места представља графички приказ лица места саобраћајне незгоде. У првој фази, на лицу места се сачињава скица, коју криминалистички техничар сачињава слободном руком, без разmere, али наводећи све трагове, предмете, њихов положај и мере.

У другој фази, по завршетку рада на лицу места, криминалистички техничар израђује детаљну скицу, односно ситуациони план лица места у одговарајућој размери, уз

употребу посебног прибора за цртање. Скице лица места саобраћајне незгоде најчешће се израђују у размјери 1 : 100 или 1 : 200, а зависно од конкретног случаја користе се и друге размере. Изузетно је битно да се подаци уносе у скицу уз строго придржавање односа величина према прихваћеној размери, јер најмање одступање може да услови грешке које је касније врло тешко отклонити. Скица је кључни део увиђајне документације за евентуалну реконструкцију. Значај скице лица места саобраћајне незгоде је изузетно велики, о чему говори и чињеница да се саобраћајно-техничка вештачења темеље на скици лица места. Прилози увиђајној документацији су још једна специфичност увиђаја саобраћајних незгода, јер се појављују много чешће него код осталих увиђаја. Првенствено, уз записник о увиђају, фотодокументацију и скицу лицу места, у увиђајној документацији налазе се и службене забелешке сачињене од стране ОУП-а по разним основама, разни извештаји и записници о предузетим радњама (техничком прегледу возила, извршеном алкотестирању и сл.), тахографски листић уколико га неко одвозила које је учествовало у незгоди поседује, путни налози и сл. Поред тога, у саставу увиђајне документације се врло често налазе материјални трагови и предмети, као и налази криминалистичко-техничких, саобраћајних, машинских и других вештачења. [2]

2. Судари два или више возила

Класификација судара два или више возила:

- Фронтални (чеони) судар
- бочни судар
- Удар позади
- Превртање

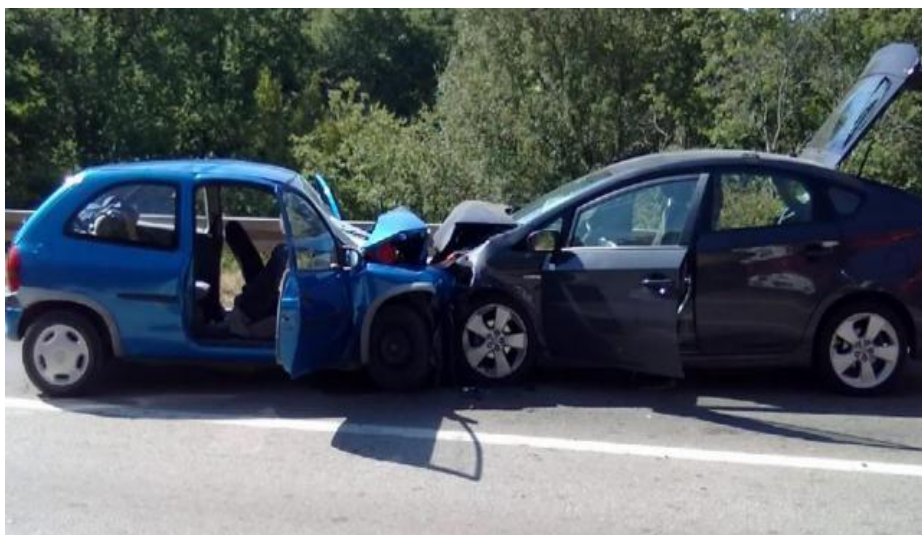
Основна класификација судара два или више возила према углу удара није довољна, јер је приликом вештачења потребно познавати смер брзине, који се не мора подударати с уздужном осом возила. Утврђивање међусобног положаја возила у часу судара, с обзиром на смер брзина, утврђује се одређивању **ударног правца**.

Ударни правац је правац положен кроз тачку контакта возила у тренутку судара, паралелан са смером релативне брзине тежишта. Ударни правац је уједно и правац на којем делује ударни импулс. Ударни правац при судару возила не зависи о смеровима кретања возила него о износу њихових брзина кретања. Уколико ударни правац пролази кроз тежишта возила, такав судар зовемо **централни судар**. [8]

2.1. Чеони судар

Код чеоног судара у контакт долазе предњи фронтални делови возила. Разликујемо потпуни фронтални судар у којем цела предња страна возила чини ударну површину и деломично фронтални судар чија ударна површина захвата само део предње стране возила.

Код ове врсте судара ударни правац је паралелан са смеровима брзине возила до судара па се овакав судар зове и **директан судар**.

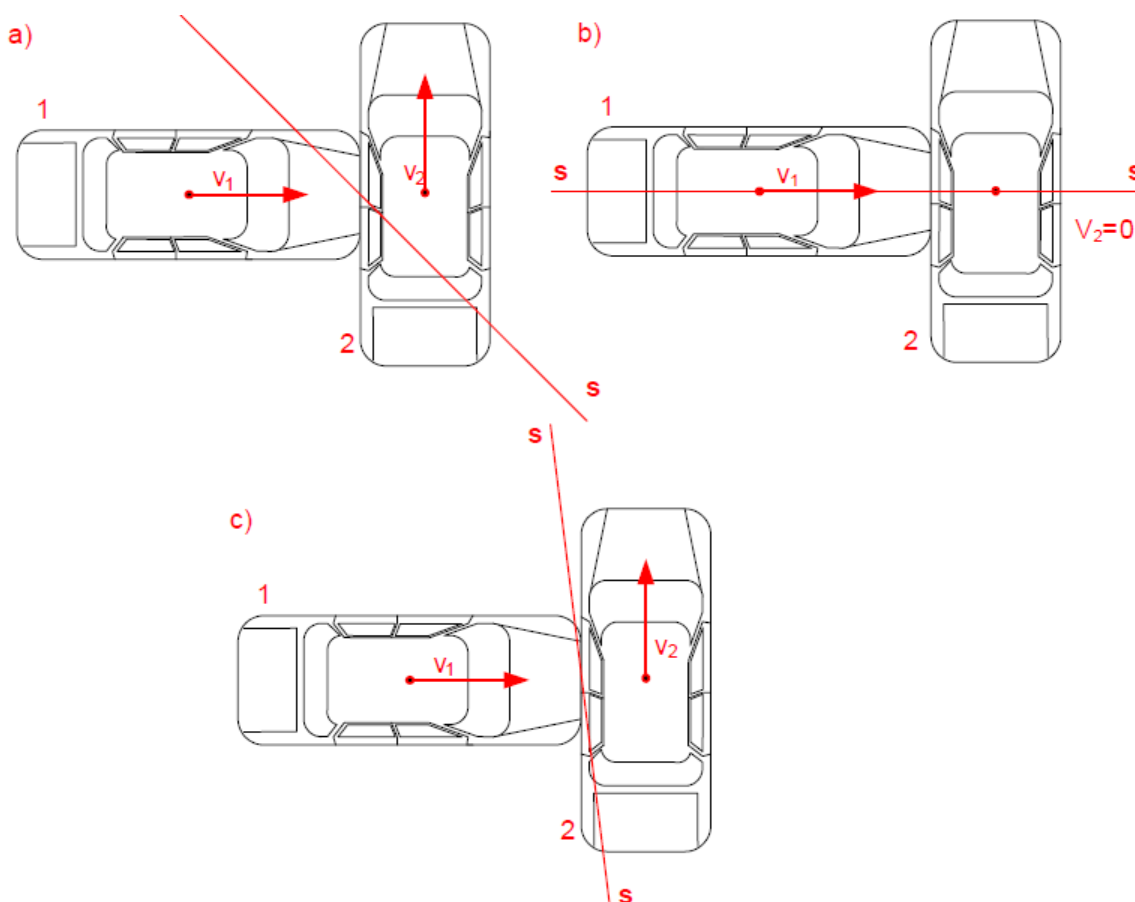


Слика 1. Чеони судар два возила[18]

2.2. Бочни судар

Код бочног судара подручје удара налази се на боку једног од возила. На слици 2 под „а“ приказан је бочни удар под углом од 90° , али је ударни правац положен под различитим угловима зависно о износу брзине кретања возила. Када возила до судара имају исту брзину кретања возила и сударе се под правим углом, ударни правац пролази кроз тачку њихова додира и затвара угао од 45° . У случају судара возила под правим углом са заустављеним возилом (слика 2.б), ударни правац пролази тежишта и строго се

поклапа са уздутном оси возила. Код различитих брзина возила, ударни правац положен је под мањим углом у односу према уздутној оси оног од возила које је пре судара имало већу брзину. Код различитих брзина возила, ударни правац положен је под мањим углом у односу према уздутној оси оног од возила које је пре судара имало већу брзину. На слици 2 под „с“, приказан је бочни судар возила која су се пре судара кретала различитим брзинама. Пре судара возило 2, кретало се већом брзином од возила 1, у том случају ударни правац не пролази тежишта возила 1, него ударном тачком укошен под мањим углом у односу на уздутну ос возила 2. [8]



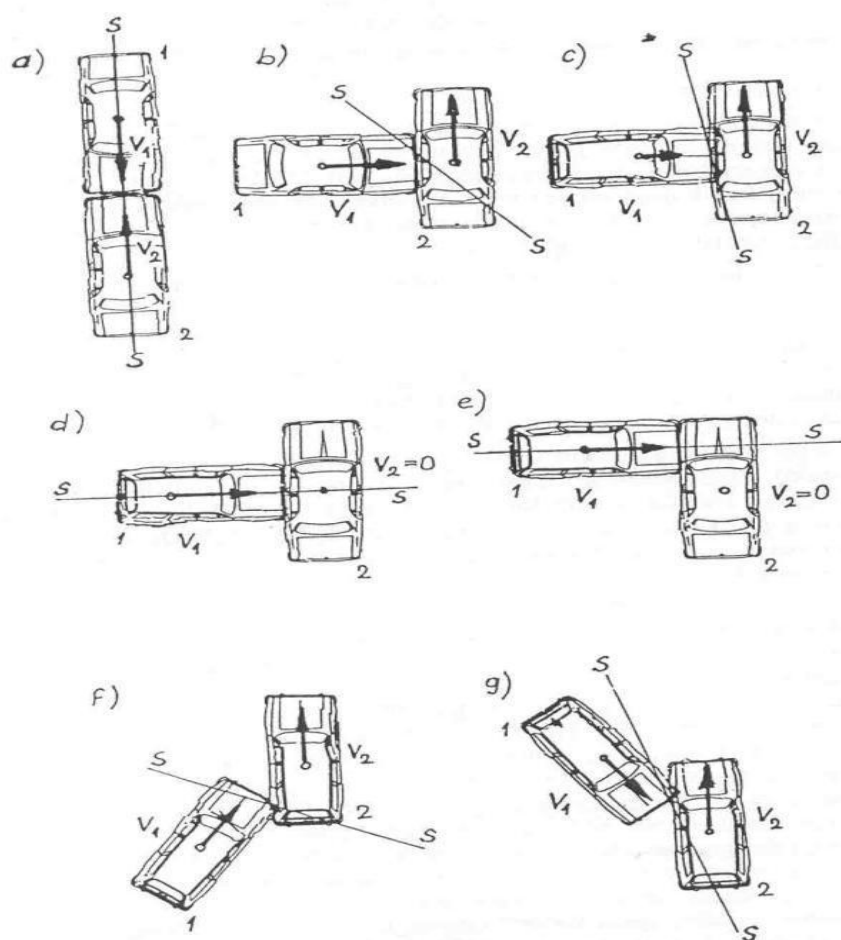
Слика 2. Положај ударног импулса код бочних судара[8]

2.3. Удар позади

Судар возила при којем се подручју контакта налази на задњој страни једног од возила.

2.4.Превртање

Судар возила код којег долази до ротације с обзиром на уздутну или попречну осу. Превртање које је последица судара (налета) возила на непокретну препреку класификује се као фронтални судар



Слика 3. Ударни правац при различитим врстама судара

3. Елементи технологије судских вештачења

3.1. Анализа уназад

Из транслаторног и ротационог кретања возила, могу се извести закључци о условима пре судара. За израчунавање се користи равнотежа ударних импулса и равнотежа количине кретања (став ротације). Познати су одлазни импулси (након судара) по износу и правцу као и правац улазног импулса (пре судара). Решење равнотеже ударних импулса произлази из околности да је вектор сударног импулса на оба возила једнако велики те да мора деловати у супротном смеру.

По завршетку тога проверава се да ли се испуњава равнотежа количине кретања кроз сударни импулс који се израчунава из равнотеже ударних импулса. О положају додирне тангенте или о ударном коефицијенту код овог поступка није потребно водити рачуна. Код несрећа са возилима из супротног смера или несрећа налетања возила позади на возило је примена методе равнотеже импулса, а то значи сама примена једначина импулсног става, донекле проблематична јер мале промене угла код импулсних вектора узрокују велике промене износа ових вектора. Како би се овај проблем превазишао, развијен је ЕЕС-поступак. Код њега се додатно, уз импулсни став и став кинетичког момента, у обзир узима још и енергетски став. Разлика између енергије система пре судара и енергије система након судара приближно одговара деформациони раду, који се одређује према оштећењима возила. [2]

Овај деформациони рад се може израчунати прикладним поступцима. На тај се начин добија даља једначина за одређивање којом се може заменити правац улазног импулса (импулс пре судара). То олакшава израчунавање таквих типова несрећа, нарочито несрећа с клизањем. Код ЕЕС-поступка се не треба бринути за положај додирне тангенте.

Величином утицаја код анализе уназад могу се на следећој табели сажети у преглед те се о њима може дискутовати. При томе се са "импулс уназад" мисли да се решење примарно налази кроз примену импулсног става. С "ЕЕС уназад" се подразумева да се смер улазног импулса замењује са једначином енергетског става.

У табели 1 "Е" значи да се овде ради о вредности која се уписује. Друге се вредности израчунавају.

Табела 1. Преглед утицаја елемената при анализи 1

	Импулс уназад	ЕЕС уназад
Возило 1		
Смер импулса након судара	Е	Е
Износ импулса након судара	Е	Е
Смер импулса пре судара	Е	
Износ импулса пре судара		
Ротација након судара	Е	Е
Ротација пре судара	Е	Е
ЕЕС-вредност		Е
Возило 2		
Смер импулса након судара	Е	Е
Износ импулса након судара	Е	Е
Смјер импулса пре судара	Е	Е
Износ импулса пре судара		
Ротација након судара	Е	Е
Ротација пре судара	Е	Е
ЕЕС-вредност		Е
Усмереност додирне тангенте и додирне осе		
Брзине додирне тачке након судара у смеру осе (сударни број)		
Брзине додирне тачке након судара у смеру тангенте		
Вредност трења у зони контакта		

Код другог ступца "ЕЕС уназад" може се алтернативно навести и правац импулса за возило 1, и уместо тога правац импулса возила 2 оставити слободним.

Информације о брзинама додирне тачке и о вредности трења у зони контакта нису потребне као величине које се уносе, оне се без проблема могу израчунати уколико се одреди усмереност (оријентација) додирне тангенте и додирне осе.

3.2.Анализа унапред

Приликом израчунавања унапред много се мање зна него код анализе уназад. Стога је и комплетни поступак другачије. Ниједна вредност ни било који траг се не може сматрати сигурним. Ипак се претпоставља да су се два возила кретала у задатим смеровима са задатим брзинама. Одатле ће се израчунати које услове након судара треба добити. Дакле, само су познати износи и смерови импулса пре судара. О импулсима након судара ништа није познато.

Зато увек треба размислити о томе како се могу израчунати импулси након судара. Један је начин премештање ЕЕС-формуле у израчунавање унапред, чиме би се могао израчунати смер одлазног импулса губања након судара. Ова модификација је била проведена, али није донела корист у практичној примени. Други је начин тај да се претпоставе одговарајући услови у зони контакта, то значи да се претпоставе компоненте брзина додирне тачке након судара. Затим се мора одредити фиксна усмереност додирне тангенте и додирне околице, преко сударног броја (сударног коефицијента), или се директно мора добити одређена разлика компоненти брзина додирне тачке у смеру околице (нормале), и преко вредности трења у зони контакта добије се поуздани степен клизања.

Улазне вредности код израчунавања унапред разликују се од оних код уназадног израчунавања како је то приказано у поређењу на следећој табели. Пажњу треба обратити на то да усмереност додирне тангенте и додирне осе може имати врло велики утицај на резултат, због чега је код одређивања нужен крајњи опрез. Разлика компоненти брзина додирне тачке у смеру тангенте одређује се преко сударног броја (сударног коефицијента), а резултат је разлика у km/h која је у просеку око $5 km/h$. Разлика компоненти брзина додирне тачке у смеру тангенте зависи о томе колико је велика претпостављена вредност трења у зони контакта, да ли је ова вредност трења уопште узета и да ли се ради о судару са или без клизања. Код судара без клизања су компоненте у смеру тангенте једнако дуге (постоји трење пријањања), код судара са клизањем оне се под одређеним околностима међусобно значајно разликују (постоји трење клизања).

Табела 2. Преглед утицаја елемената при анализи 2

	Импулс уназад	ЕЕС уназад
Возило 1		
Смер импулса након судара	Е	
Износ импулса након судара	Е	
Смер импулса пре судара	Е	Е
Износ импулса пре судара		Е
Ротација након судара	Е	
Ротација пре судара	Е	Е
ЕЕС-вредност		
Возило 2		
Смер импулса након судара	Е	
Износ импулса након судара	Е	
Смјер импулса пре судара	Е	Е
Износ импулса пре судара		
Ротација након судара	Е	Е
Ротација пре судара	Е	Е
ЕЕС-вредност		
Усмереност додирне тангенте и додирне осе		Е
Брзине додирне тачке након судара у смеру осе (сударни број)		Е
Брзине додирне тачке након судара у смеру тангенте		
Вредност трења у зони контакта		Е

3.3.Анализа судара у израчунавањем унапред

Уколико желимо спровести анализу судара у израчунавањем унапред, тада је потребно, на основу расположивих полазишта, добро размислити о томе како се судар вероватно догодио и о којој се врсти судара радило. Општи начин поступања значајно се разликује од израчунавања уназад и од корисника захтева изузетно добра знања на подручју механике судара.

На почетку израчунавања поставља се хипотеза о вероватном току судара те се на основу резултата, то је нарочито померања возила након судара, проверава да ли је хипотеза била тачна. У нормалном су случају потребне промене почетне хипотезе, то значи да је потребно више израчунавања са одговарајућим смисленим променама претходних података.

У почетну хипотезу спадају следећи подаци:

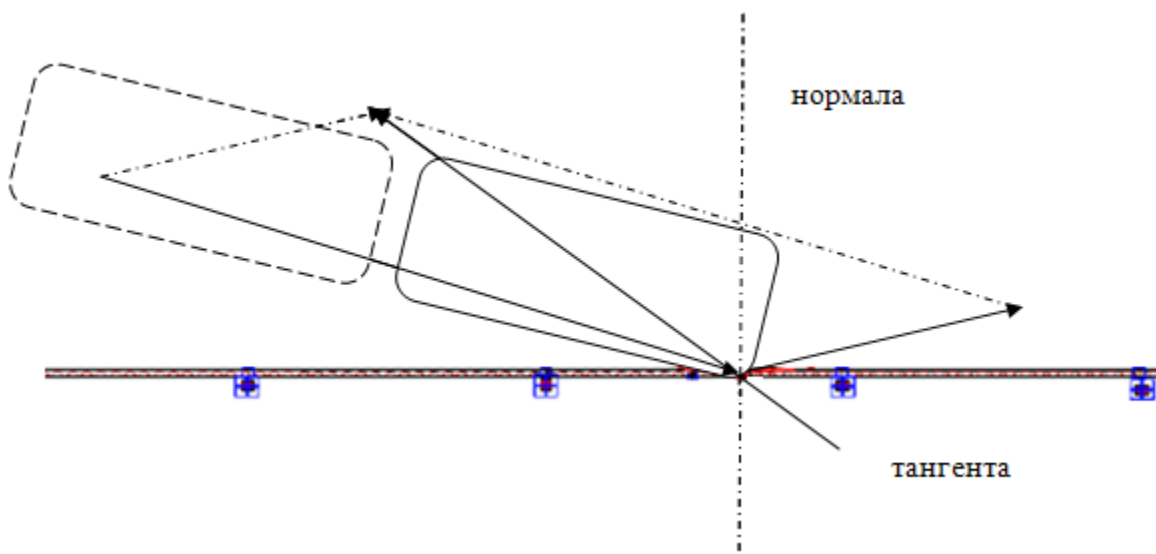
Табела 3. Одређивање почетних података

Почетни подаци	Оцењивани из:
Брзине судара	Оштећења на возилима и одлазним путањама након судара
Угао скретања и угао смера	Путање вожње пре судара
Положај тачке контакта	Слика оштећења на оба возила
Усмереност додирне тангенте	Слика оштећења, понашања код продирања
Треће у зони контакта	Врсте судара, случај са или без клизања
Еластичност партнера судара	Приближно брзине тачке контакта
дубина продирања	трајне деформације
Кругост деформационе структуре возила у зони контакта	Положаја зоне контакта на возилу, мерење (процена) захваћених структура
Енергија деформисања, ЕЕС-вредности	Слика оштећења
Правци брзина тачке судара након судара	Врсте судара, случај са или без клизања
Место судара на коловозу	Трагова на коловозу, путање вожње пре судара
Крајњи положај возила	Скица несреће, података о учесницима

3.4. Додирна тангента и додирна оса

Положај и усмереност додирне тангенте има код израчунавања унапред изузетно велик утицај. Код израчунавања уназад мора се у циљу контроле свакако мислити на то. Додирна тангента (ниво додире код тродимензионалног посматрања) усмерава се према условима у зони контакта. Ова је додирна тангента или површина по којој се контактна површине возила крећу једна према другој за време судара (уколико до тога уопште дође). Код стварног тока судара се са променом контактне површине мења положај тангенте, односно постоји безброј малих контактних површина и припадајућих додирних површина. Али будући да се ради с хипотезом судара, мора се дефинисати резултујућа додирна тангента за коју је најбоље да се оријентише према трајној деформацији.

Уколико неко тело не показује никакву (трајну) деформацију, јасно је да додирна тангента пролази паралелно са површином недеформираног тела. То се може сасвим добро објаснити нпр. на удару у ограду.



Слика 4. Додирна тангента и нормала

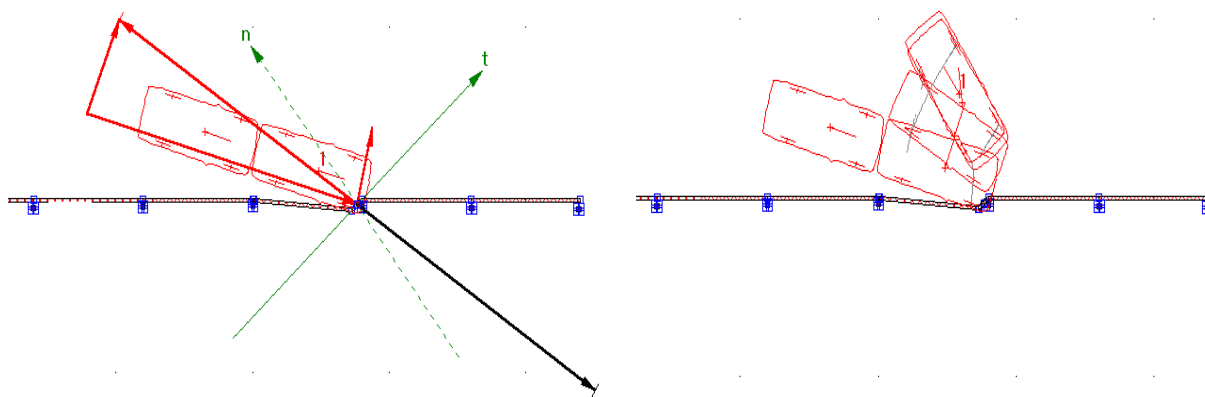
Док год на огради не остане трајна деформација, тангента пролази паралелно са оградом, а оса на одговарајући начин вертикално. Осим тога јавља се и трење јер возило клизи дуж ограде.

Уколико се полази од делимично еластичног судара, брзина додирне тачке возила показиваће у смеру од ограде. Код пластичног судара она би пролазила паралелно с тангентом односно оградом. Врста удара постаје јасна из одлазног кретања возила након судара. У горњем случају долази до клизања возила (о ограду) са евентуално другим ударом у задњи део возила. Зависно о брзини удара, или се возило зауставља у близини ограде, или се окреће и удаљава у тупом углу од ограде.



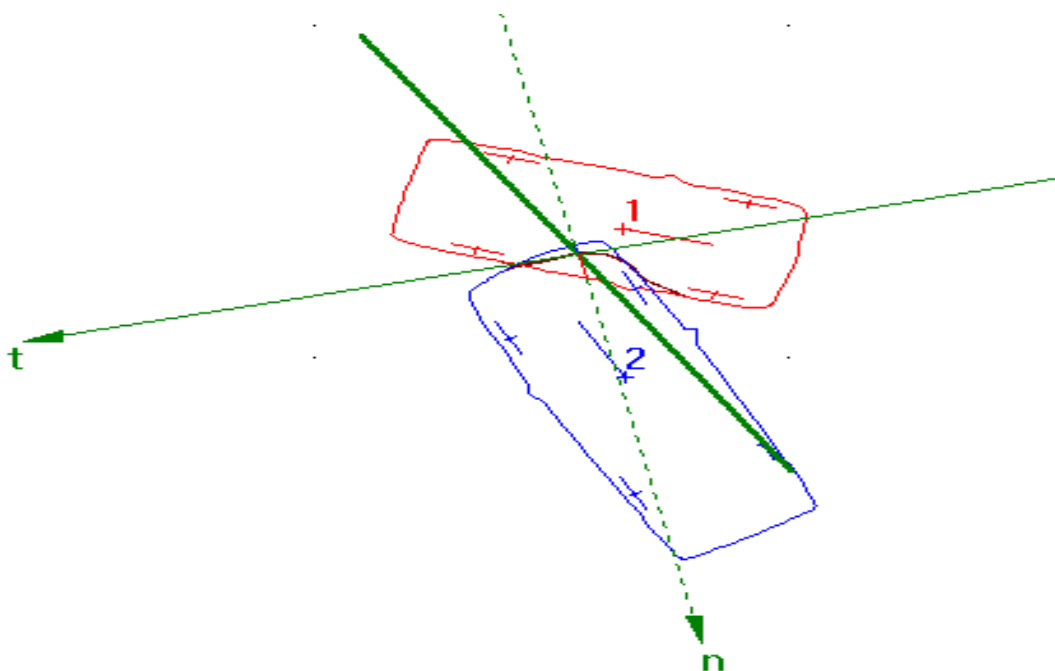
Слика 5. Налет на ограду

Ако се на огради појави деформација, тада долази до изобличења у облику џепа и до запињања возила. Додирна се тангента тада мора сместити у џеп. Из начина кретања непосредно након судара може се итеративним израчуна одредити да ли је постојало кретање с клизањем или се површине контакта нису помериле једна према другој.



Слика 6. Положај тангенти

Приликом судара два возила углавном се на оба возила појављују трајне деформације. Тангенту је јако тешко усмерити. Тачни резултати се могу очекивати само уколико дође до исправног усмеравања. Због тога су код анализе оштећења на возилима потребни дотерани и коректни претходни радови ако се жели применити израчунавање унапред. Има смисла да се најпре у исправном мерилу трајне деформације уцртају што коректније. Тада се возила у складу са овим деформацијама поставе заједно па се тада тангента може позиционирати. За ове радове су потребне добре фотографије оштећења.



Слика 7. Судар с клизањем

У случају са стране види се да долази до клизања дуж додирне тангенте t јер сударна сила (дебела црта) не пролази паралелно са осом n . Тангенс угла између смера осе и вертикалне силе одговара трењу које се јавља у зони контакта.

Неретко се догађа да код вештачења треба одбрани (доказати) одређене тврдње у погледу вероватноће и логичности.

За то у начелу у обзир долази само примена израчунавања унапред. Ако нема употребљивих фотографија оштећења, мора се на основу сличних случајева доказати која се врста оштећења у таквом случају може очекивати те како тада треба извршити усмеравање додирне тангенте. Други начин поступања сигурно се не може сматрати довољно убедљивим.

4.Реконструкција догађаја при саобраћајној несрећи

Законом је прописано:

а) Ради провере изведених доказа или утврђених чињеница које су важне за разјашњење ствари ,тело које води поступак може одредити реконструкцију догађаја која се обавља тако да се понове радње или ситуација у условима уз које се према изведеним доказима догађај одиграо. Ако се у исказима појединих сведока или окривљеног радње или ситуације различито приказане, догађај ће се, у правилу, реконструисати посебно са сваким од њих.

б) Реконструкција се не сме обављати на начин којим се ремети јавни ред или морал или се доводи у опасност здравље људи.

ц) При реконструкцији могу се према потреби, поново извести поједини докази.

Остали услови и начин вођења записника је идентичан поступку увиђаја. Разјашњење чињеница је потребно ако није јасан њен однос према другој чињеници. У том случају увиђај има облик реконструкције.

Реконструкција је врста увиђаја при којој се:

- проверавају изведени докази;
- утврђују неутврђене чињенице које су важне за разјашњење ствари
- понављају радње учесника саобраћајне несреће у условима уз које се према изведеним доказима догађај одиграо.

- испитује веродостојности различитих исказа посебним извођењем са сваким појединим испитаником

Реконструкција укључује примену неколико типских метода:

- успостављањем стања, ситуације
- успостављање тока догађаја
- провера путем реконструкције других извора
- реконструкција постојања појединих околности и њихових односа.

Реконструкција се може спровести и у току увиђаја или као посебна радња у поступку. Вредност накнадне реконструкције догађаја условљена је квалитетом увиђаја(најчешће се и спроводи због недостатака у увиђају).

Најквалитетнија реконструкција не може заменити неквалитетан увиђај. Реконструкција не може дати поуздане резултате ако чињенице при увиђају нису поуздано утврђене и разјашњене. Реконструкцију догађаја води орган који води поступак а све због провере изведених доказа или утврђивања чињенице за разјашњавања спорног догађаја.

Реконструкција се обавља тако да се понове све радње или ситуације у условима којима се према изведеним доказима догађај одиграва. При реконструкцији могу се према потреби поново извести поједини докази. Како је реконструкција посебни облик увиђаја и за њу важе одредбе закона које се односе на увиђај осим ако неке од њих приликом реконструкције није могуће променити с обзиром на специфичну природу реконструкције.

Реконструкција се у пракси најчешће користе у случајевима:

а) када је увиђај извршен површно

б) када се треба утврдити да ли се саобраћајна несрећа догодила на претпостављени или на други начин и то онда када се то није могло постићи истраживањем проверавањем на месту несреће при увиђају.

ц) када треба проверити тачност и истинитост веома важног исказа одређеног сведока, а то није могуће на други начин

д) када треба проверити налаз и мишљење вештака.

4.1. Трагови саобраћајних несрећа

При свакој саобраћајној несрећи настају разни трагови на коловозу, возилима и на осталим учесницима саобраћајне несреће.

Сви ти трагови на месту саобраћајне несреће морају се прописно обележити и документовати.

Осим обележавања кредом или бојом, трагови се обележавају и лепљивим тракама или фиксирањем.

При обележавању и документовању трагова, као приоритет се узимају трагови који могу нестати услед атмосферских прилика нпр. Сушење мокрих трагова услед јаког сунца.

Код трагова на месту саобраћајне несреће који су подложни атмосферским променама (киша, снег, ветар и сл.), потребно је, осим обележавања, додатно их заштити како би остали непромењени до завршетка увиђаја.

4.1.1. Трагови пнеуматика

Трагови пнеуматика се одређују првенствено кроз материјалну тачку почетка и завршетка трага. Материјална тачка је средина почетка односно завршетак трага. Под трагове пнеуматика сматрамо: трагове вожње, кочења, заношења, клизања, и други неправилни трагови.

а) Трагови вожње

Настају отискивањем или отиснућем профила газећег слоја пнеуматика у подлогу по којој се точкови крећу. Општа карактеристика им је велика подложност променама услед временски услова (кише, снега, врућине и сл.). Међутим у великом броју случајева трагови вожње су слабо видљиви. Трагови вожње су отисци слободно котрљајућег не закоченог или делимично закоченог точка. Не указују једнозначно на интензитет успоравања возила. Ако је подлога мекана остају удубљења (утисак), а ако је подлога тврда остају испупчења (отисак). Под трагове вожње подразумевају се и трагови декомпресираног пнеуматика вожње точка са испуштеним гумама. Код оваквог трага на подлози се оцртавају рубови профила гуме. [19]

б) Трагови кочења

При кочењу возила точкови се више не окрећу слободно, већ зависно о брзини и интензитету пораста притиска у уређају за кочење, добијају све већу задршку док не буду потпуно блокирани. Траг кочења настаје као последица интензивног кочења возила при чему се кинетичка енергија возила путем трења између кочионих плоча, односно пнеуматика и подлоге претвара у топлоту. Разлика врсте и стања коловозног застора при истом интензитету кочења дају различите појавне облике трагова кочења. Траг кочења зависи од врсте и стања подлоге и има тзв. прелазни изглед, од развучених отисака профила газећег слоја пнеуматика до равномерно изражених трагова пнеуматика карактеристичних за блокаду точка. Трагови кочења могу тећи у правцу или у луку те од једног точка могу бити дужи, а од другог краћи. Уколико точак са једне стране возила има, приликом кочења, већи учинак кочења него точак са друге стране возила, трагови кочења ће бити различите дужине или ће бити отиснути у луку.

ц) Трагови заношењима

Трагови заношења су последица нагле промене смера кретања возила, интензивног кочења при скретању возила, различитог успоравања поједини точка при кочењу (исправног или неисправног система за кочење), различитог трења појединих точкова и подлоге (нпр. део коловоза прекривен шљунком, песком, уљем, лишћем) или различите врсте и стања пнеуматика на точковима исте осовине. Трагови заношења могу настати на свим врстама и стањима подлога (асфалт-сув или мокар, банкина, земљана површина и сл.). Трагови заношења могу настати након трага вожње, трага кочења и / или трага блокирања.

Трагови заношења настају при истовременом транслаторном кретању и ротацији возила око осе кроз коју пролази тежиште. Последица су истовременог деловања кинетичке енергије и центрифугалне силе. Карактеристичан је распоред трага точкова с обзиром на уздужну и попречну прерасподелу тежине. Карактеристичан је јачи отисак спољног руба трага. На меканој подлози видљиво је повишење ивице спољне ивице трага.

д) Трагови клизања

Трагови клизања настају услед смањеног пријањања између пнеуматика и подлоге. Појавни облик ове врсте трагова сличан је трагу блокирања.

4.1.2. Трагови делова возила

Код налета, судара и слетања возила с коловоза на месту несреће, осим траг точкова, остају трагови стругања делова возила, Честице боје возила, крхотине стакла, крхотине пластике, откинути делови возила, трагови превртања, трагови течности, земља, блата, пртљага. Код трагова стругања делова возила, битно је по могућности утврдити који део возила је оставио тај траг и тачно одредити почетак тог трага. Иста процедура важи и код превртања возила. Честице расуте боје возила на месту несреће, а нарочито локацију првих честица боје, битно је одредити посебно код налета возила на пешака јер те честице могу послужити код откривања места налета. Код крхотина стакла и пластике на месту несреће, битно је утврдити од чега потичу те зону расипања а нарочито почетак расипања. Када су крхотине помешане, битно је утврдити почетак расипања свих врста крхотина што је од посебне важности код утврђивања места налета. Прашина, земља и блато отпало са возила често се може наћи на месту судара возила а и на месту заустављања возила након судара. Распоред осталих трагова возила (отпали делови возила, течност, пртљага и сл.) По месту несреће може послужити за одређивање правца кретања возила након судара.[18]

4.1.3. Трагови особа

Приликом налета возила на пешаке, бициклисте и мотористе на месту несреће остају трагови, тела, крви те отисци тела на меканој подлози. Осим наведених трагова, на месту несреће остају и расути отпали делови одеће и обуће те предмети које су носили или возили пешаци, бициклисти или мотористи. Неки од предмета, особито капа, шешир и сл. могу послужити у одређивању места налета на пешака, уколико нису померани након несреће. Код испадања путника из возила током судара или превртања, место и положај након испадања из возила, могу послужити за утврђивање распореда седења путника у возилу у тренутку несреће тј. може послужити за утврђивање особе која је била за управљачем.

4.1.4. Трагови на возилу и у њему

Код налета возила на пешака, бицикл или мотоцикл на возилу остају трагови крви, ткива, струготине и оштећења, док код судара и налета на препреку остају оштећења и струготине са спољне стране возила, а у унутрашњости возила остају посредна оштећења и деформације. Од путника, у возилу остају оштећења, трагови ткива, крви, косе и друго. Битно је да се сви трагови, приликом увиђај детаљно фотографишу и опишу како би се током вештачења могле утврдити међусобне подударности оштећења код судара возила или налета на препреку те међусобна подударност између оштећења возила и повреда пешака, бициклиста, моториста или путника у возилу. Ако се у возилу налазе погинули путници, битно је утврдити и документовати положаје у којима су затечени након несреће. Потребно је такође обратити пажњу на стање сигурносног појаса и ваздушних јастука у возилу након саобраћајне несреће. Утврђивање стања ваздушних јастука (активирани-неактивирани) дозвољава се касније точније утврђивање угла судара и губитка брзине возила у судару (ваздушни јастук се неће активирати ако је налет на препреку под већим углом од ± 300 степени у односу на уздутну осу возила или ваздушни јастуци се неће активирати ако је брзина налета на чврст препреку мања од 25 km/h, односно збир супротносмерних брзина возила мањи од 50 km/h).

Према затегнутости појаса се једноставно, у току увиђаја утврђује дали је особа у возилу била везана или не. Код двостепених управљачких јединица може се активирати само сигурносни појас без активирања ваздушних јастука. Код возила опремљених сензором испод седишта неће се активирати ни ваздушни јастук ни сигурносни појас ако у сувозачком седишту нико не седи (неће се активирати ни ако је искључен).

5.Реконструкција судара путничких возила

Задатак реконструкције је да обухвати све чињенице које се односе на саобраћајну незгоду и да се при том добије комплетан временски и просторни ток незгоде. У великом броју случајева то није могуће урадити, већ се посматрају само парцијални аспекти.

У општем случају разликујемо три фазе незгоде:

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

Реконструкција судара два возила се углавном заснива на фазу контакта. Методе реконструкције судара које се 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, потребно је проценити еласто-пригушне карактеристике возила које су блиске реалним. У ту сврху се проналазе различити облици израчунавања коефицијента крутости, који би адекватно репрезентовали крутост возила и то зависно од типа незгоде, тј. места контакта возила. Међутим, техника израчунавања деформационе енергије преко коефицијента крутости не може да се генерализује, већ се емпириски утврђује за одређену класу возила. Притом један од проблема који доводи до додатне грешке у примени ових метода је и губитак енергије у контакту пнеуматика и тла. Доношењем прописа (FMVSS, CEE) знатно се повећава значај експеримента и захтева се проба на удар. Америчка истраживачка институција је објавила истраживања и објавила резултате за близу 1000 удара путничких возила у баријеру. Ова истраживања су послужила за систематизацију коефицијента крутости чеоно структуре по типовима и класама возила. Такође прорачуни чврстоће на бази структурне анализе, тј. развој нумеричке механике континуума, су омогућили израчунавање крутости голе шкољке, али не и целог возила због његове сложености. За безбедност су од посебног значаја модели човека у интеракцији са возилом. У последњих 20 година биомеханички модели доживљавају експанзију. Модели налазе примену како у анализи, тако и у реконструкцији и моделирању уопште. Овакво комплексно моделирање није једноставно, оно захтева одређене апроксимације у прорачуну и експерименталну подршку за добијање коректних улазних података. Интензивније студије ових проблема су углавном везане за

индустрију, тј. истраживачке институције и владине организације, а знатно мање за појединачна истраживања. [1]

5.1. Хронолошки развој хипотеза о удару

5.1.1. Newton-ova хипотеза

Идеја да се уведе коефицијент судара k , као кинематска мера изтраживања степена пластичног деформисања, преписује се Њутну. При томе овај коефицијент изражава меру пластичног деформисања у правцу промене брзине ($\Delta \vec{v} = \vec{v}' - \vec{v}$), тј. у правцу изгубљене брзине. Њутн је као граничне случајеве дефинисао идеално еластичан ($k=1$) и идеално пластичан ($k=0$) судар.

5.1.2. Marquard-ova хипотеза

Према овој хипотези $\Delta \vec{I}$ има правац изгубљене брзине тежишта тла (возила) и не зависи од облика тела и положаја, тј. места удара у њега. Овом хипотезом се поједносављају реална реална ситуација судара возила, свдећи их практично на материјалне.

5.1.3. Slibar-ova хипотеза

Хипотеза се односи на кос судар. Ова хипотеза претпоставља познавање коефицијента трења клизања (μ) сударених тела по њиховој контактної површини. Њом се тврди да у случају да тангенцијална компонента промене импулса, $\Delta \vec{I}_t$ задовољава услов

$$\Delta I_t \leq \mu \cdot \Delta I_n \quad (5.1)$$

може да се сматра да је тангенцијална компонента изгубљене брзине, $\Delta \vec{v}_t$ једнака нули. У релацији (ΔI_n је нормална компонента промене импулса.

5.1.4. Bohm- Horz-ova хипотеза

И ова хипотеза се односи на коси удар и њоме се тврди да при косом удару тангенцијалну компоненту ударног импулса треба рачунати према релацији

$$\Delta \vec{I}_t \leq \mu \cdot \Delta I_n$$

Аутори ове хипотезе ништа не говоре о томе како треба одредити коефицијент трења клизања при удару, μ . Они за њега наводе врло широк спектар вредности и то $0.6 \leq \mu \leq 1.4$. Зато је ове две последње хипотезе веома тешко применити у конкретним случајевима.

5.2.Осврт на раније радове

Један од најадекватнијих начина за одређивање енергије при судару је да се из великог броја **crash** тестова и удеса снимају оштећења возила. Овакав поступак је дуготрајан и често није изводљив. Други начин је да се упоређи оштећење настало при удесу са оштећењем при тесту. Пошто је профил оштећења у незгоди ретко исти као онај на тесту, тј. до резултата не можемо да дођемо визуелно, неопходно је да се постави модел на бази еквивалентних енергија удара. Емори је поставио хипотезу да је *интензитет чеоног удара директно пропорционалан брзини удара* и да брзина удара може да се прерачуна релацијом:

$$v = b \cdot x \quad (5.2)$$

где је,

b – коефицијент који за амерички концепт путничких возила износи 1.1mph по инчу пластичног деформационог померања, тј. 0.7 km/h по cm ;

x - максимално деформационо померање у правцу долазног импулса.

Године 1972 Кампбел и Масон предложили линеарну зависност између пластичног деформационог померања x_c и брзине удара у непомићну и недеформабилну баријеру у облику:

$$v = b_0 + b_1 \cdot x_c \quad (5.3)$$

Проучавајући податке о сударима Кампбел и Масон су предложили низ вредности за коефицијенте b_0 и b_1 за реконструкцију брзине судара. Ови коефицијенти се односе на баријеру. Такође су сугерисали да тако израчуната брзина представља половину брзине судара два возила сличних величина и типа. То је такозвана ЕБС брзина (Equivalent Barrier Speed) у основи изведена из еквивалентне брзине удара у баријеру.

Нека је:

$$E_k = \frac{1}{2} m \Delta v_b^2 \quad (5.4)$$

изгубљена кинетичка енергија возила масе m при удару у баријеру ($\kappa=0$) док је Δv_b брзина удара у баријеру. С друге стране, изгубљена кинетичка енергија при судару два возила истих маса је :

$$E_k = \frac{1}{2} m (\Delta v_1^2 + \Delta v_2^2) \quad (5.5)$$

Ако претпоставимо да су брзине возила биле приближне онда је $\Delta v_1 = \Delta v_2 = \Delta v$ па из једнакости изгубљених кинетичких енергија призилази да је :

$$\Delta v = \frac{1}{2} \Delta v_b \quad (5.6)$$

Кампбел је модификовао закључак изражен једначином (5.3) у том смислу што је уместо зависности за брзину дао зависност промене силе по јединици ширине возилау облику:

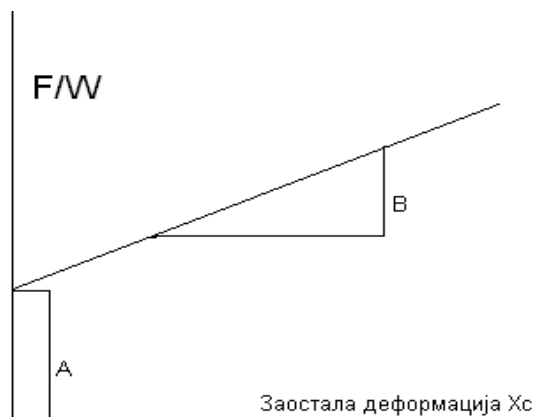
$$\frac{F}{W} = A + B x_c \quad (5.7)$$

где су:

F - сила удара

W – ширина удара (по оси у)

Претпостављено је да је контактна површ вертикална и да је сила равномерно распоређена по тој површи. На слици 8 је дат дијаграм промене силе по јединици ширине деформисане површине у зависности од заостале деформације.



Слика 8. Линеарни модел одзива структуре при удару

Кампбел је даље претпоставио да енергија удара може да се израчуна као двоструки интеграл у равни (x,y) што је изражено једначином:

$$E_u = \int_0^W \int_0^{x_c} (A + B x) dx dy \quad (5.8)$$

Затим је показао поређењем са резултатима теста да интеграција по ширини даје ваљане резултате ако се узме да је профил деформисане површине променљив по ширини. Резултати ових истраживања спроведеним у периоду од 1971-1974 за одређене класе америчких аутомобила нису употребљиви за европска возила која су знатно мање масе и димензија. У познати амерички софтвер за реконструкцију брзине судара **CRASH** је имплементирана формула:

$$E_u = \int_0^W \left(A x_c + \frac{1}{2} B x_c^2 + C \right) dy \quad (5.9)$$

за израчунавање енергије деформације, где су А, В, С емпиријски коефицијенти који зависе од масе возила и типа удара. Корелација између коефицијената А, В, С се добија изједначавањем кинетичке и деформационе енергије према следећем:

$$\frac{1}{2} m(b_0 + b_1 \cdot x_c)^2 = \left(A x_c + \frac{1}{2} B x_c^2 + C \right) W$$

Упоређивањем коефицијената уз x_c добија се:

$$A = \frac{mb_0b_1}{W} \quad B = \frac{mb_1^2}{W} \quad C = \frac{1}{2} \frac{mb_0^2}{W} \quad (5.10)$$

Из релације (5.10) се види да су коефицијенти А, В, С међусобно зависни, тј. да важи релација:

$$A^2 = 2BC \quad (5.11)$$

Ова зависност је последица постављене зависности (5.3) између брзине v и пластичне деформације x_c .

Подразумева се да коефицијенти А и В могу да се користе за возила приближно истих маса, типа и концепције чеоне структуре.

Ако се ради о удару о покретну баријеру или судару два возила не би никако могла да се претпостави линеарна зависност између v и x_c .

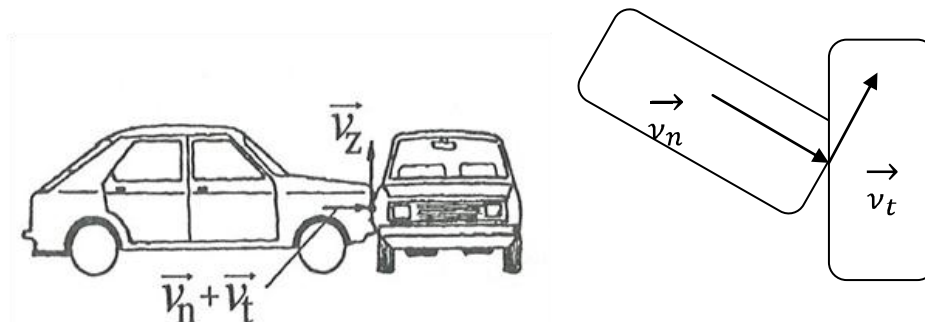
Још једно ограничење за коришћење ових коефицијената, тј. и самог овог приступа јесте да је угао између осе возила и нормале на баријеру $\alpha=0$. Ако то није случај онда важи релација:

$$E_u^* = E_u (1 + \tan^2 \alpha) \quad (5.12)$$

где је E_u изражено релацијом (5.9)

У великом броју досадашњих случајева сматрало се да је сила нормална на површ удара што у пракси често није случај. За чеони и задњи удар је то у већини случајева тачно, док за бочни није скоро никада. При бочном удару постоји компонента релативне брзине која припада тангенцијалној равни пост сударених површина (Слика 9).

$$\vec{v} = \vec{v}_n + \vec{v}_t + \vec{v}_z \quad \vec{v}_z \approx 0$$



Слика 9. Компоненте брзине при бочном судару[1]

Код оваквих случајева када постоји и тангенцијална сила при удару, сусрећемо се са појмом **угао трења** и **коэффициент трења**, аналогно ономе што срећемо у механици крутих недеформабилних тела. Међутим, овде је угао трења функција времене и као и све д у механици удара тешко га је сасвим идентификовати. По дефиницији коэффициент трења је :

$$\mu = \tan \Phi = \frac{\int F_t dt}{\int F_n dt} \quad (5.13)$$

У пракси се котишти такозвани просечни коэффициент трења при удару који за интервал $\Delta t = t_1 - t_2$ износи :

$$\mu = \tan \alpha = (\tan \Phi)_{\text{средње}} = \frac{\int_{t_1}^{t_2} \tan \Phi(t) dt}{\Delta t} = \text{const} \quad (5.14)$$

Ако прихватимо овај просечни коэффициент трења који представља константну вредност и ако са A_n означимо рад ударних сила које су нормалне на додирну колизиону површ онда је укупни рад извршен у току удара дат релацијом:

$$A = (1 + \tan^2 \alpha) A_n \quad (5.15)$$

Због вредности тангенса произилази да овај рад може да буде бесконачно велики. Ипак у пракси се угао α означава на 45° .

Наведени модел за одређивање деформационе енергије E_u представља стандардни модел који се користи и у америчким студијама NCSS (National Crash Severity Study) и NASS (National Accident Severity Study). На основу овако израчунате енергије деформације реконструише се брзина возила.

Један од основних тешкоћа приликом рачунања унутрашње тј.деформационе енергије је у томе што немамо комплетан временски запис деформацијетј.динамику промене деформације која је иначе врло комплексна.

5.2.1.Систематизација коефицијента крутости

Прву систематизацију коефицијента крутости дао је Мц.Хенри 1976 године.Коефицијенти су подељени према класи возила (било је систематизовано 8 класа,од чега 5 за путничка возила и 3 за остала возила) и према типу удара (чеони,задњи,бочни).Коефицијенти крутости су били релативно груба апроксимација стварног стања јер је био мали ачунању коброј експеримената.Године 1977 Хенри даје нове побољшане коефицијенте за које има подршку од 22 crash теста, од чега 8 у баријеру и 14 за чеони судар два возила.Када се ради о судару два возила проблем је друго возило,тј.енергија коју оно апсорбује и самим тим његови коефицијенти крутости који би у анализи морали да буду улазни податак.Корените промене у рачунању коефицијента крутости су настале 1982 године.Тада се узорак истраживања састојао од 138 тестова од чега: 103 теста удара у баријеру,15 судара два возила и 20 осталих удара.Тестови су разврстани према категорији возила.Овога пута критеријум је био осовинско растојање а не маса возила.Верификација ових коефицијената је вршена провером брзине јер се знало да су сва возила при удару у баријеру имала брзину 50 km/h. [1]

Са резултатима ових тестова удара у баријеру дошло је до измена дотадашњих резултата који нису имали такву експерименталну потршку.Нумеричке вредности нових резултата за коефицијенте А и В су знатно веће од старих нарочито у нижим категоријама возила,што се види из табеле 4.Ова табела даје и коефицијент С који се израчунава из релације(5.11).

Табела 4. Преглед коефицијента крутости

Тип удара	Коефицијент крутости	Кратко возило		Дугачко возило	
		1977	1982	1977	1982
чеони	A	85.4	302	307.5	325
	B	64	47	36.9	37
	C	57	967	1281.1	1429
бочни	A	77.2	77	176.5	177
	B	36.7	37	47.1	47
	C	81.3	81	330.8	331
задњи	A	66	366	93.3	297
	B	13.2	38	18.7	70
	C	165	1755	233.2	628

5.3. Реконструкција одређивањем еквивалентне деформационе енергије

На бази експерименталних података за коефицијенте крутости у програмску колекцију подата је уврштен низ вредности коефицијента крутости A и B. Претпоставља се да сударено возило има свој еквивалент у колекцији података. Једначина (5.9) је полазна једначина за процедуру одређивања коефицијента крутости. Она се односи на униформни удар-цела чеона страна, континуална, равномерна сила. Замењујући вредност за коефицијент C из (5.11) и (5.9) добија се израз за енергију деформацију у облику:

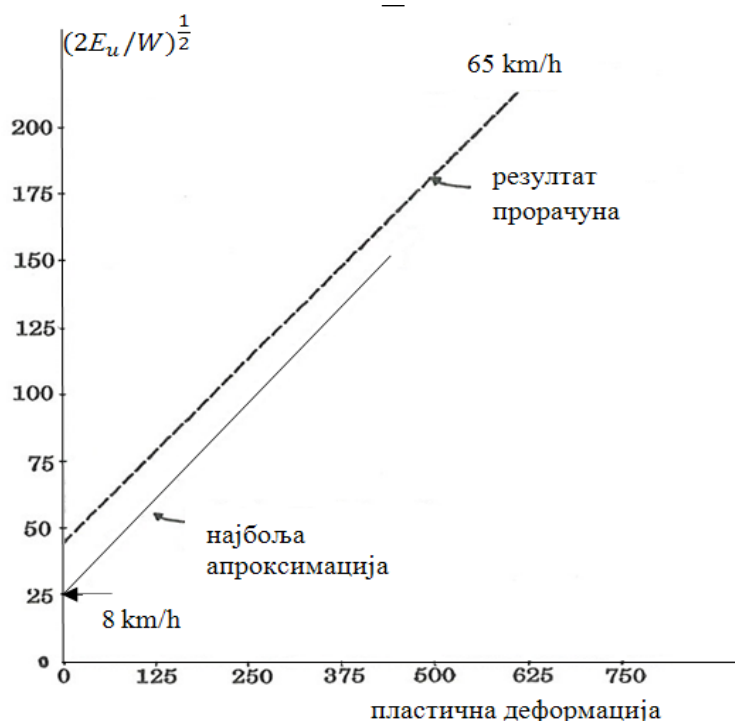
$$E_u = \int_0^W \left(A x_c + \frac{1}{2} B x_c^2 + \frac{A^2}{2B} \right) dy$$

који се једноставним математичким операцијама своди на облик:

$$e = \left(\frac{2E_u}{W} \right)^{1/2} = \sqrt{B} \cdot x_c + \frac{A}{\sqrt{B}} \quad (5.16)$$

На основу једначине (5.16) може да се нацрта права (испрекидана линија на слици 10) која у функцији пластичне деформације x_c даје деформациону енергију. Затим се у исти дијаграм уцртају појединачни резултати теста и уцртава се права (пуна линија) која их најбоље репрезентује.

Неједнакост маса возила из програмске колекције и возила које је објекат реконструкције се лако коригује знајући да је енергија пропорционална маси:

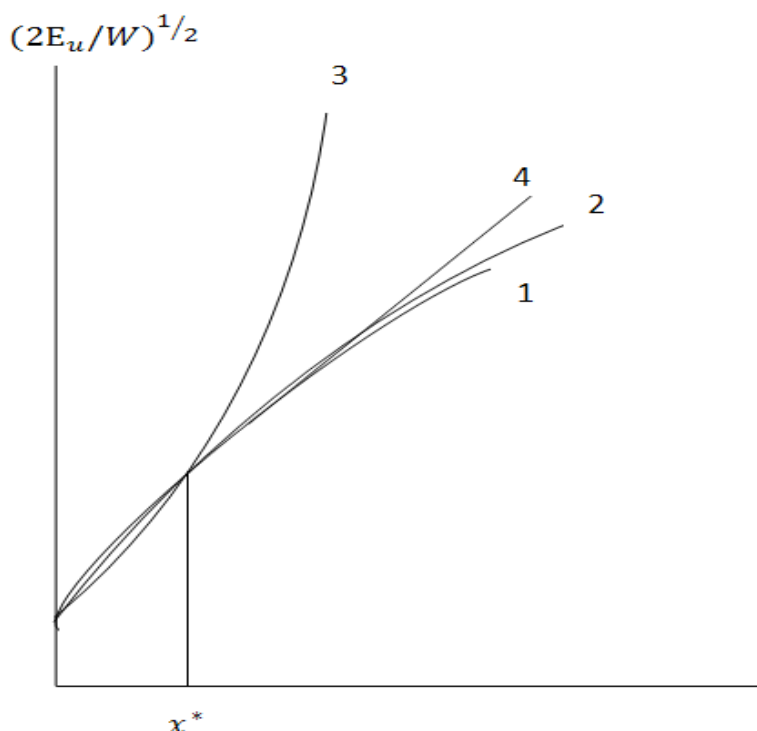


Слика 10. Пример одређивања енергије деформације за путничко возило[1]

У случајевима судара где долази до уништења структуре возила наилази се на проблем примене ове методологије. Приликом груписања резултата тестова око одређеног енергетског нивоа долази до већих грешака у процени коефицијента крутости. Зато је за процену коефицијента потребно бар 2 теста са различитим брзинама удара (најчешће је то 8 km/h и 50 km/h) да би се добиле две удаљеније тачке кроз које ће да пролази права. Вредност брзине 8 km/h представља граничну вредност при којој не сме да дође до видљивих деформација на возилу.

Показало се испитивањима да је вредност деформационе енергије при брзини 8 km/h у свим провереним случајевима готово идентична за експеримент и програмско рачунања. То значи да је при правилном избору типа возила из колекције података довољно имати експерименталну вредност за удар брзином нпр. 50 km/h да би се повукла права линија.

Зависно од конструкције чеоног дела возила, структура шкољке се понаша као континуум који има карактеристику омекшавања или очвршћавања. На пример ако би се експериментална и референтна тј. програмска права пресекле, то би у прорачунском моделирању значило да после одређене деформације (дефинисане тачком пресека правих) структура очвршћава (модел 3, Слика 11)



Слика 11. Могући случајеви моделирања ударне силе: 1-модел константне силе; 2-модел течња; 3-билинеарни модел; 4- линеарни модел

Аналитички опис модела промене деформационе енергије који одговара дијаграмима на слици 11 је следећи:

1. Модел-модел засићене структуре $F/W = \text{const}$

Овде постоји тзв. сила сатурације на самом почетку процеса. Енергија удара може да се представи једначином:

$$E_u = \int_0^{\omega_c} \int_0^{x_c} d_x d_{\omega} \quad (5.17)$$

2. Модел-модел течења структуре

Деформациона сила појединици чеоне ширине возила је:

$$\frac{F}{W} = \begin{cases} A + B \cdot x & \text{за } x \leq x_c \\ \text{const} & \text{за } x \geq x_c \end{cases} \quad (5.18)$$

Најчешће вредности за x_c су 40-60cm при брзини 50 km/h. Овај тип модела треба применити онда када је нагиб праве повучене кроз експерименталне тачке мали, тако да се

лажно добија да је при великој брзини пластична деформација x_c непозната што је у пракси могуће.

3. Модел- билинеарни модел-модел очвршћавања

$$\frac{F}{w} = \begin{cases} A + B_1 \cdot x & \text{за } x \leq x_c \\ A_c + B_2 \cdot x & \text{за } x \geq x_c \end{cases} \quad (5.19)$$

Структура може бити таква (нарочито код краћих и компактних возила) да сваки пораст енергије преко одређене вредности изазива непознате деформације. За израчунавање енергије деформације примењује се два пута једначина (5.8) са различитим коефицијентима.

4. Модел-линеарни модел

За овај модел важи једначина праве аналогно моделима 2 и 3.

Приликом анализирања понашања појединачних возила према изложеној методологији, може да се закључи да оне у извесним случајевима показују и значајне грешке. Узрок великом растурању резултата је најпре често само приближна подударност конкретног возила-учесника у незгоди, са возилом чији се подаци налазе у колекцији података. Затим у свим изразима за силу и енергију фигурише пластична (заостала) деформација, мада је теосијски исправно узимати динамичку деформацију.

Још увек су актуелни следећи проблеми из ове области:

- модел расподеле ударне силе при делимичном чеоном удару (са мање од 100% прекривања чеоне површине);
- неравномерна расподела ударне силе у вертикалној равни при бочном удару;
- ефекти динамичких деформација;
- расподела ударне силе при удару у стуб, дрво и сл.;

5.4. Реконструкција применом једначина равнотеже

За све методе реконструкције је карактеристично да се прорачун врши на основу израза из којих су елиминисани неки утицајни фактори, тако да и добијени резултати у већој или мањој мери зависно од обима упрошћења и правилног избора утицајних фактора, оступају од стварних вредности.

Са друге стране нумеричке вредности неких од параметара у математичким изразима као што су коефицијент трења између пнеуматика и подлоге, попречни и подужни нагиб пута и слично, усвајају се према процени стања на месту незгоде и могу доста да зависе од искуства лица која их процењују.

Узимајући у обзир све ове факторе, очигледно је да се вредности брзина израчунатих на основу различитих метода могу прихватити искључиво као оријентационе, а никако се не смеју као апсолутно тачне. Израчунате брзине треба упоређивати са брзинама израчунатим на други начин, да би се са сигурношћу дали потребни закључци.

5.4.1. Аналитичко-експериментална метода на бази деформационог рада возила

У току саме незгоде постоји континуитет померања оба тела. То је низ тренутних положаја. Сагласно томе мења се и ударна сила, тј. импулс силе. За прорачун ударног импулса треба изабрати онај положај, односно тренутак, када је импулс највећи. То није нити крајњи нити почетни тренутак фазе удара, већ тренутак завршетка фазе компресије.

Јасно је да при реконструкцији морамо да сматрамо да се дудар дешава тренутно и да све кинематске величине у фази удара имају тренутне вредности.

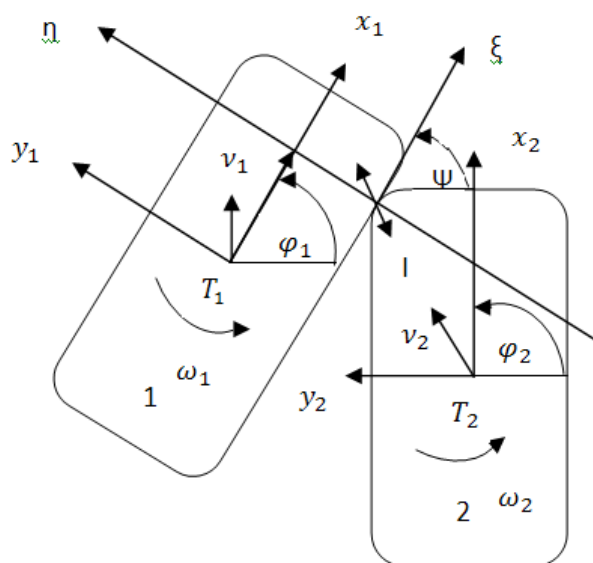
Реконструкцију ћемо приказати на примеру косог ексцентричног судара као најопштијег случаја.

Претпоставимо да знамо положај оба возила у фази контакта (Слика 12). Затежишта возила T_1 и T_2 везујемо системе (x_i, y_i) , $i=1,2$ а за тачку додира K (центар удара) координатни систем (ξ, η) . Осе ξ и η тангента, тј. нормала удара, респективно.

Координате тежишта возила дефинисане су у координатном систему (ξ, η) као :

$$T_1(\xi_1, \eta_1) \quad T_2(\xi_2, \eta_2)$$

док су компоненте промене импулса, ΔI_ξ , ΔI_η



Слика 12. Кос ексцентрични судар возила

Због проблема у налажењу реалне вредности коефицијента трења при судару сматра се да је $\Delta I_\eta = 0$, тј. да нема клизања сударених возила. Сви приступи за реконструкцију сударених возила имају у основи Њутнове законе механике крутих тела и законе о конзервацији енергије. [1]

Основна једначина у реконструкцији судара возила је закон о одржању количине кретања:

$$m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = m_1 \vec{v}_1' + m_2 \vec{v}_2' \quad (5.20)$$

где су:

- m_1, m_2 — масе возила
- v_1, v_2 — брзине у тренутку судара (долазне брзине)
- v_1', v_2' — брзине у тренутку раздвајања (одлазне брзине)

Једначина (5.20) се примењује за прав, центричан судар, али и онда када је промена угаоне брзине мала. Пошто судар није центричан долази и до ротације оба возила. Момент ротације сваког возила око његовог тежишта је изражен једначином:

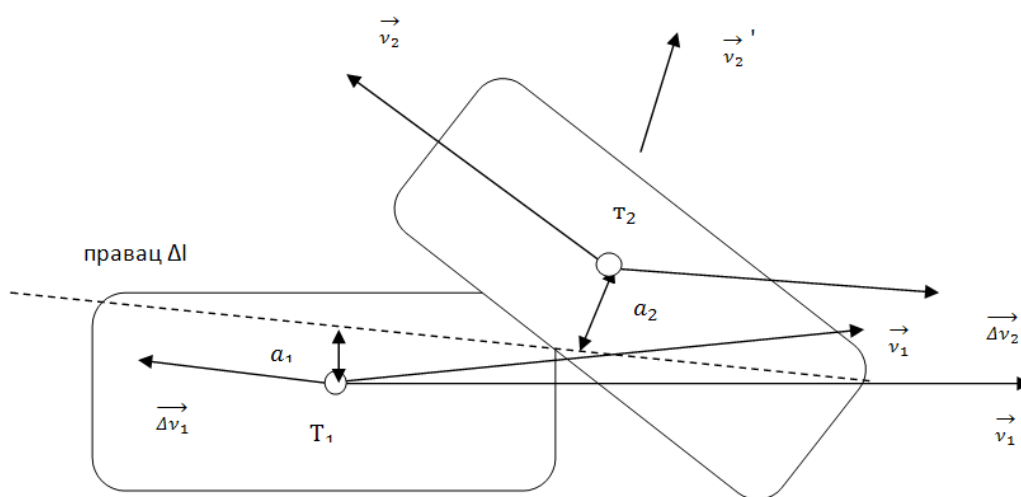
$$M = m \cdot \rho_z^2 \cdot \frac{d^2 \varphi}{dt^2} = m \cdot \rho_z^2 \cdot \frac{d\omega}{dt} \quad (5.21)$$

где су :

ρ_z – полупречник инерције за осу нормалну на раван кретања (x,y)

φ – угаоно померање осе возила

Ако кретање сваког од возила прикажемо у координатном систему везаном за његово тежиште, овај момент је једнак моменту количине кретања који око тежишта ствара ударни импулс, а крак ударног импулса је нормала спуштена из тежишта возила на правац вектора $\Delta v'$, тј. ΔI означено са a_1 и a_2 на слици 13.



Слика 13. Брзине и импулси при судару

Према слици 13 могу да се поставе једначине:

$$m_1 \rho_{z1}^2 (\omega_1' - \omega_1) = a_1 \cdot m_1 \cdot (v_1' - v_1) \quad (5.22)$$

$$m_2 \rho_{z2}^2 (\omega_2' - \omega_2) = a_2 \cdot m_2 \cdot (v_2' - v_2) \quad (5.23)$$

Примењујући закон о одржању енергије, према коме је промена укупне енергије једнака радуспољашњих сила, имамо:

$$m_1 \rho_{z1}^2 (\omega_1'^2 - \omega_1^2) + m_2 \rho_{z2}^2 (\omega_2'^2 - \omega_2^2) + m_1 \cdot (v_1'^2 - v_1^2) + m_2 \cdot (v_2'^2 - v_2^2) = 2A \quad (5.24)$$

где је са A означен рад пластичног деформисања оба тела.

У овом прорачуну се не узима у обзир временска промена импулса који стварно постоји. У једначинама (5.20), (5.22), (5.23) и (5.24) фигурише 9 непознатих (4 транслаторне, 4 угаоне брзине и рад). То значи да 5 непознатих треба одредити из неких додатних услова. Међутим ако се претпостави да је судар за оба возила центричан, тј. да ударни импулс пролази кроз тежиште, једначине (5.22) и (5.23) постају тривијалне а остаје систем (5.20) и (5.24) са 5 непознатих (v_1' , v_1 , v_2' , v_2 , A). Пошто је циљ израчунавање изгубљених брзина $\Delta v_1 = v_1' - v_1$ и $\Delta v_2 = v_2' - v_2$ задатак је сведен на три непознате при чему остаје проблем процене деформационог рада $A = A_1 + A_2$.

Ударну силу у центру судара возила можемо да представимо аналогно еластичној сили у опрузи линеарним моделом:

$$F = c \cdot x \quad (5.25)$$

где су :

c – крутост возила,
 x – деформационо померање.

Оваквим моделирањем силе би се при нумеричком решавању једначина кретања добило непригушено кретање што није адекватно стварном понашању возила. Међутим пошто карактеристику ударне силе, тј. њену промену у функцији времена или у функцији деформационог померања возила, може реално да се добије само експериментом, чиме се при реконструкцији не располаже, сматра се да се сила понаса сагласно релацији (5.25).

Према Њутновом закону о центру судара следи:

$$c_1 \cdot x_1 = -c_2 \cdot x_2 \quad (5.26)$$

а укупно деформационо померање система сударених возила је:

$$x_{max} = x_1 \cdot x_2 \quad (5.27)$$

Рад утрошен на деформацију оба возила може да се напише као збир појединачних радова, тј.:

$$A = A_1 + A_2 = \frac{1}{2} (c_1 x_1^2 + c_2 x_2^2) \quad (5.28)$$

Са друге стране, промена кинетичке енергије система при чему је претпостављено да је $k^2 \approx 0$ износи:

$$E_k = E_{k_1} + E_{k_2} = \frac{1}{2} (m_1 \Delta v_1^2 + m_2 \Delta v_2^2) \quad (5.29)$$

Узимајући да је промена кинетичке енергије једнака деформационом раду следи да је:

$$c_1 x_1^2 + c_2 x_2^2 = m_1 \Delta v_1^2 + m_2 \Delta v_2^2 \quad (5.30)$$

Еквивалентна крутост система сударених возила може да се нађе аналогно еквивалентној крутости редно везаних еластичних елемената, па је деформацион и рад за оба возила једнак:

$$A = \frac{1}{2} c_e \cdot x_{max}^2 = \frac{c_1 \cdot c_2}{c_1 + c_2} x_{max}^2 \quad (5.31)$$

Аналогно томе промена кинетичке енергије система може да се напише у облику:

$$E_k = m_e \Delta v^2 = \frac{m_1 \cdot m_2}{m_1 + m_2} (\Delta v_1 - \Delta v_2)^2 \quad (5.32)$$

За прав центричан судар (уз претпоставку да је коефицијент реституције 0)

$v_1' = v_2'' = v_c$, па је укупна промена брзине $\Delta v = v_1' - v_2'$ тј.:

$$\frac{c_1 \cdot c_2}{c_1 + c_2} x_{max}^2 = \frac{m_1 \cdot m_2}{m_1 + m_2} (v_1' - v_2')^2 \quad (5.33)$$

Релација (5.24) сада постаје:

$$m_1 (v_1' - v_c)^2 + m_2 (v_2' - v_c)^2 = 2(A_1 + A_2) \quad (5.34)$$

а релација (5.20) сада гласи :

$$m_1 \cdot v_1' + m_2 \cdot v_2' = (m_1 + m_2) \cdot v_c \quad (5.35)$$

Из последње три једначине једноставним математичким трансформацијама може да се добије да су промене брзине првог и другог возила изражене релацијама:

$$\Delta v_1^2 = \frac{2(A_1 + A_2)}{m_1 \left(1 + \frac{m_1}{m_2}\right)} \quad \Delta v_2^2 = \frac{2(A_1 + A_2)}{m_2 \left(1 + \frac{m_2}{m_1}\right)} \quad (5.36)$$

Укупна промена брзина Δv укључује и ефекат нецентричног удара, када импулс ударних сила производи промену не само транслаторне већ и угаоне брзине. Ако је ударна сила:

$$F = m \frac{dv}{dt} \quad (5.37)$$

а њен крак у односу на тежиште a једначина (5.21) постаје:

$$F \cdot a = m \rho_z^2 \frac{d\omega}{dt} \quad (5.38)$$

Замењујући израз за силу из (5.37) и (5.38) добија се:

$$\frac{dv}{dt} = \rho_z^2 \frac{d\omega}{dt}$$

тј. у коначном облику:

$$\Delta v \cdot a = \rho_z^2 \Delta \omega \quad (5.39)$$

Из (5.39) следи да је:

$$\Delta \omega_1 = \frac{a_1 \cdot \Delta v_1}{\rho_{z1}^2} \quad \Delta \omega_2 = \frac{a_2 \cdot \Delta v_2}{\rho_{z2}^2} \quad (5.40)$$

Замењујући изразе (5.40) и (5.24) следи да је :

$$m_1 \cdot \Delta v_1^2 \cdot \frac{\rho_{z1}^2 + a_1^2}{\rho_{z1}^2} + m_2 \cdot \Delta v_2^2 \cdot \frac{\rho_{z2}^2 + a_2^2}{\rho_{z2}^2} = 2A \quad (5.41)$$

Ако напишемо да је :

$$m_1 \cdot \frac{\rho_{z1}^2 + a_1^2}{\rho_{z1}^2} = m_1' \quad m_2 \cdot \frac{\rho_{z2}^2 + a_2^2}{\rho_{z2}^2} = m_2' \quad (5.42)$$

релација (5.41) постаје:

$$m_1' \cdot \Delta v_1^2 + m_2 \cdot \Delta v_2^2 = 2A \quad (5.43)$$

Користећи аналогију једначина (5.33) и (5.43) изрази за прираштаје брзина сада гласе:

$$\Delta v_1^2 = \frac{2(A_1 + A_2)}{m_1' \left(1 + \frac{m_1}{m_2}\right)} \quad \Delta v_2^2 = \frac{2(A_1 + A_2)}{m_2' \left(1 + \frac{m_2}{m_1}\right)} \quad (5.44)$$

Као што се види ,помоћу ове методе могу да се одреде промене брзине на бази познатог деформационог рада возила. Закључује се да је ова метода која користи законе конзервације енергије сложенија од методе која користи само анотежу сила.

5.4.2. Графоаналитичке методе равнотеже импулса, момент импулса и енергије

У *post-crash* фази удара возило се креће под дејством сила које постоје у зони додира пнеуматика и тла и под дејством инерцијалних сила возила. Том приликом се

формира тзв. **post-crash трајекторија**, за чије идентификовање је потребно познавати спољашње силе (силе пријањања, погонске и кочне силе, силе клизања, инерцијалне силе).

За ове методе реконструкције је потребно познавати одлазне брзине. Претпоставимо да је положај неког возила на почетку 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 :

$$A = \varphi \cdot m \cdot g \cdot s + \frac{1}{2} \varphi \cdot m \cdot g \cdot l \cdot \alpha = A_t + A_r \quad (5.45)$$

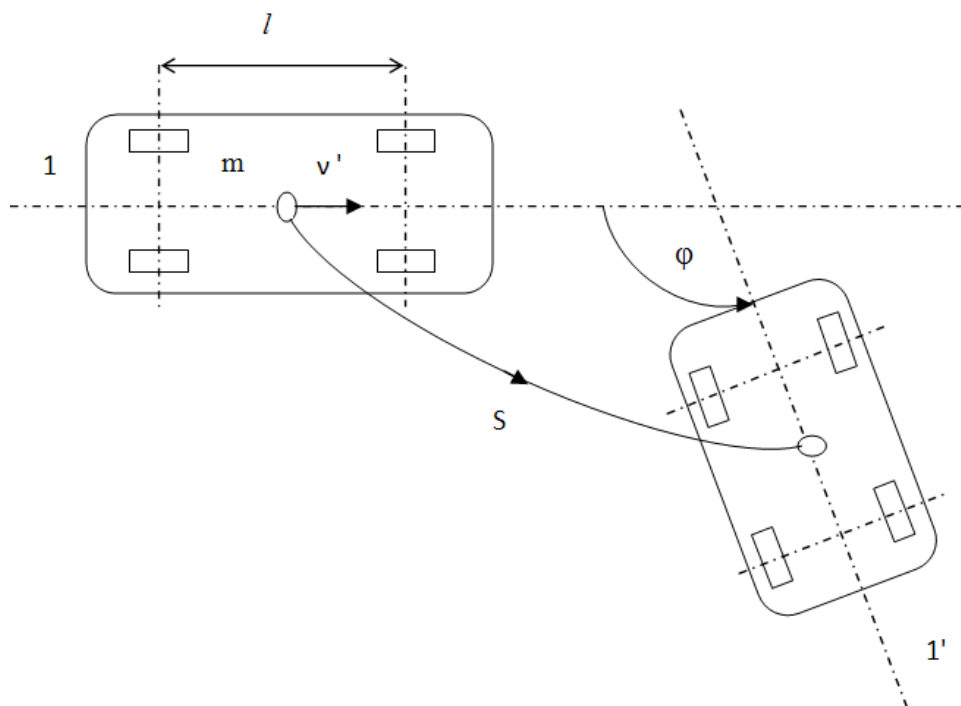
где су:

φ - коефицијент пријањања

α - угао заокретања осе возила

A_t — рад извршен транслаторним кретањем возила

A_r — рад извршен ротационим кретањем возила.



Слика 14. Положај возила post-crash у фази

Ако на основу претпоставке Бург-Линдермана изједначимо рад транслаторног кретања A_t са променом кинетичке од транслаторне компоненте брзине, а рад ротационог кретања A_r са променом кинетичке енергије ротације, онда је :

$$\varphi \cdot m \cdot g \cdot s = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v'^2 \quad (5.46)$$

$$\frac{1}{2} \varphi \cdot m \cdot g \cdot l \cdot \alpha = \frac{1}{2} \cdot J_z \cdot \omega'^2 \quad (J_z = m \cdot \rho_z^2) \quad (5.47)$$

Одлазне брзине транслације и ротације су :

$$v' = \sqrt{2g\varphi s}; \quad \omega' = \frac{1}{\rho_z} \sqrt{g\varphi l\alpha} \quad (5.48)$$

Резултат рачунања према (5.48) је почетни податак у реконструкцији.

1) Метода импулсног дијаграма

Редуковањем транслаторне брзине возила на тежиште формира се импулсни дијаграм. У том случају се занемарује релативна брзина између тежишта возила и центра удара за оба возила. Затим се даље претпоставља да су импулси у тежишту и центру удара једнаки.

Једначине равнотеже које ће се графички интерпретирати гласе:

$$m_1 \overrightarrow{v_1'} - m_1 \overrightarrow{v_1} = \overrightarrow{\Delta I} \quad \overrightarrow{\Delta I_1'} - \overrightarrow{\Delta I_1} = \overrightarrow{\Delta I} \quad (5.49)$$

$$m_2 \overrightarrow{v_2'} - m_2 \overrightarrow{v_2} = \overrightarrow{\Delta I} \quad \overrightarrow{\Delta I_2'} - \overrightarrow{\Delta I_2} = \overrightarrow{\Delta I} \quad (5.50)$$

где су:

m_1 и m_2 — масе возила 1 и 2;

v_1 и v_2 — вектори брзина возила 1 и 2 пре судара;

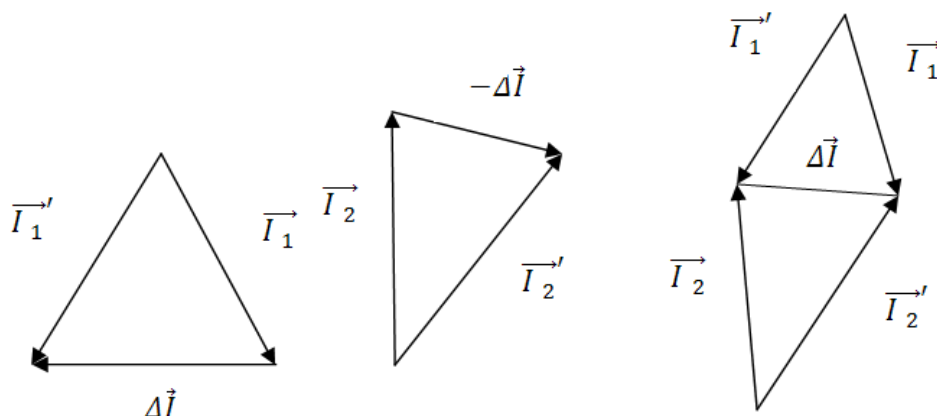
v_1' и v_2' — вектори брзина возила 1 и 2 после судара;

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;

Једначине (5.49) и (5.50) су графички приказане на слици 15.



Слика 15. Импулсни дијаграм

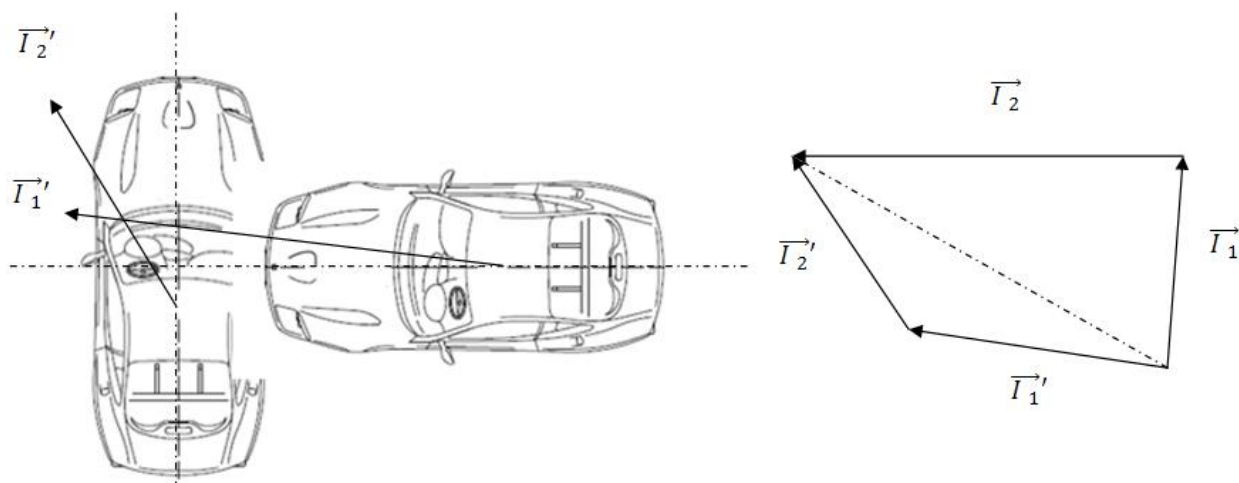
Да би се конструисао импулсни дијаграм треба да буду познати правци кретања возила 1 и 2, тј. правци долазних брзина као и одлазне брзине возила. Интензитет одлазних брзина се рачуна преко релације (5.48) тј. :

$$v'_1 = \sqrt{2g\varphi s_1} \quad v'_2 = \sqrt{2g\varphi s_2} \quad (5.51)$$

Сабирањем једначина (5.49) и (5.50) добија се векторска једначина:

$$\vec{I}'_1 + \vec{I}'_2 = \vec{I}_1 + \vec{I}_2 \quad (5.52)$$

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

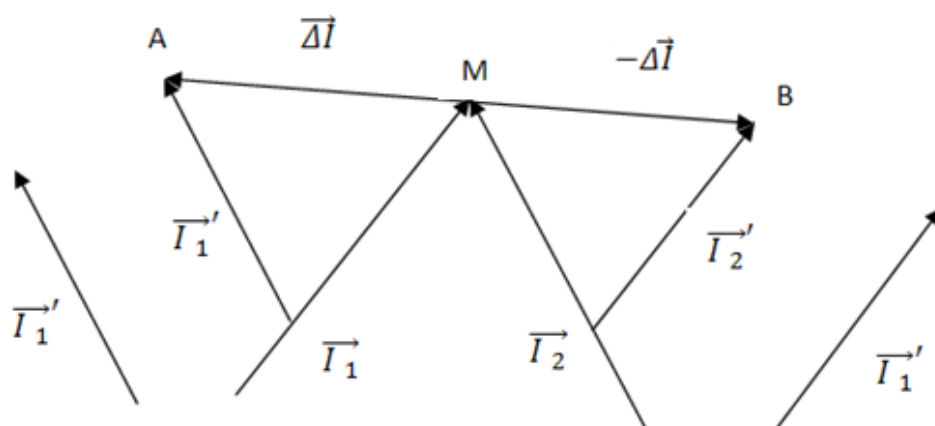


Слика 16. Налажење долазних импулса

Проблем налажења брзина v_1 и v_2 се своди на налажење импулса I_1 и I_2 тј. на разлагање њиховог познатог збира на две компоненте чији су правци познати, (Слика 16).

2) Метода симетрије импулса

Код ове методе такође треба израчунати одлазне брзине на основу положаја возила 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, што је приказано на слици 17.



Слика 17. Метода симетрије импулса

За величине помоћу којих рачунамо одлазне брзине према релацији (5.48) је тешко дати прецизан податак. Зато се оне усвајају у неким границама. Последица тога је да имамо минималне и максималне вредности долазних брзина и одговарајућих импулса што имплицира и решење за долазне брзине у неком толеранциском пољу. [1]

3) Метода симетрије момента импулса

Равнотежа момента импулса за свако од возила може да се напише у облику:

$$J_{z1} \cdot (\omega'_1 - \omega_1) = \Delta I \cdot a_1 \quad (5.53)$$

$$J_{z2} \cdot (\omega'_2 - \omega_2) = \Delta I \cdot a_2 \quad (5.54)$$

Уобичајена је претпоставка да су угаоне брзине пре судара биле једнаке нули.

$$\omega_1 = \omega_2 = 0$$

па се добија:

$$J_{z1} \cdot \omega'_{1} = \Delta I \cdot a_{1} \quad J_{z2} \cdot \omega'_{2} = \Delta I \cdot a_{2} \quad (5.55)$$

где су:

J_{z1} и J_{z2} —моменти инерције возила 1 и 2 за осу управну на раван кретања;

ω'_{1} и ω'_{2} — угаоне брзине возила 1 и 2 након судара;

a_{1} и a_{2} — нормална растојања од тежишта возила 1 и 2 од правца вектора промене импулса ΔI .

Ако се претпостави да се у **post-crash** фази ударарад сила приањања претвара у енергију ротације, добијају се једначине:

$$\frac{1}{2} I_{z1} \cdot \omega'_{1} = \frac{1}{2} G_{1} \varphi_{1} r_{d1} \alpha_{1} \quad (5.56)$$

$$\frac{1}{2} I_{z2} \cdot \omega'_{2} = \frac{1}{2} G_{2} \varphi_{2} r_{d2} \alpha_{2} \quad (5.57)$$

Израчунавањем ω'_{1} и ω'_{2} из једначине (5.53) добија се:

$$\omega'_{1} = \frac{\Delta I \cdot a_{1}}{J_{z1}} = \left[\frac{G_{1} \varphi_{1} r_{d1} \alpha_{1}}{J_{z1}} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (5.58)$$

$$\omega'_{2} = \frac{\Delta I \cdot a_{2}}{J_{z2}} = \left[\frac{G_{2} \varphi_{2} r_{d2} \alpha_{2}}{J_{z2}} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (5.59)$$

где су:

G_{1} и G_{2} —тежине возила 1 и 2;

φ_{1} и φ_{2} —коэффицијенти приањања возила 1 и 2;

r_{d1} и r_{d2} —динамички полупречници точкова возила 1 и 2 уз претпоставку једнаких оптерећења на свим точковима;

α_{1} и α_{2} —углови заокретања возила 1 и 2 после судара.

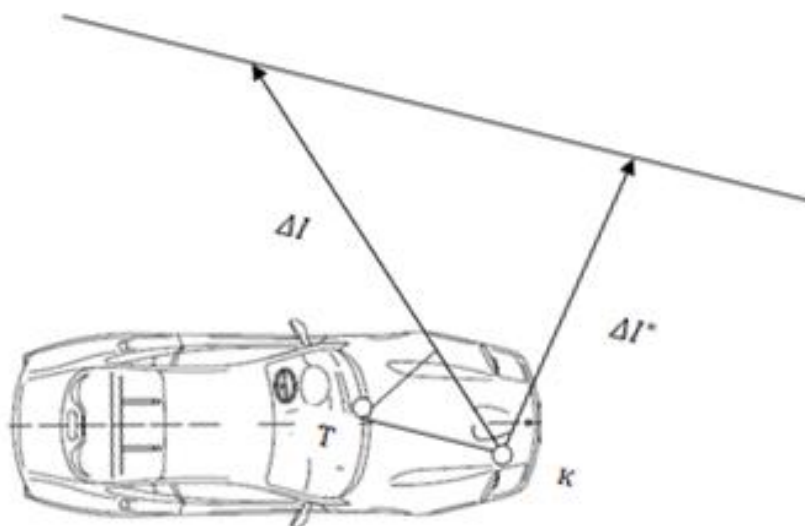
Однос угаоних брзина даље следи да је:

$$\frac{\omega'_{11}}{\omega'_{22}} = \frac{J_{z2} a_{11}}{J_{z1} a_{22}} = \left[\frac{G_{11} \varphi_{11} r_{d1} \alpha_{11} J_{z2}}{G_{22} \varphi_{22} r_{d2} \alpha_{22} J_{z1}} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (5.60)$$

Ако правац разлике импулса ΔI^* нормаланна линију која спаја тежиште возила Т и центар колизије К, његов интензитет може да се једнозначно одреди као:

$$\Delta I^* = \frac{J_z \cdot (\omega' - \omega)}{e} \quad (5.61)$$

На слици 18 је осим овако дефинисаног импулса уцртан и произвољан импулс ΔI чији врх лежи на правој паралелној правцу ТК, тежиште-центар судара.



Слика 18. Еквивалентна и стварна промена импулса и одговарајући крак дејства

За све произвољне импулсе ΔI који задовољавају овај услов важи геометријска релација:

$$\frac{\Delta I}{\Delta I^*} = \frac{e}{a} \quad (5.62)$$

Очигледно је да за момент импулса важи релација:

$$M = e \cdot \Delta I^* = a \cdot \Delta I = J_z \cdot (\omega' - \omega) \quad (5.63)$$

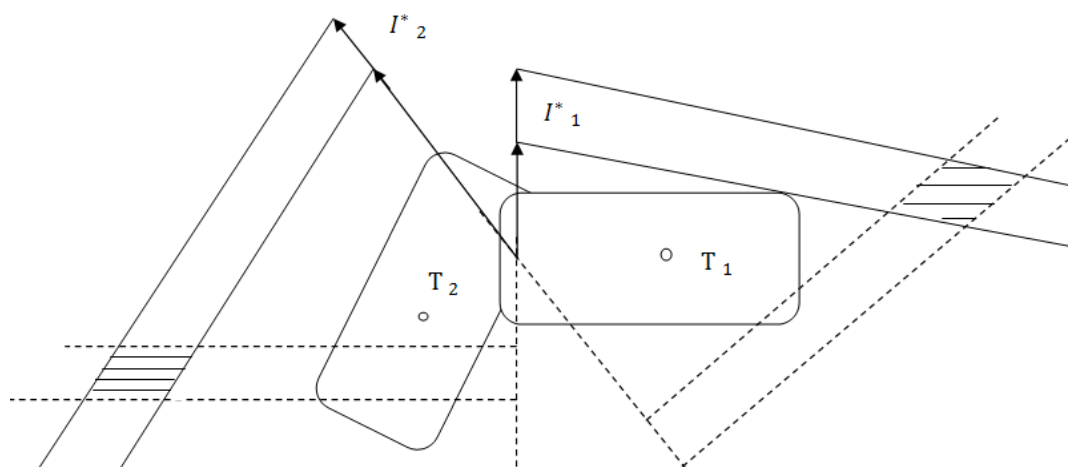
што значи да сваки вектор импулса чији врх лежи на правој која је паралелна правцу ТК и која је од тог правца на растојању ΔI^* задовољава услов равнотеже момента импулса.

Када смо одредили угаоне брзине сударених возила (5.58 и 5.59) лако можемо да одредимо импулс ΔI^* јер је растојање e једноставно измерити. Овај фиктивни импулс је

једино могуће одредити јер растојање a у пракси не можемо унапред да знамо. Треба запазити да је вредност импулса у центру судара иста за оба возила док је $I^*_1 \neq I^*_2$ (Слика 19).

Као и код методе симетрије импулса и овде је од великог значаја тачно одређивање центра судараи положај возила у моменту раздвајања. Импулси I^*_1 и I^*_2 (Слика 19) морају да задовоље услов о равнотежи момента импулса. Како се импулси I^*_1 и I^*_2 крећу у неким границама од минималне до максималне вредности то се добијају поља решења за оба возила сто је приказано шрафуром на слици 19.

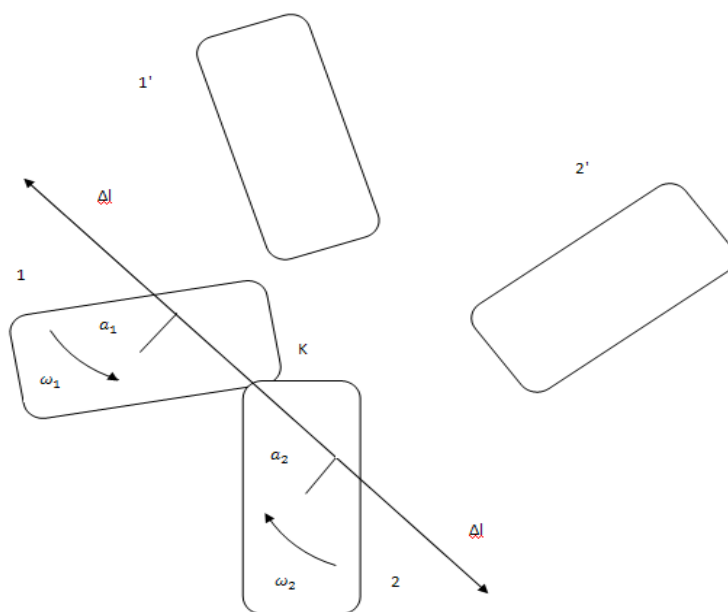
У овим паралелограмима мора да се нађе врх вектора решења.



Слика 19. Поља решења методом симетрије момената импулса

Да би из добијеног поља решења могла да се одреди брзина кретања возила пре судара, мора да буде познат вектор одлазног импулса I , по правцу и интензитету, као и правац долазног импулса I .

Најједноставнија могућност контроле методе импулсног дијаграма јесте проверавање смера окретања возила у току судара, односно да ли се тај смер поклапа са смером који одређује вектор промене импулса, што је приказано на слици 20.



Слика 20. Графичка контрола избора смера окретања

За обе методе се на исти начин формирају поља решења, тј. паралелограми унутар којих може да се налази врх вектора траженог ударног импулса.

С обзиром да улазне величине претпостављамо у одређеним интервалима, то се и за решење добија скуп могућих вредности који је на слици 21 представљен шрафираним ромбоидом. Поступак конструкције ромбоида приказан на слици 21 састоји је из следећих корака:

Прво се нацртају возила у крајњем положају и одреде се центар колизије К. У пракси може да се деси да два лица одреде тачку К за исту незгоду са одређеним одступањем, тј. на два различита места. Следећи корак јесте одређивање међусобног положаја возила у тренутку судара. Њихов положај треба проценити за два гранична случаја тако да се добије максимална и минимална промена импулса.

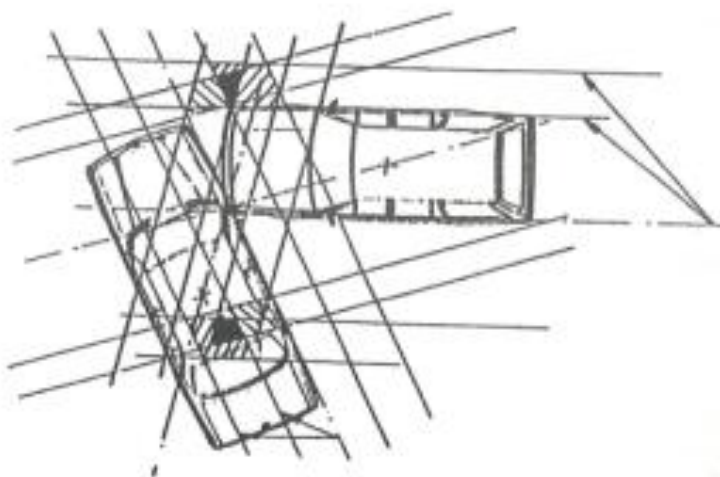
Кроз познату тачку К уцртавају се улазни импулси возила 1 и 2, I_1 и I_2 , односно уцртавају се само њихови правци, јер су интензитети непознате величине. Потом се уцртавају излазни импулси возила 1 и 2 чији су правци и интензитети познати I'_1 и I'_2 . Интензитети ових величина се скоро увек налазе у неком толерантском пољу и крећу се од минималне до максималне вредности. Њихови положаји у односу на правце 1 и 2 који пролазе криз тачку К дефинисани су максималним и минималним угловима β_{max} и β_{min} , а нападне тачке ових вектора се налазе у произвољним тачкама X и Y које се налазе на правцима 1 и 2. Тачке X_1 и X_2 означавају врхове вектора граничних

положаја одлазног импулса возила 1а тачке Y_1 и Y_2 исто то за возило 2. Дакле тачке X_1 и Y_1 дефинишу минималне вредности одлазног импулса возила 1 и 2 а тачке X_2 и Y_2 њихове максималне вредности.

Затим се одређују положаји вектора долазних импулса возила 1 и 2, односно њихове максималне и минималне вредности, довођењем врхова врхова вектора долазних импулса у исту тачку и графичким задовољавањем услова равнотеже. Када је одређена област вектора долазних импулса, одређене су и области долазне брзине у тренутку колизије за оба возила.

4) Метода пресека ромбоида

Ако се нађу поља решења и методом симетрије импулса и методом симетрије момената импулса па се добијена решења поклопе, добија се решење које је употребљиво у пракси. *Пресек скупова решења добијених методом равнотеже импулса и њихових момената представља решења методом пресека ромбоида.* Уколико нема пресека ова два поља то значи да су неке улазне величине лоше претпостављене и да поступак тренба поновити.



Слика 21. Решење методом пресека ромбоида (црна површина)

5) Метода енергетског прстена

Метода енергетског прстена је графичка метода којом се преко деформационог рада A одређује импулс у тачки удара ΔI . Да би се применила ова метода неопходно је познавање следећих величина: [1]

- интензитет и правац једног одлазног импулса;

- правци оба долазна импулса;
- укупан деформациони рад за оба возила.

Веза између промене импулса ΔI и деформационог рада добија се на следећи начин:

$$\Delta I = \frac{m_1 \cdot m_2}{m_1 + m_2} \cdot (1 + k) \cdot (v_1 + v_2) \quad (5.64)$$

Једначина изгубљене кинетичке енергије је дата у облику:

$$\Delta E_k = \frac{1}{2} \frac{m_1 \cdot m_2}{m_1 + m_2} \cdot (1 + k^2) \cdot (v_1 + v_2)^2 \quad (5.65)$$

Претпостављајући као и до сада да се изгубљена кинетичка енергија у целокупном износу претвара у деформациони рад сударених возила биће написано да је $\Delta E_k = A$. Ако у једначини (5.64) дигнемо на квадрат и поделимо са (5.65) добићемо израз за промену импулса у облику:

$$\Delta I = \sqrt{2 \cdot A \cdot m^* \cdot \frac{(1+k)}{(1-k)}} \quad (5.66)$$

где је:

ΔI —промена импулса;

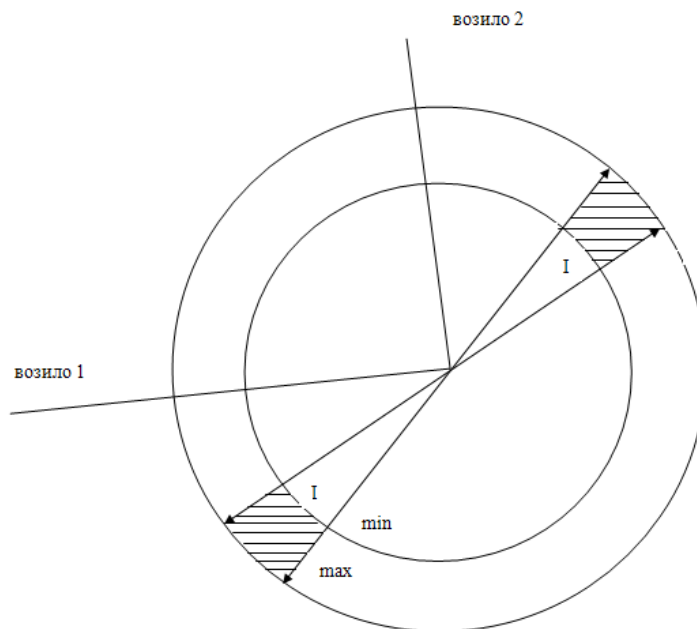
A —деформациони рад над оба возила;

k — коефицијент удара;

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

Овом једначином одређујемо само интензитет импулса ударне силе, а не и његов правац.

Једначина графички може да се представи кругом (Слика 22) чији центар представља центар удара, са полупречником је ΔI .



Слика 22. Енергетски прстен за центричан судар[1]

Пошто се полупречник рачуна у одређеним границама добија се кружни прстен. Како се у пракси јавља ексцентричан судар, треба га рачунати са тзв. **коригованом масом** $\bar{m}$ која се добија на основу следеће формуле:

$$\bar{m}_i = m_i \frac{e^2}{e^2 + a^2}, \quad i = 1, 2 \text{ (за оба возила)}$$

Сада израз за промену импулса гласи:

$$\Delta I = \sqrt{2 \cdot A \cdot \bar{m}^* \cdot \frac{(1+k)}{(1-k)}} \quad (5.67)$$

Када је судар центричан не постоји ротација возила и графичко решење је кружни прстен. Међутим при ексцентричном судару у овој једначини фигурише крак импулса “ a ”, преко масе $\bar{m}$ па се прстен који се јавља при центричном судару деформише у елипсу. Крак “ a ” може да има различите вредности у зависности од правца импулса ударне силе. Међутим у пракси за вредност крака “ a ” узима се једна ограничена област, тако да тај сегмент елипсе може да се апроксимира кривом.

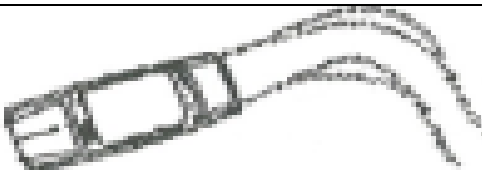
5.5. Кинематске методе реконструкције

5.5.1. Прорачунавање брзине на основу трага кочења

При реконструкцији саобраћајних незгода велики значај има анализа трагова које точкови остављају на путу. Скоро у свим случајевима возач аутомобила у циљу избегавања изненадне појаве опасности на путу, често врши екстремно кочење-блокира точкове који по правилу остављају трагове на површини пута.

Осим трагова кочења, често се могу видети, сагласно могућим кретањима точка остале врсте трагова које имају посебан значај за саобраћајног вештака. (Слика 23).

Трагови кочења су добро уочљиви код коловоза израђених од асфалта или бетона, док су мање приметни на коловозу од коцке или туцаника.

1)		Трагови возње
2)		Трагови клизања
3)		Трагови заношења
4)		Трагови заношења и кочења
5)		Траг блокирања

Слика 23. Врсте трагова при кочењу моторног возила[1]

На савременим коловозима трагови се не уочавају у случају:

- када је коловоз мокар,
- при кочењима чији је интензитет мањи од неке граничне вредности,
- у случајевима када се делимично активира коефицијент пријањања:

Према путањи кретања возила разликујемо два случаја:

- 1) када се возило креће праволинијски и
- 2) када се возило креће по лучној путањи.

1) Праволинијско кретање возила

Процена брзине којом се кретало возило се врши полазећи од претпоставке да ,уколико се возило зауставило на дужини трагова кочења ,кинетичка енергија кретања возила пре активирања кочионог механизма једнака раду потребном за савладавање отпора трења између пнеуматика и коловоза:

$$\frac{1}{2} S_k \cdot v^2 \approx (\varphi \pm 0.01p) \cdot m \cdot g \cdot S_k$$

$$v \approx 3.6 \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot S_k (\varphi \pm 0.01p)} \quad (5.68)$$

где су:

S_k — дужина трага кочења [m]

φ — коефицијент пријањања

p — подужни нагиб пута (+ успон,- пад) [%]

g — убрзање земљине теже (9,81 m/s)

v — брзина [km/h]

Брзина које се овим обрасцем је нешто мања од стварне брзине којом се кретало возило непосредно пре активирања механизма за кочење,тј.одговара брзини коју је возило имало на почетку трагова кочења.За случај да се возило није зауставило,већ наставило да се креће после завршетка трага,брзина кретања возила на завршетку трага може се израчунати према релацији :

$$v^2 - v'^2 = 3.6^2 \cdot 2 \cdot g \cdot S_k (\varphi \pm 0.01p) \quad (5.69)$$

где је:

v —брзина кретања возила на почетку трага [km/h]

v' —брзина кретања возила на завршетку трага [km/h]

За брза израчунавања брзине кретања аутомобила на основу трагова кочења примењују се познати упрошћени обрасци:

$$v = 3.6 \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot \varphi \cdot S_k} \quad (5.70)$$

$$v = 3.6jt \quad (5.71)$$

$$v = 3.6 \cdot 2 \cdot \frac{S_k}{t} \quad (5.72)$$

$$v = 3.6 \cdot \sqrt{2 \cdot j \cdot S_k} \quad (5.73)$$

У стручној литератури дају се дијаграми помоћу којих се ,на основу дужине трага кочења,непосредно читава вредност брзине возила у тренутку активирања система кочења,пут који пређе возило у времену реаговања возача и укупни пут кочења на коме не остаје траг кочења.При конструкцији дијаграма за суви коловоз се узимају максималне вредности коефицијента пријањања при екстремном кочењу,tј.

$$\varphi_{max} = 0.85 \quad \text{и} \quad \varphi_{min}=0.65$$

Такође у литератури се налазе и подаци за највеће и најмање вредности коефицијента пријањања при кочењу на мокром коловозу зависно од брзине што је дато у табели 5.

Табела 5 .Зависност коефицијента пријањања од брзине на мокром асфалту

v(km/h)	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100	100-120
φ_{max}	0.82	0.72	0.60	0.51	0.45	0.40
φ_{min}	0.63	0.47	0.36	0.30	0.24	0.20

Прецизније израчунавање брзинаможе да се извршиузимањем у обзир још неких параметара кочења,па би брзина кретања моторних возила пред почетак кочења била :

$$v \approx 3.6 \cdot \left(\frac{t_2''}{2} j_{max} + \sqrt{2 \cdot j_{max} \cdot S_t + v'^2} \right) \quad (5.74)$$

где је:

t_2'' — време пораста успорења [s];

j_{max} – максимално успорење [m/s^2];

S_t – пут који прелази возило за време максималног успорења;

v' – брзина кретања возила на крају кочења(ако је кретање до потпуног заустављања $v' = 0$)

Брзина возила непосредно пре почетка кочења изражена преко пута кочења и пута слободног кретања возила до потпуног заустављања може да се одреди према једначини:

$$v \approx 3.6 \cdot \left((t_2'' + t_4) \cdot j_{max} + \sqrt{2(j_{max} \cdot S_t + g \cdot S' \cdot u)} \right) \quad (5.75)$$

где је:

S' – пут слободног кретања возила после престанка кочења до потпуног заустављања [m];

t_4 – време откочивања – умањивање успорења до нуле, зависи од механизма кочења;

$u = f \cos \alpha + \sin \alpha$ – коефицијент укупног отпора пута

(f – коефицијент отпора при котрљању)

Ако је моторно возило при кочењу изашло на тротоар или неку сличну препреку, тада се брзина кретања пре почетка кочења може одредити по формули:

$$v \approx 3.6 \cdot \left(\frac{t_2''}{2} j_{max} + \sqrt{2(j_{max} \cdot S_t + g \cdot h)} \right) \quad (5.76)$$

где је h висина препреке [m]

Ако моторно возило при кочењу изађе точковима на тротоар само са једне стране или само једном осовином, висина h би се требало смањити на половину. Ако при кочењу возила наступи и значајно заносење, приближна вредност брзине пре почетка кочења возила се може одредити по формули:

$$v \approx 3.6 \cdot \left(\frac{t_2''}{2} j_{max} + \sqrt{2(j_{max} \cdot S'_t + 0,8 j_{max} S_t'')} \right) \quad (5.77)$$

где су:

S'_t – пут који возило пређе при праволинијском кретању за време максималног

успорења;

S_t — пут који возило пређе при криволинијском кретању за време максималног успорења које је највише 0,8 од успорења на правом делу пута.

Ако је максимално успорење при кочењу моторног возила експериментално одређено на хоризонталном путу, а брзину кретања овог моторног возила треба одредити на путу који има пад или успон, тада се при истом стању пута за пад или успон, брзина моторног возила пре почетка кочења одређује према:

$$v \approx 3.6 \cdot \left(\frac{t_2}{2} (j_{max} \cos \alpha \pm g \sin \alpha) + \sqrt{2(j_{max} \cdot \cos \alpha \pm g \sin \alpha) S_t} \right) \quad (5.78)$$

где је j_{max} успорење одређено експериментално на хоризонталном путу.

Брзина моторног возила непосредно пре почетка кочења, тј. пре почетка формирања трагова кочења, одређује се по формули:

$$v_1 = v - 3.6 \cdot \frac{j_{max}}{2} t_2 \quad (5.79)$$

2) Кретање возила по лучној путањи

При прорачуну брзине кретања моторног возила по лучној путањи полази се од претпоставке да се оно на посматраном делу пута кретало константном брзином.

Разликујем три могућности које се јављају прилико проласка возила кроз кривину:

1. возило је прошло кроз кривину без бочног заносења,
2. возило се при проласку кроз кривину заносило али се није преврнуло,
3. возило се при проласку кроз кривину преврнуло.

1. Кретање возила кроз кривину без заносења

У овом случају је брзина кретања возила при проласку кроз кривину мања од граничне брзине при одређеној вредности коефицијента пријањања, полупречника кривине и угла попречног нагиба. Израчунавањем брзине добија се максимална могућа безбедна брзина кретања.

При извођењу ове брзине полази се од тога да су у граничном случају центрифугална сила и сила отпора која се супротставља бочном заносу једнаке, тј.:

$$\frac{m \cdot v^2}{R} = m \cdot g \cdot (\varphi \pm 0.01 \cdot \beta) \quad (5.80)$$

где је:

m — маса возила;

v — брзина кретања возила;

φ — коефицијент пријањања;

β — попречни нагиб коловоза[%];

R — полупречник лука по коме се креће возило, мерено од центра кривине до тежишта возила[m].

Из (5.80) гранична брзина је :

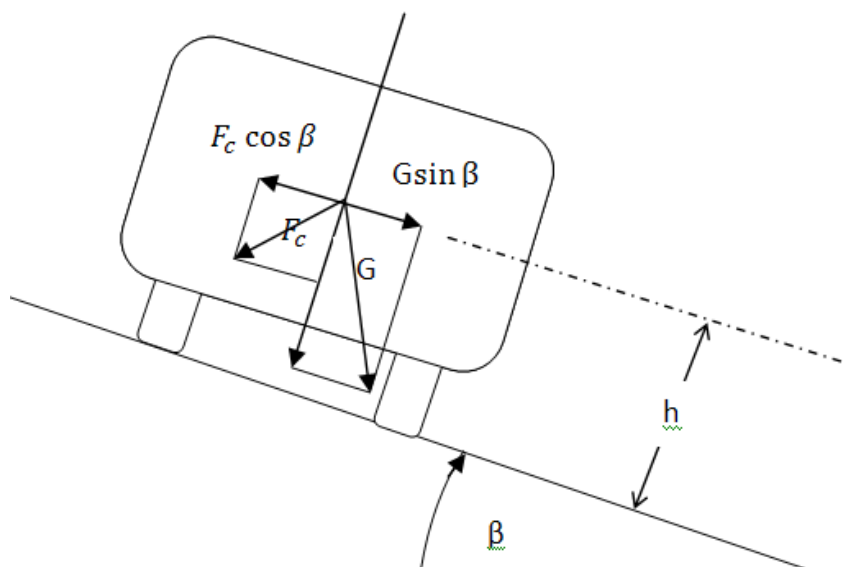
$$v \approx 3.6 \cdot \sqrt{g \cdot (\varphi \pm 0.01 \cdot \beta) \cdot R} \quad (5.81)$$

2. Кретање возила по лукама бочним заносењем

Уколико има бочног заносу, брзина возила би била већа од граничне вредности. Превртање возила приликом проласка кроз кривину се дешава уколико је сагласно (Слика.....):

$$F_c \cdot h \geq g \cdot (a \cos \beta + h \sin \beta) \quad (5.82)$$

где је a координата тежишта у односу на предњу осовину.



Слика 24. Силе које делују на возило у кривини на бочно нагнутом путу[1]

Из (5.82) је :

$$v \geq 3.6 \cdot \sqrt{\frac{R \cdot g}{h} \cdot (a \cos \beta + h \sin \beta)} \quad (5.83)$$

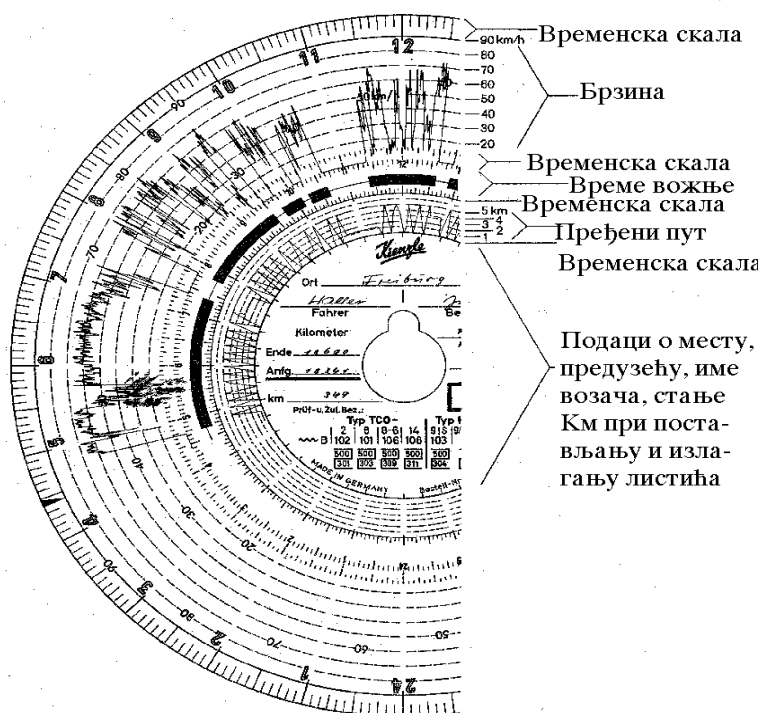
Као што се види са слике 24 веома је важно да се пут са кривином не изведе са тзв. контра-нагибом, када би се сабрало дејство бочног нагиба и центрифугалне силе, што би било опасно.

3. Кретање возила са превртањем

У овом случају брзина кретања возила кроз кривину је већа од критичне.

5.6. Одређивање брзине возила помоћу тахографа

У анализама саобраћајних незгода приликом утврђивања околности под којима се незгода одиграла, често је потребно одредити елементе непрописне и неправилне вожње учесника у саобраћајним незгодама. Ако се ради о возилима која имају уграђен тахограф, онда се олакшава анализа саобраћајне незгоде имајући у виду да је ток вожње регистрован на улошку тахографа. На слици 26 је приказан кружни тахографски листић.



Слика 26. Кружни тахографски листић [13]

За анализу је потребно имати тахографски уложак на којем ће се микроскопском анализом обрадити интересантни одсечак. На основу такве обраде може се реконструисати ток догађаја.

5.6.1. Одређивање тренутка судара

Приликом саобраћајне незгоде због деловања сила судара, долази до појаве титрања игли писача тахографа, што онда на тахографском улошку остаје забележено у облику карактеристичне неправилне звездице. На основу таквог записа може се анализом дијаграма на улошку утврдити тренутак односно време настанка саобраћајне незгоде.

Врло је важно нагласити да је тахограф механичким или електричним путем у спрези са трансмисијом возила, што значи да се брзина кретања возила и пређени пут региструју у функцији броја обртаја погонског вратила односно погонских точкова. Стога у случају да је пре саобраћајне незгоде наступило интезивно кочење возила, онда због појаве проклизавања точкова, број обртаја погонских точкова односно њихова угона брзина неће бити више једнака са стварном брзином возила, па то онда значи да ни брзина кретања возила регистрована тахографом неће одговарати стварној брзини возила у самом тренутку незгоде. [13]

У екстремном случају кочења, точкови возила су блокирани, тако да је угаона брзина погонских точкова једнака нули, иако ће возило још неко време клизати одређеном брзином. Самим тим ако је возило пре незгоде интензивно кочено, анализом тахографског улошка може се утврдити само време настанка незгоде и брзина кретања возила у тренутку активирања кочница али не и брзина кретања возила у тренутку саобраћајне незгоде.

Употреба тахографа у саобраћају има све веће значење имајући у виду да се са тахографског улошка могу сазнати многе појединости, као што су економичност, стил вожње, параметри кретања моторног возила и други елементи.

Записи на улошку тахографа посебно су интересантни ако их посматрамо у функцији анализе саобраћајних незгода, будући да се на основу записа могу извести закључци о понашању возила у вожњи непосредно пре незгоде. Насупрот изјавама сведока, ради се о тачним механичким снимцима вожње, који се не могу надокнадити делимично сумњивим теоретским претпоставкама.

Данас, уз примену савремених микроскопских уређаја, може се врло прецизно и тачно анализирати уложак на метре и секунде, као основне параметре за даљу анализу саобраћајних незгода.

Карактеристика микроскопске анализе је да се увек полази од тренутка судара или тренутка смиривања возила након судара. Тренутак судара на запису улошка лако се уочава, јер јаким потресима возила долази до титрања игли писача што се манифестује неправилном звездицом или у задебљању исписане црте.

У овим анализама блокирање погонских точкова представља специфичан случај. На дијаграму се то оцртава у скоро безвременском паду брзине. Одређивање пређеног пута приликом блокирања точкова читавањем записа са улошка више није могућ. На основу кинетичке енергије возила на крају процеса судара и коефицијента пријањања који настаје при блокирању точкова, потребно је одредити пређени пут возила у приближном износу што ће бити далеко тачније него што је то израчунавање брзине из сумњивих трагова кочења и деформације возила. [13]

На крају треба рећи да приликом одигравања саобраћајне незгоде а у којој је учествовало возило са уграђеним тахографом, овлаштени радник у увиђајној екипи треба изузети уложак и прикључити га увиђајној документацији, евентуално описати неисправности на тахографу, како би се касније оперисало са тачним подацима.

5.7.Одређивање брзине на основу извршеног рада точкова

возила

Овај прорачун се односи на *post-crash* фазу. Ако се кретање после 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 овом раду учествују све силе које делују на точак, тј. њихова резултанта. При реконструкцији се ове резултанте сила натоваренима свде на тежиште F_R , чиме се проблем упрошћава. 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:

$$\frac{J_M}{2} \omega_m^2 = \int F_R d_s \quad (5.84)$$

где је:

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.

Треба напоменути да ако је могуће, рад ипак треба израчунати за сваки точак посебно. При томе треба још разликовати да ли је точак блокиран или се окреће.

Точак блокиран, значи: сила на точку, која производи рад, је цела у правцу тренутног кретања.

Точак се окреће, значи: на точак делује коса сила која има и бочну компоненту. Само компоненте силе која има правац тренутног кретања производи рад.

Тачније резултате треба очекивати ако се посматра сваки точак појединачно, посебно у случајевима када се возило креће кроз већу кривину или са већим убрзањима, па су разлике кретања точкова знатне.

Битне разлике се јављају и у случају када на основу трага точка не може да се одреди да ли је точак био блокиран или се котрљао. Тада треба испитати обе могућности. На овај начин могуће је одредити угаону брзину точка а одатле и брзину кретања возила после судара (на почетку *post-crash* фазе).

Пошто је на овај начин одређена брзина кретања возила после судара, могуће је конструкцијом импулсног дијаграма одредити и брзину кретања возила пре судара. За ову методу је од великог значаја тачно одређивање тренутног пола, као и положај возила у тренутку судара.

При кретању возила по коловозу или изван њега пнеуматици остављају трагове. Уколико се возило креће по снежном покривачу, блату, праштини, ови трагови су јасни и лако је одредити путању кретања возила. При уочавању опасности возач делује кочењем или скретањем возила са правца кретања, при чему точкови остављају више или мање видљиве трагове. На основу ових трагова може се утврдити положај возила у тренутку судара. Утврђивање положаја при судару је ствар искуства стручњака који врше анализу. [11]

Уколико траг није видљив, треба проценити одлазно кретање возила, тј. кретање возила после судара, и то цртањем што више тренутних положаја возила. На овај начин може дасе одреди геометриско место положаја тежишта, па даље и положај тренутног пола. Треба напоменути да овај начин није поуздан. При одређивању тренутног пол, поред располагања поузданим траговима, треба рачунати положај у неком толеранцијском пољу.

Разлози за увођење толеранција су:

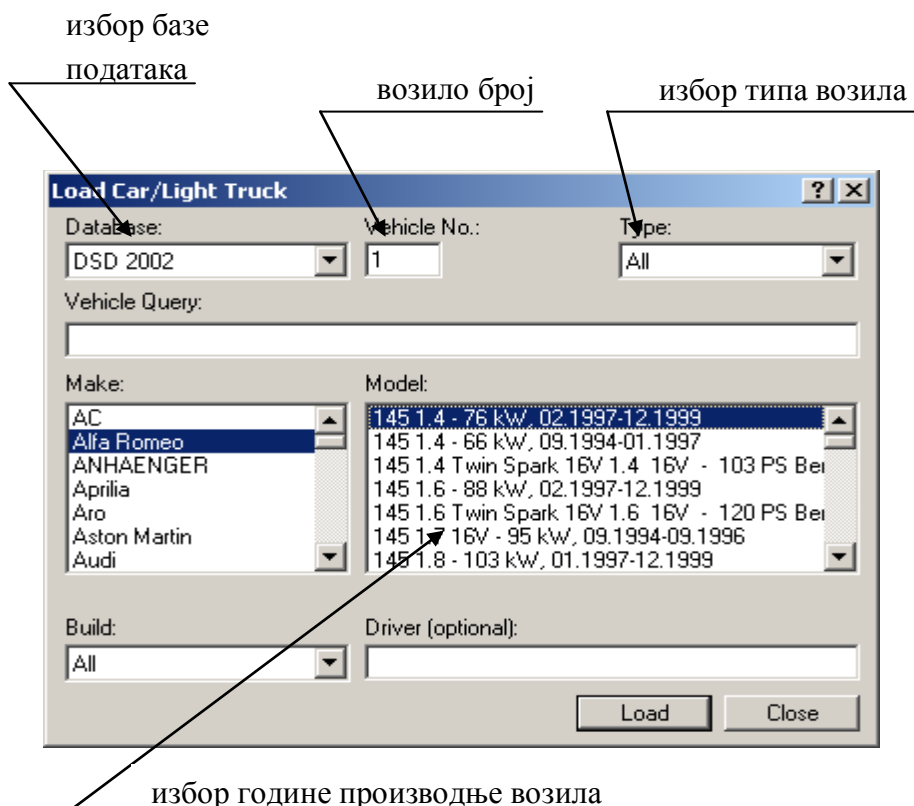
- нетачност при мерењу трагова;
- израда смањене скице незгоде (ради се у размери 1:200), па може доћи до нетачности при цртању.

У пракси се, по правилу, за прорачун ослања само на средишњи процењени положај возила. [1]

6. Употреба симулацијских програмских алата у анализи саобраћајних несрећа PC Crash

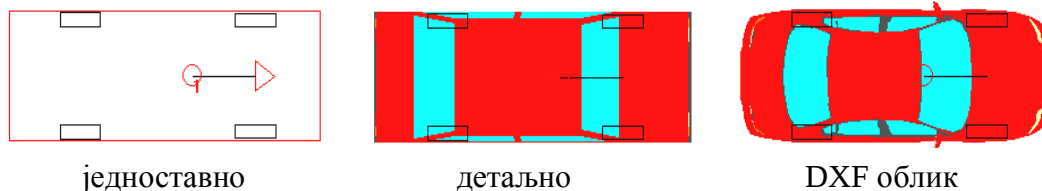
PC Crash је програмски пакет чијом употребом је могуће прецизније анализирати елементе на основу којих је могуће утврдити узроке и околности под којима се догодила нека саобраћајна несрећа. Програм представља алат који "брзо" обавља веома сложене прорачуне које "конвенционалним" методама није могуће спровести. За правилну употребу програма **PC Crash**, неопходно је стручно знање из подручја саобраћаја (посебно анализе саобраћајних несрећа) као и познавање рада на рачунару. PC Crash представља само помоћ при анализи саобраћајних несрећа, а квалитет улазних података на основу којих програм врши прорачун зависи од квалитета рада вештака и квалитета материјалних доказа из Списа. Програмом PC Crash могуће је прецизно проверити параметре утврђене "конвенционалним" методама, као и прецизније одредити оне параметре који нису могли бити прецизно утврђени класичним методама. Пре саме анализе потребно је спровести израду скице места саобраћајне несреће која ће послужити

као подлога за симулацију. Постоји алат за цртање који омогућава израду скице или као подлога може послужити раније скенирана полицијска скици. На скици се учитавају возила која су учествовала у конкретној саобраћајној несрећи. [15]



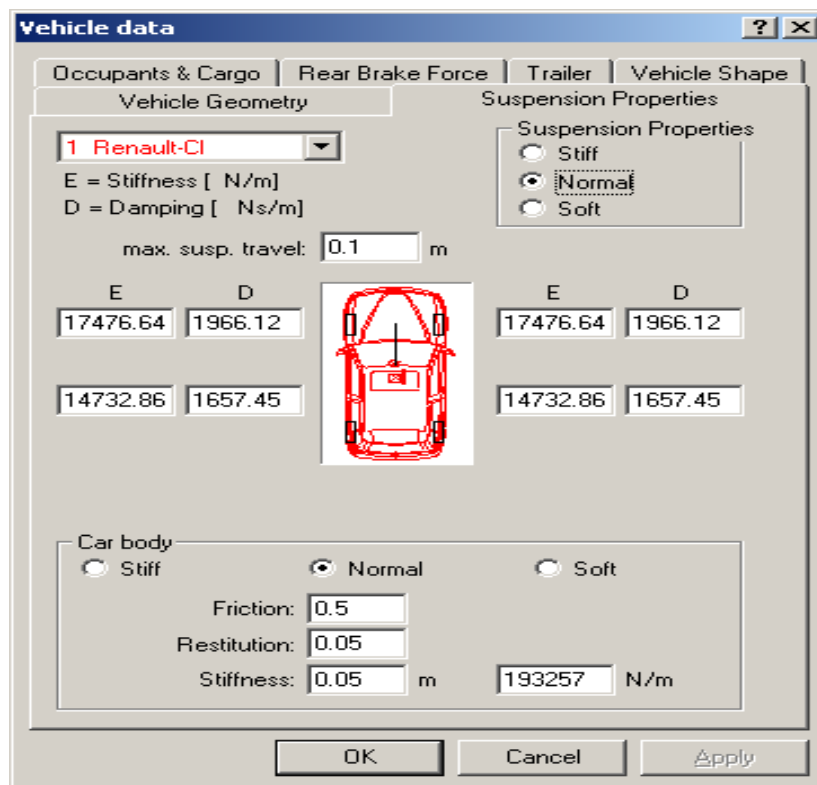
Слика 27.База података возила[14]

Програм има велику базу података са свим врстама и типовима возила (слика 27).Исто тако постоји могућност учитавање различитог приказа облика возила (слика 28).



Слика28.Различити прикази облика возила[15]

Након учитавање возила, видљиве су његове техничке карактеристике, а исто тако је могуће кориговати одређене податке за возило које је учествовало у конкретној саобраћајној несрећи.



Слика 29. Подаци о возилима[14]

Будући да је у претходној анализи конструктивних елемената возила указано на утицај различитих елемената на стабилност кретања возила, у PC Crash програму постоји могућност промене карактеристике одређених елемената као што су пнеуматици, опруге, амортизери итд. Приликом одабира пнеуматика могуће је дефинисати модел пнеуматика, димензије пнеуматика, пречник точка те максимални угао бочног скретања. [14]

Код дефинисања опруге и амортизера могуће је одредити крутост опруге, максимални опуштене опруге, те коефицијент пригушења. Могућа је дефиниција тврдоће вешања и шасије. Осим масе празног возила, која је понуђена учитавање возила у почетној фази, постоји могућност одређивања масе путника и терета у возилу²⁶ (Слика 30).

Vehicle data

Occupants & Cargo | Rear Brake Force | Trailer | Vehicle Shape

Vehicle Geometry

2 Porsche 911
Porsche 911 SC
Driver
No. of axles: 2
Length: 4.29 m
Width: 1.65 m
Height: 1.32 m
Front overhang: 0.93 m
Track - Axle 1: 1.37 m
Track - Axle 2: 1.37 m

Suspension Properties

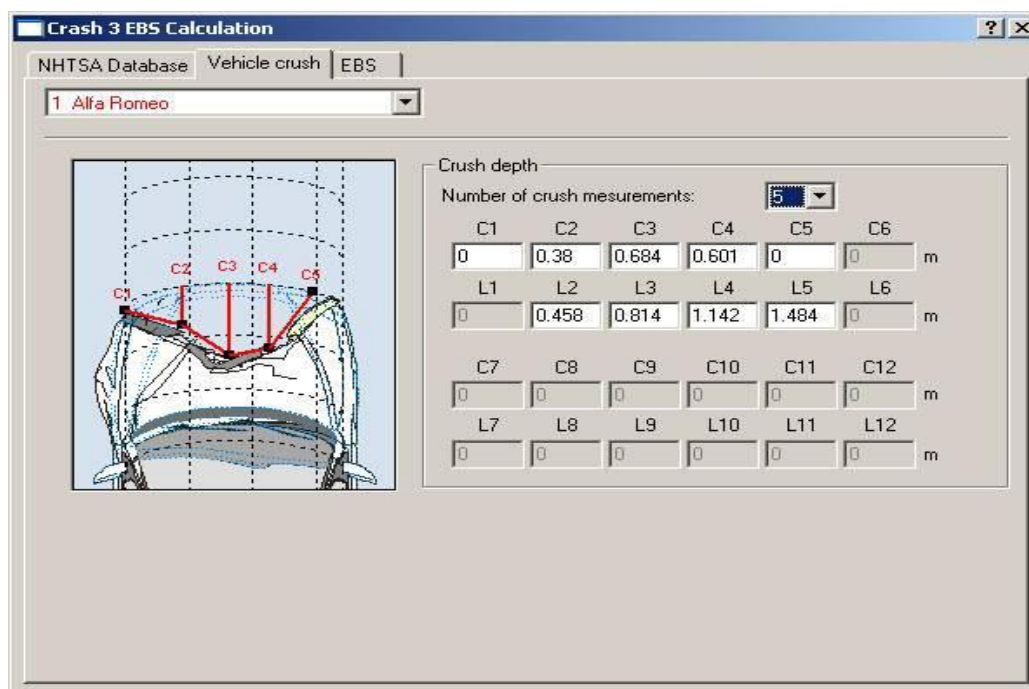
Type: Automobile
Weight: 1180 kg
Distance of C.G. from front axle: 1.32 m
C.G. height: 0 m
Moments of Inertia:
Yaw: 1458.2 kgm²
☐ ABS 0 sec
Wheelbase 1-2: 2.27 m

OK Cancel Apply

Слика 30. Подаци о возилима-габаритне мере[14]

Видљиво је из слике 40 да одређивању висине тежишта возила одређује се и момент инерције те да постоји могућност буџета са АБС-ом или без.

У ранијем делу описан је досадашњи начин увиђаја и фотографисања а програм PC-Crash омогућава анализу саобраћајне несреће преко EES каталога и преко EBS-а. EBS је брзина еквивалентне препреке а да би се могло анализирати конкретну саобраћајну несрећу на тај начин потребно је и адекватно фотографисање оштећења возила који су учествовали у несрећи.



Слика 31.Брзина еквивалентне препреке

За овакву анализу потребно је фотографисање оштећења у тлоцрту те познавање дубине оштећења и удаљености исте од почетне тачке мерења на возилу. У сарадњи са NHTSA, америчке агенције за безбедност саобраћаја, могуће је доћи до тражених података, ако се познају почетни елементи. У последње време често се спроводе испитивања чврстоће возила тзв. црасх тестови тј. судари возила те се на основу тога ствара база података помоћу које се могу спровести анализе саобраћајних несрећа помоћу тзв. EES каталога. То је каталог оштећених возила који показује колика је енергија, односно еквивалентна брзина, потребна за такво оштећење. [15]

Познавајући оштећења на возилу које је учествовало у конкретној саобраћајној несрећи поређењем са EES каталогом могуће је у симулацији судара одредити вредност EES-а (Слика 32) те на тај начин, у самој симулацији, имати још један познати параметар који ће помоћи да комплетна анализа несреће буде што прецизнија.



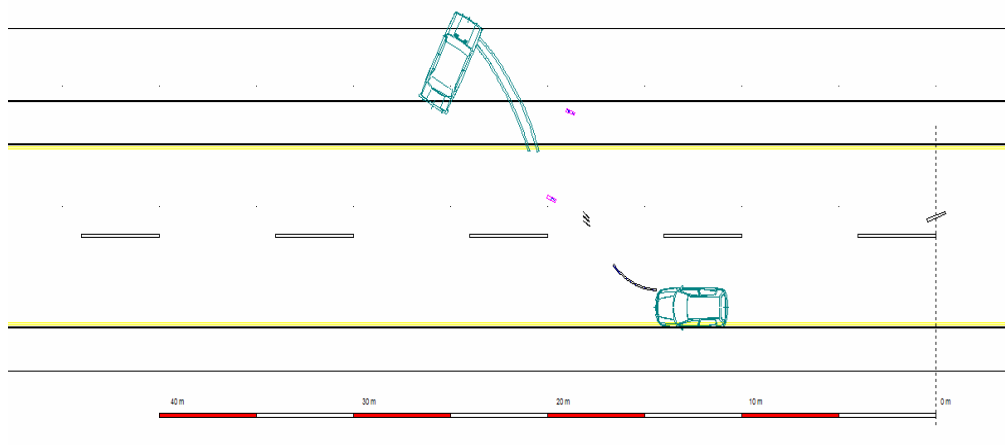
Слика 32. Симулација судара

Из слике 32 видљиво је да приликом постављања параметара који су потребни за спровођење симулације, осим вертикалне брзине (која се мора претпоставити или на основу раније спроведене рацунску анализе или на основу EES каталога или слично), потребно је одредити и низ других параметара за потпуну и концизну анализу. Након постављања возила у сударни положај потребно је, на темељ оштећења одредити тачку судара те правилну контактну равнину. Познавајући квалитет подлоге, временске услове и карактеристике пнеуматика на возилу одређује се и коефицијент трења.

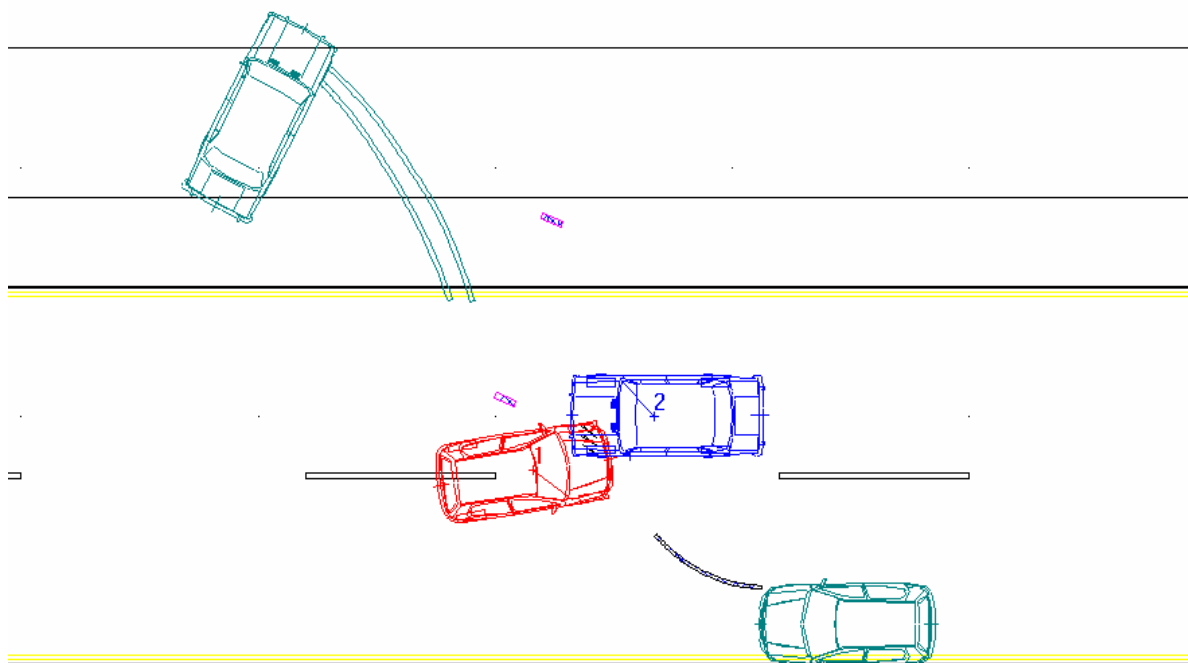
6.1. Рад са програмом "CARAT"

Након што се возила поставе у сударни положај, према стварним оштећењима и траговима, подацима из стручне литературе и искуству вјештака се бирају коефицијенти и подаци који ће се користити у анализи. Анализа односно реконструкција судара се може вршити према напред односно према назад од одабраног тренутка одвијања саобраћајне несреће. Код судара возила најчешће се анализа врши уназад, тј. Из параметара гibaња

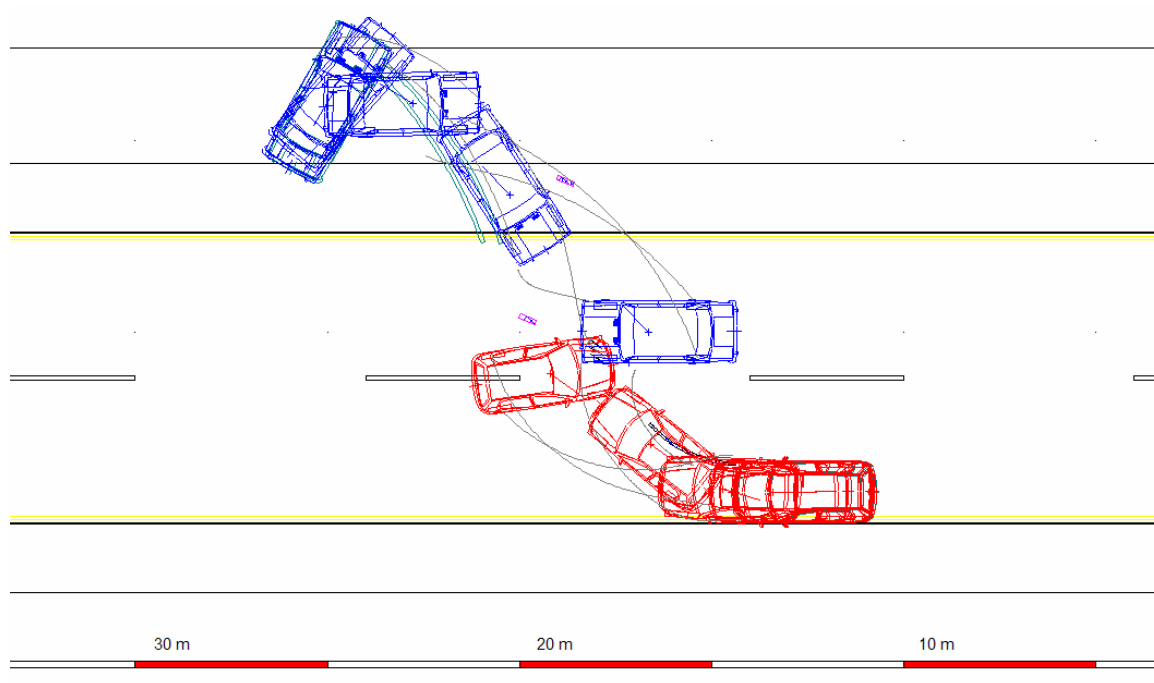
након судара се израчунавају параметригибања у тренутку судара, а потом пре судара. Дакле прво је потребно наћи решење загибања возила након судара, а критеријум је да након проведене анализе односно симулацијегибања возила након судара возила из одабраног сударног положаја морају завршити на положајима на којима су се доиста налазила након несреће. [16]



Слика 33. Ситуацијски план несреће

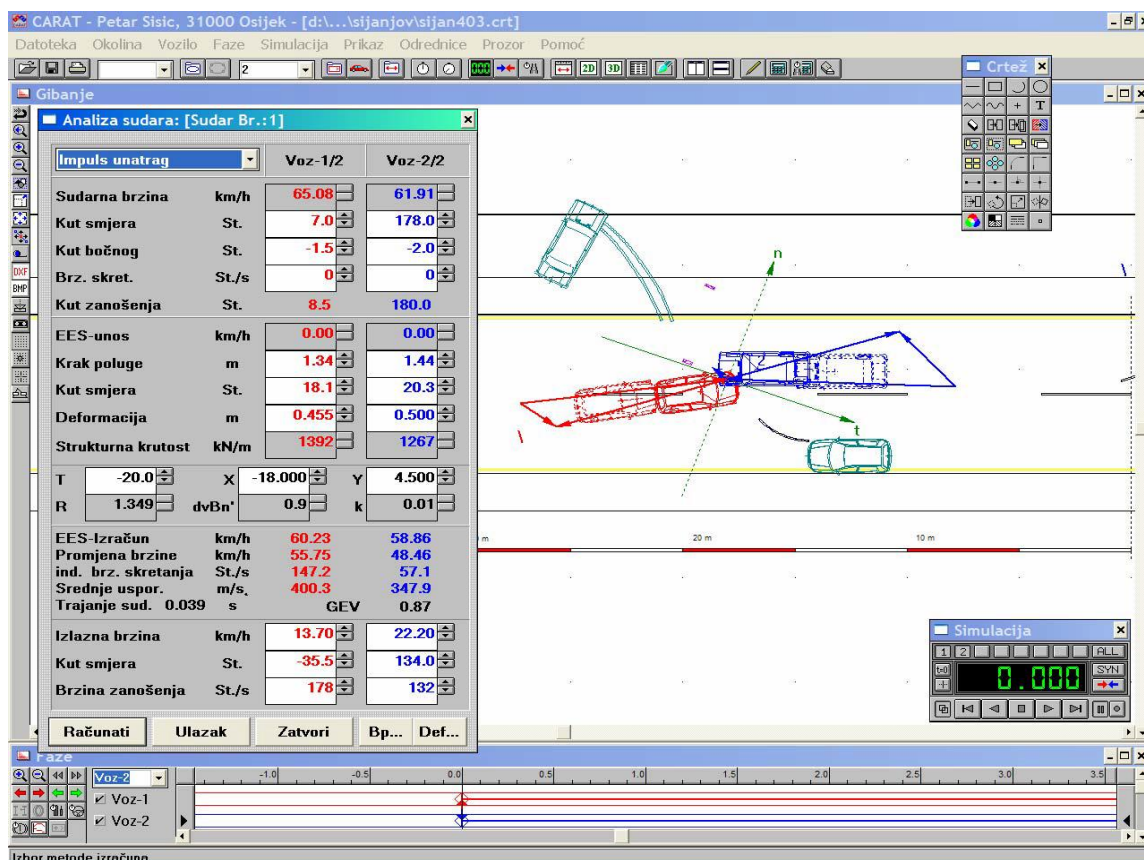


Слика 34. Утврђени сударни положај возила



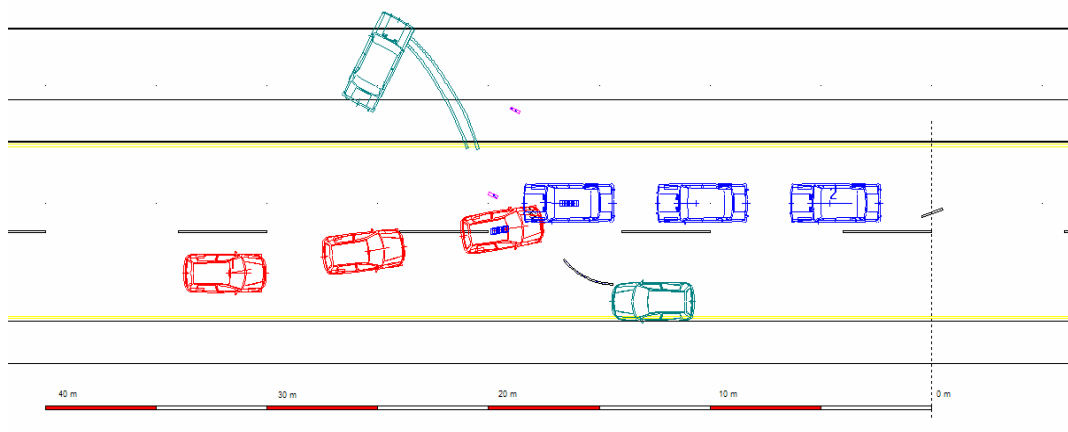
Слика 35. Реконструкција кретања возила након судара[16]

Одабране вредности се унесу у програм и начини се први корак односно прва симулација која у правилу не резултира тачним завршним положајем возила. Мењањем параметара, након више покушаја на концу се добије задовољавајуће померања возила код којег возила заврше на стварном положају након судара. Унатражном симулацијом од сударног положаја програм нацрта дијаграм вертикалних импулса и векторе брзина, и уједно покаже резултате спроведеног израчунавања, као што је приказано на наредној слици.



Слика 36. Симулација и анализа судара

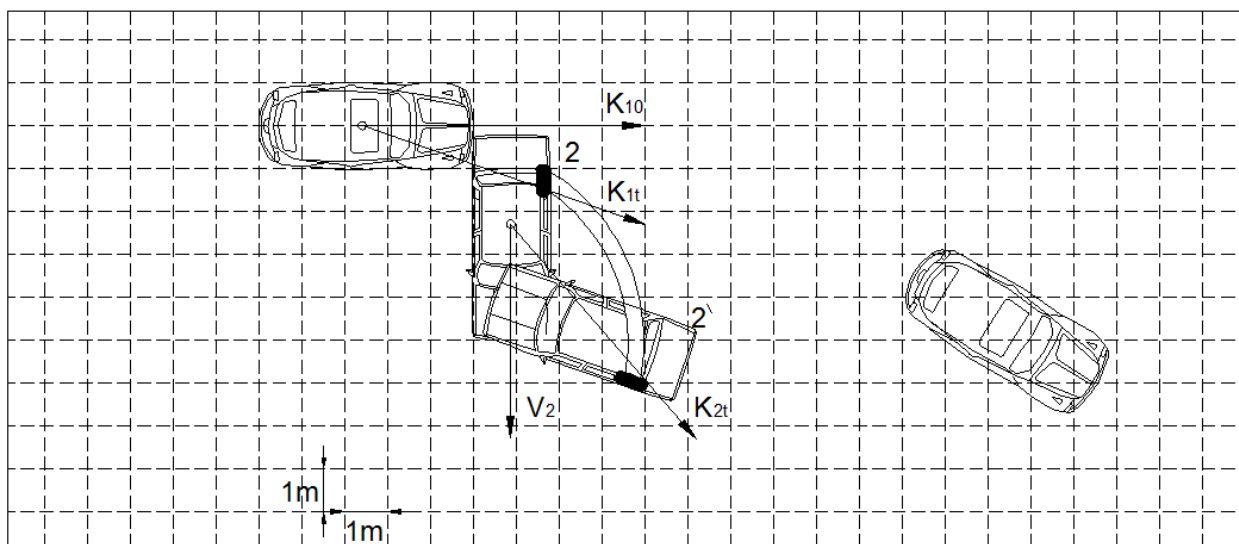
Наравно да се и код овог дела анализе најчешће у првом кораку не добије задовољавајући резултат, но мењањем параметара гibaња возила пре судара добије се задовољавајуће решење судара. Даљом анализом се може посматрати померања возила пре судара и начин како су иста дошла у сударни положај, као на наредној слици.



Слика 37. Сударни положај возила

6.2. Пример израчунавања брзине графоаналитичком методом и симулација судара у програму Virtual Crash 3.0

Поступак одређивања брзине графоаналитичком методом биће приказан примером, где су у судару учествовала возила: , Fiat Stilo као возило 1 и возило Alfa Romeo 147, као возило 2. Маса возила је $m_1 = 1250 \text{ kg}$ а $m_2 = 1300 \text{ kg}$. Скица је дата на слици 38 на којој се види да је возило 2 оцртало траг задњим левим точком и зауставило се у положају 2', док се возило 1 након судара зауставило.



Слика 38. Ексцентрични судар два путничка возила

Одређивање брзина возила након судара врши се на основу путева смиривања и вредности успорења на путевима смиривања: Пут смиривања возила 1: $S_{1t} = 15,3 \text{ m}$, а возила 2: $S_{2t} = 4,3 \text{ m}$; успорење возила 1: $b_{1t} = 1,7 \text{ m/s}^2$, а возила 2: $b_{2t} = 3 \text{ m/s}^2$.

Брзине возила након судара одређују се према изразу:

$$v_{1t} = \sqrt{2 \cdot b_{1t} \cdot S_{1t}} = \sqrt{2 \cdot 1,7 \cdot 15,3} = 7,2 \text{ [m/s]} = 25,2 \text{ [km/h]}$$

$$v_{2t} = \sqrt{2 \cdot b_{2t} \cdot S_{2t}} = \sqrt{2 \cdot 3 \cdot 4,3} = 5,1 \text{ [m/s]} = 18 \text{ [km/h]}$$

На слици контакта возила уцрта се линија судара, затим се на полигон сила (Слика 39) паралелно пренесе линија судара у произвољној дужини.

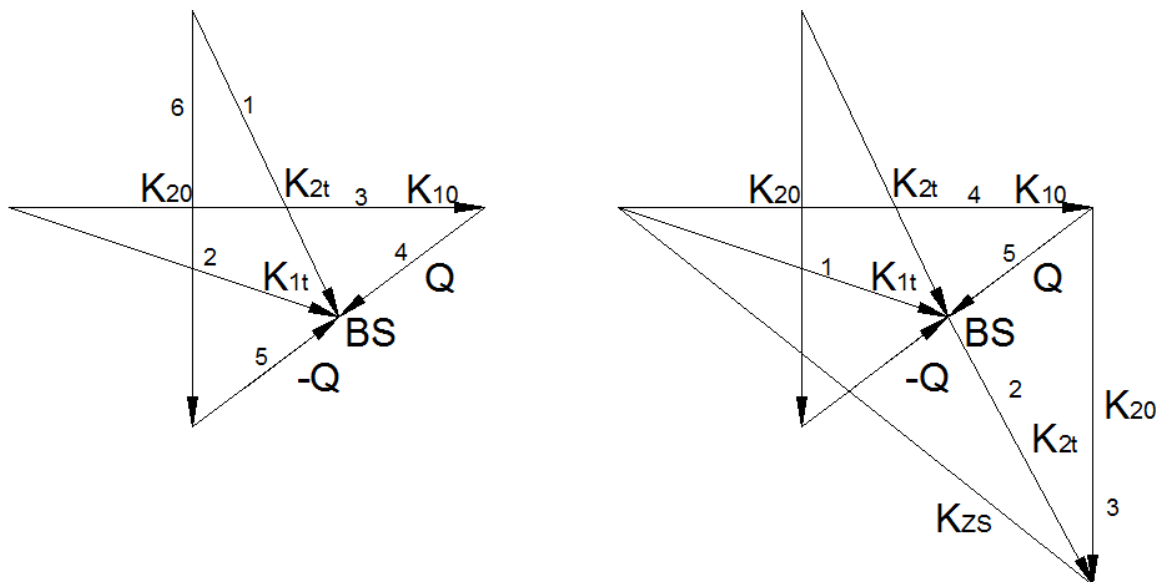
Израчунавање количине кретања возила након судара може се одредити помоћу формуле:

$$k_t = m \cdot v_t$$

v_t —брзина возила након судара

$$k_{1t} = m_1 \cdot v_{1t} = 1250 \cdot 7,2 = 9000 \text{ [daNs]}$$

$$k_{2t} = m_2 \cdot v_{2t} = 1300 \cdot 5,1 = 6630 \text{ [daNs]}$$



Слика 39. Полигон сила

Са скице се изврши паралелно преношење вектора брзине возила (1) на полигон који пролази средишњи део линије судара BS. Интензитет тог вектора одређен је количином кретања возила 1, који се наноси у одређеној размери, која је на слици означена са (k_{1t}). Из тачке почетка вектора повлачи се права која је паралелна са правцем кретања возила 1 све док не пресече линију судара (Q-Q) и та дужина (K_{10}) представља количину кретања возила 1 пре судара. На исти начин се поступа са возилом (2). Са полигона следи:

$$K_{10} = 13335 \text{ [daNs]}$$

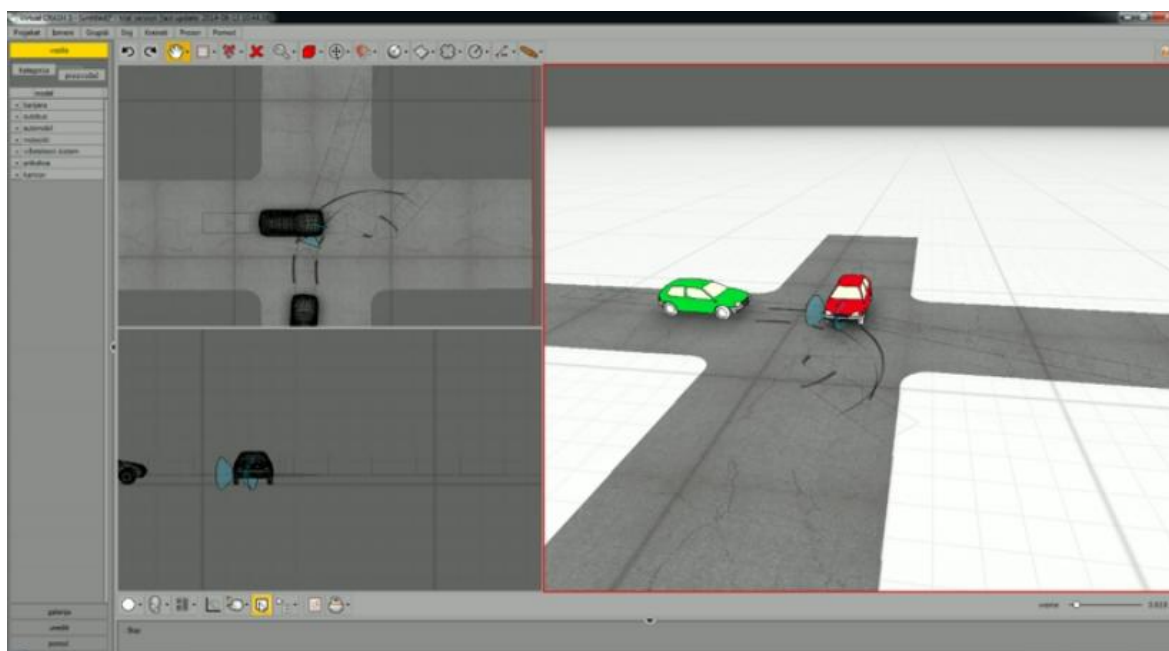
$$K_{20} = 1111 \text{ [daNs]}$$

На основу утврђених количина кретања возила пре судара једноставно се утврђују њихове сударне брзине као:

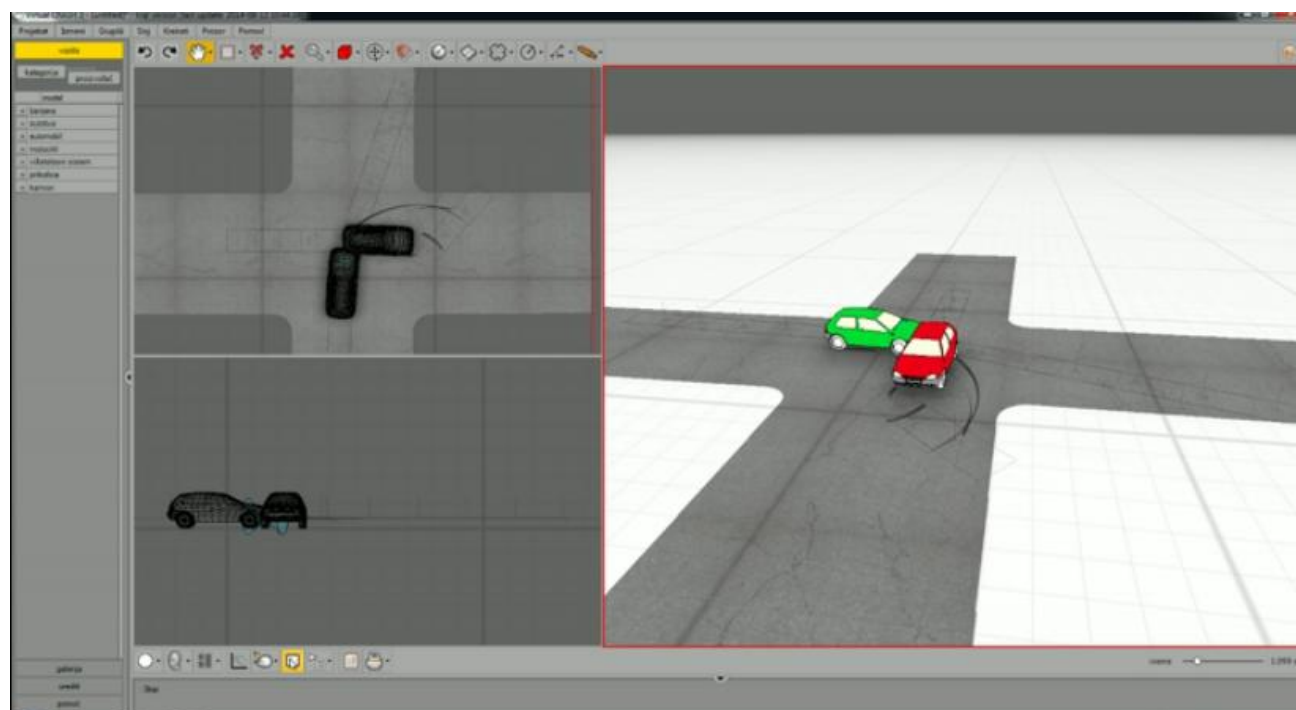
$$v_{10} = \frac{K_{10}}{m_1} = \frac{13335}{1250} = 10,6 \text{ [m/s]} = 36 \text{ [km/h]}$$

$$v_{20} = \frac{K_{20}}{m_2} = \frac{1111}{1300} = 0,85 \text{ [m/s]} = 3,06 \text{ [km/h]}$$

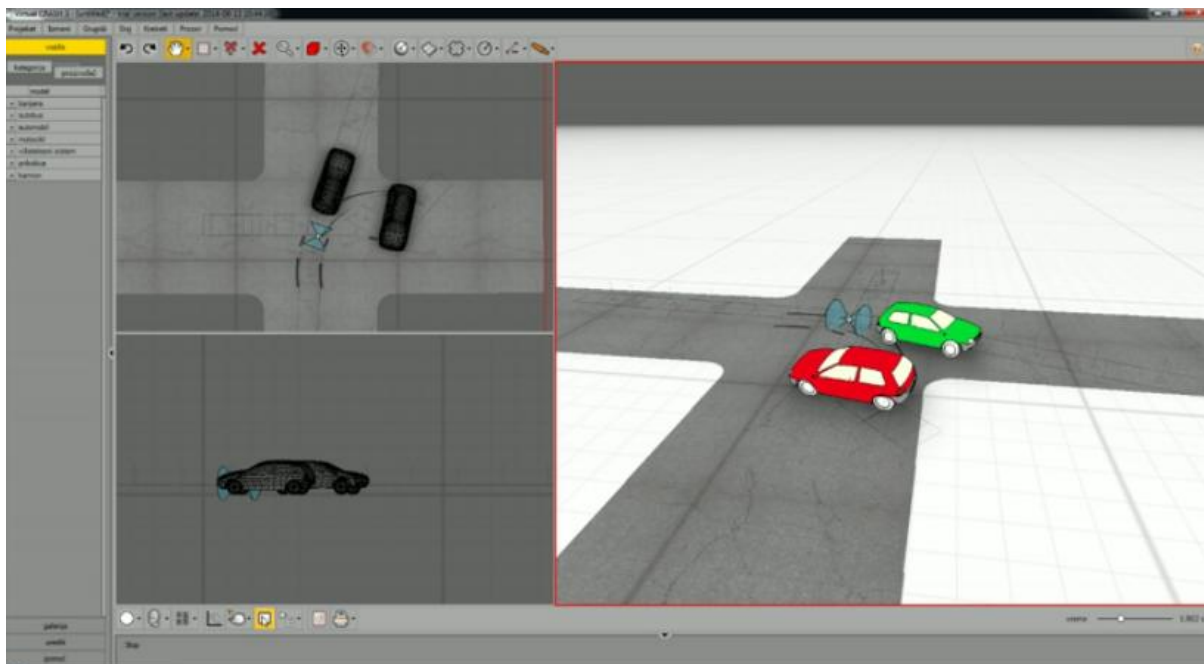
Након прорачунавања брзина поменутом методом, добијене податке смо унели у симулацијски програм Virtual Crash 3.0. Програм нам је одрадио симулацију судара ова два возила и на наредним сликама су приказани положаји возила у све три crash фазе.



Слика 40. Положај возила пре судара



Слика 41. Положај возила у зони контакта



Слика 42. Положај возила након судара

На сликама 40,41,42 су приказане crash фазе судара Fiat Stilo и Alfa Romeo. Такође са слика се види да је дошло до бочног контакта између возила, услед чега је дошло до ротације возила Alfa Romeo док је возило Fiat Stilo наставило да се креће без ротација.

Овај програм има широк спектар могућности за рад на реконструкцији саобраћајних незгода и као такав налази све већу примену код људи из области вештачења а у последње време све је заступљенији у образовним установама саобраћајних образовних профила.

7. Закључна разматрања

Судари возила у друмском саобраћају, због тешких последица и своје превелике заступљености у укупној структури саобраћајних незгода, постали су један од најчешћих предмета саобраћајно-техничког вештачења. Саобраћајно-техничко вештачење представља један од најважнијих доказа и полазну основу за доношење одлуке у судским поступцима из области саобраћајних незгода.

Приликом реконструкције саобраћајних незгода користи се велики број различитих метода и модела. Неке од тих метода и модела су описане у овом раду. Методе реконструкције судара које се базирају на налажењу енергије деформације, добијају све више на значају у процесима арбитраже од стране судских вештака.

Основу за спровођење квалитетне анализе судара возила чине подаци прикупљени приликом увиђаја. Увиђајем је потребно утврдити позиције свих материјалних трагова регистрованих у зони места незгоде, дефинисати зауставне позиције возила учествовалих у судару и дати детаљан опис оштећења на њима.

У анализама саобраћајних незгода приликом утврђивања околности под којима се незгода одиграла, често је потребно одредити елементе непрописне и неправилне вожње учесника у саобраћајним незгодама. Олакшавајућа околност је код возила која имају уграђене тахографе. Употреба тахографа значајно доприноси безбедности саобраћаја.

Једне од савремених метода за реконструкцију саобраћајних незгода су софтверски програмски пакети. Њиховом употребом је могуће прецизније анализирати елементе на основу којих је могуће утврдити узроке и околности под којима се догодила нека саобраћајна несрећа. Неки од тих програма су PS CRASH, VIRTUAL CRASH итд. Са развојем науке и технике ови програми налазе све већу примену у реконструкцији саобраћајних незгода и посвећује се све већа пажња њиховом усавршавању.

Процес верификације програмских пакета за анализу саобраћајних незгода заснива се на анализи добијених резултата већег броја различитих типова саобраћајних незгода односно *crash* тестова. Зато је у овом раду представљан прилог о употреби савремених софтверских програмских пакета као метода за реконструкцију судара два возила. На основу приказаних резултата може се закључити да се програмски пакети за анализу саобраћајних незгода коришћени у анализи експерименталног удара два возила који је приказан у овом раду, могу користити у анализама реалних саобраћајних незгода под условом правилног и тачног дефинисања релевантних улазних параметара..

Литература

- [1] Јанковић, А., Симић, Д.: Безбедност аутомобила, DSP-mecatronic, Kragujevac СКВЕР 1996.
- [2] Светозар, К.: Експертизе саобраћајних незгода, ФТН Издаваштво, Нови Сад, 2009.
- [3] Јанковић, А., Симић, Д.: Numerical method of solving the impact car in the immobile barrier, Mobility and Vehicle Mechanics, Vol. 18, No 2, Kragujevac 1992.
- [4] Јанковић, А., Симић, Д., Јоковић, С., Николић, Б.: Математичко моделирање чеоног удара у баријеру, Симпозијум МВМ 1994, Крагујевац 1994.
- [5] Драгач, Р., БЕЗБЕДНОСТ ДРУМСКОГ САОБРАЋАЈА ИИИ ДЕО, Саобраћајни факултет у Београду, Београд, 2000
- [6] Костић, С., ЕКСПЕРТИЗЕ САОБРАЋАЈНИХ НЕЗГОДА, Факултет техничких наука у Новом Саду, Нови Сад, 2009.
- [7] Костић, С., БРЗИНА КАО ФАКТОР БЕЗБЕДНОСТИ ДРУМСКОГ САОБРАЋАЈА, Факултет техничких наука у Новом Саду, Нови Сад, 1994.
- [8] Драгач, Р., Безбедност друмског саобраћаја III, Увиђај и вештачење саобраћајних незгода, Саобраћајни факултет Београд, 1994
- [9] Правилник о саобраћајно-техничком вештачењу - основни појмови, дефиниције и мерне јединице, Савез инжењера и техничара Србије, Београд 1996
- [10] Драгач, Р, Увиђај и вештачење саобраћајних незгода на путевима, Јавно предузеће Службени лист СРЈ, Београд, 2007.
- [11] Богићевић Д., Костић С., Поповић В.: ПОСТУПАК ОДРЕЂИВАЊА БРЗИНЕ ВОЗИЛАНА ОСНОВУ ДИЈАГРАМА УДАРНИХ СИЛА СНИМЉЕНИХ ПРИЛИКОМ КРЕШ ТЕСТОВА, Саветовање на тему “САОБРАЋАЈНЕ НЕЗГОДЕ”, Златибор, 2009. стр. 18-26.
- [12] Mitchell, J.F., International Guide Book for Traffic Accident Reconstruction – Third Edition, Halifax, Canada, 2002
- [13] Акредитована контролна организација АТЦ „СТЕМАРК ТАХОГРАФ“: Приручник за контролу и употребу оригинални тахографа и листића, Београд, 2009.
- [14] Steffan H., "PC-Crash, A Simulation Program for Car Accidents", ISATA; 26th International Symposium on Automotive Technology and Automation, Aachen 1993.
- [15] Dr. Steffan Datentechnik, PC CRASH, A Simulation Program for Vehicle Accidents – Operating Manual Ver. 8.1, Linz, 2007
- [16] Wach, W., PC CRASH, Program for Simulation of Road Accidents – Handbook, Institute of Forensic research, Krakow, 2001
- [17] http://vtsnis.edu.rs/Predmeti/tehnika_bezbednosti_i_kontrole_saobracaja 08/09/2014
- [18] <https://www.google.rs/search?q=sudar+dva+vozila20/09/2014>
- [19] <http://www.stv.co.rs/services24/08/2014>