

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Друмски саобраћај

Предмет: Механика саобраћајне незгоде

Број индекса: 704/2014

Марко В. Јоксимовић

**„МОДЕЛИ ЗА СИМУЛАЦИЈУ СУДАРА
ВОЗИЛА“**

завршни рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Проф. Др Александра Јанковић - ментор

2. _____

3. _____

Датум

одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да обухвати следећа поглавља:

- 1. Увод –Уопштено о симулацији;**
- 2. Судар возило – возило, класификација;**
- 3. Модели засновани на теорији судара;**
- 4. Рачунарска симулација применом расположивих софтвера;**
- 5. Рад са програмским пакетом PC-Crash;**
- 6. Закључна разматрања;**
- 7. Литература.**

Препоручена литература:

- [1] Јанковић А., Симић Д.,*Безбедност аутомобила*, Крагујевац, 1996.**
- [2] Dr. Datentechnik S., *Operating Manual Version 8.2*, Linz, Austria, November 2008.**
- [3] Brach, R. a. (1987). *A Review of Impact Models for Vehicle Collision*. SAE Paper 870048, Warrendale, PA 15096.**

Крагујевац, 2015

Ментор:

Проф. Др Александра Јанковић

Резиме: Симулација судара возила и технике анализе судара возила генерално се врше одвојено у три различите фазе: пре судара, у току судара и после судара. Овај рад се посебно бави моделовањем сударне фазе, која се обично дефинише као време када су возила у контакту. Историјски гледано, две различите технике моделирања су примењиване у анализи судара возила. Прва се заснива на импулсној теорији, а друга на континуалној методи радијалних вектора. У раду су приказани недостаци појединих верзија импулсне методе и дати су основи математичко-механички модели ове две технике, као и упоредни приказ нових и већ постојећих алата у софтверским алатима за симулацију судара возила.

Кључне речи: судар возила, импулс, модел, брзина.

Abstract: Automobile accident reconstruction and techniques of vehicle collision analysis generally separate vehicle collisions into three different phases: pre-impact, impact and post-impact. This paper will deal especially with the modeling of the impact phase, typically defined as the time the vehicles are in contact. Historically, two different modeling techniques have been applied to the impact of vehicles. The first is based on the impulse theory and the other on a continuous method of radial vectors. The paper shows the shortcomings of some versions of the impulse method and provides the basis of mathematical – mechanical models of the two techniques, also and comparative review of new and existing tools in the software for the simulation of vehicle collision.

Keywords: collision car, impulse, model, speed.

САДРЖАЈ

1. УВОД	6
2. КЛАСИФИКАЦИЈА СУДАРА.....	7
3. МОДЕЛИ ЗАСНОВАНИ НА ТЕОРИЈИ СУДАРА	9
3.1. Метода базирана на ударном импилсу	9
3.1.1. Сударни модели импулсног типа.....	13
3.1.2. Математичко-механички модел.....	19
3.2. Метода базирана на деформационој енергији.....	22
3.2.1. Математичко-механички модел.....	23
4. РАЧУНАРСКА СИМУЛАЦИЈА ПРИМЕНОМ РАСПОЛОЖИВИХ СОФТВЕРА	26
4.1. Примена програмског пакета PC-CRASH у анализи судара возила.....	27
4.2. Опис програмског пакета PC-CRASH	28
5. РАД СА ПРОГРАМСКИМ ПАКЕТОМ PC-CRASH	29
5.1. Покретање новог пројекта.....	29
5.2. Облик возила	30
5.3. Учитавање возила	31
5.3.1. База података возила	31
5.3.1.1. ДСД Европски стандард	32
5.3.1.2. ДСД Јапан 2000 и Vyskocil	34
5.3.1.3. Specs Амерички стандард.....	34
5.3.2. Прилагођена (custom) возила	35
5.3.3. Конструкција возила	36
5.4. Подешавања возила (Settings).....	37
5.5. Анализа судара - Припреме за симулацију судара	37
5.5.1. Ударни (сударни) положај.....	39
5.5.2. Дефиниција новог почетног положаја.....	40
5.5.3. Симулација судара	41
5.5.4. Дефиниција тачке удара	42
5.5.5. Приказ пост-сударних положаја	42

5.5.6. Други параметри судара	42
5.5.7. ЕЕС вредности	44
5.6. PC-Crash новине	44
5.6.1. Sightlines – линија прегледности.....	44
5.6.2. Приказ светлосних сигнала на раскрсници	45
5.6.3. 2D прозор	45
5.6.4. Побољшани алати за цртање.....	45
5.6.5. Подешања мултибоду-а возила.....	45
5.6.6. Anti – roll опција (додатна стабилност возила)	46
5.6.7. Нови специфични параметри судара.....	47
5.6.8. Новине у оптимизацији.....	47
5.6.9. Табела секвенци.....	48
5.6.10. Линија контакта између возила.....	48
6. ЗАКЉУЧАК	49
7. ЛИТЕРАТУРА.....	50

1. УВОД

Напредак рачунарских система допринео је да рачунаре можемо користити за симулирање различитих процеса. Карактеризација неког техничког, физичког или хемијског система се, у принципу, заснива на нумеричким прорачунима некаквих физичких величина према законитостима које одређује теорија. Уколико се теоријски прорачуни и практично добијени резултати поклопе, теорија се може сматрати исправном (и обрнуто, експеримент се може сматрати исправно изведеним).

Компјутерски програми се користе за анализу саобраћајних незгода, од раних седамдесетих година прошлог века. Увођењем персоналних рачунара почетком осамдесетих година, ови програми су постали доступни за коришћење широј друштвеној заједници која је заинтересована за истрагу незгода. Баш као што варира ниво вештине међу вештацима, ниво разумевања примене програма и начина њиховог рада, такође варира. Када се правилно користе, ови компјутерски програми су од непроценљиве вредности у анализи незгода као један од алата за њихову анализу. Рачунарски програми за реконструкцију саобраћајних незгода возила су оцењени као веома важна средства од стране већине истраживача.

Рачунарски (симулациони) модели представљају приказ концептуалних модела у облику програма за рачунар. У том облику модели постају средство којим се може ефикасно анализирати рад модела у различитим спољним условима и са различитим унутрашњим параметрима и тако добити увид у понашање система који модел описује. Као средство за изражавање, рачунарски модели користе програмске језике и стога су блиско везани за развој рачунарских наука.

Да би модел био користан, од суштинске је важности то да се за дати ограничени скуп његових описних променљивих, његово понашање може одредити на практичан начин: аналитички, нумерички или путем експеримента, где се за извесне, углавном случајне улазе, посматрају одговарајући излази. Овај последњи процес назива се симулација.

Реч симулација у свакодневној употреби може да означи већи број различитих активности, као на пример: сложене видео игре, испитивање утицаја бројних фактора на лет нових модела авиона, део експеримента у социо-психолошким истраживањима, као и у реконструкцији саобраћајних незгода итд.

Обично се под симулацијом подразумевају процес изградње апстрактних модела за неке системе или подсистеме реалног света и обављање већег броја експеримената над њима. Посебно је интересантан случај када се ти експерименти одвијају на рачунару. Тада се говори о рачунарском моделирању и симулацији.

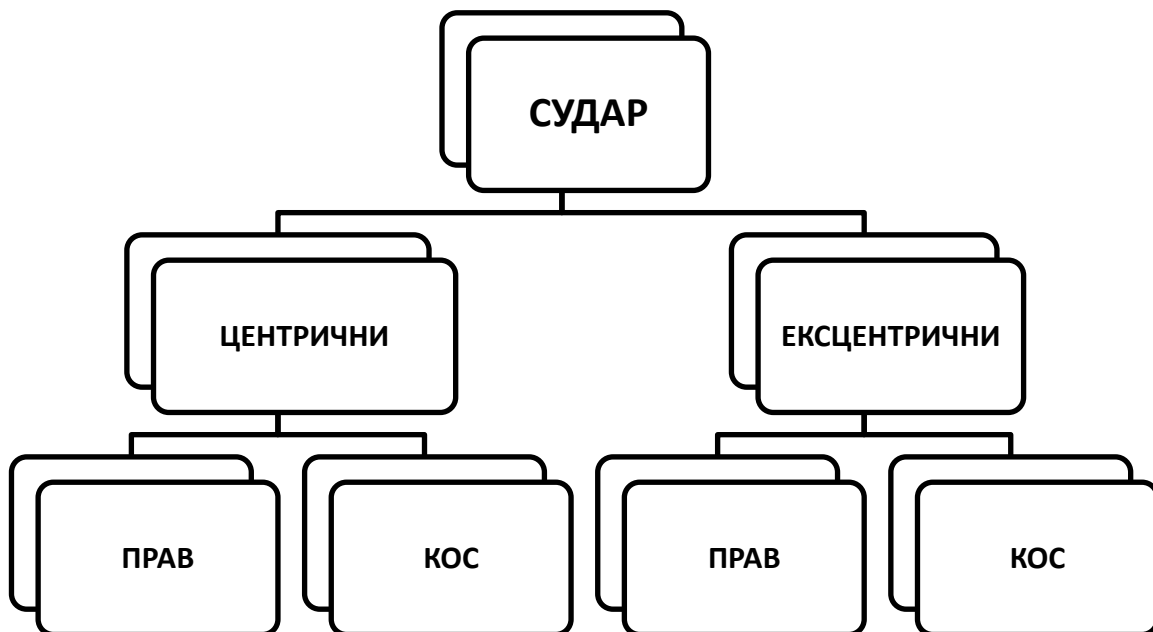
2. КЛАСИФИКАЦИЈА СУДАРА

У овом поглављу биће дефинисани и/или објашњени важнији појмови који се односе на судар возила, а које је потребно прецизно дефинисати због њиховог коришћења и у другим ситуацијама.

Судар возила, односно колизија, значи контакт сударених возила, при чему се подразумева да се она том приликом пластично деформишу.

Центар колизије (судара) је замишљена заједничка тачка сударених возила у којој делује ударна сила. Практично, деформисана зона је у контакту сударених објеката једна просторна површ. У прорачунима

Класификација која ће овде бити извршена се односи на судар појединачних тела, а не система тела. Пресликано на возило у саобраћају, то значи да се дефиниције односе на два покретна објекта (возило - возило).



Слика 1. Подела судара ^[1]

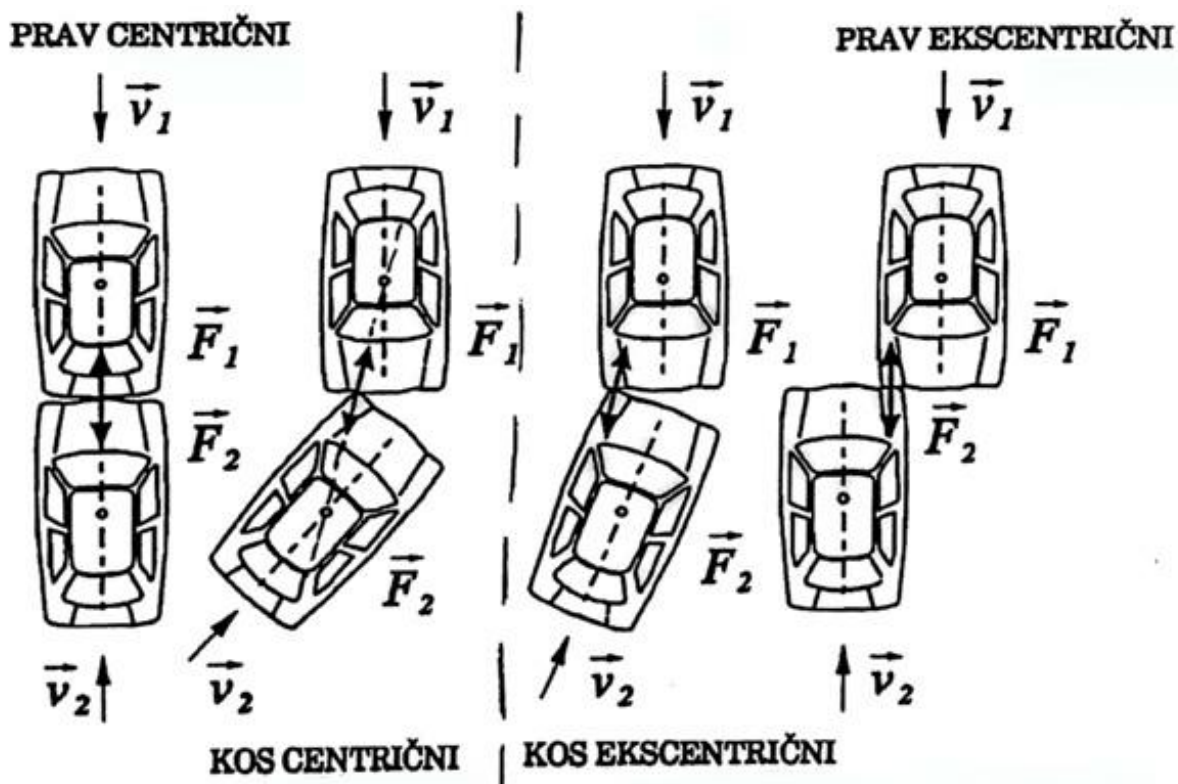
Као што се на слици 1 види, судар може бити:

- Центрични и
- Ексцентрични,

А сваки од њих може бити прав или кос.

Центрични судар значи да нормала удара пролази кроз тежишта сударених тела. У овом случају возила се у току судара крећу само транслаторно.

Ексцентричан судар значи да нормала судара не пролази кроз тежишта сударених тела. У овом случају постоји и ротација возила у току судара.

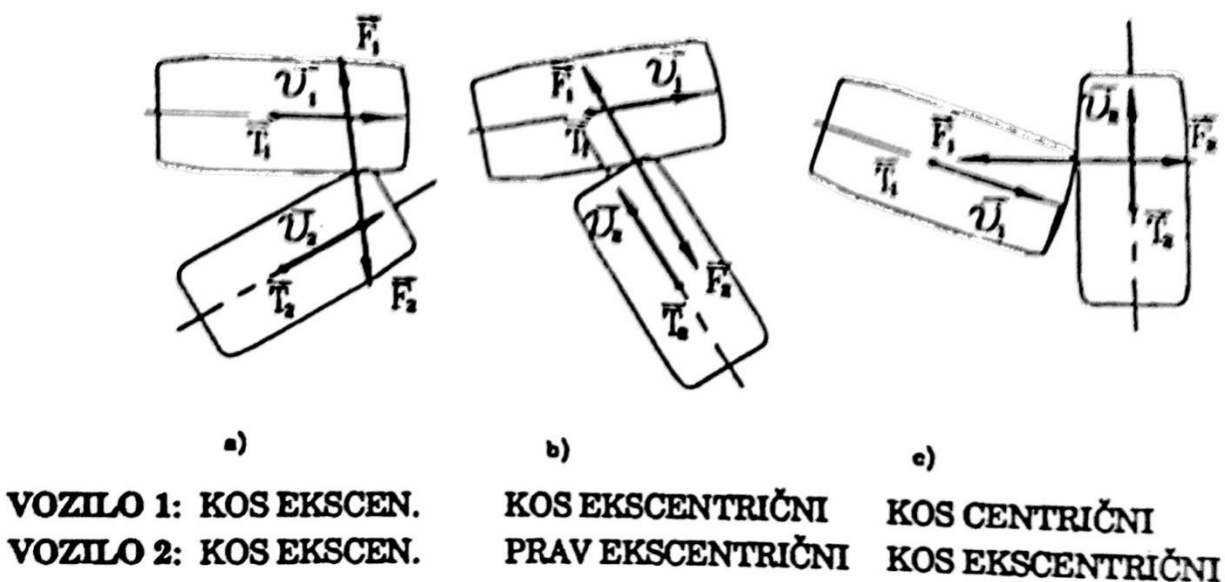


Слика 2. Шематско представљање различитих врста судара ^[1]

Прав удар/судар значи да је долазна брзина тела колинеарна са нормалом судара. У случају правог удара нема клизања у контактної површини.

Кос удар/судар значи да вектор долазне брзине тела није колинеаран са нормалом удара. У случају косог удара постоји и тангенцијална компонента промене брзине тј. ударног импулса у току периода удара, па самим тим и клизање.

На слици 2 су представљени сви набројани случајеви.



Слика 3. Различите ситуације судара путничких возила ^[1]

На слици 3 је показано да се ови појмови везују за возило, а не за ситуацију, тј систем сударених возила. ^[1]

3. МОДЕЛИ ЗАСНОВАНИ НА ТЕОРИЈИ СУДАРА

Теорија анализе судара возила генерално се одвија кроз анализу три фазе: пре судара, за време судара и после судара. Иако постоји више техника, две технике које се користе у реконструкцији сударне фазе су доминантне. Прва техника заснива се на комбинацији импулса силе са трењем и реституцијом, док друга метода комбинује импулс са односом између величине деформације и губитка енергије. Поред ових техника, постоје и друге које се не заснивају на импулсној теорији (на пример, метода коначних елемената, модел радијалних вектора, Косера теорија итд.) и претежно се користе на подручју Америке, тако да на подручју Европе скоро да и нису у употреби.

3.1. Метода базирана на ударном импилсу

Генерално, иако постоји више метода базираних на ударном импулсу, за реконструкцију судара аутомобила заснивају, могу се издвојити две основне методе:

Дискретна метода која одвојено разматра сударну од осталих фаза и заснива се искључиво на импулсној теорији у комбинацији са трењем и реституцијом као и комбинацији импулса са односом између величине деформације и губитка енергије (IMPAC, CRASH, PCCRASH и др.). Разлике постоје само у начину решавања импулсних

једначина и начину рачунања деформационе енергије. Ови модели за време фазе судара узимају у обзир само деловање сударних сила док остале силе занемарују. Да би сударни процес био у потпуности моделован на овај начин, додатно се уводе модели кретања возила које се иначе у сударној фази занемарује.

Метода механике континуума има више приступа, а сваком од њих заједничко је да без прекида моделују кретање возила почев од фазе пре судара, током сударне фазе и у фази након судара. Иако постоји више модела у оквиру ове методе сви они узимају у обзир деловање свих сила на возило током фазе судара. Највећа разлика међу овим моделима је у начину моделовања сударне фазе. Ту се издвајају модел динамичких машинских љуски (DyMesh), модел радијалних вектора (SMAC) и Косера модел (MEDUSA).

Пошто свака метода захтева веома различите улазне параметре, литература би могла да наведе на помисао о њиховој потпуној различитости, међутим све оне полазе од основних закона физике са различитим приступима решавања сударног проблема од којих неке узимају у обзир резултате емпиријских истраживања. Ови емпиријски резултати првенствено се односе на карактеристике пнеуматика, карактеристике система вешања и каросерије возила.

CRASH (Calspan Reconstruction of Accident Speeds on the Highway) користи приступ који комбинује законе одржања импулса и енергије. Поступак, који је заснован на методи коју је предложио Кембел (Campbell) захтева упоредне креш тест податке и мерења деформационих померања возила учествовалих у незгоди. Подаци о деформацији потребни за процену ΔV возила, овде су неопходни, под претпоставком да је аналитичар у стању да процени главни правац сударне силе у односу на уздужну осу возила, сударну тачку и удаљености између сударне тачке у којој сударна сила делује и тежишта возила. Импулсни рачун користи претпоставку да је импулс, као унутрашња величина (вектор), исти за оба возила. Сударна сила је усмерена дуж линије која пролази кроз правац и тачку које корисник одреди. ΔV вектор је одређен на основу PDOF. Како су наведене процене прилично компликоване и како их је тешко учинити без грешака због сложеног извијања структуре каросерије возила и металних делова у току судара, стога, аналитичар може само бити у стању да пружи низ могућности које ће производити низ вредности ΔV .

Године 1970, NHTSA (National Highway Traffic Safety Administration) спонзорисала је истраживачки пројекат развоја компјутерског програма који ће омогућити бољу униформност и побољшати прецизност у тумачењу физичких доказа у незгодама на путевима. Спонзорисање развоја SMAC (Simulation Model of Automobile Collisions) програма од стране NHTSA указује на то да је потенцијал компјутерске симулације био признат пре више од 40 година, упркос релативно ограниченим могућностима рачунара у то време. Резултат тог пројекта је био прототип рачунарског програма за симулацију судара аутомобила ^[2] SMAC програм користи процене истраживача за почетне позиције и

брзине возила, заједно са подацима о возилу, трењу између пнеуматика и коловоза и реакције возача (убрзање, кочење и управљање). Излаз је симулација путање возила и профила деформације за свако возило.

Модел заснован на импулсној техници међу првима је предложио Вули (Woolley). Вули је имплементирао решења својих једначина у рачунарски програм IMPAC (Impact Momentum of a Planar Angled Collision). IMPAC формулише скуп од шест једначина са шест непознатих чијим се решавањем могу добити компоненте брзина након судара за оба возила. Прве две једначине су добијене из одржања количина кретања, наредне две једначине су добијене путем момента количине кретања, а последње две су дефинисане коефицијентом реституције и односа компонената импулса. IMPAC има за циљ да пружи веома једноставну и лаку анализу судара. Он је сличан програму CRASH и користи информације о лицу места саобраћајне незгоде у виду улазних параметара. Као SMAC, он захтева процене почетних брзина у предвиђању стања (брзина и праваца) у тренутку раздвајања возила.

Рејмонд Брах (Raymond M. Brach) и Метју Брах (R. Matthew Brach) су развили скуп једначина познатих и као „импулсне једначине материјалне тачке у равни”, слично једначинама које је дао Вули. За било која два тела смештена у фиксном референтном координатном систему ($x - y$ осе), постоји нормална и тангенцијална координатна оса ($n - t$ осе) које зависе од геометрије сударне површине. Овај пар оса је тако изабран, да је нормална оса нормална на сударне површине оба возила. Једначине Њутнове механике примењене су у $n - t$ систему. Поред тога, дефинисан је и коефицијент реституције као однос релативне брзине након судара и релативне брзине пре судара у правцу нормале. Коефицијентом односа импулса дефинисана је веза између тангенцијалне и нормалне компоненте импулса. Овај однос импулса није коефицијент трења, али може бити повезан са њим. У циљу примене угаоног момента, додају се још две једначине и теорија преузима ново име „раванска механика судара”. Модел раванске механике судара обезбеђује израчунавање компонената брзина возила након судара и компонената импулса сударених возила. Улазни подаци се могу груписати у четири физичке категорије, а то су: компоненте сударних брзина (транслаторне и ротационе), физичка својства возила (маса и момент инерције), оријентациони углови (уздужне осе возила) и карактеристике судара (тачка судара, оријентација $n - t$ оса, коефицијент реституције, коефицијент односа импулса). Да би се применила раванска механика судара неопходно су претпоставке. Једна је „вертикална униформност профила оштећења”, што подразумева да се деформационе површине за свако возило појединачно могу представити вертикалном равни, а потребно је и да постоји заједничка тачка на возилима која представља тачку деловања импулса.

Развијен је и модел **MEDUSA** који је приказан у серији извештаја. О'Рајли (O'Reilly) је са сарадницима развио модел који користи Косера (Cosserat) теорију за прорачун судара тј. за моделирање еластичних деформација каросерије, на основу дводимензионално оријентисаног модела љуски. Остале карактеристике овог модела укључују моделе точка и ослањања. Они су допуњени алгоритмом за детекцију судара. У садашњој верзији, површине возила моделиране су помоћу деформабилних суперелипсоида. Диференцијалним једначинама моделовано је кретања возила. Овај модел је развијан и усавршаван у периоду од 1997. до 1999. године, али још увек нема комерцијалних верзија софтвера MEDUSA. Батиста (Batista) је дао приказ свог графичког корисничког интерфејса за програм MEDUSA у 3D формату. Такође, овај аутор је развио и графички кориснички интерфејс за програм SMACPP, SMAC07 и bSMAC.

Дводимензионалне симулације судара се успешно користе већ више од две деценије, а такође добро познате су дводимензионалне и тродимензионалне импулсне методе реконструкције.

Тродимензионалне симулације судара се могу постићи и коришћењем методе коначних елемената, али то није практично за интерактивну симулацију судара због дугог времена припреме и извођења симулације које може да потраје и неколико дана. Међутим, развијају се нови приступи коришћењем новог алгоритма за праћење интеракције површина возила у облику мрежа. Тродимензионалне силе се узимају у обзир приликом решавања проблема, а изглед деформације се визуелно представља у функцији времена. Овај алгоритам узима у обзир материјал каросерије возила у виду инпута.

Техника заснована на методи коначних елемената постоји већ деценијама. Последњих година, захваљујући развоју хардвера рачунара а нарочито процесора, омогућено је њено коришћење у многобројним динамичким симулацијама. Нелинеарне особина материјала, велике деформације и сложени контактни проблеми су типични за ову анализу. Симулације ове врсте вршили су обично конструктори и произвођачи возила. Инжењери из области безбедности аутомобила нису много користили методу коначних елемената изван области производње и конструисања. Симулација једног судара обично траје неколико сати или чак дана у обради на рачунарима и са изузетно добрим перформансама (Grau). Поред тога, развој структурног модела за један аутомобил може да потраје неколико недеља па и више од тога. За методу коначних елемената потребно је детаљно познавање структуре материјала који се моделира, крутости и геометријских облика. Из тих разлога, метода коначних елемената није практична за употребу у реконструкцији судара возила на путевима. Зато се реконструкције још увек врше помоћу једноставнијих метода, као што су импулсне и енергетске методе, или проширене верзије SMAC алгоритма. Иако постоје реалне могућности за побољшање актуелних метода за реконструкцију судара, из практичних разлога није пожељно направити нагли прелаз са

актуелних метода на коришћење сложене методе коначних елемената. Зато се унапређује компромисни приступ који садржи технике и из методе коначних елемената и из актуелних метода, првенствено кроз DyMesh (Dynamic Mechanical Shell) приступ.

3.1.1. Сударни модели импулсног типа

У реконструкцијској шеми незгоде, анализом сударне фазе процењује се промене брзина ΔV два возила у току судара. Свако возило има три компоненте брзине. Ово имплицира шест сударних и шест брзина након судара, што је укупно дванаест компонената брзина у проблему судара. Из перспективе класичне механике, решењем проблема судара треба обезбедити систем једначина којим ће се дефинисати модел судара за израчунавања брзина након судара ако су познате сударне брзине. Са тачке гледишта реконструкције незгоде, проблем је обично да се израчунају компоненте брзина пре судара на основу брзина након судара или можда комбинација, као што се дешава у неким случајевима. У сваком случају, закони механике и математике су бескомпромисни, тако да је потребно шест независних услова (обично у облику линеарних једначина) да би се обезбедило јединствено решење проблема.

Историјски, две различите технике моделовања су примењиване. Обе укључују формулацију импулса по другом Њутновом закону. Прва техника се односи искључиво на овај принцип повезан са трењем и реституцијом, а друга метода комбинује импулс силе са односом између геометрије судара и губитка енергије. Обе методе коначно доводе до промене брзине ΔV и других одговарајућих информација у вези са сударом ^[3]. Без обзира на метод употребљен за анализу судара, индиректно ΔV је величина која се тражи. ΔV се традиционално употребљава на два различита начина.

Први начин употребљава ΔV у форми величине само да би се у узајамни однос са њом довела тежина повреда учесника незгоде. Други начин употребљава векторске компоненте ΔV да би се у узајамни однос довеле брзине након судара са сударним брзинама. Требало би истаћи да су у приступу анализе судара који укључује само принципе импулса силе, компоненте ΔV векторске величине. У приступу који укључује деформације, ΔV је третирана као скаларна величина. Њене компоненте су онда одређене преко угла PDOF, који мора бити одређен на основу физичке деформације. Ова процена може често бити тешка услед величине деформације и тачности мерења. Као што је поменуто, постоје две основне категорије импулсног модела судара. Једна користи класичне принципе импулса и количина кретања, а друга ограничава њихову употребу али комбинује мерење оштећења и еластично-пластична понашања. Употреба методе губитка енергије услед деформације, према неким ауторима, има већу прецизност пошто је заснована на експерименталним подацима.

Мада, ово није безусловно тачно из неколико разлога:

Однос између силе, деформације и губитка енергије варира зависно од локације до локације и од возила до возила. Скоро је немогућ задатак установити прихватљиву и исцрпну базу података. Ови концепти који се данас користе у моделима су јако ограничени и недовољни да обезбеде прецизне резултате.

Даље, ова ограничења су потпуно непотребна пошто су импулсни модели релативно једноставни за употребу без значајно ограничавајућих претпоставки. У ствари, исправно формулисани импулсни модели могу обезбедити више информација о губитку и имају већи потенцијал него методе деформације и губитка енергије.

У наставку следи опис појединих модалитета у оквиру реконструкције судара применом импулсне теорије, с посебним освртом на њихове слабости.

Брахов модел

Брах је приказао свој импулсни модел који се заснива на импулсним једначинама планарног судара. Брах рачуна брзине возила након судара, губитак енергије и ΔV на основу дефинисаних сударних брзина, положаја равни судара, тачке судара као и коефицијената односа импулса и реституције. Модели судара који користе мерења деформације за процену губитак енергије базирани су на силама које делују нормално на неоштећену површину возила. Пошто се само део кинетичке енергије губи у овом модалитету, ови модели теже ка томе да потцене губитак енергије, па је неопходно веома пажљиво изабрати вредности коефицијената односа импулса и реституције.

Лимпертов модел

Лимперт је развио модел крутих тела који многи данас користе. Лимперт представља решење за фронтални централни судар два возила. У овој формулацији заступљен је концепт очувања линеарне количине кретања и реституције да би се предвиделе брзине након судара возила која су учествовала у централном судару са познатим брзинама пре судара. Он затим разматра кос центричан и фронтални ексцентричан судар. Пажљивим прегледом ових једначина неколико запажања се може дати о претпоставкама које је Лимперт дао формулишући своје решење. Мада је у Лимпертовој анализи коришћена реституција фронталног централног судара, овај концепт је приметно одсутан из његових једначина које представљају косе нецентричне сударе. Ово изостављање реституције указује да Лимперт моделује незгоду нееластично са коефицијентом реституције увек једнаким нули. Проучавања су показала, да је коефицијент реституције за већину незгода мали, а претпоставка да је једнак нули, је донекле оправдана. Мада, неке студије такође указују на то да за неке сударе аутомобила овај коефицијент може достићи вредности до 0,4. Овакве варијације могу имати значајан ефекат на предвиђање брзина након судара.

Други параметар који Лимперт не узима у обзир је коефицијент трења између два возила на додирној површини. У поменутој презентацији, он користи претпоставку да ће се у фази настанка деформације брзина тела променити тако да у максималној деформацији оба тела имају једнаке (векторске) брзине. Ово у себи садржи претпоставку да коефицијент трења (количник тангенцијалног импулса и нормалног импулса) је увек довољно велики да заустави релативно кретање два возила пре раздвајања. Као последица тога, Лимпертово решење није применљиво на сударе боковима возила у којима релативно кретање два возила у тачки судара не иде на нулу пре раздвајања. Лимпертов модел не обухвата момент између два возила на сударној површини. Ово ограничава применљивост овог модела на сударе у којима се не развија значајан момент импулса на површини судара.

Мекмиланов модел

Примену принципа импулса и количина кретања у сударима возила представио је и Мекмилан. У његовом решењу проблема косог аутомобилског судара, он уводи оба коефицијента и трења и реституције. У таквом приступу за трење између два возила Мекмилан такође употребљава дефиницију коефицијента трења као пропорцију тангенцијалног и нормалног импулса. То омогућава моделовање трења између два возила у случајевима спајања и блокирања делова каросерије као код Кулоновог трења. Мекмилан не укључује спрег импулса на контактної површини. Он коментарише да то није неопходно и ако би био укључен једино би променило линију деловања импулсне компоненте која је нормална на сударну површину. Мекмилан тврди да је ово погодније урадити мењањем положаја тачке судара. Ова тврдња указује на неразумевање потребе за моментом импулса.

Мекмилан представља систем од шест једначина и шест непознатих као решење планарног проблема судара. Он такође указује да инверзни проблем може бити решен, наиме, одређује сударне брзине на основу познатих брзина након судара. Он указује да се ово може реализовати употребом његових шест једначина и дефинисањем нормалног импулса.

Образложење за добијање инверзног решења је практично, пошто се реконструкција незгоде обавља реконструкцијом фазе након судара што је најчешће од великог значаја за рачунање брзина возила пре судара. Мада, није неоубичајено да се у аутомобилским сударима створе претпоставке да је судар потпуно нееластичан, услов под којим је $\varepsilon=0$ ће створити проблем за инверзно решење, пошто се ε појављује у имениоцу једначине. Ова ситуација није јединствена у Мекмилановом решењу. Да би се избегао овај проблем, могу бити коришћене мале вредности за ε .

Вулијев модел

Вули је предложио модел IMPAC (**M**omentum of a **P**lanar **A**ngled **C**ollision). Вули је остварио решење својих једначина на компјутеру и назвао их IMPAC. Овај акроним биће коришћен у наредном тексту када се односи на његово решење. IMPAC формулише систем од 6 једначина и 6 непознатих које могу бити решене за три компоненте брзина након судара за оба возила учествовала у судару. Прве две једначине добијене су из одржања линеарне количине кретања у два међусобно управна правца. Следеће две једначине су добијене кроз директну употребу принципа импулса и угаоног момента за свако од два возила. Последње две једначине добијају се увођењем ограничења за релативне брзине два возила.

Ограничавајући услов заједничке брзине, одређује тачку на сударној површини (центар судара), тако да возила имају исту брзину праћену разменом импулса. Вули указује на то да је ово последица претпоставке да је судар нееластичан. Подразумевање нееластичног судара би требало да значи да су нормалне компоненте брзине возила идентичне након размене импулса. Тангенцијалне компоненте брзина не морају бити идентичне у нееластичном судару. Међутим, претпоставка да су брзине возила у центру деловања импулса једнаке слаже се са испитивањима многих судара и Лимперт ју је такође употребљавао.

Алтернативно ограничење брзине које Вули помиње је услов ограничења код судара боковима возила. Ово у ствари дозвољава уклањање општег услова тангенцијалних брзина након судара и дозвољава релативну тангенцијалну брзину названу брзина клизања. Дата је у процентуалном облику. Овај процес је аналоган дефинисању услова трења на сударној површини али захтева назначивање тангенцијалне брзине након судара априори. Оба ова ограничења, ограничење заједничке брзине и ограничење судара боковима возила, комбиновани су с претпоставком да се разматрају само потпуно нееластични судари. Тако Вулијева решења одговарају за $\epsilon=0$.

CRASH модел

Принципи импулса и количина кретања не нуде јединствен приступ проблему судара возила. Метод CRASH широко је прихваћен као модел за анализу судара. Ово се делом односи на чињеницу да је рано развијен. CRASH такође укључује и анализу фазе након судара. CRASH је првобитно развијан као улазни програм за други, опширнији програм анализе судара, али убрзо је постао популаран као засебан модел. CRASH је ажуриран до своје најновије верзије CRASH3. Принципи који чине његову основу нису промењени до данас. Јединствена одлика модела CRASH је да се вредност ΔV може израчунати мерењем структуралних деформација. Енергија коју возила апсорбују одређена је моделовањем возила као скупа савршено еластичних опруга који се деформишу до максималног нивоа

без реституције. Енергија се онда може израчунати на основу мерења деформација на возилу. Крутост ових опруга уграђена је у компјутерски програм по категоријама возила и базира се на експерименталним подацима. CRASH такође користи и неке једначине импулса, количина кретања, момента и концепт центра судара на сударној површини. То такође намеће услов заједничке брзине у овој тачки за извођење једначина којима се рачуна ΔV . Ова заједничка брзина имплицира непостојање реституције и да се релативно клизање возила завршава пре раздвајања.

Да би се израчунала величина ΔV за свако возило, CRASH захтева да буде одређен главни правац силе PDOF, у ствари то би требало да буде правац вектора резултујућег импулса. У импулсном моделу попут Браховог и Мекмилановог овај смер контролише коефицијент трења односно $\mu = It/In$. Овде, правац силе PDOF је неопходан како би се одредила нормална растојања у односу на тежишта возила, која су неопходна за рачунање осталих параметара који фигуришу у обрасцу за ΔV . CRASH значи, користи $\mu = \mu_{max}$ да израчуна вредност ΔV тако да дозвољава кориснику да може одабрати различите вредности за μ (кроз PDOF избор) да би одредио векторске вредности ΔV . Ово је недоследност које многи корисници модела CRASH нису свесни. Брзине пре судара се онда могу израчунати ако су познате брзине после судара које се могу израчунати анализом постсударне динамике.

Метод заснован на структуралним деформацијама у CRASH програму за анализу и реконструкцију судара састоји се од две основне операције. Процена апсорбоване енергије сваког возила и довођење у везу енергије судара са променама брзине возила. Основа овог модела је претпоставка да коришћени коефицијенти крутости могу бити одређени на основу података о тесту удара возила у баријеру. CRASH прописује овај коефицијент крутости по категоријама возила пошто овај податак није често доступан за свако индивидуално возило. Ови подаци се редовно морају ажурирати како се производе нова возила са новим структуралним карактеристикама. То је дуг и скуп процес тако да је ажурирање ових података релативно ретко.

Тачност модела CRASH зависи од тачности мерења деформација возила, пошто оне заједно са коефицијентом крутости одређују количину апсорбоване енергије возила у току судара. То захтева да корисник прецизно утврди димензије оштећења мерењем одређеног возила. Профили оштећења су суштински битно неправилни и предмет су разних интерпретација како по дубини тако и по дужини. Сасвим је извесно да ће две одвојено одређене брзине ΔV у истом судару бити различите. Врло је уобичајено да предњи крај возила у судару на раскрсници са боком другог возила може задобити знатна индукована бочна оштећења. Техника коју CRASH користи да квантификује оштећење не рачуна ову деформацију, па отуда апсорбована енергија није ни укључена у рачунање промене брзине.

PC-CRASH модел

Знатно касније од претходно поменутих сударних модела, примену принципа импулса и количина кретања у сударима возила представили су Стефан и Мозер у (Steffan). Они су имплементирали Кудлич-Слибаров модел судара у програм PC-CRASH. У Европи је у односу на САД, касније почело моделовање механике саобраћајне незгоде применом рачунара. До појаве првог компјутерског модела, коришћење великог броја формула било је компликовано, тако да су се углавном користиле графоаналитичке методе засноване на графичкој интерпретацији ових формула и уопште теорије судара. Тек развојем рачунарског моделовања, Кудлич-Слибаров модел је пронашао пуну практичну примену.

Кудлич-Слибаров модел заснива се на сличном принципу као и Брахов, само је Брах направио другачији приступ проблему. У оба случаја међутим, долази се до истог решења, али само на другачији начин. Наиме, дводимензионални сударни модел заснива се на систему од осам једначина и осам непознатих. Прве четири једначине односе се на количине кретања, друге две узимају у обзир моменте количина кретања и последње две допунске једначине, заснивају се на хипотезама судара у вези са трењем и реституцијом. Код 3D модела у програму PC-CRASH, ове једначине су проширене, тако да се ради о систему од 15 једначина и то 6 једначина се заснива на количинама кретања, 6 на моментима количина кретања и последње три су допунске.

Кудлич-Слибаров модел судара карактерише се дефинисањем тачке судара. Овај модел полази од претпоставке да постоји размена сударних сила (акција и реакција) у току једног малог интервала у једној тачки која се назива тачком импулса или тачком судара. Сударне силе се не анализирају одвојено у неком периоду, већ се у обзир узима интеграл криве сила-време, тј. импулс. У овом моделу разликују се потпуни судари, код којих возила постижу заједничку брзину након контакта и клизајући судари код којих се не постиже заједничка брзина. Тангенцијална релативна брзина између тела једнака је нули ако је правац деловања импулса унутар конуса трења. Постсударни параметри се рачунају на основу фазе пре судара, дефинисане брзинама и положајима возила. Овде се, као што је Њутн дефинисао, судар дели на две фазе: фазу сабијања-компресије и фазу враћања-реституције.

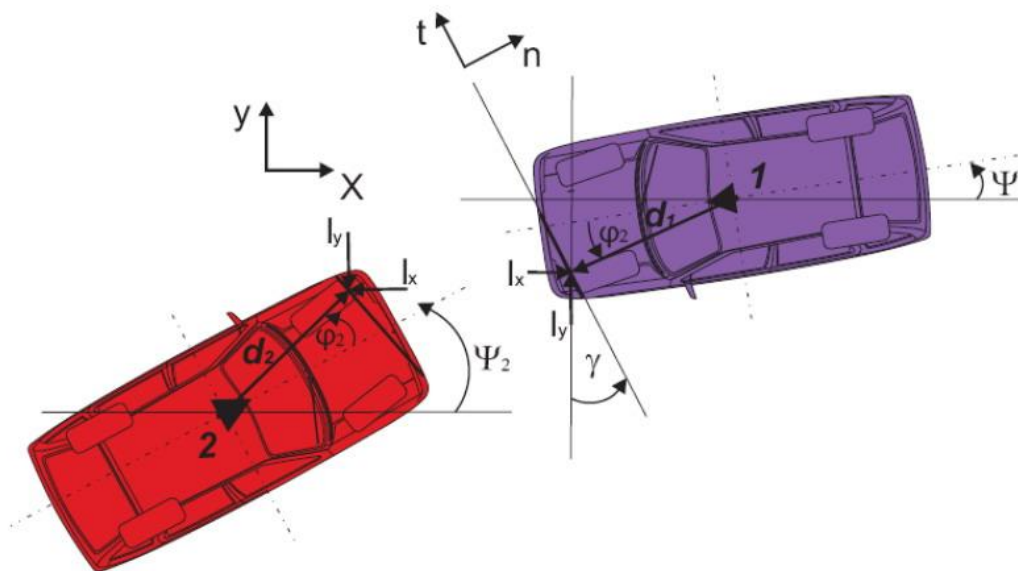
Брахов модел захтева од корисника да сам дефинише конфигурацију судара у смислу задавања положаја тачке судара и равни судара, док PC-CRASH аутоматски прорачунава ове параметре на основу положаја возила у сударној фази како је то дефинисао корисник програма.

3.1.2. Математичко-механички модел

У неким радовима анализирани су резултати реконструкције креш тестова применом претходних модела, који показују да се у оквиру модела који се заснивају на импулсној теорији израчунате промене брзина не слажу добро са вредностима измереним у време теста. Вулијева и Брахова ΔV је много ближа измереним вредностима него CRASH. Међу анализираним сударима највећу девијацију грешака процењене ΔV има CRASH 48 %, Вули 18 % и на крају Брах 12 %. Делимичне разлике постоје јер PC-CRASH укључује решења добијена помоћу оптимизатора судара.

Модел који је развио Брах најопштији, нуди више исцрпних дефиниција и користи неколико параметара у моделовању судара. Ова исцрпност омогућава овом моделу да, са извесним ограничењима, дође до истоветних резултата модела Лимперта, Мекмилана и Вулија, али такође дозвољава тачније моделовање судара које не подлеже поједностављеним претпоставкама направљеним у формулацијама ових других модела. Познато је да CRASH модел не може да се користи за сударе боковима возила, међутим ово ограничење није пронађено у општем импулсном моделу. Пошто је Брахов модел доследнији и универзалнији импулсни модел у односу на моделе Лимперта, Мекмилана и Вулија, а једноставнији у односу на Стефан-Мозеров, то ће се овај приступ бити приказан у наставку.

Слика 4 приказује два аутомобила у облику одвојених слободних тела чије су масе m_1 и m_2 , са моментима инерције J_1 и J_2 и са заједничком тачком додира тј. судара C . Глобални, фиксни (x, y) референтни координатни систем везан је за тло.



Слика 4. Шематски приказ два возила у судару

Положаји аутомобила у тренутку судара одређени су угловима Ψ_1 и Ψ_2 у односу на $x - y$ координатни систем. Позиција заједничке тачке C (која представља тачку судара) дефинисана је растојањима од тежишта аутомобила d_1 и d_2 и угловима ϕ_1 и ϕ_2 . Нормални и тангенцијални координатни систем (n, t) односи се на заједничку, додирну површину тј. површину судара која у односу на глобални координатни систем у општем случају може бити под углом γ . Пројекције растојања d_1 и d_2 на осе координатног система $n - t$ су:

$$\begin{aligned} da &= d_2 \sin(\Psi_2 + \phi_2 - \gamma) \\ db &= d_2 \cos(\Psi_2 + \phi_2 - \gamma) \\ dc &= d_1 \sin(\Psi_1 + \phi_1 - \gamma) \\ dd &= d_1 \cos(\Psi_1 + \phi_1 - \gamma) \end{aligned}$$

Компоненте импулса I_n и I_t као и компоненте брзина пре и након судара могу се трансформисати из $x - y$ у $n - t$ координатни систем уз помоћ тригонометријских функција. Тако је однос између компонената импулса дат једначинама:

$$\begin{aligned} I_n &= I_x \cos \gamma + I_y \sin \gamma \\ I_t &= I_x \sin \gamma + I_y \cos \gamma \end{aligned}$$

Овде се претпоставља да је интензитет силе која делује на заједничку додирну површину возила знатно већи у односу на друге силе (аеродинамичке силе, силе трења између пнеуматика и подлоге и др.). Тако се импулси свих сила, осим сударне силе занемарују. Поред тога, претпоставља се да је трајање контакта или прецизније, трајање импулса силе, веома кратко. Ово указује на то да су за време контакта убрзања велика тако да се брзине изненада мењају, па су и померања (промене положаја и оријентације) незнатна. Са оваквим претпоставкама, Њутнови закони који се тичу импулса силе и количине кретања могу се применити директно на тела (аутомобиле.. Једначине импулса и количине кретања за m_1 и m_2 на x и y осе су:

$$\begin{aligned} m_1 V'_{1x} - m_1 V_{1x} &= I_x \\ m_2 V'_{2x} - m_2 V_{2x} &= -I_x \\ m_1 V'_{1y} - m_1 V_{1y} &= I_y \\ m_2 V'_{2y} - m_2 V_{2y} &= -I_y \end{aligned}$$

Према другом Њутновом закону, промена угаоног момента силе једнака је моментима импулса сваког тела. Примењено на сваку масу посебно, добија се:

$$\begin{aligned} m_1 r_1^2 (\omega'_1 - \omega_1) &= I_n dc - I_t dd \\ m_2 r_2^2 (\omega'_2 - \omega_2) &= I_n da - I_t db \end{aligned}$$

Променљиве r_1 и r_2 представљају полупречнике обртања тела око својих центара маса. Другим речима, одговарајући моменти инерције представљени су на следећи начин:

$$J_1 = m_1 r_1^2$$

$$J_2 = m_2 r_2^2$$

Треба напоменути да горе поменути симболи представљају почетак судара. Тако је у случају линеарних брзина и импулса (иницијални импулси на почетку додира једнаки су нули). У овом тренутку има шест једначина и осам непознатих $V_{1x}, V_{1y}, V_{2x}, V_{2y}, \omega_1, \omega_2, I_x$ и I_y . За решавање система једначина потребне су још две једначине, па се тако дефинишу два коефицијента. Коефицијент реституције се дефинише као количник релативне нормалне брзине у тачки C на крају додира и релативне нормалне брзине на почетку додира

$$\varepsilon = - \frac{V_{Crn}}{V_{Crn}}$$

где индекс C означава тачку додира, r релативну брзину, а n компоненте нормалне брзине. Те релативне брзине у тачки C су:

$$V_{Crn}' = V_{1n}' + d_c \omega_1' - V_{2n}' + d_a \omega_2'$$

$$V_{Crn} = V_{1n} + d_c \omega_1 - V_{2n} + d_a \omega_2$$

Такође се употребљава и коефицијент односа импулса μ који је претходно дефинисан као количник компоненти тангенцијалног и нормалног импулса, у облику:

$$I_t = \mu I_n$$

Сада има осам једначина и осам непознатих. Једначине су линеарне и могу се решити. Тако се решене једначине, могу експлицитно написати на следећи начин:

$$\begin{aligned} V_{1n}' &= V_{1n} + \bar{m}(1 + \varepsilon)V_{rn} \frac{q}{m_1} \\ V_{1t}' &= V_{1t} + \mu \bar{m}(1 + \varepsilon)V_{rn} \frac{q}{m_1} \\ V_{2n}' &= V_{2n} - \bar{m}(1 + \varepsilon)V_{rn} \frac{q}{m_2} \\ V_{2t}' &= V_{2t} - \mu \bar{m}(1 + \varepsilon)V_{rn} \frac{q}{m_2} \\ \omega_1' &= \omega_1 + \bar{m}(1 + \varepsilon)V_{rn} \frac{(d_c - \mu d_a)q}{J_1} \\ \omega_2' &= \omega_2 + \bar{m}(1 + \varepsilon)V_{rn} \frac{(d_a - \mu d_b)q}{J_2} \end{aligned}$$

где су $\bar{m}$, V_{rn} , и q :

$$\bar{m} = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2}$$

$$V_{rn} = V_{2n} - d_a \omega_2 - V_{1n} - d_c \omega_1$$

$$q = \frac{1}{1 + \frac{\bar{m} d_c^2}{J_1} + \frac{\bar{m} d_a^2}{J_2} - \mu \left(\frac{\bar{m} d_c d_a}{J_1} + \frac{\bar{m} d_a d_b}{J_2} \right)}$$

3.2. Метода базирана на деформационој енергији

Две главне претпоставке дискретне методе су да за време трајања судара нема промене позиције и положаја возила и да се за време трајања судара разматрају само сударне силе које су знатно веће од сила на пнеуматичима. Због тих претпоставки доводи се у питање објективност импулсне методе код судара возила малим брзинама. У том случају разлика између ових сила није екстремно велика, па се самим тим силе на пнеуматичима не могу занемарити јер могу значајно утицати на динамику возила. Прецизност добијених резултата импулсном методом у случају судара малим брзинама нарочито се може довести у питање у ситуацији када се масе возила у судару знатно разликују и када се точкови возила крећу по подлози велике храпавости. Тада силе које се јављају на пнеуматичима возила веће масе могу бити реда величине сударних сила. Поред тога, за случај колинеарних и приближно колинеарних судара, резултати импулсне методе су веома осетљиви на мале промене праваца.

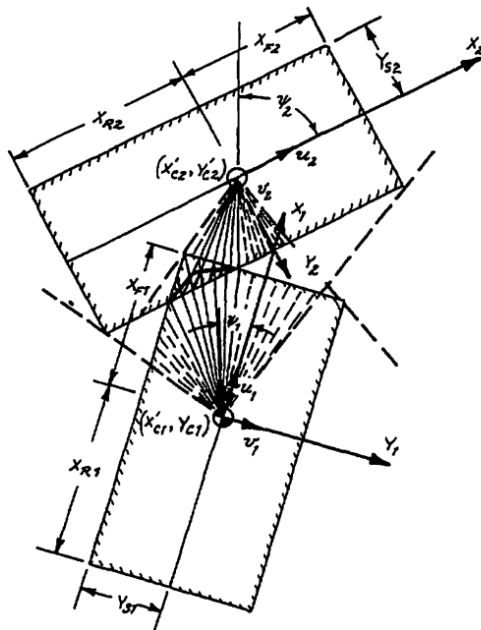
Пре стварања програма SMAC, општа пракса у анализи аутомобилских судара била је одвојено разматрање фазе судара и трајекторије након судара. Ова подела аналитичких задатака је била заснована на претпоставкама да су ефекти сила на пнеуматику у фази судара занемарљиви и да се судар може сматрати тренутним. Иако се ове претпоставке чине разумним, оне могу утицати на значајне грешке, на пример, као што је већ наведено у случају судара са умереним брзинама. Затим, секундарни судари су занемарени. Грешке могу бити причињене и у предвиђању трајекторије са значајном ротацијом аутомобила. С друге стране, ако су занемарене силе на пнеуматичима током периода у току којег се дешавају судари, могу се начинити значајне грешке у бочном кретању возила између судара. Због тога, од суштинског значаја у моделовању судара аутомобила је дефинисати општи поступак за реконструкцију судара којим ће се и сударне силе и силе на пнеуматичима истовремено узети у обзир.

Промене у позицијама возила и њиховој оријентацији током фазе судара такође могу произвести значајне промене у правцима и интензитетима сила и момената који делују на возила. Раних 80-тих, истраживања су открила да тачност израчунатог угаоног момента у реконструкционим техникама судара које укључују претпоставку да нема кретања између судара и раздвајања возила могу произвести неприхватљиве нивое грешака (веће од 20 %) у многим случајевима.

Аналитичке технике за реконструкцију судара засноване на конвенционалним импулсним анализама су донекле субјективније и у погледу утврђивања почетних сударних услова као што су „тачка контакта” или „тачка максималног деформационог померања” или „центар судара”.

3.2.1. Математичко-механички модел

Када програм детектује преклапање контура возила тј. контакт између њих, следи прорачун притисака у додирним тачкама. Контакт се детектује провером да ли постоји бар једна тачка која истовремено припада и једном и другом возилу, тј. тачка која се налази у контурама и једног и другог возила. Додирне тачке су дефинисане мноштвом вектора положаја који имају почетак у тежишту возила, а завршетак на њиховим контурама (слика 5).



Слика 5. Радијални вектори

У овом моделу, прво се рачунају притисци па тек онда деформационе силе. Да би се то постигло, прво је успостављено низ подједнако распоређених радијалних вектора од центра масе возила. Сваки радијални вектор представља потенцијални правац на коме се може наћи тачка деловања деформационог притиска на возило. Да би се прорачунали деформациони притисци, прво се утврђује тачка пресека радијалних вектора два возила, а затим се обрађују сви остали вектори. Када је први пресек одређених радијуса потврђен, онда се успоставља још два додатна вектора. Један који иде од центра масе првог возила до тачке контакта са другим возилом и други од центра масе другог возила до његове тачке контакта са првим возилом.

Притисак на i -том сегменту за j -ото возило је:

$$P_i^{(j)} = K_i^{(j)}(r_{i,max}^{(j)} - r_i^{(j)})$$

где је $\Gamma_{i,\max}^{(j)}$ дужина радијалног вектора до габарита недеформисаног возила, а $r_i^{(j)}$ дужина радијалног вектора до тачке контакта у деформисаном стању возила. Тачна дужина вектора $r_i^{(j)}$ се одређује кроз више итерација увећањем дужине вектора за прираштај који је дефинисан од стране корисника, уз услов да се притисци $P_i^{(1)}$ и $P_i^{(2)}$ морају изједначити. Када је i -ти радијални вектор ri у фази реституције он се увећава на следећи начин:

$$r_{r,i} = cr_{max,i} + (1 - c)ri$$

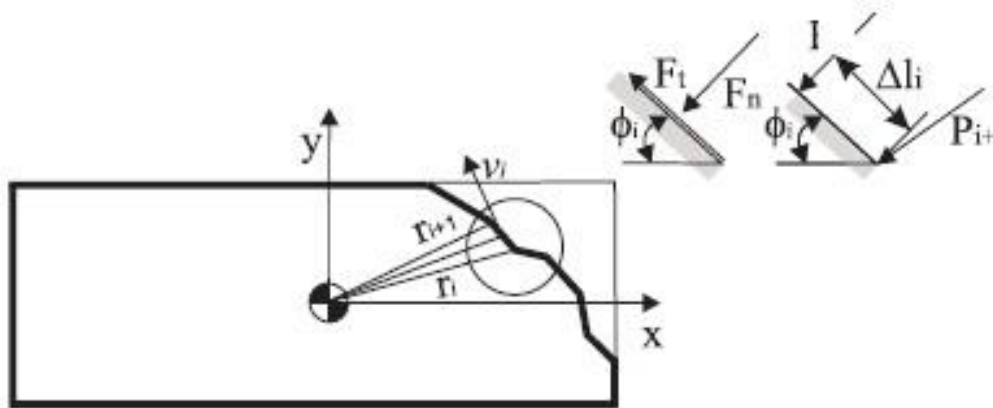
где је $r_{max,i}$ максимална дужина i -тог радијалног вектора, а параметар c изржен преко коефицијента реституције је:

$$c = 1 - \sqrt{1 - \varepsilon^2}$$

Када су деформациони (сударни) притисак и дужине радијалних вектора познати, рачунају се нормалне силе. Свака нормална сила је усмерена под правим углом у односу на тетиву сегмента који повезује тачке два суседна радијална вектора. Нормална сила на i -том сегменту је:

$$F_{n,i} = \frac{1}{2}(P_i + P_{i+1})\Delta l_i$$

где је P_i притисак на почетку сегмента, притисак P_{i+1} на крајњем делу сегмента, а Δl_i је дужина сегмента, која може бити израчуната преко координата суседних радијалних вектора као $\Delta l_i = \sqrt{(x_i - x_{i+1})^2 + (y_i - y_{i+1})^2}$.



Слика 6. Нормалне и тангенцијалне силе на деформисаном сегменту

Тангенцијална сила трења на i -том сегменту је:

$$F_{t,i} = \mu_v F_{n,i}$$

где је μ_v коефицијент трења између возила. Овај модел користи следећу формулу за дефинисање овог коефицијента:

$$\mu_v = \begin{cases} 0, & |\Delta v| < \zeta_v \\ \mu \operatorname{sgn}(\Delta v), & \zeta_v \leq |\Delta v| \end{cases}$$

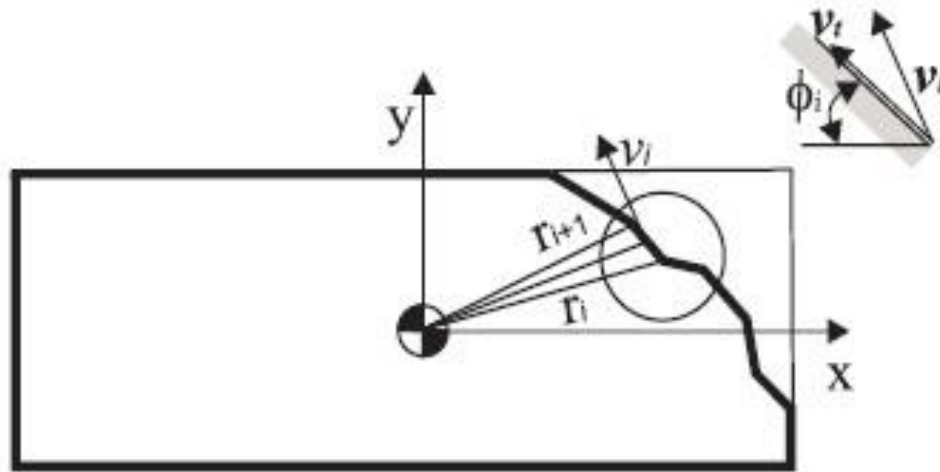
где је μ уобичајен коефицијент трења, Δv је разлика између брзина возила у тачки додира $v_{t2} - v_{t1}$, а ζ_v је кориснички дефинисана брзина која контролише за коју разлику брзина се користи пуно трење.

Препоручена вредност за ζ_v је око 0,1 m/s.

Да би се израчунала разлика у брзинама, потребно је знати да је тангенцијална брзина на средини i -тог деформисаног сегмента:

$$v_{t,i} = (v_x - \omega y_i) \cos \phi_i + (v_x + \omega x_i) \sin \phi_i$$

Слична једначина се користи и за друго возило учествовало у судару.



Слика 7. Вектори брзина на деформисаном делу

Када су обе брзине на додирној тачки познате, може се израчунати разлика брзина Δv . За рачунање брзине возила након судара, неопходно је све силе које делују на возило уврстити у диференцијалне једначине кретања, чијим се решавањем добијају брзине возила и координате тежишта у функцији времена.

4. РАЧУНАРСКА СИМУЛАЦИЈА ПРИМЕНОМ РАСПОЛОЖИВИХ СОФТВЕРА

Основни циљ експертиза саобраћајних незгода је утврђивање околности у којима је дошло до незгоде у циљу утврђивања одговорности учесника за њихов настанак. Поред традиционалних метода у поступку експертиза, а у складу са перманентним развојем науке и рачунарске технологије, у све већој мери су у примени савремене методе, засноване на коришћењу специјализованих рачунарских симулација применом расположивих софтвера.

CRASH компјутерски програм који је развио Мекенри на основу енергетске и импулсне методе а касније је више пута прошириван, прво NHTSA, а затим други истраживачи, као што су Dey (EDCRASH), Big (Bigg) (WinCRASH), Fonda (Fonda). CRASH је још увек заснован на импулној и енергетској методи и такав је у употреби већ неколико деценија. Додатним истраживањима Вули (Woolley) (IMPAC), Смит (Smith), Стефан (Steffan) (PC-CRASH), програмиране су импулсне једначине за израчунавање брзина возила након судара на основу претпостављених сударних брзина ^[4].

Специјализовани програмски пакети намењени експертизама саобраћајних незгода у Европи као што су CARAT, PC-CRASH, Analyzer Pro и Virtual CRASH развијају се од деведесетих година прошлог века па до данас. Сваки од ових програмских пакета је пре комерцијализације морао проћи кроз сложен поступак верификације у виду компарације добијених излазних резултата са резултатима експеримената спроведених на испитним полигонима. Да би се то постигло, њихову основу је морао чинити одговарајући симулациони модел, заснован на сложеним математичко-физичким зависностима. Симулација представља имитацију неке стварне појаве или система, односно рачунарско моделирање стварног стања ствари или процеса. Посебну категорију чине симулације сложених динамичких система и појава као што су судари возила.

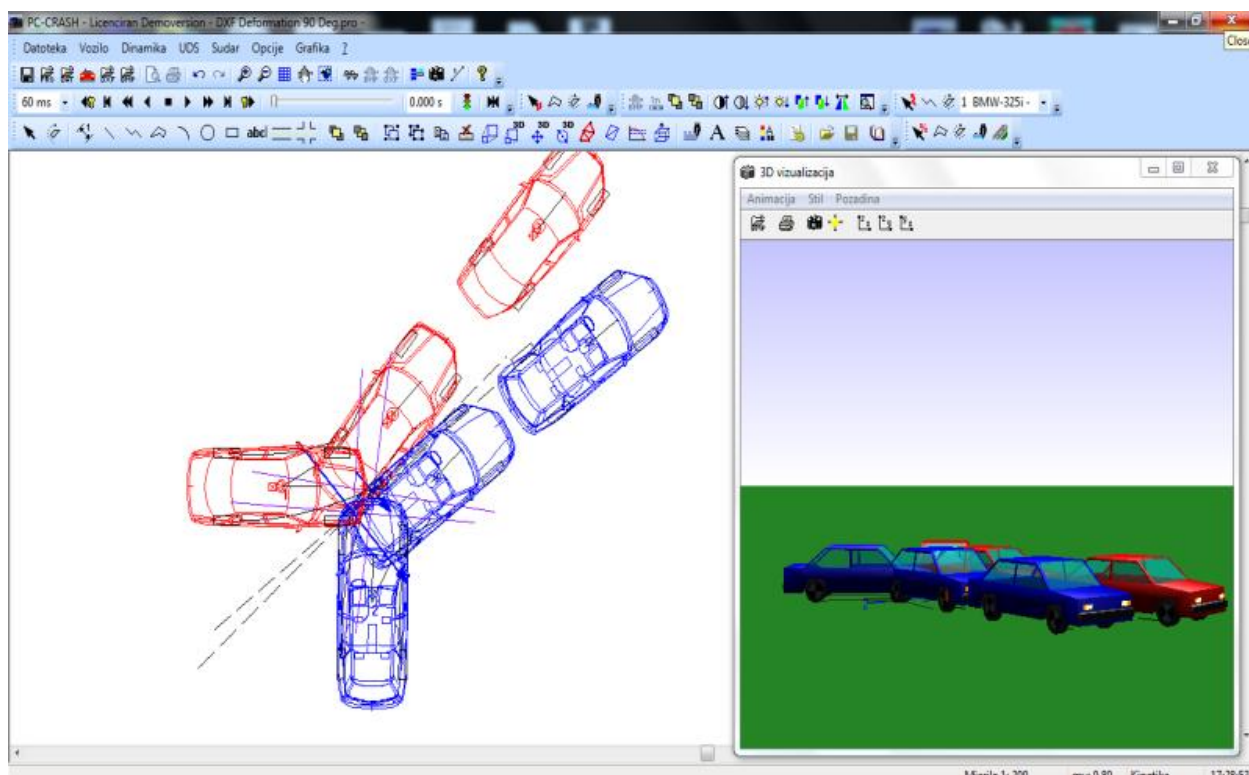
Симулација саобраћајне незгоде, омогућава истраживање утицаја појединих параметара релевантних за ток незгоде и представља веома ефикасно средство за разјашњење околности везаних за њен настанак. Већина горе наведених програмских пакета има могућност визуелизације спроведених симулација у дводимензионалној и тродимензионалној форми. Овакав облик презентације олакшава интерпретацију сложених математичких зависности и преводи их у језик лако разумљив за све у судници.

У наредним поглављима овог рада ће бити приказан начин рада, могућности софтверског алата PC-CRASH у симулацији судара возила, значење појединих алатки програма као и новине у новијим верзијама овог софтверског алата.

4.1. Примена програмског пакета PC-CRASH у анализи судара возила

Развој програмског пакета PC-Crash почео је 1990. године у аустријској истраживачкој компанији DSD (Dr Steffan Datentechnik). Аутори механичких модела су Steffan i Moser. Данас интерфејс графичког окружења има подршку на 18 светских језика, тако да се може рећи да је овај програмски пакет, намењен симулацији и реконструкцији саобраћајних незгода најраширенији у свету. Једна од најбитнијих тржишних предности PC-Crash -а је такав приступ његовом развоју, који омогућава максимално приближавање захтевима корисника у погледу употребљивости.

Основу овог рачунарског програма чини класичан Кудлих-Слибар сударни модел, који је заснован на закону промене количине кретања и закону о промени момента количине кретања, уз респектовање коефицијента реституције код потпуних судара и коефицијента трења између возила, код судара који имају карактер окрзнућа. Поред анализе судара возила, овај програмски пакет пружа могућност анализе налета возила на пешаке, двоточкаше и др.



Слика 8. PC-Crash симулационо окружење

Danas su dostupne sledeće verzije softvera: 9.2 | 9.1 | 9.0 | 8.3 | 8.2 | 8.1 | 7.3. Cene ovog softvera kreću se od US\$ 1,995 do US\$ 4,995, zavisno od verzije softvera (PC Crash™ 9.2 3D US\$4,995; PC Crash™ 9.2 2D US\$1,995) [5].

4.2. Опис програмског пакета PC-CRASH

PC-CRASH је један од најсавременијих програмских пакета за компјутерску анализу саобраћајних незгода. Програм омогућава анимацију динамике возила, тако да се кретање возила од претпостављених сударних до њихових зауставних позиција може визуелно пратити. Да би се оценила тачност компјутерске анализе саобраћајних незгода, један од битних показатеља јесте да се добије добра зауставна позиција, и не само зауставна позиција, већ да се возило креће дуж трагова који су регистровани приликом вршења увиђаја. На тај начин динамика возила добија значај приликом израде компјутерске симулације возила где се са одређеним задатим параметрима возило креће дуж трагова који су обележени у увиђајној документацији ^[6].

Основне карактеристике програмског пакета PC-CRASH-a су :

- Могућност дефинисања расподеле силе кочења између предње и задње осовине;
- Истовремена симулација неограниченог броја возила у незгоди;
- Аутоматско генерисање видео анимације (са статичном или покретном камером);
- Спецификација реакције возача, убрзања, кочења, управљања и других индикатора;
- Спецификација еластичности судара преко коефицијента реституције;
- Аутоматски прорачун свих секундарних судара;
- Дијаграми за пут, брзину и време;
- Мерна алатка;
- Испис извештаја улазних/излазних вредности, укључујући све параметре судара;
- Формат DFX цртежа места догађаја или битмапе могу се користити као подлога за симулацију;
- Модул за симулацију превртања возила;
- Вишеделни модел пешака;
- 2D или 3D кинетички модел прорачуна;
- Интегрисани програм цртања – за модификовање цртежа места догађаја и DFX облике возила;
- Вишеделни мотоцикли и бицикли;
- Промена модела пнеуматика;
- Активирање електронских контрола кочења у кривини, блокаде точкова, као и стабилности у кривини;
- Повезивање возила или објеката у целини помоћу зглобова;
- Приказ деформација возила;
- Промена изгледа каросерије возила;
- Симулација кинематике возила;
- Симулација оптерећења возила;
- Модел сила на пнеуматику.

Поред наведених карактеристика програмског пакета PC-CRASH постоји и читав низ других који ће бити описани у наредним поглављима.

5. РАД СА ПРОГРАМСКИМ ПАКЕТОМ PC-CRASH

У претходним поглављима овог рада дата је основна класификација судара возила, прецизно је дефинисано који се сударни модели засновани на теорији судара, као и врсте примењених софтверских алата који се користе у практичним примерима симулације судара возила, у зависности од тога да ли се ради о дискретној, или пак, о континуалној методи.

У наредним поглављима овог рада ће бити приказан начин рада, могућности софтверског алата PC-CRASH у симулацији судара возила, значење појединих алатки програма као и новине у новијим верзијама овог софтверског алата.

5.1. Покретање новог пројекта

После отварања PC-Crash-a, може бити покренут нови пројекат. Следећа листа садржи већину основних операција потребних за завршетак пројекта. Они су приказани у препорученом реду како би требало да се изводе, иако се ово мозж донекле оставити као избор сваког појединачног корисника. Првих шест операција које су наведене могу се извести чак и са PC-Crash-ом у режиму демо. Детаљи о томе како да се обављају ове операције могу се касније наћи у овом поглављу.

1. Свако возило се учитава из базе података или као насумично изабрано возило помоћу мени опције **Vehicle – Vehicle Database**  или **File – Import – Custom Vehicle** .
2. Све неопходне промене геометрије возила или других параметара су направљени помоћу **Vehicle-Vehicle Settings**.
3. Ово је добар тренутак да одаберете име датотеке за пројекат и сачувајте га помоћу **File-Save** . Ово дугме треба да се користи у редовним интервалима када се ради о пројекту, иако постоји аутоматска функција **File Save**.
4. Информације се могу унети, читавањем или скенирањем **2D** или **3D DXF** цртежа, или читавањем скенирањем цртежа, фотографију из ваздуха или исправљену фотографију и избор одређених својства трења.
5. Возила су постављена на почетку тачке помоћу миша користећи **Dinamics-Move/Rotate Vehicle**  или уносом X и Y координата користећи **Dinamics-Position & Velocity**.
6. Секвенце које контролишу точак кочења, управљање и силе убрзања, и остале функције које утиче на кретање возила као сто су време реакције возача, примењују се сваком возилу које користи **Dinamics-Sequences**.

7. Анализа утицаја може да се изведе, користећи **Impact-Crash Simulation**, заједно са анализом путање након утицаја, користећи **Forward Simulation** алате  . Уколико судар оптимизер треба да се користи да се реше брзине судара и други параметри, остатак возила и/или тренутне позиције морају бити дефинисане при првој употреби **Impact-Rest Positions** или **Impact-Intermediate Positions**.

8. Након утицаја и пост-утицаја предлог је решен за предлог пре-утицаја се може испитати помоћу алата за симулацију уназад  .. Симулација за враћање уназад имају нека ограничења.

9. Дијаграм скала главног екрана, извештај улазних и излазних параметара и табеле и дијаграми дефинишу видљиво померање возила, штампана или завршена као текстуални фајл.

10. Анимације симулације, са фиксног или покретног положаја камере, може бити приказано (само PC Crash 3D).

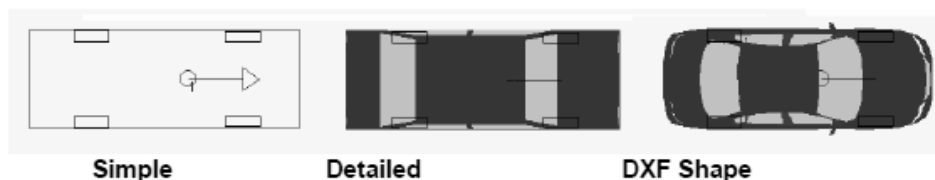
Ако корисник жели да започне нови пројекат након то је један пројекат већ почео, сви претходни улазни подаци могу се избрисати одабиром **File-New menu** опција. Ако промене постојеће датотеке нису сачуване, програм пита да ли корисник жели да сачува промене.

5.2. Облик возила

Симулацију је могуће приказати у једноставној или компликованој форми. Одређени облици возила су Simple, што представља каросерију сваког возила са правоуганм обликом. Други доступан облик је Detailed, који додаје линије за прозоре и бранике. Међутим, са повећањем броја линија на цртежу повећава време refresh -овања симулације.

Да бисте селетовали ову опцију, чекирајте ☒ Detailed veh. Shapes у **Options – Options - Display Settings** или **File – Default settings**. Овај облик је одређен у подешавањима **Vehicle – Vehicle Settings – Vehicle Geometry (Type)** и (у случају аутомобила) – **Vehicle Shape**.

PC-Crash такође дозвољава кориснику да приступи реалистичним облицима возила и њихову симулацију модела, укључују 3D облике аутомобила, у форми DXF цртежа или битмап-а. Ови облици се налазе у мени опцији **Vehicle - Vehicle DXF**.



Слика 9. Начин приказа облика возила у PC-Crash -у

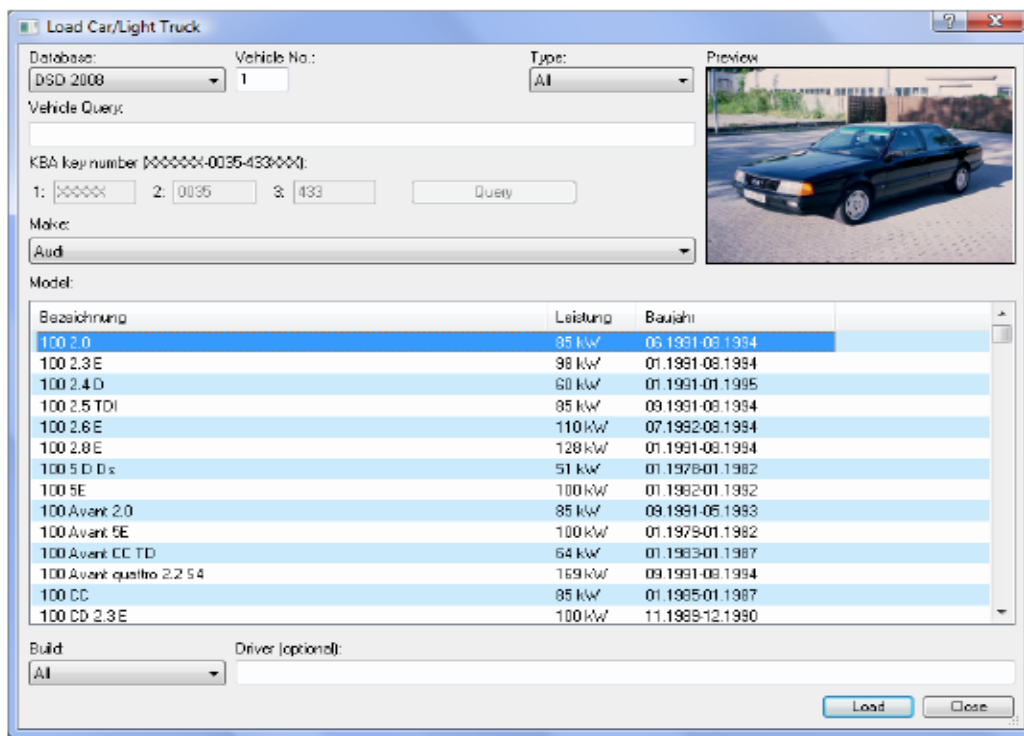
Приказом анализа са DXF облицима аутомбила могу резултирати у дугом времену refresh-овања. Међутим, облици могу бити привремено искључени деактивацијом ☒ DXF Cars у **Options – Options - Display Settings** или **File – Default settings**.

5.3. Учитавање возила

Након покретања новог или учитавања већ постојећег пројекта, битно је учитати возило. Мени нуди опцију учитавања возила, док је претходно изабрати облик возила. PC-Crash се испоручује са неколико база података возила које укључују већину путничких возила и лаких теретних возила. Тешка возила, приколице, фиксни објекти, пешак, двоточкаши и путници у возилу, могуће је учитати прилагођеним опцијама. Корисник такође може створити возила која нису укључена у PC-Crash изменом постојеће датотеке возила.

5.3.1. База података возила

На почетку стартовања PC-Crash-a, корисник мора селектовати Базу података возила коришћење, дугмета Change поред Car Database прозора у **Options-Options** менију. Након тога, селектовањем **Vehicle-Vehicle Database**  ће се појавити база података у дијалог прозору.



Слика 10. База података возила

У PC-Crash-у интерфејс за више база података су били реализовани као следећи:

- **DSD xxxx.mdb** – Нови Европски стандард базе података DSD -а.
- **KBA xxxx.mdb** – База података Немачког института за моторна возила.
- **DSDJapan2000.mdb** – Нови Јанапски стандард базе података DSD -а.
- **ADAC95.dbf** – Европска база података из 1995-е године.
- **Spe****.dbf** – Канадска база података.****је година израде. Покрива већину аутомбила и лаких камиона продатих у Северној Америци.

Пре селектовања возила, име возача се може унети у Driver text прозор, уколико желите. Дијалог прозор Vehicle Database садржи прозор за број возила. Ово је број помоћу ког је возила адресирано након селектовања. Није могуће селектовати возила изван низа (нпр. Промена првобитног броја Возило 1 у 2 пре селектовања). Међутим, могуће је унети број већ постојећег возила приликом селектовања новог возила. У овом случају, ново возило, заузима место постојећег возила.

Након селектовања базе података, кликните на име жељеног производа у листи која се налази са леве стране прозора. Након тога, кликните на тачан модел возила на десној страни прозора. Други дијалог прозор ће се појавити, који садржи све информације о возилу који се налазе у бази података, за изабрано возило.

Возило је изабрано у PC-Crash-у притиском на Load дугме, и одмах је спремно за симулацију. Кликом на Close дугме затварају се оба дијалог прозора. Било које возило које је селектовано појавиће се на екрану. Возило 1 је селектовано са својим тежиштем у тачки 0,0 на екрану и следећа возила су селектована 4 m (13.1 стопа) са десне стране предходно селектованог возила.

5.3.1.1. ДСД Европски стандард

ДСД база података је такође аутоматски селектована у истом директоријуму као датотеке PC-Crash програма. Ова база података дозвољава кориснику да тражи додатни специфични критеријум.

Корисник може да одреди датум производње. Када корисник унесе датум производње у Build падајућу листу, само она возила која су произведена тог датума (година производње између “произведена од’ и произведена у’) ће бити приказана. Са леве стране прозора у Упиту за возила ће се појавити листа возила, при чему се лакше проналази возило, него скроловањем на доле. Такође је могуће тражити одређено возило. Текст за Упит возила мора да почне са годином изградње (YY или YYYY, нпр. 99 или 1999) или произвођача, при чему назив произвођача мора увек бити унет. Улази морају бити раздвојени празнином, док ТАВ тастер покреће претрагу. Нема разлика између великих и малих слова

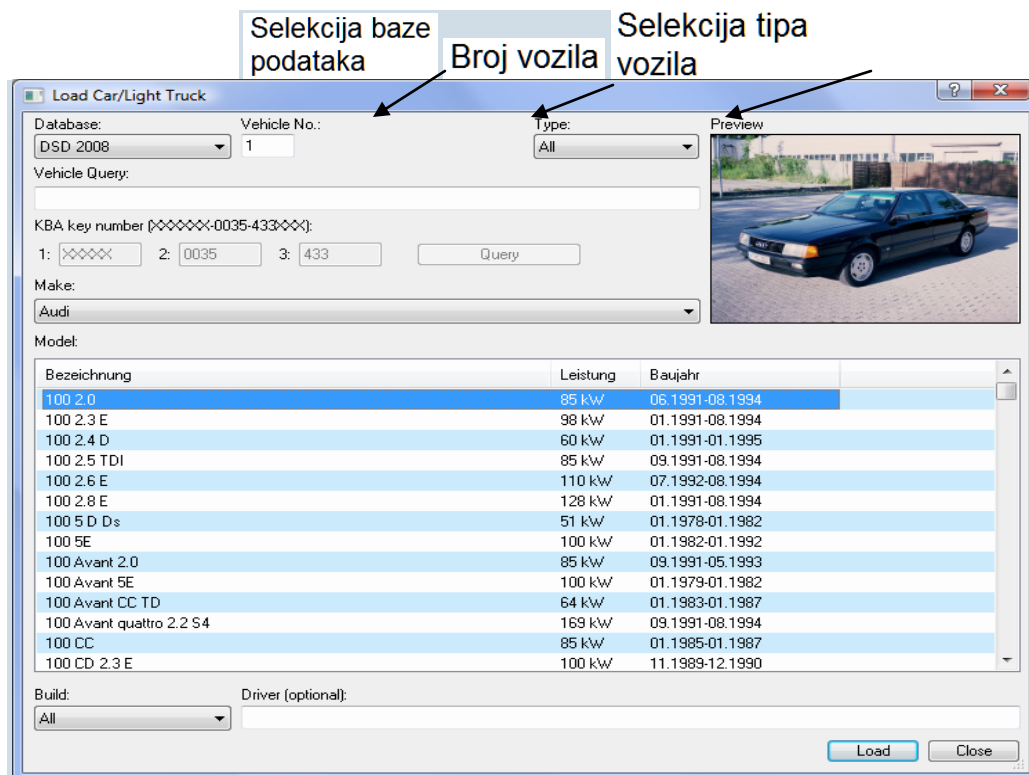
Претражи речи: [(YY или YYYY производње)] (произвођач) [(критеријум претраге)]

На пример: : 96 BMW 520; 1991 MERCEDES 190; PEUGEOT 40 (сва возила X40 kW и 40X серије су приказана).

Такође је могуће приказати само возила одређеног типа, на следећи начин:

- Аутомобили
- Камиони
- Приколице
- Аутобуси
- Мотоцикли.

Након одабира врсте возила списак произвођача ће бити ажуриран на само на одабрану категорију.



Слика 11. ДСД база података возила

ДСД база података Такође садржи више параметара - референци на 2D скице возила из Европе из Ratschbacher -ове базе података (купује се одвојено), дијаграме обртног момента мотора и параметре мењача. Ови подаци се аутоматски учитавају. Одговарајуће скице возила се учитавају ако је исправна путања до главног директоријума Ratschbacher -ове базе података и наведене у **Options - Options - Directories - Vehicle DXF files**.

5.3.1.2. ДСД Јапан 2000 и Vyskocil

Јапанска база ДСД Јапан 2000 и Vyskocil базе података се аутоматски читавају у истом директоријуму као и датотеке програма PC-Crash. Vyskocil база података је старија верзија ДСД базе података, са мање могућности. Vyskocil база података обухвата камионе и мотоцикле. ДСД Јапан 2000 је за Јапанска возила.

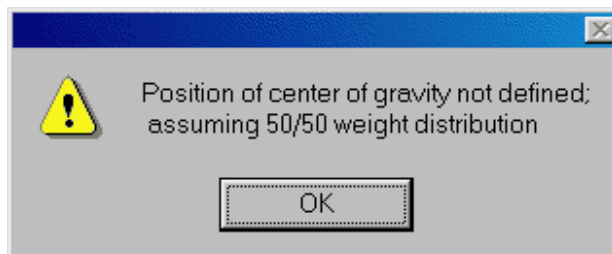
5.3.1.3. Specs Амерички стандард

Северно Америчка база података се испоручује у посебном директоријуму на CD-у PC-Crash-а и мора бити инсталирана од стране корисника на хард диску. Подразумевани директоријум је инсталиран под именом Specs, али то се може променити како да одговара кориснику. Спецификација базе података садржи димензије и тежине аутомобила и лаких камиона. Нема информација о начину напајања или трансмисије, као што нису обезбеђене информације о мотоциклима или тешким камионима, као што је случај у неким европским базама.

Да би возила одређене спецификације била доступна бази података, изаберите неку од датотека у директоријуму спецификације под именом Spe****.dbf (где **** означава годину модела) помоћу опције. - **Options - Directories – Car Database**. Једина разлика између селекције то је та да ће изабрана година бити година у којој је подразумевано возило убачено у дијалог прозор.. Година за свако друго возило може се изабрати у било ком тренутку када је **Vehicle - Vehicle database**  изабрано, међутим, прављењем било којих спецификација података возила доступних у дијалог прозору производа базе података возила.

***Напомена:** Ако корисник пренесе друге снабдевене базе података у директоријум где се повезана база података налази (или обрнуто), све додате базе податаке могу бити изабране из дијалог прозора базе података возила, без потребе да промените подразумевани директоријум у **Options – Options – Directories – Car Database** опцији менија.*

***Пример:** Учитај 96 BMW Cabrio 2.5 из ДСД базе. Изаберите ово возило у бази података о возилу, избором прве године (1996) из падајућег дијалог прозора, затим произвођача (BMW) са леве стране, а затим модел (Cabrio 2.5) са десне стране, користите опцију Vehicle Query.... Информациона порука ће се појавити да укаже да позиција тежишта није дефинисана и да је 50/50 дистрибуције тежине преузето (слика 12). Ово тренутно важи за нека возила у бази података.*



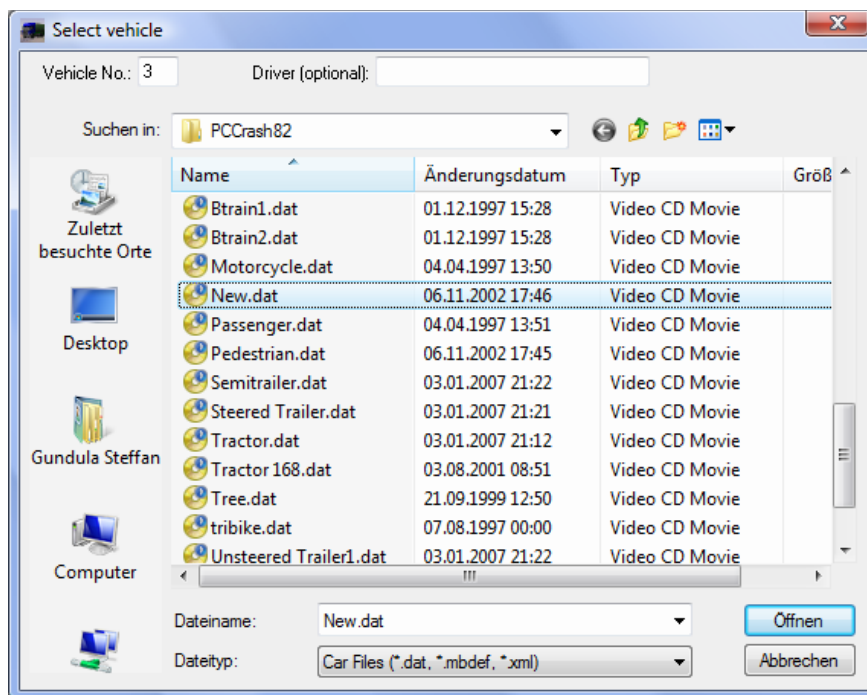
Слика 12. Информациона порука која указује да позиција тежишта није дефинисана

Ако се жели другачија расподела тежине, може се променити у Vehicle Geometry дијалог прозору који се јавља када се **Vehicle - Vehicle settings – Vehicle Geometry** изабере.

5.3.2. Прилагођена (custom) возила

Возила која нису садржана у бази података и објеката као што су зидови и дрвеће морају бити учитани као прилагођена (custom) возила. Број царинских возила (*.dat), као и пешаци и мотоцикала (*.mbdef) који се састоје од више тела, су укључене у директоријуму где је PC-Crash инсталиран. За учитавање прилагођеног возила, изаберите **File – Import - Custom Vehicle** .

***Пример:** Замените 96 BMW Cabrio 2.5 који је учитан са ДСД базе података као Vehicle 1 возилом New.dat.*



Слика 12. Одабир прилагођених (custom) возила

5.3.3. Конструкција возила

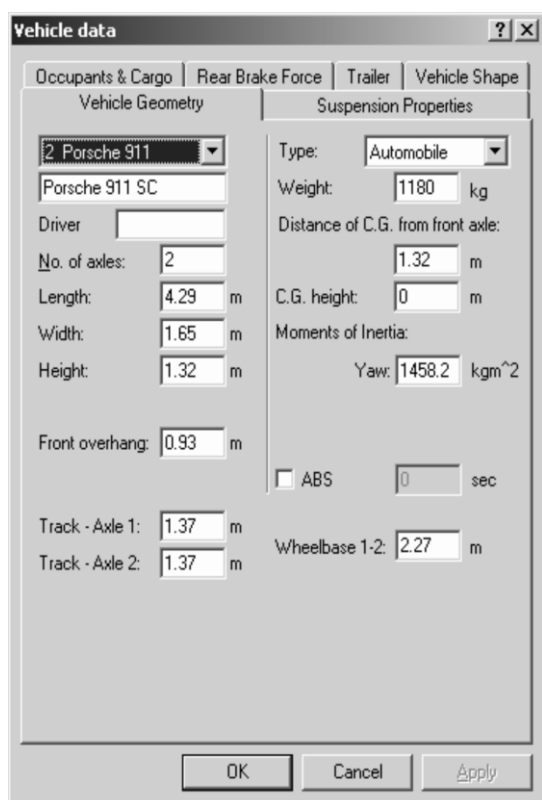
Ако жељено возило није садржано у приложеним PC-Crash базама података или прилагођеним (custom) возилима, употребом **File – Import - Custom Vehicle**  и изаберите "New.dat" (Или било које друго возило) од наведених типова возила.

Следећи корак служи за уношење тачне геометрије и параметара оптерећења за ово возило. Отворите **Вехицле Vehicle - Vehicle settings – Vehicle Geometry** опцију менија. Проверите да ли је број возила исправан и унесите одговарајуће параметре у важећим дијалог прозорима.

Пример: Учитај возило New.dat под бројем возило 2 и модификуј његове податке према подацима за Porsche 911 SC, као:

Име:	Porsche 911 SC
Дужина:	4,29 м
Ширина:	1,65 м
Висина:	1,32 м
Међуосовинско растојање:	2,27 м
Предњи препуст:	0,93 м
Размак између гума:	1,37 м
Тежина:	1180 кг
Растојање тежишта од предње осовине:	1,32 м
Висина тежишта:	0 м

Напомена: Избор 0 м висине тежишта значи да програм израчунава симулацију са равни 2Д модела возила.



Слика 13. Параметри који дефинишу конструкцију возила

Yaw (скретање са правца) (Z-оса) угаони момент инерције се рачуна од стране програма на основу величине возила и његове масе. Корисник може променити ову вредност поновним писањем у одговарајући прозор.

Избором висине тежишта возила 0 (подразумевано у PC-crash) значи да се симулација обрачунава са планарних 2D модела возила који могу имати скретање са правца, али не превртање или илигибање (на 2D површини). Ако је изабарана позитивна вредност висине тежишта, вредности се обрачунавају за тренутке возила инерције око X и Z осе,

као и обрачунавање превртања игибање. Два модела израчунавања су иста, али не постоје снаге које могу да изазову превртање илигибање када је висина тежишта једнака 0.

На крају, можете да изаберете да ли ће возило имати ABS (Anti-lock Braking System). Ако изаберете ☒ ABS додатни дијалог прозор ће се појавити у којем можете да унесете време реаговања ABS -а. Типично време реаговања ће бити око 0.07- 0.10 секунди.

Да бисте затворили дијалог прозор и потврдили све унете параметре, кликните на дугме ОК. Уколико кликнете на дугме Cancel, претходни параметри ће бити задржани.

5.4. Подешавања возила (Settings)

Геометрија возила и остали параметри се могу видети и променити одабиром **Vehicle - Vehicle Settings** опције менија.

Ово отвара групу дијалог прозора који садрже следеће:

- Геометрију возила - Основне димензије, инерцију, ABS. Основне димензије и тежина су обично само информације које се читавају из базе података возила или са списка прилагођених возила. Сви остали подаци који се налазе у **Vehicle – Vehicle settings** се израчунавају помоћу програма и требају бити проверене од стране корисника како би се утврдило да ли су вредности реалне.
- Подешавање огибљења - Карактеристикегибања и пригушивања, вредности за превртање при контакту тела са површином.
- Путници и терет - Путници, пртљаг и кровни носач оптерећења.
- Задње силе кочења – Подешавања задње кочницеи дозирање вентила за 3D возила.
- Приколице - критеријуми прикључног возила.
- Облик возила - Основне димензије каросерије возила могу бити овде модификовани када 3D облик није приложен.
- Контрола стабилности - Параметри за симулирање контроле стабилности возила.

5.5. Анализа судара - Припреме за симулацију судара

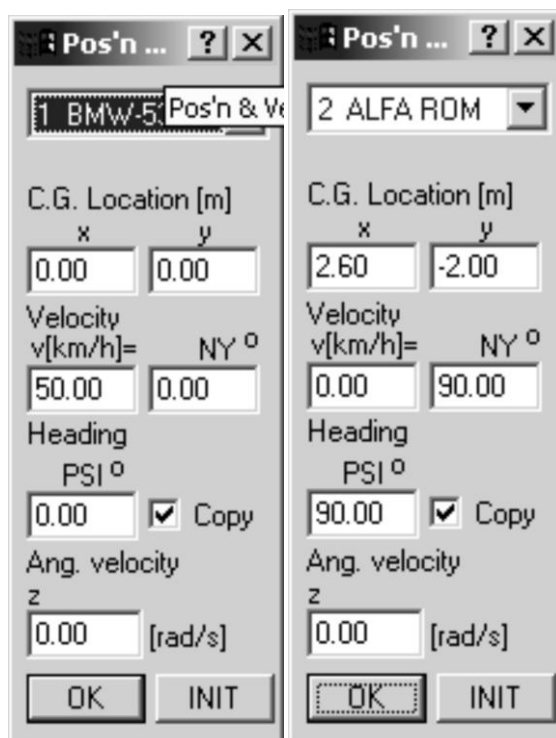
PC-crash допушта да судари буду интегрисани у симулацији у било ком тренутку тако да се читав процес незгоде може симулирати. Како бисте започели нову симулацију када сте радили на другој симулацији, одаберите опцију изборника **File - New**. Учитавање свих возила која су учествовала у незгоди први је корак у симулацији судара. Као што је пре речено, могу се учитати **File - Import – Custom Vehicles**  or **Vehicle – Vehicle Database**  . Након провере поставки возила помоћу **Vehicle – Vehicle Settings** и читавања или стварања дијаграма места догађаја, следећи корак је смештање возила у њихове сударне положаје. То се ради с **Dynamics - Position & Velocity**, or **Dynamics - Move/Rotate Vehicle**  .

У даљем тексту овог поглавља ће бити наведен пример припреме симулације судара.

Пример: Треба симулирати судар од 90° између возила које се креће 50 км/х и возила које се не креће. Одаберите **File – New** како бисте започели нови пројект. Са ДСД базе података коју поседује PC-Crash, одаберите BMW 530 d из 1999. године као Возило 1 и Alfa Romeo 156 2.4 JTD из 1998. године као Возило 2.

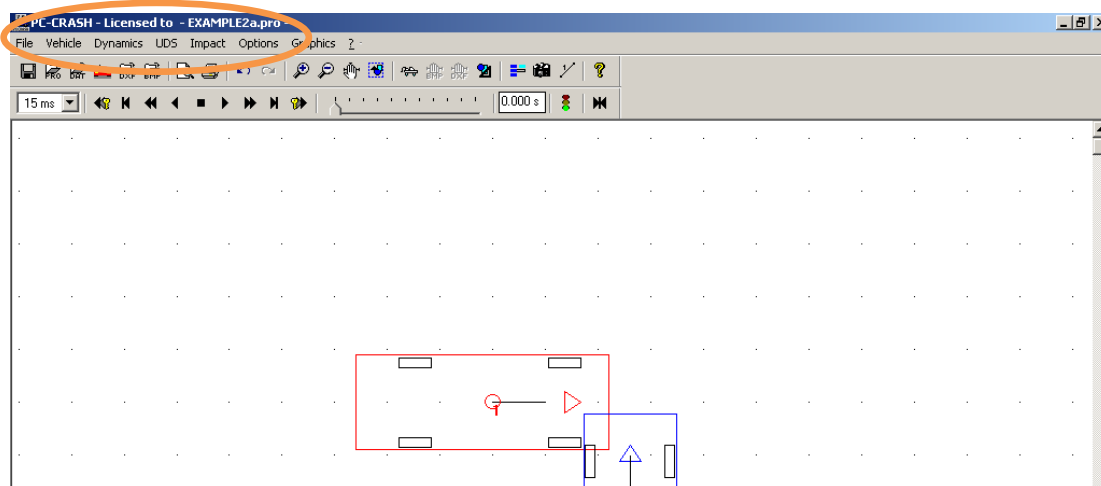
Задржите све уобичајене параметре за геометрију возила. Помоћу **Dynamics - Position & Velocity** унесите следеће параметре:

- BMW остаје у основном положају $x=0$, $y=0$, $NY=PSI=0$
- почетна брзина BMW -а = 50 км/х
- Алфине координате су промијењене у $x = 2.6$ m, $y = -2.0$ m, $NY=PSI=90$
- Почетна брзина Алфе = 0 км/х.



Слика 14. Параметри који се примењују у припреми симулације

Сада треба сачувати, односно снимити датотеку пројекта, с **File – Save**. Унесите име датотеке ПРИМЕР 2, а у текстуалну кутију имена датотеке, дијалошке кутије Одаберите име датотеке пројекта и притисните дугме Save. Сада ће бити приказан тај наслов на насловној страни отвореног прозора, што је приказано на слици 15.

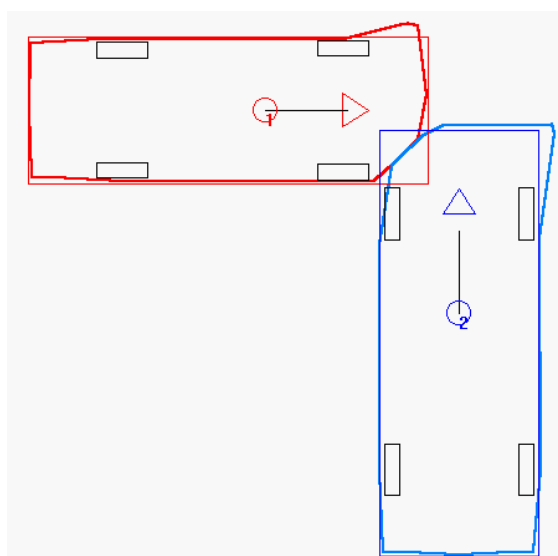


Слика 15. Приказ наслова пројекта у горњем левом углу прозора

Возила ће бити смештена на вашем екрану како је показано горе, након уноса наведених параметара (на слици је размера повећана у величини са уобичајених 1:200).

5.5.1. Ударни (сударни) положај

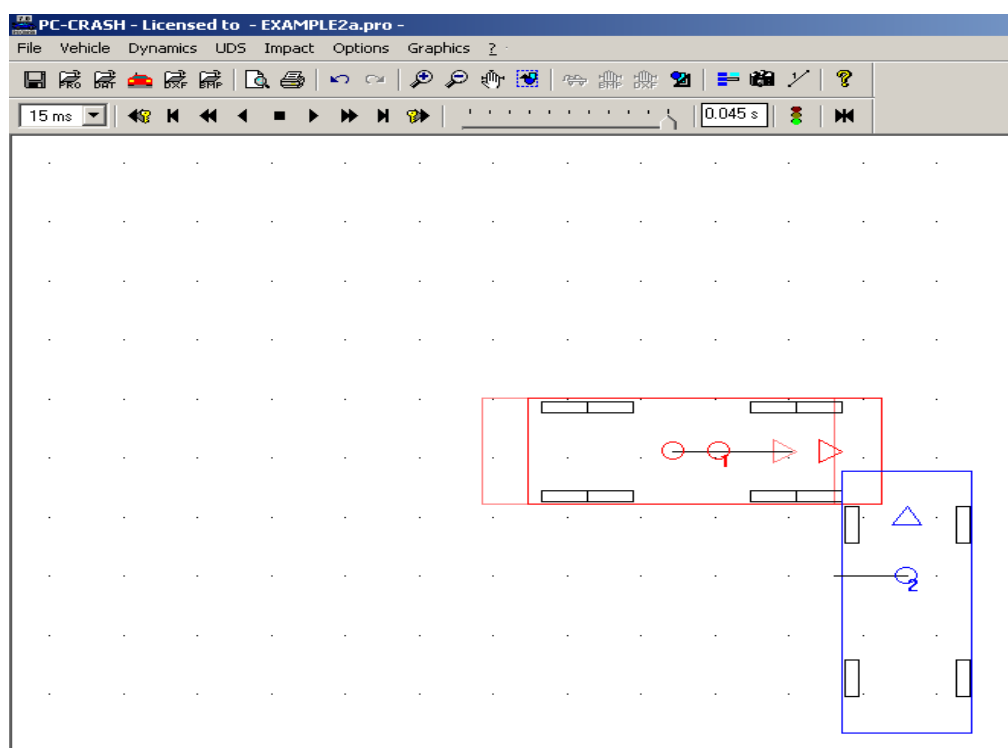
Да бисте добили реалистичну симулацију судара, битно је сместити возила при удару с тачном количином преклапања, када се догоди размена основних сила судара. То је посебно важно за део модела судара који се тиче одржања угаоне количине гibaња. То се најбоље постиже смештањем возила у тачки удара у преклопљеном положају који одговара количини судара возила. То се једноставно постиже уносом цртежа места догађаја укључујући 2D сударне деформације возила при удару, или припајајући DXF датотеке ударених облика возила сваком возилу помоћу **Vehicle – Vehicle DXF**.



Слика 16. Сударни положај два путничка возила

Други начин смештања возила у ударни положај с тачном количином преклапања је да одвезете возила на ударни положај. Прво, ставите возила у положаје њиховог првог контакта. Затим их померате напред према израчунатим пред-ударним брзинама (*50 км/х за BMW у примеру*) око 30 – 60ms. То се постиже дефинисањем временског корака од 15ms на алатној летвици Simulation, и затим руковањем опцијом **Forward** два до четири пута. Тиме се возила померају на своје приближне положаје при максималном захвату. Иако се чини да је количина преклапања релативно велика, сетите се да је то збир оба возила.

Пример: Притисните алатку Forward три пута с временским размаком од 15ms. Следећа слика показује резултирајуће преклапање возила.

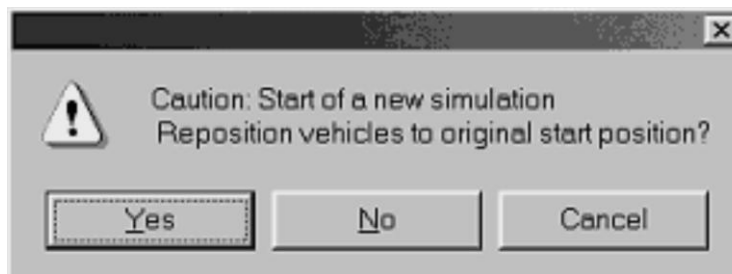


Слика 17. Резултирајуће преклапање возила

5.5.2. Дефиниција новог почетног положаја

Након што су возила доведена у тачан ударни положај, треба дефинисати нови почетни положај за симулацију. Тиме се омогућује да различите конфигурације симулације буду што брже упоређене једна с другом. То је зато што се возила једноставно могу померати назад на почетни положај у било којем тренутку помоћу опције **new simulation** на алатној траци Симулација, тако да нова симулација одмах може започети. Једном када су возила на својим жељеним стартним положајима, користите алатку (Definition of a New Start Position). Ако возила нису на својим изворним стартним положајима, појављује се мени са

информацијом. Притиском на дугме NO онемогућује се покретање симулације са новог положаја возила.



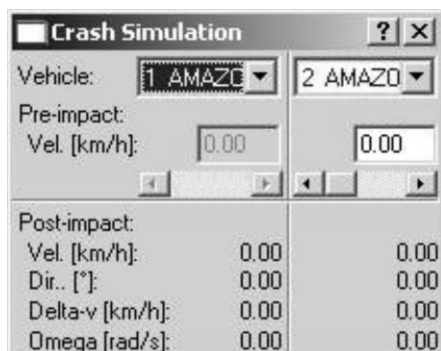
Слика 18. Графички приказ информационог менија

Демо верзија: Ако имате само демо-верзију, не можете померати возила напред и не можете утврдити нову почетну тачку. У том случају учитајте датотеку ПРИМЕР 2.PRO са поддиректоријума Примери у PC CRASH 72 директоријуму. У овој сличној датотеци возила су већ тачно смештена и следећа је симулација судара била изведена.

5.5.3. Симулација судара

Након што су два возила смештена на своје ударне положаје, можете започети са самом симулацијом судара. За ово, отворите дијалогску кутију Симулација судара помоћу **Impact - Crash Simulation (F8)**.

Симулација судара PC-Crash-а темељи се на моделу судара Кудлих-Слибара. Теорија иза овог линеарног и игаопог модела судара темељеног на количинигибања описана је у **Техничком приручнику** PC-Crash-а. Кудлих-Слибаров модел судара карактеристичан је дефиницијом тачке удара. Тачка удара је тачка у којој се претпоставља да је потпуна сила судара измењена. У обзир се узима еластичност судара, темељена на коефицијенту реституције. Овај модел такође разматра клизање једног возила дуж друго возило или непомичан објект, темељено на угао контактне равнине и коефицијенту трења. Корисник може променити ове сударне параметре.



Слика 19. Приказ дијалог менија симулације судара

Пред-ударне брзине одмах су приказане у дијалошкој кутији Симулација судара чим је отворена.

5.5.4. Дефиниција тачке удара

Први корак након отварања дијалошке кутије Симулација судара је дефинисање тачке судара. Направите то активирањем ☒ Move Point of Impact. Тачка удара се затим може дефинисати на један од следећих начина:

- Кликните левим кликом миша с курсором ван преклапајуће површине возила. То ће центрирати тачку удара на преклапајућој површини, и ротирати контактну површину на разумну вредност. То је обично најбоље мјесто за почетак.

- Помоћу левог клика миша кликните на жељену тачку удара унутар преклапајуће површине возила (држите клик притиснутим како бисте повлачили положај).

- Укуцајте жељене координате X и y удара у одговарајуће текстуална поља. Такође можете модификовати координате помоћу опције вртеће опције придружених текстуалним кутијама. Приметите да што дуже држите клик миша притиснутим (или клик смера на тастатури) тим ће се брже мењати вредности.

5.5.5. Приказ пост-сударних положаја

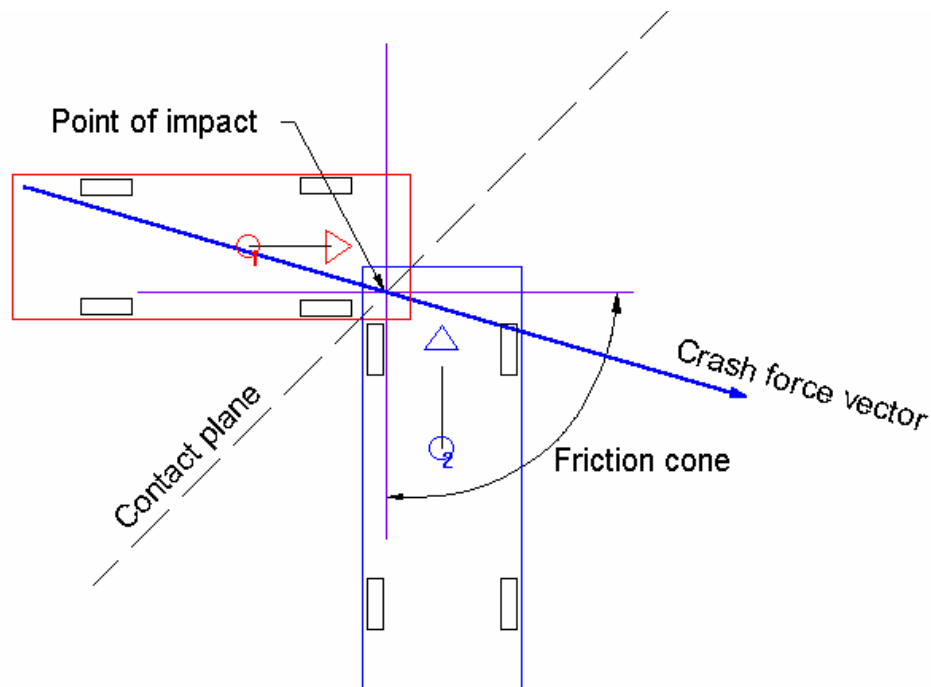
Након што је тачка судара или контактна површина специјализована, или је притиснуто дугме Crash, PC-Crash показује положаје оба возила 200 милисекунда након судара. То омогућује кориснику да одмах види учинак различитих унесених вредности (за брзину, ударни положај, угао контактне површине, итд.) на пост-сударном положају возила.

5.5.6. Други параметри судара

Осим положаја возила 200 милисекунда након судара, следеће је приказано на екрану:

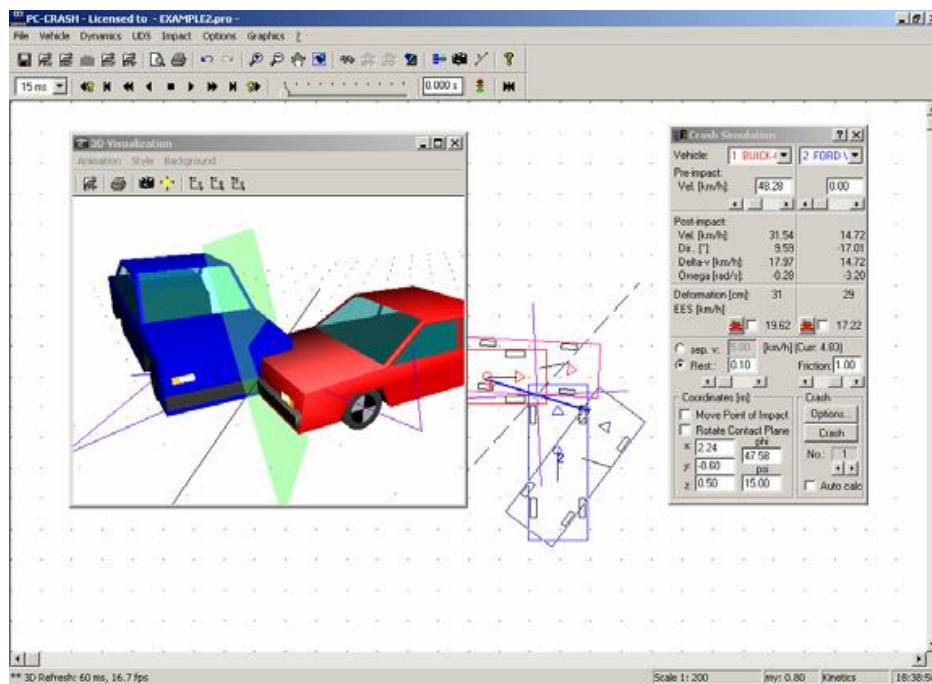
- Тачка судара;
- Површина контакта;
- Коефицијент трења (две линије које дефинишу угаоне границе силе удара за које неће доћи до клизања);
- Вектор силе судара (PDOF).

Вектор силе судара, коефицијент трења и контактна површина могу бити визуелни унутар 3D визуелног прозора (**Options – 3D Window**) активирањем Crashes унутар прозора **Options – Display** подешавање прозора (**Options – Options – Display settings**).
Цртежи судара



Слика 20. Графички приказ цртежа судара возила

Вектор силе судара, коефицијент трења и контактна површина могу бити моделовани унутар 3D визуализацијског прозора (**Options – 3D Window**) активирањем Судари унутар прозора Options – Display приказа (**Options – Options – Display settings**).



Слика 21. Проекција вектора силе судара

Приметите да ако је контактна површина ротирана до угла где је вектор силе судара на рубу коефицијента трења, удар постаје проклизавајућег типа с клизањем између контактних површина возила.

5.5.7. ЕЕС вредности

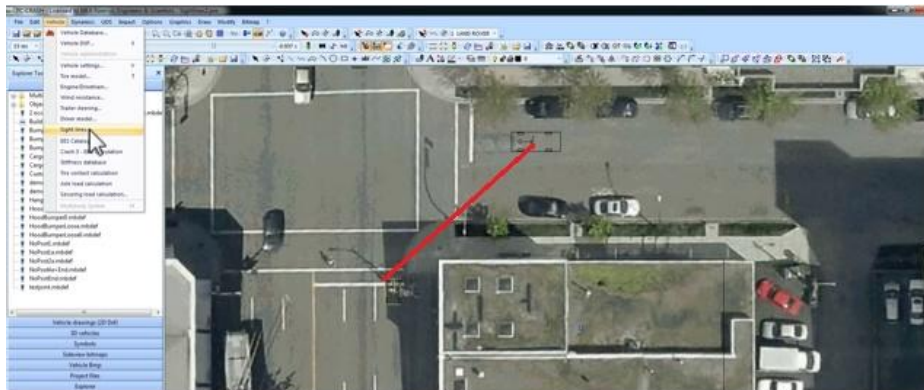
PC-Crash укључује прорачун енергије деформације (ЕЕС, или Equivalent Energy Speed) у симулацији судара. Укупна енергија деформације бити ће распоређена између два возила, темељено на односу маса возила као и појединих дубина деформације. Једначине за овај прорачун дате су у **Техничком приручнику**. ЕЕС вредности за возила могу се видети унутар прозора Дијаграми (Options – Diagrams – Diagrams – Vehicles – EES). Ако је тражена различита дистрибуција укупне енергије деформације, ЕЕС за једно од возила може бити модификовано. То се постиже кликом на ЕЕС опцију за одабир тог возила, и затим уносом жељене вредност у текстуалну кутију поред кутије за одабир. ЕЕС који одговара преосталој енергији деформације аутоматски се израчунава за друго возило ^[7].

5.6. PC-Crash новине

У овом поглављу ће бити описане нове алатке овог програмског пакета. Као најзначајније новине у PC-Crash верзијама 9.0; 9.1; 9.2., могло би се навести следеће:

5.6.1. Sightlines – линија прегледности

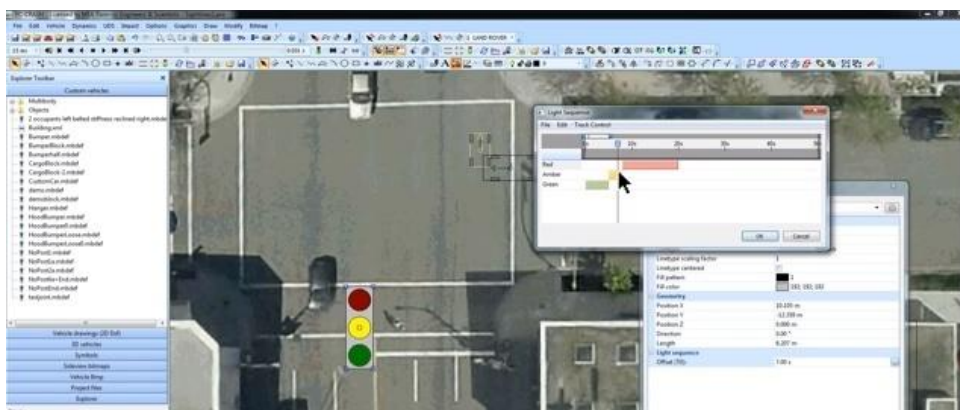
Опција Sightlines даје могућност повезивања тачака између два возила. Sightlines, односно линија прегледности пружа погодност да се у току симулације, јасно види када возач на раскрсници може уочити прву видљиву ивицу другог возила које се приближава раскрсници, са другог прилаза. Ова опција може се покренути Vehicle → Sightlines, и у оквиру тог прозора повезати жељене тачке на возилима. Важно је напоменути да у току симулације, линија прегледности прати кретање возила. Може се користити и у 3D прозору.



Слика 22. Опција Sightlines

5.6.2. Приказ светлосних сигнала на раскрсници

PC-Crash је као новину омогућио приказ светлосних сигнала на сваком краку раскрснице у току симулације и анимацију сигналних појмова. Иконица за ову опцију се налази у тулбару са алаткама, док се подешавања налазе у Properties, где се може подесити величина светлосног сигнала (семафора), као и дужина трајања сваког светла посебно, односно може се направити план темпирања.



Слика 23. Коришћење светлосних сигнала на раскрсници

5.6.3. 2D прозор

Новина је могућност прављена анимација у 2D прозору. Ова опција је посебно корисна за сагледавање ситуације из „птичије перспективе“, односно омогућава поглед одозго. Разликује се од 3D, а највећа предност му је могућност отварања прозора са вредностима (Values). У 2D прозору може се унети линија прегледности (слика 22.), као и светлосни сигнали на раскрсници (слика 23), о којима је већ било речи.

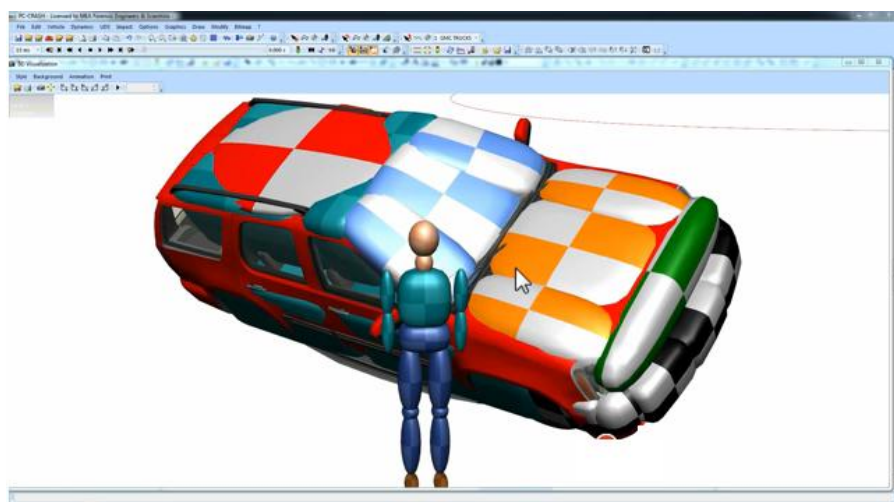
5.6.4. Побољшани алати за цртање

PC-Crash је побољшао своје алате за цртање, тако што их прилагодио, односно доделио им је карактеристике које су сличне CAD-у. Побољшани су лејери, командне линије, опције за уношење координата као и опције приликом зумирања цртежа. Ови побољшани алати за цртање требају у будућности омогућити цртање скица директно у PC-Crash-у, тако да замене данашње цртање у Auto Cad-у.

5.6.5. Подешавања мултибоду-а возила

PC-Crash је омогућио убацивање више multibody облика у возило, који се могу користити приликом превртања возила, контакта возила и пешака, као и контакта возила и других multibody објеката. Прва и основна ствар је да возило има облик 3D DXF. Након

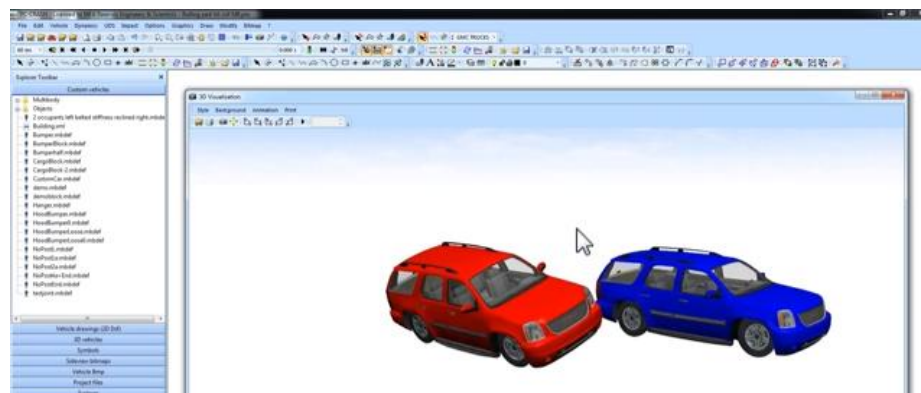
тога се користе multibody облици који се покрећу на следећи начин: Vehicle → Multibody system → Settings. Сваки од multibody облика има додатне особине које се односе на крутост возила, реституцију, односно пластичност судара и коефицијент трења. Учитавање нових multibody облика у возило није једноставан поступак, постоји много детаља на које се мора обратити пажња. Потребно је посветити доста труда и времена како би се возило прилагодило свом правом облику. Ова подешавања отварају друге могућности у анализи саобраћајних незгода путем програма PC-Crash.



Слика 24. Изглед возила након извршених подешавања у multibody-ју

5.6.6. Anti – roll опција (додатна стабилност возила)

Anti – roll опција додаје возилу суспензиону силу, која је базирана на диференцијалном кретању, што омогућава додатну стабилност возила. Ова опција се покреће на следећи начин: Vehicle → Vehicle Data → Suspension Properties → Anti – roll. Помоћу дијаграма који се такође налазе у овој опцији могуће је пратити кочне силе на пнеуматичима. Ово је једноставна промена, али може помоћи доста приликом симулације саобраћајне незгоде.



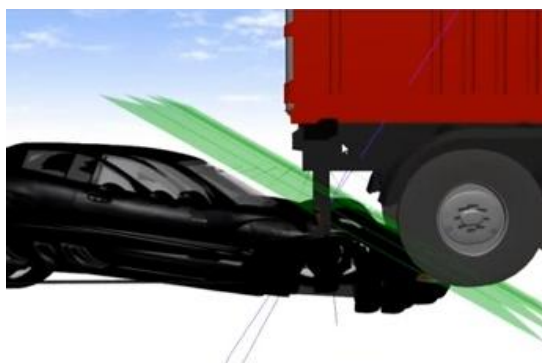
Слика 25. Возило са укљученом Anti – roll опцијом

5.6.7. Нови специфични параметри судара

Опција која омогућава да буду укључени специфични параметри судара, налази се у: Vehicle → Vehicle Data → Impact Parameters. У предходним верзијама PC-Crash-а контакт између возила је рачунат на основу детекције судара (collisions detection), тако да је на месту судара била вертикална контактна раван. Како се у сударима не остварује увек вертикална контактна раван PC-Crash је увео новину, односно омогућио кориснику да уколико му је то потребно примени контактну раван под углом. Истовремено ова опција омогућава и остваривање контакта у дужем временском периоду. Ово је нарочито корисно у судару између аутомобила и полуприколице, што је приказано на сликама 26 и 27.



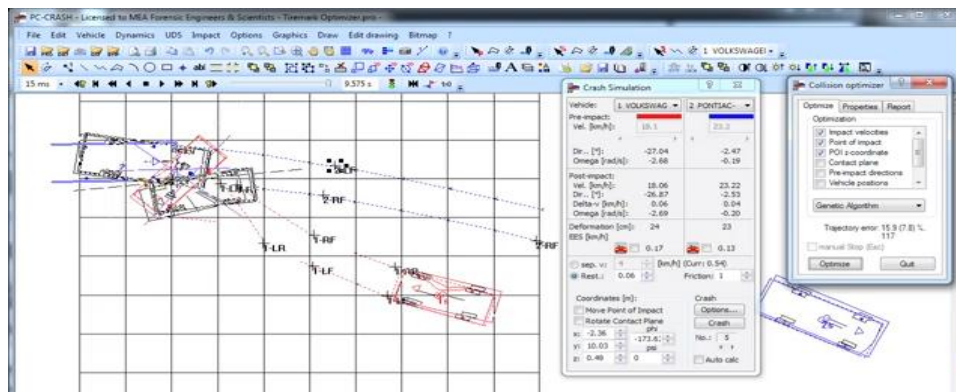
Слика 26. Вертикална контактна раван



Слика 27. Контактна раван под углом

5.6.8. Новине у оптимизацији

PC-Crash је усавршио оптимизацију судара, тако што је омогућио дефинисање више тачака на траговима пнеуматика приликом оптимизације. За разлику од предходних модела оптимизације где је путања дефинисана на основу Rest positions и Intermediate positions (заустванна и међупозиција), нова оптимизација употребом већег броја тачака омогућава презизније заустванне позиције возила, односно може се очекивати грешка до прихватљивих 5%.



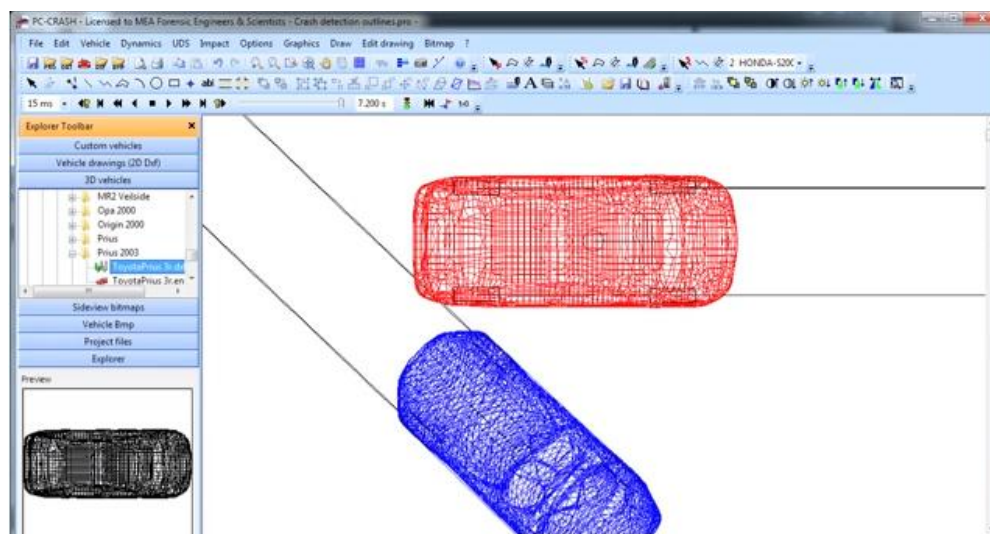
Слика 28. Оптимизација судара

5.6.9. Табела секвенци

Новина у PC-Crash-у је увођење табеле секвенци, што представља нови механизам уношења података. Табеле секвенци сада раздвајају убрзање и кочење возила са једне стране, док је на другој страни стоји управљање возилом. Ове ствари су сада независне и линеарно се мењају у времену. Опција се покреће на следећи начин: Dynamics → Sequences Table → Brake - Accelerate/Steering. Ова опција може бити од помоћи приликом анализе која се посебно односи на кочење и убрзање возила са једне и управљања возила са друге стране.

5.6.10. Линија контакта између возила

Једна од новина је и то што програм може да аутоматски детектује линију контакта између возила. То је нарочито битно када треба утврдити да ли је дошло до контакта у бочној колизији возила, аутоматски пре покретања симулације. Ова новина ће бити корисна ако се користе возила у 3D DXF облику.



Слика 29. Линија контакта између возила

Поред наведених ствари PC-Crash наставља са додавањем нових типова возила у 3D формату, а доста пажње посвећује побољшању облика већ присутних возила која се налазе у бази. Поред тога доста рачуна се води и о побољшању корисничког интерфејса, како би се корисницима омогућило лакше сналажење у програму. Све ове наведене ствари требале би у будућности донети лакшу, једноставнију и прецизнију анализу саобраћајних незгода путем програма PC-Crash ^[8].

6. ЗАКЉУЧАК

Са чисто теоријске тачке гледишта постоје два основна модела за симулацију судара, које се користе у програмима за реконструкцију саобраћајних незгода. Прва, импулсна (дискретна) метода заснива се на Поасоновој теорији судара (Одговара Њутновом закону за случај судара без трења) и користи се за реконструкцију саобраћајних незгода још од почетка шездесетих година. Кад год се ова теорија користи, претпоставља се да се за време судара нема релативног кретања између возила у тачки судара и да је утицај свих сила осим сударне силе занемарљив. Постоји неколицина компјутерских програма који су засновани на овој методи али без обзира који се програм користи, у већини случаја корисник мора сам да зада тачку судара и правац импулса.

Ови подаци, који су од великог утицаја на кретање аутомобила након судара, могу бити само претпостављени, тако да је објективност реконструкције незгоде на овај начин умањена. Поједини компјутерски програми тачку судара и правац импулса аутоматски прорачунавају као што је у раду представљен програмски пакет PC-Crash.

Друга, „деформациона“, метода механике континуума третира возило као деформабилно тело. Сударне силе су у функцији деформације при чему се све силе које делују на возило (и сударне силе и силе на пнеуматичима) узимају у обзир за све време трајања судара, при чему се оне прорачунавају у дефинисаним временским интервалима. У погледу сударних модела могу се наћи различити приступи, али када је у питању ова метода, најпопуларнији приступ заснива се на моделу радијалних вектора. Овакав приступ је први пут коришћен у SMAC програму са циљем побољшања објективности у истрази незгода које су се догодиле на путевима. На основу почетног положаја и брзине возила као и података о кочењу и управљању, SMAC може да израчуна правац кретања возила у току незгоде као и проузроковану деформацију. Користећи ову симулацију неколико пута, корисник може пронаћи оптималну везу са материјалним доказима у погледу зауставних позиција, насталих трагова кретања и оштећења на возилу приликом незгоде.

7. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Janković A., Simić D., *Bezbednost automobila*, Kragujevac, 1996.
- [2] McHenry, R. (1971). *Development of a computer program to aid the Investigation of highway accidents*. Contract FH-11-7526, NTIS PB 208537, Calspan Report VJ-2979-V-1.
- [3] Brach, R. a. (1987). *A Review of Impact Models for Vehicle Collision*. SAE Paper 870048, Warrendale, PA 15096.
- [4] Steffan, H., and A. Moser. THE COLLISION AND TRAJECTORY MODELS FOR PC-CRASH. s.l.:SAE Paper 960886
- [5] Dostupno na: <http://www.pc-crash.com/>
- [6] Jelić Z., Erac V., Milutinović N., *Primena softvera za simulaciju saobraćajnih nezgoda*, Stručno usavršavanje zaposlenih u obrazovanju, Kragujevac, 2008.
- [7] Dr. Datentechnik S., *Operating Manual Version 8.2*, Linz, Austria, November 2008
- [8] Vujanić, M., N. Milutinović: *Novine u softverskim alatima za analizu saobraćajnih nezgoda*, XII Simpozijum sa međunarodnim učešćem: Analiza složenih saobraćajnih nezgoda i prevare u osiguranju, Zbornik radova, Saobraćajni fakultet Beograd, Divčibare, 2013.