

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Дипломске студије

Модул: Друмски саобраћај

Предмет: Вештачење саобраћајних незгода

Број индекса: 112/2004

Душко А. Вуковић

ОДРЕЂИВАЊЕ БРЗИНЕ УЧЕСНИКА У САОБРАЋАЈНИМ НЕЗГОДАМА

дипломски 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

Препоручена литература:

[1] Светозар, К.: Експертизе саобраћајних незгода, ФТН Издаваштво, Нови Сад, 2009.

[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] Јанковић, А., Симић, Д.: Безбедност аутомобила, DSP-mecatronic, Kragujevac СКВЕР 1996

Крагујевац, 30.09.2012

ментор:

Проф. др Александра Јанковић

РЕЗИМЕ

Дипломски рад покрива тематику одређивање брзине у саобраћајним незгодама који је један од најчешћих предмета саобраћајно-техничког вештачења. Основни задатак је извршити детаљну анализу насталих оштећења на возилима, регистрованих трагова на коловозу, као и њихових зауставних позиција, помоћу којих може да се одреди брзина учесника у саобраћајним незгодама.

Код утврђивање сударне брзине аутомобила на основу понашања током постсударне фазе, један од значајних полазних параметара који је неопходан за даљу анализу незгоде је дефинисање сударног положаја возила, односно угла под којим су се два возила сударила. Ако се користи графоаналитичка метода, треба дефинисати линију судара, односно правац на коме је деловао ударни импулс.

При утврђивању сударних брзина аутомобила може да се примени закон одржања количине кретања, зависно од врсте судара: централно чеони, чеонобочни или судара при сустизању. На основу закона одржања момента количине кретања може се утврдити сударна брзина возила, у случајевима налета аутомобила на чврсту непокретну препреку. Оштећења и деформације на возилу после судара су од великог значаја, пошто преко њих се може одредити брзина учесника у саобраћајној незгоди.

Crash тестови су од великог значаја при израчунавању брзине возила изгубљене на деформациони рад. При crash тесту долази до скраћења дужине возила и померња одређених карактеристичних тачака на каросерији возила у смеру ударне силе. Подаци добијени crash тестом могу бити од велике кристи приликом анализе деформабилног понашања каросерије возила у циљу одређивања брзине возила.

Кључне речи: Брзина возила, Сударна брзина.

ABSTRACT

This thesis is about determining vehicle speed at traffic accidents which is most important thing related to the technical/traffic analysis. Basic task is detailed analysis of damage on the vehicles, skid marks on the road as well as their positions after they have stopped which can determine speed of all involved parties at a traffic accidents.

Determining terminal velocity of the vehicle based on behavior at post-crash phase is one of the most significant parameters which is required for further analysis of the accident, defining the position of the crashed vehicle and the angle at which the accident occurred. If we use "graphoanalytical" method we need to define the line of collision, or the direction from which the impact occurred.

With determining speed of the vehicles involved in the crash we can abide by the law of consistent movement depended on the type of the collision: head on collision, sideway collision or tailback. Based on the law of movement consistency we can determine collision speed of the vehicles involved in case of crash into the solid immovable obstacle. Damage and deformations on the vehicle after the accident are of great importance, using those parameters we can determine the speed of the vehicles involved in the crash.

Crash tests are of great importance at calculating the speed required for specific deformation on the vehicle itself. During crash test the vehicle deforms and specific points on the chassis are crumbled in the direction of the impact. Data collected at crash test can be of great value during the analysis on the deformed chassis with goal of determining the speed of the vehicle.

Key words: Vehicle speed, Terminal velocity

САДРЖАЈ

САДРЖАЈ.....	5
1. УВОД	7
2. ИЗРАЧУНАВАЊЕ ПОЧЕТНЕ БРЗИНЕ ВОЗИЛА НА ОСНОВУ ТРАГОВА КОЧЕЊА	8
2.1. Основни обрасци и поступци	8
3. ОДРЕЂИВАЊЕ БРЗИНЕ НА ОСНОВУ ОШТЕЋЕЊА И ДЕФОРМАЦИЈА НА ВОЗИЛУ	11
4. УТВРЂИВАЊЕ СУДАРНЕ БРЗИНЕ АУТОМОБИЛА НА ОСНОВУ ПОНАШАЊА ТОКОМ ПОСТСУДАРНЕ ФАЗЕ.....	15
4.1. Сударни положај возила и ударни правац.....	15
4.1.1. Сударни положај возила	15
4.1.2. Појам ударног правца	16
4.1.3. Положај ударног правца за класификоване типове судара возила ..	17
4.2. Примена закона одржања количине кретања при утврђивању сударних брзина аутомобила	19
4.2.1. Утврђивање брзине код централних чеоних судара.....	19
4.2.2. Одређивање сударне брзине код сустизања	21
4.2.3. Примена закона одржања количине кретања при утврђивању брзине код чеоно-бочног судара.....	23
4.3. Примена закона одржања момента количине кретања при утврђивању сударних брзина возила	25
4.4. Одређивање брзине возила графоаналитичком методом импулсног дијаграма	27
ПРИМЕР 1.....	29
4.5. Утврђивање сударних брзина аутомобила модификованом графо- аналитичком методом	31
4.5.1. Полазне основе	31
4.5.2. Примена једначина маркарда за утврђивање брзина аутомобила на почетку постсударне фазе.....	32
4.5.3. Утврђивање сударне брзине возила модификованом графо- аналитичком методом (мга метода).....	34
4.6. Утврђивање брзине возила изгубљене на деформациони рад.....	37
4.6.1. Коришћење CRASH тестова при израчунавању брзине возила изгубљене на деформациони рад.....	38
4.6.2. Примена модификоване методе енергетског растера при израчунавању брзине возила	39
ПРИМЕР 2.	42
4.6.3. Израчунавање изгубљене брзине возила ΔV на основу деформације према "Schaperu".....	43
4.6.4. Утврђивање брзине возила на основу крутости предње деформационе структуре возила	44
4.6.5. Могућност коришћења EES каталога процену брзине изгубљене на деформацију возила	46
4.6.6. Одређивање изгубљене брзине возила на основу деформабилног понашања каросерије возила.....	47
4.7. Одређивање сударне брзине возила на основу тежине повреда учесника незгоде.....	49

4.8. Остале специфичне методе прорачуна брзине возила	51
4.8.1. Одређивање сударне брзине на основуместа удубљења од удара главе у делове аутомобила	51
4.8.2. Одређивање сударне брзине на основу дубине удубљења лима возила	53
4.8.3. Одређивање сударне брзине мотоцикла на основу величине деформације осовинског размака	53
4.9. Прорачун безбедне брзине у експертизама саобраћајних незгода	54
4.9.1. Дефинисање безбедне и избегавајуће брзине	55
4.9.2. Поступак за одређивање безбедне брзине возила	56
4.9.3. Одређивање безбедне брзине у ноћним условима	58
5. ЗАКЉУЧНА РАЗМАТРАЊА	59
ПРИЛОГ БР. 1	60
ЛИТЕРАТУРА:	63

1. УВОД

При реконструкцији саобраћајне незгоде значајно је што прецизније одредити брзине свих учесника у њој, јер се практично ни једна незгода не може објективно реконструисати ако је овај параметар неизвестан.

Веома сложен и одговоран поступак је одређивање брзине, где вештак мора детаљно познавати одређене законитости из области физике, кинематике, динамике и слично. Поред сложености, поступак одређивања брзине је и веома одговоран, што се огледа у правилном, објективном и детаљном разјашњењу свих чињеница које су од значаја и утицаја на настајање саобраћајне незгоде.

Правосудни органи од вештака траже да се изјасни о величини брзине којом су се кретали учесници саобраћајне незгоде, у моменту када је настала опасност и у моменту судара. Друго питање које се најчешће поставља вештаку је одређивање безбедне брзине, односно брзине избегавања незгоде.

У судском поступку се доказивању брзине придаје велики значај, јер је њено тачно израчунавање предуслов за давање одговора на низ питања, као што су:

1. да ли је прекорачена дозвољена брзина?
2. да ли је брзина пре судара била безбедна за конкретну ситуацију на путу?
3. да ли се саобраћајна незгода могла избећи и како?

Вештаци при израчунавању брзине најчешће користе методе које су дефинисане на основу:

1. Трагова кочења или заношења возила;
2. Оштетења и деформације возила;
3. Очитавања са тахографа;
4. Даљине одбачаја предмета и делова возила;
5. Даљине одбачаја пешака;
6. Даљине одбачаја двоточкаша;
7. Закона о одржању количине кретања и момента количине кретања;
8. Графо-аналитичке анализе импулсног дијаграма;
9. Модификоване графо-аналитичке методе;
10. Повреда учесника у саобраћајној незгоди;
11. Проклизавања и превртања возила у кривини;
12. Симулација на рачунару.

Поред наведених метода у употреби су и одређене специфичне методе које се користе у појединим врстама саобраћајних незгода.

2. ИЗРАЧУНАВАЊЕ ПОЧЕТНЕ БРЗИНЕ ВОЗИЛА НА ОСНОВУ ТРАГОВА КОЧЕЊА

2.1. Основни обрасци и поступци

Основни образац који се најчешће користи за израчунавање брзине на почетку трагова кочења је:

$$V_1 = \sqrt{2b \cdot S_4} \quad [m/s] \quad (1.1)$$

$$V_0 = \frac{t_3}{2} \cdot b + \sqrt{2b \cdot S_4} \quad [m/s] \text{ односно} \quad (1.2)$$

$$V_1 = V_0 - \frac{1}{2}b \cdot t_3 \quad [m/s] \quad (1.3)$$

где је:

- V_1 - брзина возила на почетку видљивих трагова кочења [m/s];
- b - максимално успорење [m/s²];
- S_4 - дужина трага кочења [m];
- V_0 - брзина возила у тренутку реаговања возача [m/s]
- t_3 – време пораста успорења [s]

Ако се возило при форсираном кочењу зауставља са неједнаким кочењем на појединим точковима, брзина кретања, односно успорење возила може се прецизирати преко израза:

$$b = g(\mu \cdot \varepsilon \pm i) \quad [m/s^2] \quad (1.4)$$

где је:

- μ - коефицијент пријањања између пнеуматика и коловоза;
- ε - коефицијент ефикасности кочења (однос тежине која пада на кочне точкове и укупне тежине возила);
- i - подужни нагиб пута (знак "+" користи се при успону, а знак "-" при паду коловоза);
- g - убрзање земљине теже [m/s²].

У анализи незгода где су возила на путу успоравања налетела на препреку вештак ће израчунати и део изгубљене брзине ΔV_s па је брзина у моменту реаговања:

$$V_0 = \frac{t_3}{2} \cdot b + \sqrt{2b \cdot S_4 + \Delta V_s^2} \quad [m/s] \quad (1.5)$$

Ако би при кочењу моторно возило доспело точковима само једне осовине на другу подлогу, тада се користи израз:

$$V_0 = \frac{t_3}{2} \cdot b + \sqrt{2 \cdot (b_1 \cdot S_{41} + b_2 \cdot S_{42} + b_{sr} \cdot l_0)} \quad [m/s] \quad (1.6)$$

где су:

- b_1, b_2 - успорења на различитим подлогама $[m/s^2]$;
- S_{41}, S_{42} - путеви кочења где су сви точкови на једној подлози $[m]$;
- l_0 - међуосовинско растојање возила $[m]$;
- b_{sr} - средње успорење - $b_{sr} = (G_1 - b_1 + G_2 - b_2) / G$ $[m/s^2]$.

Ако је при кочењу моторно возило доспело на узвишење, нпр. на тротоар, узимајући у обзир ту околност, брзина кретања возила пре почетка кочења орјентационо се може одредити као:

$$V_0 = \frac{t_3}{2} \cdot b + \sqrt{2 \cdot (b_1 \cdot S_4 + g \cdot h)} \quad [m/s] \quad (1.7)$$

где је:

- g - сила земљине теже $[m/s^2]$;
- h - висина тротоара $[m]$.

Ако се при кочењу возила запажа његово значајније заносење, возило се истовремено заокреће око своје вертикалне осе, тада се такво кретање разматра као збир праволинијског и закривљеног кретања. Приближна вредност брзине пре почетка кочења возила може се одредити по изразу:

$$V_0 = \frac{t_3}{2} \cdot b + \sqrt{2 \cdot (b_p \cdot S_{4p} + b_z \cdot S_{4z})} \quad [m/s] \quad (1.8)$$

где је:

- b_p - максимално успорење на праволинијском делу пута $[m/s^2]$;
- b_z - максимално успорење при заносењу $[m/s^2]$ ($b_z \approx 0,8 b_p$).

Ако је на путу кочења ударен пешак масе (m_p), или други предмет, онда се брзина на почетку трагова кочења израчунава по изразу:

$$V_1 = \sqrt{2b \cdot S_{KS} + 2b \cdot S_{4S} \cdot \frac{m_a + m_p}{m_a}} \quad [m/s^2] \quad (1.9)$$

где је:

- S_{4S} - пут кочења од места судара до краја кочења $[m]$;
- S_{KS} - пут кочења до судара $[m]$;
- m_a, m_p - масе аутомобила и пешака $[kg]$.

Брзина возила непосредно након судара возила са пешаком је:

$$V_n = \sqrt{\frac{m_a}{m_a + m_p} \cdot V_s} \quad [m/s] \quad (1.10)$$

Брзина кретања возила у ситуацији када је аутомобил кочен са приколицом која има уређаје за кочење утврђује се као:

$$V_n = \sqrt{2b \cdot S_K \frac{m_a}{m_a + m_p}} \quad [m/s] \quad (1.11)$$

где је:

- m_{pr} - маса приколице [kg]

Ако брзину кретања возила треба одредити на путу који има уздужни нагиб α - (успон или пад), тада се користи израз:

$$V_0 = \frac{1}{2}(b \cos \alpha \pm g \sin \alpha)t_3 + \sqrt{2S_4(b \cos \alpha \pm g \sin \alpha)} \quad [m/s] \quad (1.12)$$

Брзина кретања возила на крају кочења или у тачки налета (удара) се може одредити као:

$$V_s = \sqrt{V_1^2 - 2b \cdot S_4} \quad [m/s] \quad (1.13)$$

Ако се након престанка кочења возило кретало слободним котрљањем до потпуног заустављања, тада се брзина кретања возила, у тренутку кад је возач отпустио папучицу кочнице, може изразити као: [2]

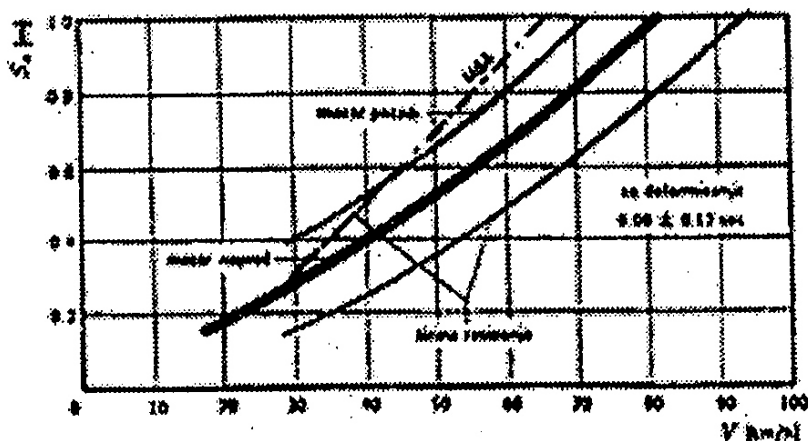
$$V_s = \frac{1}{2}bt_5 + \sqrt{2g \cdot (f \cos \alpha \pm \sin \alpha) \cdot S_{SK}} \quad [m/s] \quad (1.14)$$

где је:

- t_5 - време откочивања [s];
- f - коефицијент котрљања;
- S_{SK} - пут слободног котрљања возила након престанка кочења до потпуног заустављања [m].

3. ОДРЕЂИВАЊЕ БРЗИНЕ НА ОСНОВУ ОШТЕЋЕЊА И ДЕФОРМАЦИЈА НА ВОЗИЛУ

При удару возила у непокретну препреку готово целокупна кинетичка енергија се претвара у деформациони рад, па се може прихватити да оштећења добијена у експерименту приближно одговарају стварним оштећењима возила. Са тако процењеним деформационим радом, користећи законе о количини кретања и одржавања енергије, могуће је израчунати брзину којом се возило кретало пре удара у препреку.



Слика 3.1: Дијаграм за одређивање сударне брзине аутомобила на основу деформација чеоног дела код судара [1]

Када при увиђају није прецизно снимљено оштећење аутомобила, што се често дешава у нашој пракси, прорачун изгубљене брзине на деформацију своди се на процену помоћу дијаграма на слици 3.1.

Аутомобили се ретко центрично сударају и деформишу, коришћење наведеног дијаграма захтева одређене апроксимације, за које је потребно искуство експерта. У ову сврху користи се дијаграм расподеле енергије (енергетски растер) који одговара еквиваленту деформационог рада који је утрошен при деформацији експерименталног возила масе ($m_0=950$ kg). У случајевима када се приликом увиђаја детаљно изврши снимање оштећења тада се може приступити поузданијем утврђивању сударне брзине на основу оштећења. На растеру дијаграма се у истој размери уцрта деформација возила а затим се зависно од конкретног примера, сабирају вредности деформационих поља која су остала на непокривеној површини коју обликује деформисани део. Дијаграми енергетског растера за различите врсте судара дати су на сликама 3.2. и 3.3.

За одређивање изгубљене брзине на деформацију возила при сударима може се користити следећа формула:

$$\Delta V_d = \sqrt{\frac{2W \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3}{m_0}} \quad [m/s] \quad (1.15)$$

где су:

- W - вредност збира цифара из деформисаних поља енергетског растера која одговара еквиваленту деформационог рада [Nm];
- K_1 - коефицијент корекције који узима у обзир чврстоћу аутомобила чија се брзина израчунава у односу на аутомобил који је коришћен у испитивању вредност овог коефицијента се повећава са повећањем чврстоће и разних ојачања возила до 20%, за новије типове возила и до 200%;
- K_2 - тежински коефицијент;
- K_3 - коефицијент старости возила (табела 1.).

Године старости аутомобила	Вредности коефицијента K_3
до 2	1,0
од 2 до 5	0,9
од 5 до 8	0,8
од 8 до 10	0,7
од 10 до 15	0,6
преко 15	0,5

Табела 1. Вредности коефицијента старости возила

Одређивање тежинског коефицијента врши се на различите начине, односно користе се различити односи маса-возило:

$$K_2 = \frac{m_0}{m_1} \quad \text{или} \quad K_2 = \frac{m_1}{m_0} \quad (1.16)$$

m_0 - маса "еталон" возила ($m_0=950$ kg);

m_1 - маса возила које је учествовало у незгоди [kg].

Анализом резултата CRASH тестова за више типова возила у којима је била позната и налетна брзина и величина деформације, ова дилема је ефикасно отклоњена, па се за израчунавање изгубљене брзине на деформацији возила препоручује наведени образац са тежинским коефицијентом облика:

$$K_2 = \frac{m_1}{m_0} \quad (1.17)$$

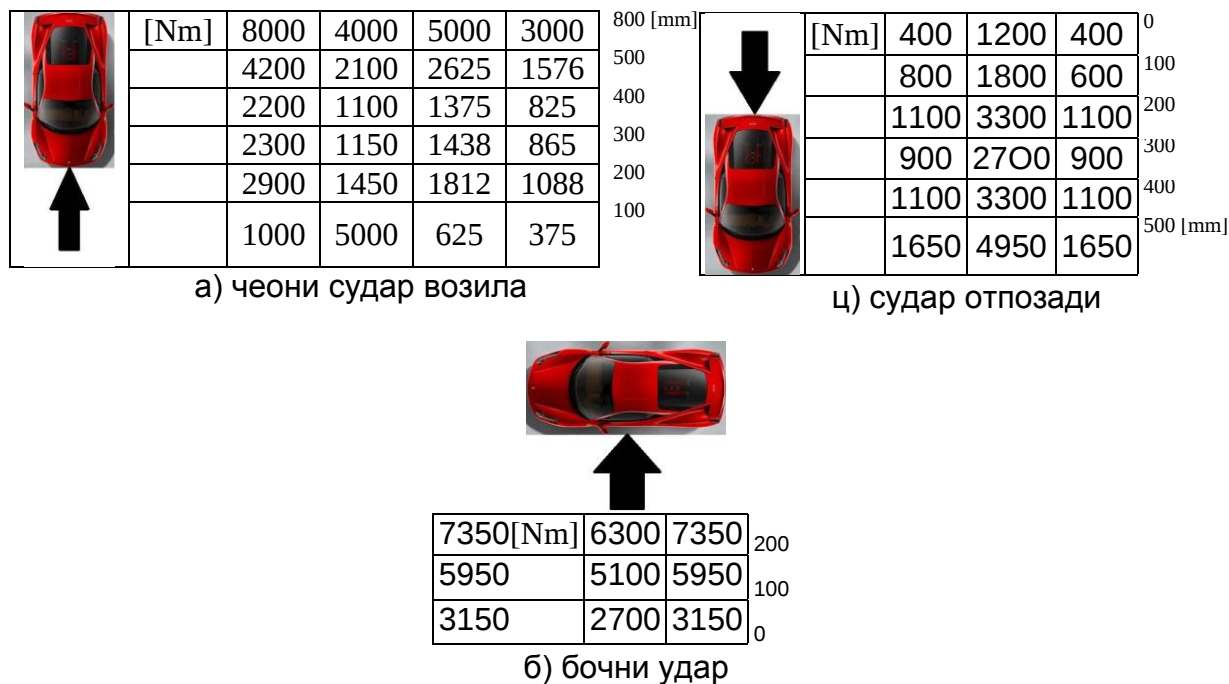
Такође, спроведена анализа указује и на потребу кориговања коефицијента чврстоће (K_1). Вредност овог коефицијента за тестирана возила дате су у табели 2. као и процентуална разлика између налетне брзине возила (V_n) и брзине добијене путем обрасца (V_d).

V_n [km/h]	56,4	56,4	56,4	50,3	50,3	49,9	48,9	48,7	49,0	44,1	49,9	49,0	49,6	49,7
V_d' [km/h]	70,0	53,5	43,4	38,0	37,7	65,5	48,8	48,8	68,7	46,1	53,0	67,0	53,5	70,3
V_d'' [km/h]	45,0	50,1	47,1	46,6	40,0	46,6	48,4	237,6	49,9	34,2	46,8	48,7	37,8	38,8
ΔV [%]	20,2	11,1	16,5	7,2	20,0	5,0	3,0	22,7	1,8	22,4	6,2	0,61	23,8	21,9
K_1	1,88	1,52	1,73	1,40	1,88	1,32	1,27	2,01	1,15	2,00	1,36	1,21	2,05	2,06

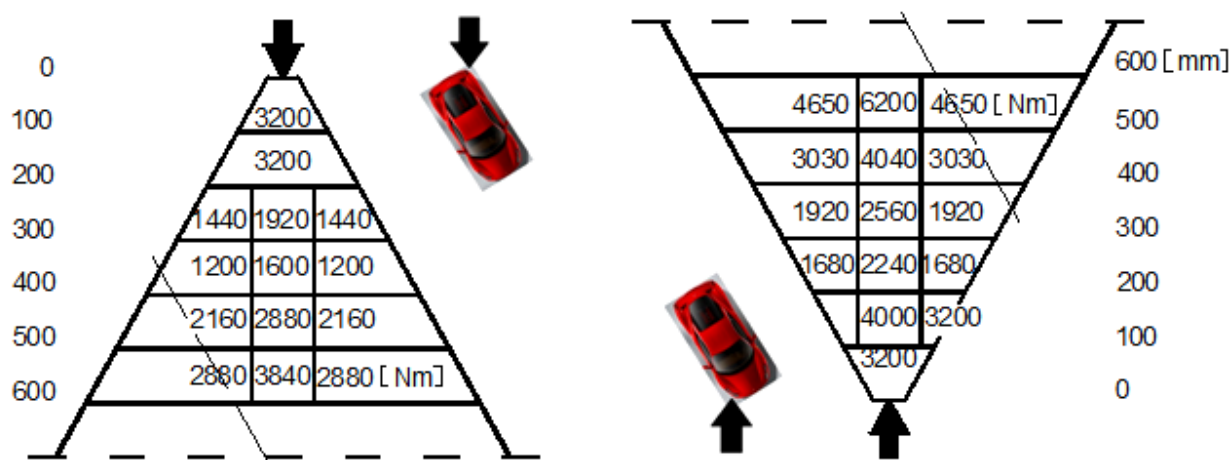
Табела.2. Процентуално одступање брзине добијене помоћу обрасца и измерене налетне брзине

Из претходне табеле јасно се види да у појединим случајевима брзина, која се добија помоћу обрасца (1.15.), значајно одступа од налетне брзине и до 24%. Такође, вредност коефицијента корекције чврстоће (K_1) су велике (крећу се и преко 2) што је значајно више од вредности које се препоручују (до 20%). Овако велике вредности овог коефицијента могу се образлагати тиме да се данашња возила израђују од знатно чвршћег материјала и уз додатно ојачање каросерија возила, па би и дијаграме енергетског растера требало прилагодити данашњим возилима, односно конструисати нове дијаграме енергетског растера који би више одговарали данашњем квалитету и конструкцији возила. [1]

$$K_2'' = \frac{m_0}{m_1} \quad \text{или} \quad K_2' = \frac{m_1}{m_0} \quad (1.18)$$



Слика 3.2. Енергетски растер за: а) чеони судар возила, б) бочни удар возила, ц) судар отпозади [1]



Слика 3.3. Енергетски растер возила за предњи и задњи угао возила [1]

4. УТВРЂИВАЊЕ СУДАРНЕ БРЗИНЕ АУТОМОБИЛА НА ОСНОВУ ПОНАШАЊА ТОКОМ ПОСТСУДАРНЕ ФАЗЕ

Након судара, у зависности од типа судара, брзине аутомобила, положаја ударног правца, ширине поља преклапања, итд., аутомобили настављају да се крећу све до својих коначних позиција. Веома су ретки, па готово и немогући, судари аутомобила у којима сва њихова енергија бива утрошена у примарној фази судара, односно судари у којима возила практично остају у тачки примарног контакта. Имајући у виду начине кретања аутомобила током постсударне фазе, а применом основних закона механике, утврђене су методе за одређивање њихових сударних брзина. Ове методе засноване су на:

- закону о одржању количине кретања возила;
- закону о одржању момента количине кретања возила;
- закону о промени количине кретања возила;
- закону о промени момента количине кретања возила.

Закон о промени количине кретања се користи за утврђивање сударних брзина, а закон о промени момента количине кретања за проверу, односно верификацију добијених резултата.

4.1. Сударни положај возила и ударни правац

Један од значајних полазних параметара који је неопходан за анализу незгоде је дефинисање сударног положаја возила, односно угла под којим су се два возила контактирала. Такође, врло је значајно, посебно ако се користи графоаналитичка метода за даљу анализу, дефинисати и линију судара, односно правац на коме је деловао ударни импулс.

4.1.1. Сударни положај возила

Положај вектора брзина у тренутку судара ($\vec{V}_1, \vec{V}_2$) у потпуности је одређен њиховим међусобним сударним положајем. Уколико се током поступка анализе судара располаже одговарајућом увиђајном документацијом, сударни положај аутомобила се може реконструисати са великом поузданошћу. За утврђивање сударног положаја аутомобила, неопходно је располагати фотографијама оштећења и њиховим детаљним описом. Реконструкција сударног положаја аутомобила у многеме је олакшана уколико је на једном од њих остао јасан отисак другог аутомобила (нпр. од обруча фара, браника, решетке маске, итд.). Уколико аутомобили након судара могу да се покрећу, реконструкцију сударног положаја могуће је утврдити и на лицу места незгоде. Након завршеног увиђаја, могуће је покушати да се аутомобили доведу у сударни положај уклапањем деформисаних површина. Овако утврђен сударни положај неопходно је фиксирати скицом и фотографисати. За ту прилику, посебно је погодно сударни положај аутомобила фотографисати одозго. [1]

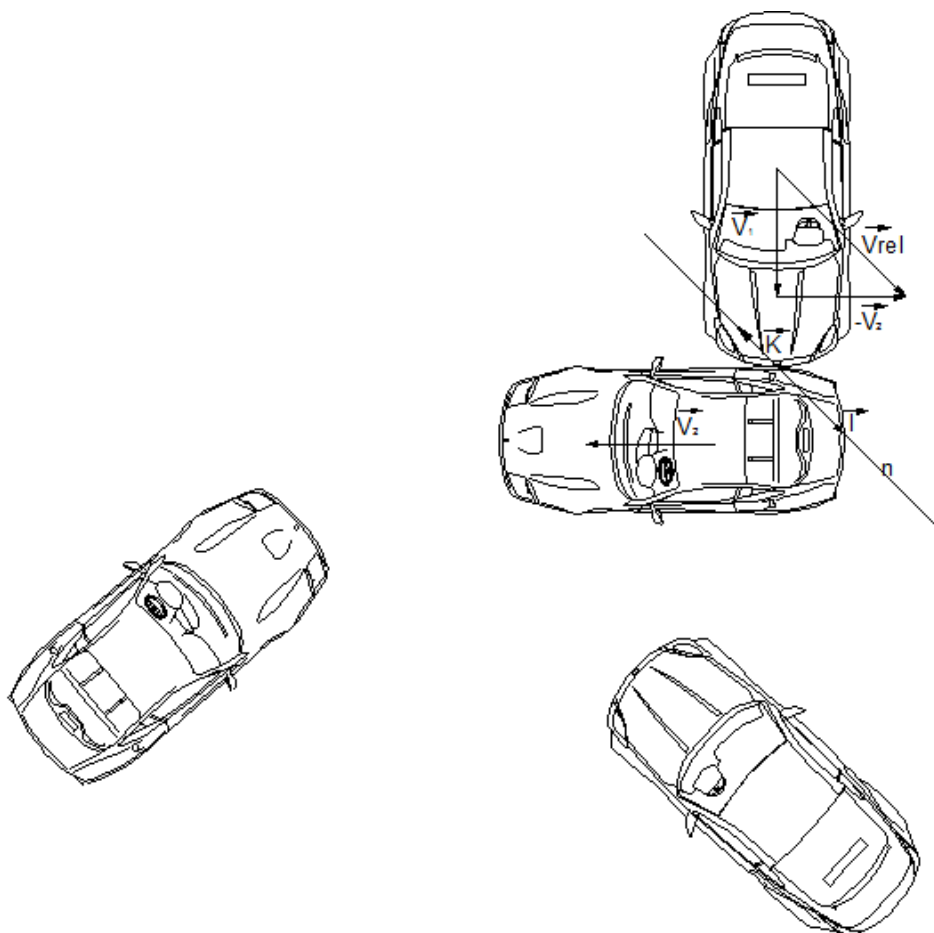
4.1.2. Појам ударног правца

Правец положен кроз тачку контакта аутомобила у тренутку судара паралелан са смером релативне брзине тежишта назива се ударни правац. Познавање ударног правца има суштинско значење, јер приликом судара аутомобила на том правцу делује ударни импулс. Положај ударног правца при судару два аутомобила не зависи само од њиховог смера кретања, већ и од величина њихових брзина. На основу положаја ударног правца, могу се одредити правци којима се један или други аутомобил кретао на последњим сантиметрима пута, до тренутка судара. Ударни правац се са доста великом поузданошћу може утврдити на основу положаја и правца пружања оштећења на аутомобилима. У тренутку судара постоји само један ударни правац, што се објашњава законом акције и реакције. Након утврђивања ударног правца на оба аутомобила, лако се може утврдити њихов узајамни положај непосредно пре судара, с обзиром да оба ударна правца морају лежати на истој линији удара.

Линија судара је паралелна са релативним брзинама на почетку судара, док током судара може делимично променити правац деловања, а исто тако може се и помакнути заједно са додирном тачком К кроз коју пролази. Након ударног процеса возила се обично одвајају и одмичу на разне стране једно од другог, због тога и јесте нужно да стручњак одреди линију судара на сваком возилу. Након одређивања сваке линије судара без тешкоћа се може одредити положај возила непосредно пре судара, јер при том морају обе лежати на једном правцу.

Помоћу наведене линије може се са сигурношћу одредити правац кретања возила пре судара, док се кретање након судара на путу смиривања може реконструисати преко трагова, или у недостатку трагова, и претпоставити (слика.4.1) Ако је после судара дошло и до превртања возила, па стога и до новог оштећења, то такође неће представљати сметњу одређивану линије судара, будући да се оштећења при превртању возила разликују с обзиром на деформације материјала у многим правцима, док се за време судара материјал структуре возила деформише у једном правцу.

Судар једног возила с паркираним возилом често се среће, и у таквом случају може се на темељу оштећења утврдити које је возило пре налета било у стању мировања. Када једно возило удари у друго, прво ће се возило померати под дејством контактних сила у судару. Ово померање може бити и по праволинијској и по криволинијској путањи. [1]

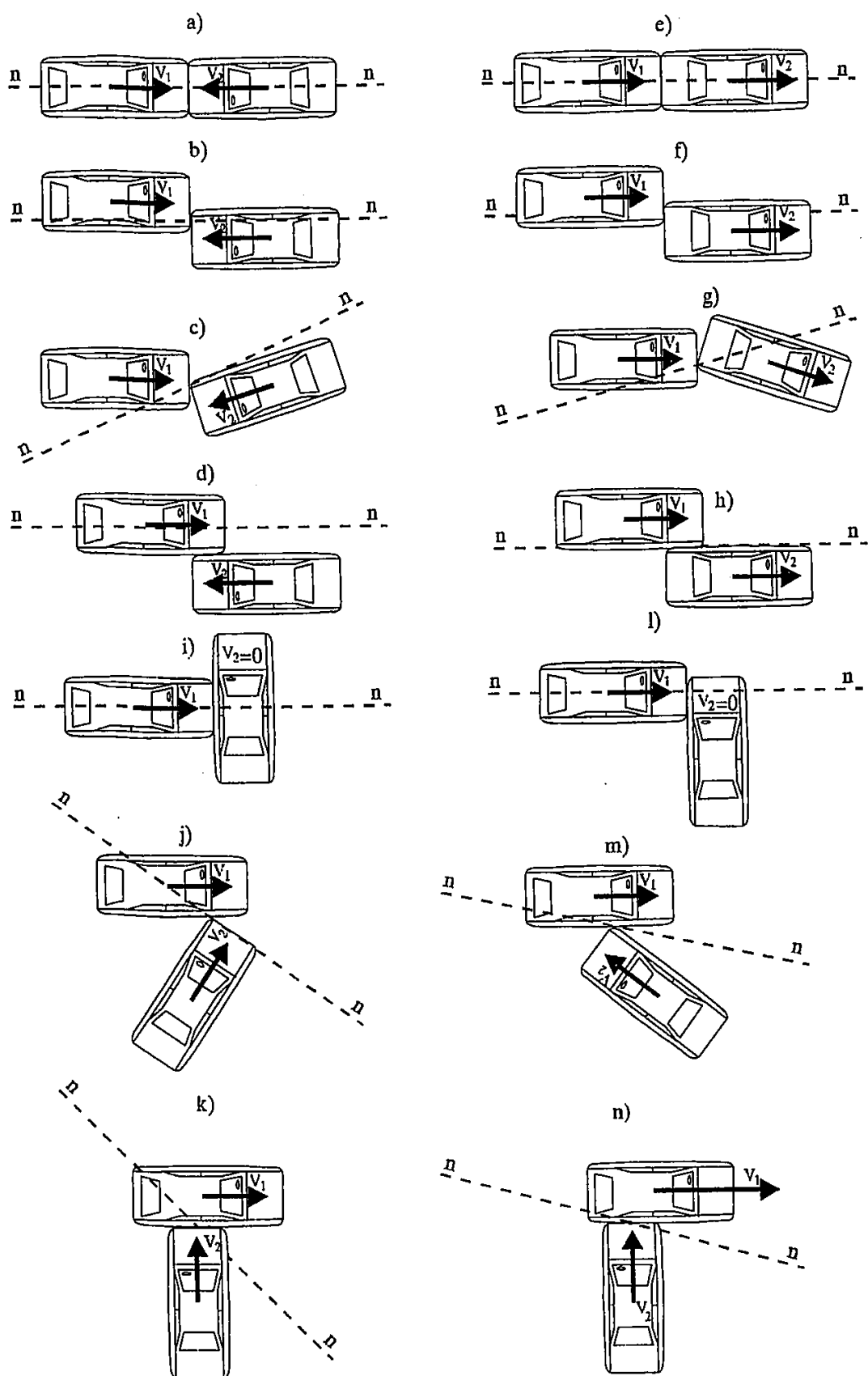


Слика 4. 1. Одређивање линије судара [1]

4.1.3. Положај ударног правца за класификоване типове судара возила

Треба имати на уму да смер ударног правца при судару возила не зависи само од смерова кретања возила, него и од величине њихових брзина кретања. На слици 4.2. и); к); н); видљиво је да се возила сударају под углом од 90° али је ударни правац положен по различитим угловима зависно од износа њихових брзина кретања. Када возила до судара имају исту брзину кретања и сударе се под правим углом сл. 4.2. к), ударни правац пролази кроз тачку њиховог додира и затвара угао од 45° према уздужним осама тих возила. Ако се возило 1 судари својим предњим делом под правим углом са заустављеним возилом 2, тада ударни правац (сл.4.2. и), пролази кроз тежиште и строго се поклапа са уздужном осом возила 1. На (слици 4.2.н), види се положај ударног правца када се возило 1 креће знатно већом брзином од брзине кретања возила 2. У том случају ударни правац не пролази кроз тежиште возила 2, већ је ударном тачком укошен под већим углом у односу на уздужну осу возила 2.

Код различитих брзина возила ударни правац положен под мањим углом у односу на уздужну осу оног возила које је пре судара имало већу брзину. У свим случајевима анализе судара возила потребно је унети што је више могуће детаљних и прецизних података ради одређивања ударног правца.



Слика 4.2. Положај ударног правца за класификоване типове судара возила

4.2. Примена закона одржања количине кретања при утврђивању сударних брзина аутомобила

Количина кретања аутомобила је векторска величина која има правац и смер вектора брзине, а интензитет јој је једнак производу масе возила и интензитета брзине. Ова величина представља меру механичког кретања аутомобила.

При судару аутомобила, на појединим деловима долази до одређених деформација. При томе, код анализе судара аутомобила, уведен је појам коефицијента реституције. Овај коефицијент добија се из односа брзина тежишта аутомобила на крају сударног процеса и њихових брзина непосредно пре сударног процеса:

$$k = \frac{V_2' - V_1'}{V_1 + V_2}$$

Коефицијентом реституције се у анализу судара аутомобила уводи појам пластичности судара. Распознајући карактер удара преко нумеричке вредности коефицијента k , може се рећи да је за $k=0$ судар апсолутно пластичан, а да је за $k=1$ судар апсолутно еластичан. Вредност коефицијента реституције утврђује се експерименталним путем и зависи од еластичних својстава делова каросерије аутомобила. Истраживањем реалних чеоних судара путничких аутомобила, показало се да судари аутомобила са високим вредностима сударних брзина и већом ширином преклапања контактних зона, имају карактер пластичних. Код пластичних судара, након примање фазе, у којој бива утрошен већи део енергије удара, аутомобили до своје коначне позиције настављају да се, крећу као целина, односно као једно тело. Узимајући у обзир ову чињеницу, њихове сударне брзине могу се одредити применом закона одржанја количине кретања, чија је основа у Њутновим законима механике, а који подразумева да укупна количина кретања аутомобила у моменту и непосредно након њиховог судара остаје непромењена.

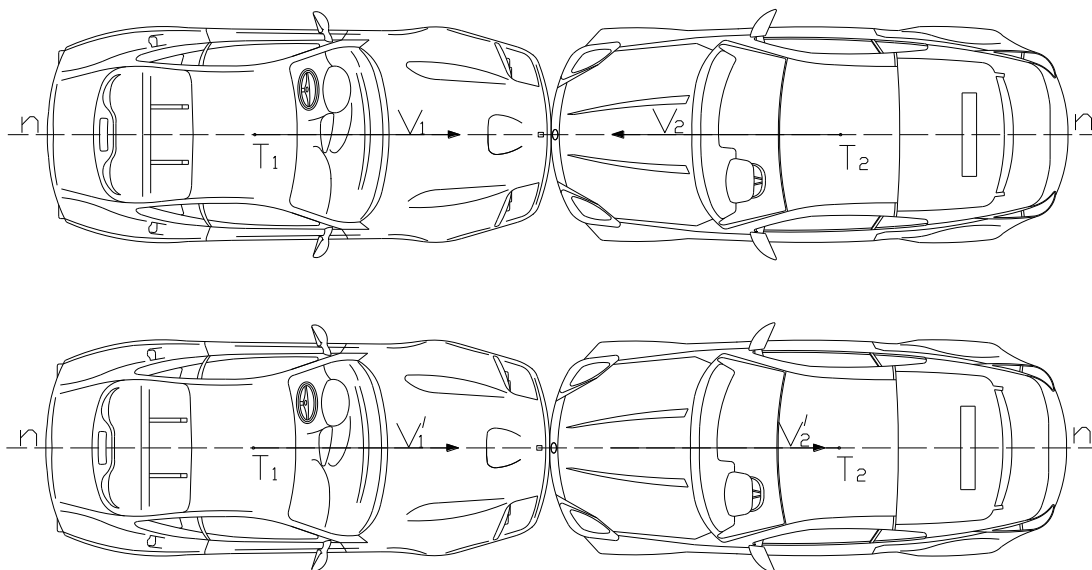
4.2.1. Утврђивање брзине код централних чеоних судара

Сударом аутомобила, постоји могућност да се њихове брзине изједначе и да аутомобили не мењају свој дотадашњи смер кретања. С обзиром да један аутомобил у томе спречава други, између њих, у тачки контакта, јављају се ударне силе. Резултанта ударних сила F , која делује у тачки контакта, на оба возила имаће једнак интензитет, а супротан смер (закон акције-реакције III Њутнов закон).

$$m_1 a_1 = F = m_2 a_2 \quad (1.19)$$

Где су :

- m_1, m_2 – масе аутомобиле
- a_1, a_2 – убрзања аутомобила



Слика 4. 3. Централни чеони судар два аутомобила

Једначина 1.19. може се написати и као:

$$m_1 \frac{dV_1}{dt} = F = m_2 \frac{dV_2}{dt}, \text{ односно, } m_1 dV_1 = F dt = m_2 dV_2 \quad (1.19)$$

Интеграцијом овог израза по времену t , тако да се брзина аутомобила 1 непосредно након судара означи са V'_1 , а аутомобила 2 са V'_2 , за чеони судар аутомобила добија се:

$$m_1 \int_{V'_1}^{V_1} dV_1 = \int_0^t F dt = m_2 \int_{-V'_2}^{V_2} dV_2 \quad (1.20)$$

Приликом интеграције у изразу 1.20, узето је у обзир да је аутомобил 1 у судару изгубио део сударне брзине, па је из тог разлога брзина овог аутомобила непосредно након судара мања од сударне брзине и представља доњу границу интеграла. Код аутомобила 2, доња граница интеграла, односно његова брзина непосредно након судара има негативан предзнак, зато што се ово возило након завршене примарне фазе судара наставило кретати у супротном смеру.

Решавањем овог интеграла добија се:

$$m_1(V_1 - V'_1) = \int_0^t F dt = m_2(V_2 + V'_2) \quad (1.21)$$

Из израза 1.21. се уочава да лева и десна страна једначине представљају количине кретања, а $\int_0^t F dt$ ударни импулс. Ако се узме у обзир да аутомобили непосредно након судара настављају да се крећу као целина, заједничком брзином, важи $V'_1 = V'_2 = V_z$, тако да се трансформацијом овог израза добија:

$$m_1 V_1 - m_2 V_2 = (m_1 + m_2) V_z \quad (1.22)$$

Израз 1.22. указује да се познавањем заједничке брзине аутомобила непосредно након судара, која се може лако утврдити на основу пута смиривања аутомобила и њиховог успорења на овом путу, као и сударне брзине једног од аутомобила, може израчунати брзина другог аутомобила. Тако ће за чеоне пластичне сударе аутомобила важити:

$$\begin{aligned} V_1 &= \frac{m_2 V_2 + (m_1 + m_2) V_z}{m_1} \\ V_2 &= \frac{m_1 V_1 - (m_1 + m_2) V_z}{m_2} \end{aligned} \quad (1.23)$$

И поред своје практичности, израз 1.23. се у експертизама реалних чеоних судара веома ретко примењује. Један од разлога ограничености његове примене је и то да судар мора бити централни. Код централних судара, ударни правац је положен кроз тачку тежишта аутомобила, тако да ударни импулс не ствара момент који би довео до њихове ротације. Не постојање ротације аутомобила током постсударне фазе је и основни предуслов да возила остану повезана и да се наставе кретати као целина. Реални централни чеони судари аутомобила веома су ретки. На основу анализираних узорка реалних чеоних судара путничких аутомобила, утврђено је да свега око 2% чине централни судари. Због тога је и примена израза 1.23., заснованог на закону одржања количине кретања, код анализа реалних чеоних судара путничких аутомобила сразмерно мала. [1]

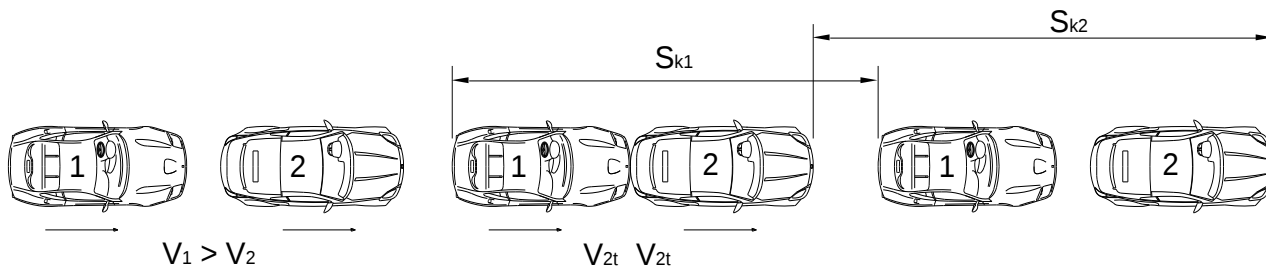
4.2.2. Одређивање сударне брзине код сустизања

Утврђивање сударне брзине код централног судара где брже возило сустиже спорије, такође се примењује закон о одржању количине кретања:

$$m_1 V_{10} + m_2 V_{20} = m_1 V'_1 + m_2 V'_2 \quad (1.24)$$

Увођењем заједничке брзине овај израз добија облик:

$$m_1 V_{10} - m_2 V_{20} = (m_1 + m_2) V_{zs} \quad (1.25)$$



Слика4. 4. Судар возила при сустизању

Заједничка брзина на заједничком путу је:

$$V_{zs} = V_{1t} = V_{2t} = \frac{m_1 V_{10} + m_2 V_{20}}{m_1 + m_2} = \sqrt{2 \cdot b_{zs} \cdot S_{zk}} \quad [m/s] \quad (1.26)$$

Брзина возила (1) непосредно пре судара:

$$V_{10} = \frac{V_{zs} (m_1 + m_2) - m_2 V_{20}}{m_1 + m_2} = V_{zs} + \frac{m_1}{m_2} (V_{zs} - V_{20}) \quad [m/s] \quad (1.27)$$

Брзине возила након раздвајања рачуна се на основу пређеног пута возила до заустављања:

$$V_{1t} = \sqrt{2 \cdot b_{1s} \cdot S_{1k}}, \quad V_{2t} = \sqrt{2 \cdot b_{2s} \cdot S_{2k}} \quad [m/s] \quad (1.27)$$

где је:

- V_{zs} - заједничка брзина [m/s],
- b_{zs} - заједничко успорење возила након судара [m/s²],
- S_{zk} - пут заједничког кретања возила од судара до заустављања кочењем [m]
- V_{1t} - брзина возила 1 након судара [m/s],
- V_{2t} - брзина возила 2 након судара [m/s],
- b_{1s} - успорење возила 1 од судара до заустављања [m/s²],
- b_{2s} - успорење возила 2 од судара до заустављања [m/s²],
- S_{k1} - пут који пређе тежиште возила 1 до заустављања [m],
- S_{k2} - пут који пређе тежиште возила 2 до заустављања [m].

Сада се брзина возила 1 непосредно пре судара може утврдити преко израза:

$$V_{10} = \frac{m_1 V_{1t} + m_2 V_{2t} - m_2 V_{20}}{m_1} = V_{1t} + \frac{m_2}{m_1} (V_{2t} - V_{20}) \quad [m/s] \quad (1.28)$$

а брзина возила 2 непосредно пре судара:

$$V_{20} = V_{2t} + \frac{m_1}{m_2} (V_{1t} - V_{10}) \quad [m/s] \quad (1.29)$$

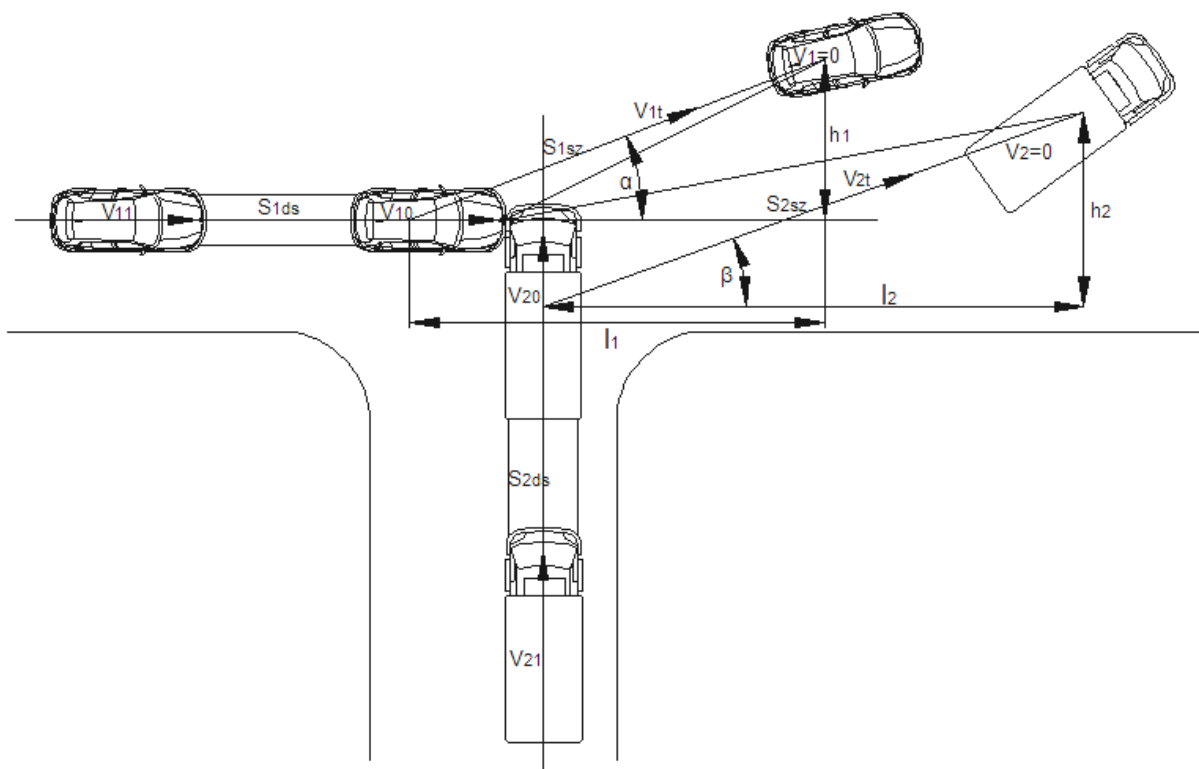
4.2.3. Примена закона одржања количине кретања при утврђивању брзине код чеono-бочног судара

Код унакрсних судара возила по правим углом, који се најчешће догађају на раскрсницама, сударна брзина возила може се такође утврдити применом закона о одржању количине кретања. Полазећи од поставке да количина кретања возила пре и после судара остају непромењене, познавајући масу возила и пређени пут од судара до смиревања, може се утврдити количина кретања возила после судара. Она омогућава да се утврди брзина возила након судара и количина кретања возила пре судара, што је довољан услов да се утврде и сударне брзине у тренутку контакта.

Да би се овај прорачун спровео по одређеном поступку, потребно је претходно утврдити путање тежишта аутомобила после судара, као и угао који заклапају са правцем кретања возила. Тада се сударне брзине аутомобила могу добити из следећих израза:

$$\begin{aligned} m_1 V_{10} &= m_1 V_{1t} \cdot \cos \alpha + m_2 V_{2t} \cdot \cos \beta \\ m_2 V_{20} &= m_1 V_{1t} \cdot \sin \alpha + m_2 V_{2t} \cdot \sin \beta \end{aligned} \quad (1.30)$$

Поступак утврђивања сударних брзина дат је на следећој слици:



Слика 4. 5. Утврђивање брзине код чеono-бочних судара [1]

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{h_1}{l_1}$$

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{h_2}{l_2}$$

$$V_{1t} = \sqrt{2 \cdot b_z \cdot S_{1sz}} \quad [m/s]$$

$$V_{2t} = \sqrt{2 \cdot b_z \cdot S_{2sz}} \quad [m/s]$$

$$V_{10} = V_{1t} \cos \alpha + \frac{M_2}{M_1} V_{2t} \cos \beta \quad V_{20} = V_{2t} \sin \beta + \frac{M_1}{M_2} V_{1t} \sin \alpha$$

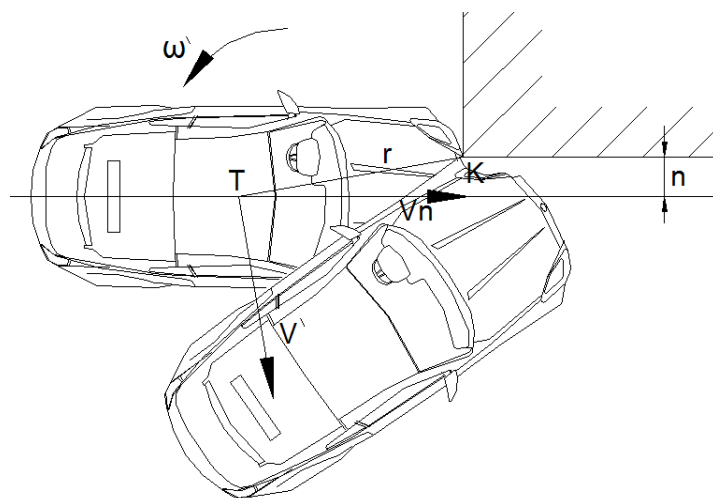
$$V_{11} = \sqrt{V_{10}^2 + 2 \cdot b \cdot S_{1ds}} \quad [m/s] \quad V_{21} = \sqrt{V_{20}^2 + 2 \cdot b \cdot S_{2ds}} \quad [m/s]$$

где је:

- V_{1t}, V_{2t} - брзине возила 1 и 2 после судара,
- V_{10}, V_{20} - брзине возила 1 и 2 у часу судара,
- V_{11}, V_{21} - брзине возила 1 и 2 на почетку трагова кочења,
- b - успорење возила на путу кочења до судара,
- b_z - успорење возила након судара,
- S_{1ds}, S_{2ds} - дужина трагова кочења возила 1 и 2 до судара,
- S_{1sz}, S_{2sz} - дужина трагова кочења са клизањем возила 1 и 2 након судара

4.3. Примена закона одржања момента количине кретања при утврђивању сударних брзина возила

При налета аутомобила на чврсту непокретну препреку (заустављено теретно возило, стуб, дрво, угао зграде, ...) када је контактна површина мала и ударни правац не пролази кроз тачку тежишта аутомобила, готово целокупна кинетичка енергија аутомобила која потиче од његовог транслаторног кретања, утроши се делом на деформациони рад, а делом на ротационо кретање у постсударној фази. Ова ротација аутомобила проузрокована је дејством момента импулса у тачки контакта. Смер ротације аутомобила и његов пређени пут током постсударне фазе зависиће од интензитета дејства и положаја ударног импулса у односу на тачку тежишта. [1]



Слика 4. 6. Ексцентричан налет аутомобила на чврсту непокретну препреку

Утврђивање сударне брзине аутомобила код ексцентричног налета на чврсту непокретну препреку, може се решити применом закона одржања момента количине кретања. Током трајања судара, величина свих спољашњих сила у односу на величину сударних сила је занемариво мала, тако да се њихов утицај занемарује. Уз овакву претпоставку, једина спољашња сила која делује на аутомобил у току трајања самог судара је сударна сила, чије дејство је концентрисано у тачки контакта (k). Анализом општег случаја судара два тела у простору, утврђено је да сума момената количина кретања аутомобила у односу на тачку контакта, током трајања судара, мора остати константна. Због тога ће резултирајући момент количине кретања аутомобила у односу на тачку контакта, непосредно пре судара, бити једнак резултирајућем моменту количине кретања у односу на исту контактну тачку, непосредно након судара. [3]

Моменат количине кретања у односу на тачку контакта (k) у тренутку удара износи:

$$M_{kr} = m \cdot V_n \cdot n \quad [Nm] \quad (1.31)$$

После налета возило добија транслаторну брзину кретања тежишта (V') и угаону брзину око тежишта (ω'). Према томе моменат количине кретања возила у односу на тачку додира (κ) непосредно пре удара износи:

$$M''_{kr} = m \cdot V'' \cdot r_a + J \cdot \omega'' \quad (1.32)$$

J - моменат инерције возила у односу на вертикалну осу кроз тежиште возила.

Како је тачка контакта (κ) тренутни центар ротације возила непосредно после судара, мора бити испуњен следећи услов:

$$\omega'' = \frac{V''}{r_a} \quad [s^{-1}] \quad (1.33)$$

$$J = m \cdot i_v^2 \quad [s^{-1}] \quad (1.34)$$

i_v - полупречник инерције ($i_v = 0,47 L_0$) [m];
 L_0 - осовински размак возила [m].

Изједначавајући моменте количине кретања непосредно пре и после судара добија се:

$$m \cdot V_n \cdot n = m \cdot V' \cdot r_a + J \cdot \omega'' \quad (1.35)$$

Заменом једначина (1.33) и (1.34) у једначину добијамо израз:

$$m \cdot V_n \cdot n = m \cdot V' \cdot r_a + m \cdot i_v^2 \cdot \left(\frac{V''}{r_a} \right) \quad (1.36)$$

После сређивања горњег израза добија се израз за брзину возила у моменту налета:

$$V_n = \left(\frac{r_a^2 + i_v^2}{n \cdot r_a} \right) \cdot V' \quad [m/s] \quad (1.37)$$

Брзина возила после одбијања рачуна се према изразу:

$$V' = \sqrt{2b \cdot S_{4nz}} \quad [m/s] \quad (1.38)$$

4.4. Одређивање брзине возила графоаналитичком методом импулсног дијаграма

Једна од често примењиваних метода за утврђивање судских брзина возила од стране експерата за саобраћајне незгоде, и поред своје сложености, је метода равнотеже импулса. Ову методу карактерише висок степен поузданости добијених резултата, с обзиром да постоји могућност њихове провере. Метода равнотеже импулса, због своје практичности, постала је основ и за неке од програмских пакета за експертизу судара возила, међу којима је најзначајнији PC CRASH.

За појашњење поступка утврђивања судских брзина возила методом равнотеже импулса, неопходно је размотрити следеће:

Силе које се јављају приликом судара два тела имају основно својство да делују врло кратко време и да достижу веома велике вредности, па се стога зову тренутне или импулсне силе. За меру узајамног дејства два тела приликом судара узима се ударни импулс, који се дефинише изразом:

$$\vec{I} = \int_t^{t+\tau} \vec{F}_u \cdot dt \quad (1.39)$$

где је:

τ - време трајања судара,

$\vec{F}_u$ - тренутна сила,

$\vec{I}$ - ударни импулс.

Како је време трајања судара τ веома мала величина, која тежи нули, а $\vec{F}_u$ величина која тежи бесконачности, следи да је ударни импулс $\vec{I}$ коначна величина.

Ударни импулси на телима која учествују у судару, у складу са III Њутновим законом, имају једнаке интензитете, а супротне смерове, односно:

$$\vec{I}_1 = -\vec{I}_2 \quad (1.40)$$

Основу методе равнотеже импулса чини закон о промени количине кретања, по коме је промена вектора количине кретања неког тела за неки интервал једнака импулсу силе који делује на то тело у том временском интервалу. Промена количина кретања тела опредељена је њиховим брзинама пре и после судара, стога овај закон гласи:

$$\begin{aligned} m_1 \vec{V}'_1 - m_1 \vec{V}_1 &= \vec{I} & \vec{K}'_1 - K'_1 &= \vec{I} \\ m_2 \vec{V}'_2 - m_2 \vec{V}_2 &= -\vec{I} & \vec{K}'_2 - K'_2 &= -\vec{I} \end{aligned} \quad \text{или} \quad (1.41)$$

где су:

- m_1, m_2 - масе тела;
- $\vec{V}_1, \vec{V}_2$ - брзине тела у тренутку судара;
- $\vec{V}'_1, \vec{V}'_2$ - брзине тела након судара;
- $\vec{K}_{1,2}, \vec{K}'_{1,2}$ - вектори количине кретања пре и после судара.

Из израза 1.41. следи:

$$m_1 \vec{V}_1 + m_2 \vec{V}_2 = m_1 \vec{V}'_1 + m_2 \vec{V}'_2 \quad (1.42)$$

Векторска сума количина кретања тела пре судара мора бити једнака векторској суми количина кретања после судара.

Уколико тело у сударни процес и након њега излази уз ротационо кретање, важиће и закон о промени момента количине кретања, по коме је прираштај главног момента количине кретања тела за време удара, у односу на произвољно одабрану осу, једнак суми момената свих спољашњих ударних имулса у односу на ту осу, односно:

$$J_0 \cdot (\omega' - \omega) = \sum M_0^{ij} \quad (1.43)$$

где су:

- J_0 - момент инерције тела у односу на осу;
- ω' - угаона брзина тела након судара;
- ω - угаона брзина тела у тренутку судара.

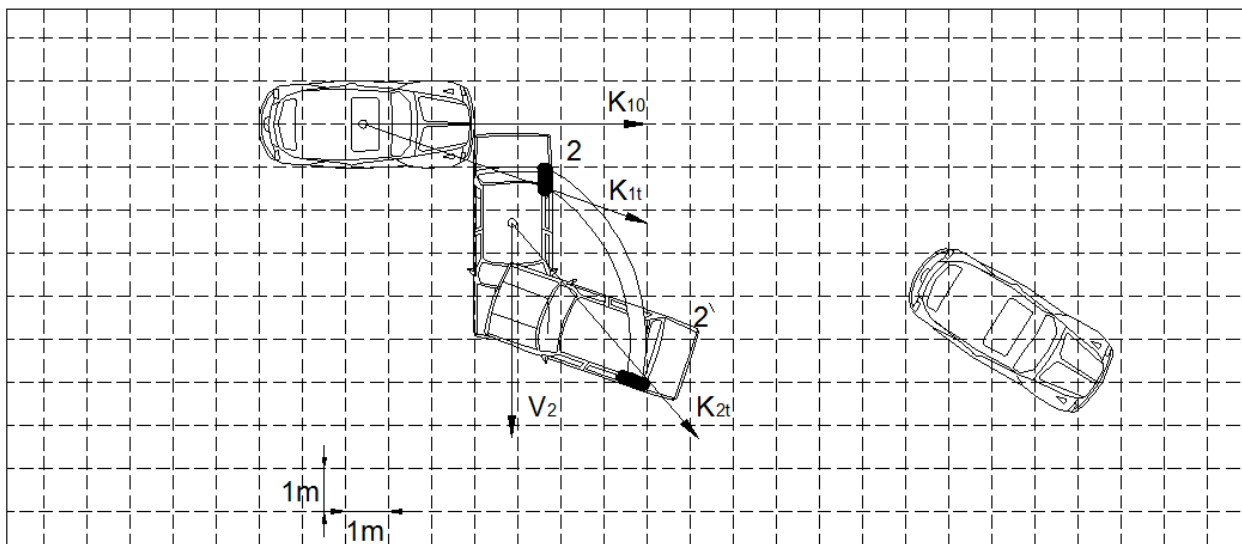
Закључује се да судар аутомобила представља сложен процес кога је физичким и математичким путем веома тешко описати и моделовати. Због тога се оваквим анализама практично не могу добити апсолутно тачна решења судара. За спровођење механичко-математичке анализе судара, неопходно је увођење одређених претпоставки и поједностављења:

1. Возила која учествују у судару се посматрају као апсолутно крута тела, односно њихове деформације се занемарују.
2. Време трајања судара аутомобила је бесконачно мало.
3. Дејство ударних сила се своди на једну тачку која се налази на истој висини као и тежиште аутомобила.
4. Правац дејства ударних сила је паралелан са подлогом, тако да се деловање њихових момената посматра у односу на вертикалну осу аутомобила.
5. Током судара, деловање свих спољашњих сила на аутомобил, као и сви апсолутни и релативни помаци аутомобила, се занемарују.

Увођење оваквих поједностављења мора довести и до одређених грешака и одступања у прорачуну сударних величина. Ипак, овако утврђене сударне величине не одступају битно од стварних вредности, тако да се омогућује спровођење анализе судара са довољном тачношћу.

ПРИМЕР 1

Поступак одређивања брзине графоаналитичком методом биће илустрован примером, где су у судару учествовала возила: VW-11, као возило 1 и возило OPEL-R3, као возило 2. Маса возила је $m_1 = 740 \text{ kg}$ а $m_2 = 965 \text{ kg}$. Скица је дата на слици 4.7. 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 4. 7. Ексцентрични судар два путничка возила

1. корак. Одређивање брзина возила након судара врши се на основу путева смиривања и вредности успорења на путевима смиривања: Пут смиривања возила 1: $S_{1t} = 14,5\text{m}$, а возила 2: $S_{2t} = 4,0\text{m}$; успорење возила 1: $b_{1t} = 1,5\text{m/s}^2$, а возила 2: $b_{2t} = 4\text{m/s}^2$.

Брзине возила након судара одређују се према изразу:

$$V_{1t} = \sqrt{2 \cdot b_{1t} \cdot S_{1t}} = \sqrt{2 \cdot 1,5 \cdot 14,5} = 6,5 \text{ m/s} = 23,5 \text{ km/h}$$

$$V_{2t} = \sqrt{2 \cdot b_{2t} \cdot S_{2t}} = \sqrt{2 \cdot 4 \cdot 3,5} = 5,3 \text{ m/s} = 19,1 \text{ km/h}$$

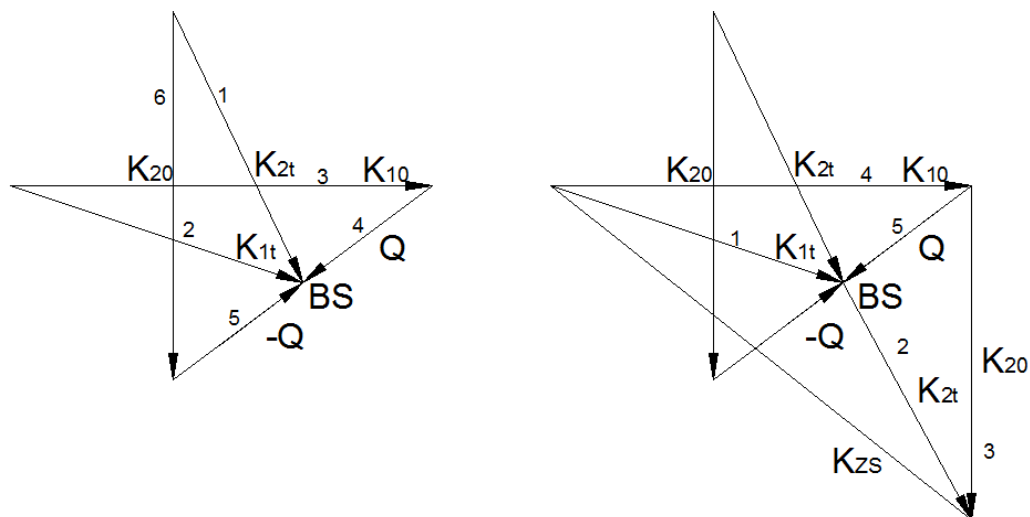
2. корак. На слици контакта возила уцрта се линија судара, затим се на полигон сила сл. 4.8. паралелно пренесе линија судара у произвољној дужини.

3. корак: Ижрачунавање количине кретања возила након судара може се одредити помоћу формуле:

$$k_t = m \cdot V_t \quad ; \quad V_t - \text{brzina vozila nakon sudara}$$

$$k_{1t} = m_1 \cdot V_{1t} = 740 \cdot 6,5 = 4810 \quad [\text{daNs}]$$

$$k_{2t} = m_2 \cdot V_{2t} = 965 \cdot 5,3 = 5114 \quad [\text{daNs}]$$



Слика 4. 8. Полигон сила

4. корак: 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:

$$k_{10} = 7200 \text{ daNs}; \quad k_{20} = 600 \text{ daNs};$$

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

$$V_{10} = \frac{K_{10}}{m_1} = 9,7 \text{ m/s} = 35 \text{ km/h}$$

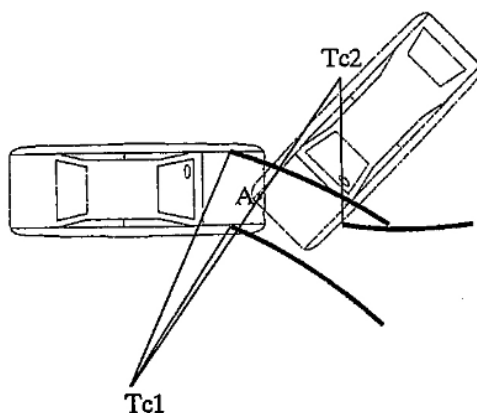
$$V_{20} = \frac{K_{20}}{m_2} = 6,23 \text{ m/s} = 22,5 \text{ km/h}$$

4.5. Утврђивање сударних брзина аутомобила модификованом графо-аналитичком методом

4.5.1. Полазне основе

Графо-аналитичка метода, заснована на закону промене количине кретања, представља једну од најпоузданијих метода за утврђивање сударних брзина аутомобила. Поузданост ове методе огледа се у могућношћу провере добијених резултата сударних брзина аутомобила, применом закона о промени момента количине кретања. У случају већих одступања приликом провере резултата, могуће је извршити одређене корекције појединих улазних параметара и тако добијене излазне вредности сударних брзина максимално приближити реалним. Дакле, уколико се располаже поузданим улазним подацима, ова метода даје сасвим задовољавајуће резултате сударних брзина, које могу послужити као солидна основа за квалитетну временско просторну анализу тока незгоде. При томе, утврђивање сударних позиција аутомобила, места судара односно положаја вектора количине кретања у тренутку судара, најчешће не представља проблем, с обзиром да постоји више индикатора на основу којих се они могу утврдити. Вредност коефицијента пријањања између точкова аутомобила и подлоге током постсударне фазе, односно успорење аутомобила након судара, такође се могу, у зависности од подлоге, сасвим реално проценити. Међутим, положај вектора количине кретања аутомобила непосредно након судара не може се увек сасвим поуздано утврдити.

Проблем одређивања положаја вектора брзине, односно количине кретања аутомобила непосредно након судара, заснован је на утврђивању положаја тренутног пола ротације након судара. Наиме, тренутни пол ротације могуће је прецизно утврдити само ако су на коловозу након незгоде остали одговарајући трагови. Тачније, прецизно утврђивање тренутних полова ротације аутомобила захтева постојање најмање два лучна трага заношења које је током постсударне фазе оставио један аутомобил и најмање један лучни траг заношења другог аутомобила (слика 4.9).



Слика 4. 9. Поступак одређивања тренутних полова брзина аутомобила

На основу досадашње праксе, мора се констатовати да су на жалост веома ретки судари аутомобила у којима они током постсударне фазе за собом остављају овакве трагове или да су они у њима прецизно дефинисани. То практично значи да се у реалним саобраћајним незгодама веома ретко може прецизно утврдити тренутни пол ротације аутомобила. На основу досадашње праксе саобраћајно-техничког вештачења на Институту за саобраћај, Факултета техничких наука у Новом Саду, утврђено је да је у укупној структури експертиза судара аутомобила, примењивост графо-аналитичке методе за утврђивање сударних брзина аутомобила, сведена на свега неколико процената.

У циљу елиминације проблема везаних за утврђивање положаја вектора количине кретања аутомобила непосредно након судара, неопходно је поједноставити поступак утврђивања тренутног пола ротације аутомобила, односно смањити број потребних трагова заносења током постсударне фазе, неопходних за одређивање тренутног пола ротације. Тиме би се омогућило да метода утврђивања сударних брзина аутомобила заснована на равнотежи импулса нађе своју ширу примену у анализама реалних саобраћајних незгода тог типа. [1]

4.5.2. Примена једначина Маркарда за утврђивање брзина аутомобила на почетку постсударне фазе

Prof. dr E. Markard (Marquard) предложио је методе помоћу којих се могу са довољном тачношћу одредити брзине кретања тежишта непосредно након судара. По овој методи, за утврђивање брзина аутомобила непосредно након судара, довољно је познавати само сударну и коначну позицију аутомобила. При томе Е. Маркард је анализирао само два карактеристична стања у фази након судара, и то: кретање некоченог и кретање коченог возила. У својим анализама користио је поједностављење тако што је возила посматрао као возила на два точка.

По Маркарду, за некочено возило на почетку постсударне фазе, интензитети транслаторних и угаоних брзина могу се израчунати применом следећих израза:

$$\begin{aligned}\omega' &= \sqrt{\frac{2 \cdot \mu \cdot g \cdot (\Delta\alpha)^2}{(\Delta\alpha) \frac{i_v^2}{r} + S}} \quad [s^{-1}] \\ V' &= \frac{2 \cdot \mu \cdot g \cdot (\Delta\alpha)}{\omega'} - \omega' \cdot \frac{i_v^2}{r} \quad [m/s]\end{aligned}\tag{1.44}$$

где је:

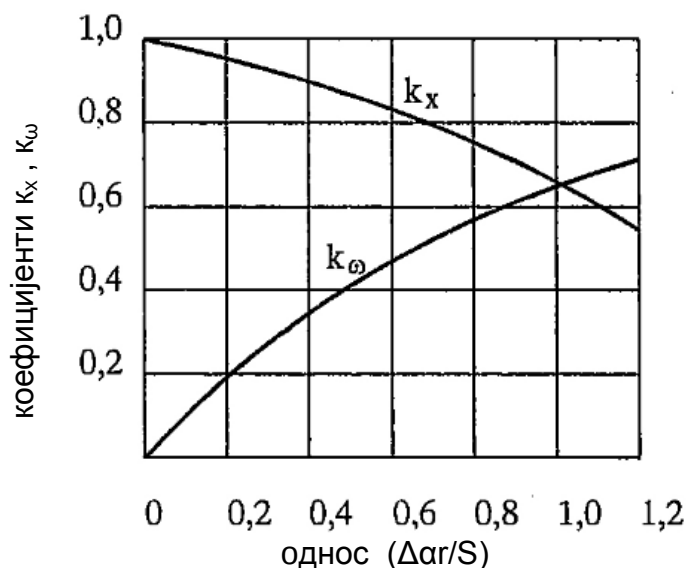
- r - позиција тежишта у односу на предњу осовину аутомобила;
- μ - коефицијент пријањања; g - убрзање земљине теже;
- i_v - полупречник инерције;
- S - праволинијска удаљеност између положаја тежишта возила у тренутку судара и његовог положаја у коначној позицији;
- $\Delta\alpha$ - промена величине угла ротације возила око вертикалне осе на путу од позиције возила у тренутку судара па до коначне позиције изражена у радијанима.

За возило које је у тренутку судара било кочено, угаона и транслаторна брзина на почетку постсударне фазе рачунају се као:

$$\begin{aligned}\omega' &= \sqrt{2 \cdot k_\omega \cdot \frac{\mu \cdot g \cdot r}{i_v^2} \cdot \Delta\alpha} \quad [s^{-1}] \\ V' &= \sqrt{2 \cdot k_x \cdot \mu \cdot g \cdot S} \quad [m/s]\end{aligned}\tag{1.45}$$

где су: k_x и k_ω корективни коефицијенти одређени на основу раније израчунатих различитих примера.

Величина коефицијената k_x и k_ω зависи од величине односа $(\Delta\alpha/S)$ према дијаграму приказаном на слици 4.10.



Слика 4. 10. Дијаграм за одређивање вредности коефицијената k_x и k_ω [1]

За давање оцене у којој мери вредности брзина непосредно након судара, израчунате преко једначина Маркарда, одражавају реално стање, извршено је њихово поређење са вредностима ових брзина утврђених на други начин. На основу извршеног поређења, утврђено је да је релативна грешка вредности брзина утврђених у анализираним примерима и израчунатих помоћу једначина Маркарда углавном испод 15%, како код транслаторних, тако и код угаоних брзина.

4.5.3. Утврђивање сударне брзине возила модификованом графо-аналитичком методом (мга метода)

Након утврђивања интензитета транслатомних брзина аутомобила израчунавају се интензитети њихових вектора количина кретања непосредно након судара.

Познавањем величина транслаторних и угаоних брзина аутомобила непосредно након судара и њихове кинематичке зависности, може се утврдити растојање од тежишта аутомобила до тренутног пола ротације, односно:

$$r_T = \frac{V'}{\omega'} \quad (1.46)$$

Уношењем једначина Маркарда за некочени судар (1.44) у израз (1.46) и његовим сређивањем, коначно се добија растојање од тежишта аутомобила до тренутног пола ротације, за некочене сударе:

$$r_T = \frac{S}{\Delta\alpha} \quad (1.47)$$

Уколико је аутомобил непосредно пре судара био кочен, у израз (1.45.) уносе се једначине Маркарда за кочене сударе (1.46). Сређивањем овог изрази добија се коначна вредност растојања од тежишта аутомобила до тренутног пола ротације, за кочене сударе:

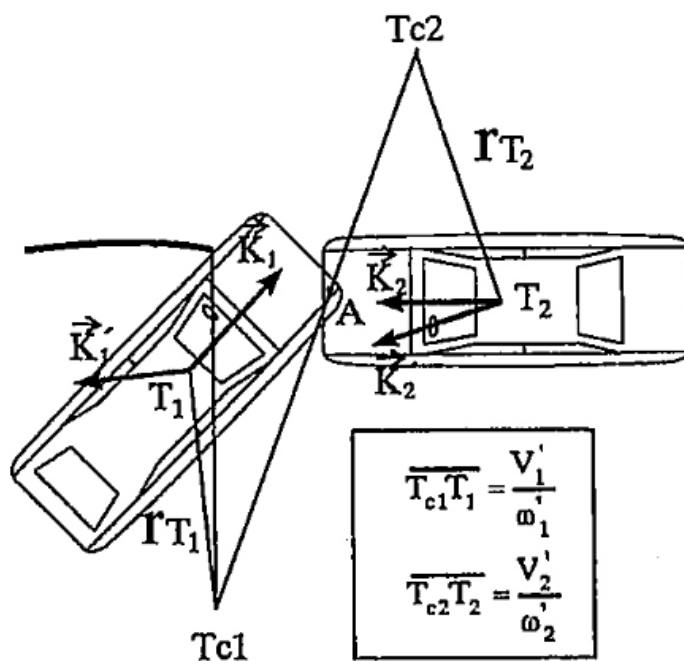
$$r_T = i_v \sqrt{\frac{k_x \cdot S}{k_\omega \cdot r \cdot \Delta\alpha}} \quad (1.48)$$

Из изрази (1.47) и (1.48) уочава се да се помоћу једначина Маркарда и поред бројних параметара који имају утицаја на кретање аутомобила током постсударне фазе, проблем утврђивања растојања тренутног пола ротације од тежишта аутомобила, своди на проблем утврђивања пута тежишта током постсударне фазе и угла закретања аутомобила, као и познавања основних геометријских карактеристика аутомобила, односно полупречника инерције и удаљености тежишта од предње осовине аутомобила.

За примену методе равнотеже импулса приликом утврђивања сударних брзина аутомобила, као и у раније описаном поступку, најпре је неопходно утврдити њихову сударну позицију, односно њихов међусобни положај у моменту судара. Овом позицијом одређени су и положаји вектора брзина аутомобила, односно њихових количина кретања у тренутку судара. За утврђивање позиција тренутних полова ротације аутомобила, неопходно је да бар један од аутомобила на путу смиривања након судара за собом остави најмање један лучни траг заносења. У почетној тачки лучног трага заносења аутомобила уцртава се тангента, а конструкцијом нормале на ту тангенту добија се правац на коме се налази тренутни пол ротације. Положај тренутног пола добија се тако што се из тежишне тачке аутомобила на овај правац

наноси растојање које је утврђено применом једначина Маркарда (1.47) и (1.48). Након утврђивања тренутног пола ротације првог аутомобила (T_{C1}), повлачи се дуж која спаја ову тачку са тачком тежишта аутомобила (T_1). Нормала на ову дуж у тачки тежишта аутомобила дефинише положај вектора брзине аутомобила, односно његове количине кретања, након судара.

Како тачка контакта на аутомобилима (A) представља заједничку тачку, у којој делује вектор њихове заједничке брзине непосредно након судара, то ће тренутни пол ротације првог аутомобила уједно представљати и тренутни пол за тачку A. Имајући то у виду, закључује се да се тренутни пол ротације другог аутомобила мора налазити на правцу кога дефинишу тренутни пол ротације првог аутомобила (T_{C1}) и заједничка тачка A, односно, тренутни полови за оба аутомобила морају се налазити на правцу који пролази кроз заједничку тачку A. Помоћу израза (1.47) или (1.48) може се израчунати растојање од тренутног пола ротације другог аутомобила до његовог тежишта. Наношењем овог растојања из тежишне тачке (T_2) на претходно утврђен правац, добија се позиција тренутног пола ротације другог аутомобила (T_{C2}). Нормала на дуж коју формирају тачке T_{C2} и T_2 у тачки тежишта аутомобила, дефинише положај вектора брзине, односно количине кретања аутомобила, непосредно након судара.



Слика 4. 11. Утврђивање тренутних полови и положаја вектора количина кретања аутомобила непосредно након судара, применом једначина Маркарда

Поступак утврђивања тренутних полови, односно праваца вектора брзина аутомобила непосредно након судара, применом једначина Маркарда, приказан је на слици 4.11.

За разлику од стандардног поступка за утврђивање тренутних полови ротације аутомобила где је било неопходно постојање најмање три лучна трага заносења, од којих два припадају једном, а један другом аутомобилу,

применом једначина Маркарда, проблем одређивања тренутних полова може се решити постојањем свега једног лучног трага заношења, што је у реалним сударима аутомобила много чешћи случај.

Након утврђивања интензитета вектора количина кретања аутомобила непосредно након судара и положаја вектора количина кретања аутомобила у тренутку и непосредно након судара, применом векторских једначина:

$$K'_1 - K_1 = I \quad K'_2 - K_2 = -(I) \quad (1.49)$$

формира се векторски полигон равнотеже импулса и из њега читавају вредности количина кретања аутомобила у тренутку судара и интензитета ударног импулса. Након тога, израчунавају се вредности сударних брзина аутомобила, а потом врши провера добијених резултата применом закона о промени момента количине кретања. Сама чињеница да је графо-аналитичка метода заснована на физичким законима и да пружа могућност провере добијених резултата, указује на то да се излазне величине сударних брзина возила добијене њеном применом, уз толеранцију од $\pm 15\%$, могу прихватити приликом експертиза реалних судара. [1]

4.6. Утврђивање брзине возила изгубљене на деформациони рад

Проблем који се јавља приликом експертиза саобраћајних незгода типа судара и налета возила јесте утврђивање брзине коју је аутомобил изгубио у судару, односно утврђивање дела количине кинетичке енергије која је у судару аутомобила утрошена на деформацију. Познавањем брзине аутомобила која је изгубљена на деформацију могуће је утврдити његову сударну брзину, као и брзину кретања возила у моменту настанка опасности.

У пракси саобраћајно - техничког вештачења за одређивање сударне брзине возила на основу њихових деформација користе се следеће методе:

1. заснована на резултатима CRASH тестова.
2. метода енергетског растера;
3. метода према Schaperu;
4. метода на бази крутости деформационе структуре возила;
5. метода заснована на EES каталогу и
6. метода деформабилног понашања каросерије возила.

Основни показатељ величине брзине изгубљене у судару код свих ових метода је величина и карактер деформација возила. Поред сударне брзине, на интензитет деформација утичу бројни параметри као што су:

- масе сударених возила, распоред локалних маса на деловима возила која су учествовала у судару,
- положај мотора, распоред носача каросерије возила,
- деформационе карактеристике материјала од којих је возило израђено,
- положај помоћних агрегата,
- крутост деформационог дела возила,
- структура деформационог дела возила,
- локализација оштећења,
- старост возила и начин одржавања,
- коефицијент односа статичке и
- динамичке деформације итд.

Према томе, да би се прецизно утврдила брзина возила на основу величине деформација, неопходно је извршити детаљну анализу утицаја свих наведених параметара на деформабилно понашање возила и утврдити њихове вредности.

4.6.1. Коришћење CRASH тестова при израчунавању брзине возила изгубљене на деформациони рад

Унапређење постојећих метода извршено је на основу резултата CRASH тестова формираних у облику извештаја америчког института за безбедност саобраћаја "NHTSA" (National Highway Traffic Safety Administration). Резултати CRASH тестова у овом формату приказани су у облику детаљног писаног извештаја. Увидом у садржај поменутих извештаја, установљено је да су они погодни за детаљну анализу и унапређење постојећих метода, јер садрже детаљне податке о величинама које фигуришу приликом израчунавања брзине. Колико су ови извештаји детаљни говори податак да извештај једног просечног CRASH теста садржи око 330 до 400 страна формата А4. Нарочиту вредност ових извештаја представља фото елаборат у ком се налази велики број веома квалитетних фотографија, чији се број креће између 50 и 100 фотографија.

Резултати CRASH тестова у овом формату приказани су у облику једне главне табеле у којој су све ћелије са подацима форматиране у облику линка. Посебну вредност ових извештаја представља видео снимак тока судара и кретање возила након судара, из неколико различитих углова. Као што је већ истакнуто од свих наведених линкова који приказују одређене податке најкориснији је "Vehicle information" који даје детаљне резултате CRASH теста за конкретно возило, који су од највеће користи за анализу незгода. Детаљним прегледом осталих линкова могу се добити подаци који омогућавају проверу и унапређење постојећих метода за прорачун брзине на основу деформације.

Из базе података издвојени су делови резултата CRASH теста за путнички аутомобил YUGO GV при налету на чврсту непомичну препреку, који се могу искористити за унапређење и модификацију метода за одређивање брзине возила на основу деформација. Током испитивања установљено је да приликом судара или налета возила, поред скраћења дужине возила, долази и до померања одређених карактеристичних тачака на каросерији возила у смеру дејства ударне силе. Ови подаци могу бити од велике користи приликом анализе деформабилног понашања каросерије возила у циљу одређивања брзине возила. Издвојени подаци из резултата CRASH теста за путнички аутомобил YUGO који приказују скраћење, односно померање одређених карактеристичних тачака на каросерији возила приказани су у следећој табели:

Р.б.	Дефинисање измерених величина у (мм)	Озн.	Пре Теста	После Теста
1	дужина возила	BX1	3515	3071
2	дужина блока мотора	BX21	396	396
Удаљеност задње површине возила од:				
3	предњег дела мотора	BX2	3142	2982
4	заштитног зида мотора	BX3	2418	2418
5	горње ивице десних врата	BX4	2324	2299
6	горње ивице левих врата	BX5	2286	2301
7	доње ивице десних врата	BX6	2347	2337
8	доње ивице левих врата	BX7	2332	2337
9	горње ивице стуба десних врата	BX8	1341	1298
10	горње ивице стуба левих врата	BX9	1298	1295
11	доње ивице стуба десних врата	BX10	1295	1290
12	доње ивице стуба левих врата	BX11	1270	1280
13	дела пода за смештај ногу десно	BX12	2350	2337
14	дела пода за смештај ногу лево	BX13	2337	2337
15	заштитног зида са десне стране	BX14	2637	2438
16	заштитног зида са леве стране	BX15	2609	2492
17	точка управљача	BX16	2172	2045
18	леве стране предњег браника	BX19	3465	3005
19	десне стране предњег браника	BX20	3452	3066
Удаљеност центра точка управљача од:				
20	леве бочне стране возила	BX17	419	292
21	крова возила	BX18	424	358

Табела 3. Скраћење (померање) одређених тачака на каросерији возила [1]

4.6.2. Примена модификоване методе енергетског растера при израчунавању брзине возила

Познато је да се приликом судара возила, налета на чврсту непомићну препреку или друго возило настају деформације возила и то пропорционално сударној брзини возила. У познате и најстарије методе за прорачун брзине возила на основу деформација сврстава се метода енергетског растера. Метода енергетског растера полази од чињенице да при судару возила настаје одређено деформисање возила које је сигурно пропорционално и у функцији судране брзине возила. На основу величина и облика деформација врши се конструкција тзв. дијаграма енергетског растера, који приказују количину енергије, односно деформационог рада, коју возило изгуби у време и због деформисања. На основу количине изгубљене енергије кориговане коефицијентима, израчунава се брзина потрошена на деформисање возила. Конструисање дијаграма утрошеног рада на деформисање, извршено је на основу експеримената са старијим моделима возила па се стога поставило оправдано питање колико су дијаграми употребљиви у данашњим условима.

Током анализе и провере методе енергетског растера, која је извршена на основу великог броја CRASH тестова, утврђено је да величина коефицијента K_1 зависи од сударне брзине возила и да има врло различите вредности за различите марке, па чак и за само различите типове возила. Узимањем у обзир чињенице да је на CRASH тестовима позната налетна брзина возила и величина деформација као и законитост да се при пуним чеоним налетима целокупна енергија претвара у деформациони рад, онда се математичком трансформацијом може извести нови израз на основу кога се може израчунати коефицијента K_1 којим се коригује чврстоћа предњег дела возила у следећем облику:

$$K_1 = \frac{V_0^2 \cdot m}{3,6^2 \cdot 2 \cdot W} \quad (1.50)$$

На основу овог сазнања извршена је модификација методе енергетског растера, којом је отклоњен главни недостатак методе, тј. извршена је адекватна калибрација коефицијента K_1 , који узима у обзир чврстоћу структуре возила, чиме је метода енергетског растера постала знатно поузданија за употребу. Добијени резултати су приказани у следећој табели.

Р.б.	Vo(km/h)	Број тестова	Прос. вредност коефицијента K_1
1	23-25	7	1,74
2	30-32	9	1,07
3	39-41	18	2,82
4	49-50	10	3,11
5	57-58	16	2,30
6	80-100	13	-

Табела 4. Сумарне вредности коефициј. K_1 при разлићитим налетним брзинама возила [1]

Минимална вредност коефицијента износила је $K_1 = 1,07$ при брзинама око 30 km/h, док је максимална вредност овог коефицијента износила $K_1 = 3,11$ при брзинама око 50 km/h. Оно што ове резултате чини посебно вредним јесте чињеница да се на основу њих дошло до закључка да просечне вредности коефицијента K_1 , поред осталог, зависе и од сударне брзине возила и да су у принципу директно пропорционалне брзини возила. Вредности коефицијента чврстоће зависе и од марке и од типа возила па су у циљу добијања поузданијих и реалнијих вредности коефицијента K_1 издвојени резултати CRASH тестова према маркама возила.

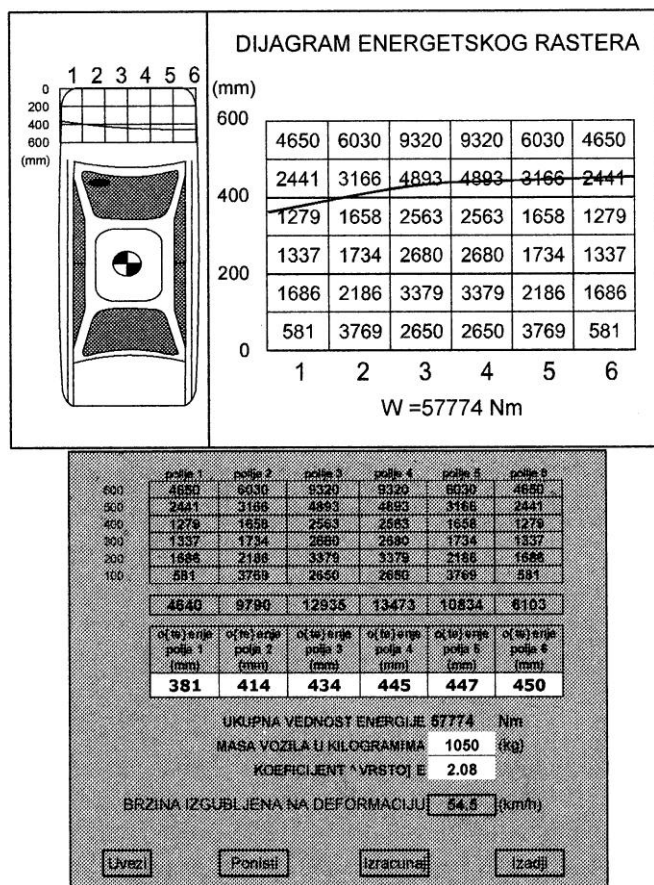
На основу података који су дати у табели (Табела 5.) може се закључити да је најмања просечна вредности коефицијента K_1 забележена код возила марке WOLKSWAGEN и то $K_1=2,0$ а највећа код возила марке MERCEDES, $K_1=3,42$. Просечна вредност коефицијента K_1 , за издвојена возила износила је 2,51.

Марка возила	Просечна вредност коеф. K_1
AUDI	2.64
BMW	2.88
DAEVVO	2,32
MAZDA	2,37
MERCEDES	3,42
PEUGEOT	2,31
RENAULT	2,31
SUZUKI	2,45
TOYOTA	2,10
WOLKSWAGEN	2,00
VOLVO	2,80
YUGO	2,08

Табела 5. Просечне вредности коеф. K_1 за различите марке возила.

ПРИМЕР 2.

Коришћење ове методе за израчунавање брзине приказано је на примеру налета возила YUGO GV на зид. Измерена брзина возила при експерименталном истраживању износила је $V_0 = 56,2$ (km/h). Израчунавање вредности деформационог рада извршено је уз помоћ рачунара, на веома брз и поуздан начин помоћу програма који је посебно написан у ту сврху. На слици 4.12. приказан је изглед прозора програма са излазним резултатима за конкретно возило.



Слика 4. 12. Изглед прозора програма за израчунавање деформационог рада

Одређивање деформационог рада омогућило је израчунавање брзине изгубљене на деформацију применом израза:

$$\Delta V = 3,6 \sqrt{\frac{2 \cdot W \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3}{m_0}} = 3,6 \sqrt{\frac{2 \cdot 57774 \cdot 2,08 \cdot 0,9 \cdot 1}{950}} = 54,5 \text{ km/h}$$

Рачунским путем добијена је брзина од 54,5 (km/h). Поређењем ове брзине у односу на брзину коју је возило имало при налету $V_0 = 56,2$ (km/h) добија се да је процентуално одступање од око 3%, што је у веома прихватљивим границама за судску праксу. [1]

4.6.3. Израчунавање изгубљене брзине возила ΔV на основу деформације према "Schaperu"

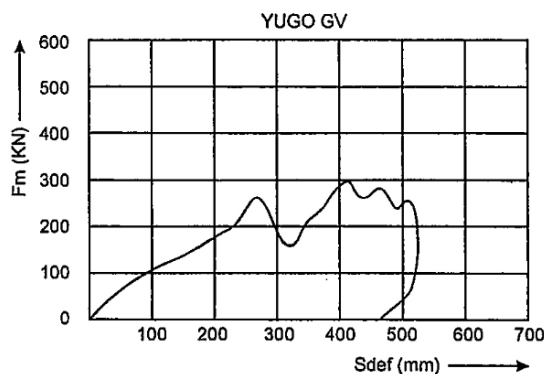
Schaper у својим истраживањима полази од чињенице да је деформациона енергија при судару два возила двоструко већа од енергије која се јавља при налету возила на зид. У случају судара два возила истих маса и једнаких деформационих карактеристика, ова енергија се једнако распоређује на оба возила, дајући при томе исту слику оштећења. При судару возила, енергија која се претвара у деформацију произилази из закона о одржању енергије, односно из производа силе и пута деформације. Приказивањем деформационе енергије као интеграл преко пута деформације Schaper је на основу закона о одржању енергије и импулса, након математичког сређивања, извео израз на основу кога се израчунава деформациона енергија у следећем облику:

$$\Delta V = \sqrt{\frac{F_m \cdot S_{def} \cdot f}{M}} \quad (1.51)$$

где је:

- F_m - величина ударне силе која се јавља при судару или налету возила;
- S_{def} – статички пут деформације возила (m);
- f - корективни фактор статичког пута деформације;
- M - маса возила (kg).

Основни разлог због којег се ова метода ретко користи лежи у чињеници да вештацима нису доступни подаци и величина ударне силе која се јавља при судару или налету возила. У стручној литератури постоје оријентациони подаци о вредностима ударне силе, али су они, као и код предходне методе, доста застарели па самим тим и непоуздани. У оквиру извештаја у којима су приказани детаљни резултати CRASH тестова, доступни су подаци о величини и току ударне силе за конкретно возило. Подаци о вредности и ударне силе, у зависности од величине деформације, чине ову методу употребљивом за примену у реалној пракси саобраћајно-техничког вештачења. изглед тока криве ударне силе F_m у функцији пута деформације за путнички аутомобил YUGO GV приказан је на следећој слици (Слика 4.13).



Слика 4. 13. Вредности ударне силе (F_m) у зависности од пута деформације за путнички аутомобил YUGO GV [1]

У изразу за израчунавање брзине возила непознат је и параметар (f) који представља корективни фактор статичког пута деформације. Наиме, како судар возила није потпуно пластичан величина пута статичке и динамичке деформације возила се разликују. Како се приликом експерименталних истраживања или саобраћајне незгоде мери статички пут деформације, то је неопходно статички пут деформације множити са корективним фактором f . У стручној литератури које је доступна нашим вештацима истакнуто је да је динамички пут деформације већи за 10 % од статичког, па препоручена вредност овог корективног фактора износи $f = 1,1$. На приказаном дјаграму јасно се уочава да се максимални пут динамичке деформације јавља нешто пре завршетка процеса судара и да је за око 18% већи од статичког пута деформације возила. То практично значи да вредност корективног фактора за путнички аутомобил YUGO, у конкретном износи $f = 1,2$.

Запажено је да вредности овог корективног фактора зависе од: марке и од типа возила, угла судара или налета, величине преклопа чеоног дела возила које је у контакту и врсте судара. Такође, током спроведеног истраживања вредности овог фактора, у зависности од наведених услова, креталтале су се између $f = 1,15 - 1,25$, па су и у том смислу, у циљу добијања поузданијих резултата, при прорачуну брзине овом методом, резултати CRASH тестова од велике користи. Коришћење ове методе за израчунавање брзине приказао је на примеру истог возила при истој налетној брзини од $V_0 = 56,2$ (km/h). Измерени статички пут деформације возила износио је $S_{def} = 0,45$ (m), вредност ударне силе са дијаграма износила је $F_m = 290$ (kN), а вредност корективног фактора износила је $f = 1,18$.

Израчунавање изгубљене брзине извршено је према следећам изразу:

$$\Delta V = \sqrt{\frac{290 \cdot 1000 \cdot 0,45 \cdot 1,18}{750}} = 14,3 \text{ m/s} = 51,6 \text{ km/h}$$

Поређењем ове брзине у односу на брзину коју је возило имало при налету добија се да је процентуално одступање од око 8%, што је у прихватљивим границама за судску праксу. [1]

4.6.4. Утврђивање брзине возила на основу крутости предње деформационе структуре возила

У пракси се често појављује проблем израчунавања брзине на основу деформације возила приликом судара или налета на неку препреку. Решавање оваквих задатака у процесу вештачења своди се на израчунавање брзине која се изгуби на деформације, па се тој брзини додаје брзина изгубљена на путу кочења или заносења возила. У више наврата истицано је да је отежано прецизно и поуздано одређивање брзине возила на основу њихове деформације, а све из разлога што у изразима фигуришу параметри који су недоступни вештацима. У предходном делу рада, у коме је обрађена метода енергетског растера, истакнута је проблематика одређивања величине деформационог рада на основу дијаграмснергетског растера. Током

експерименталних истраживања, а на основу основних физичких закона дошло се до израза за израчунавање деформационог рада који гласи:

$$W_d = \frac{c \cdot S_{def}^2}{2} \quad (1.52)$$

где је:

- c - крутост чеоне површине возила (N/m),
- S_{def} - деформациони пут возила (m)

Израчунавање деформационог рада на основу овог израза онемогућено је из једноставног разлога, што вештацима у стручној литератури није доступан податак о крутости чеоне површине возила, која је различита за поједине марке возила. Детаљним прегледом резултата CRASH тестова установљено је да су у извештајима доступне физичке величине, као што су ударана сила на препреци и успорење катосерије возила, на основу којих је могуће израчунати крутост чеоне површине возила. Деформације возила настају због деловања спољашних сила. Сила возила, при успорењу у процесу судара, истог је правца и величине али супротног смера од силе којом препрека делује на возило и њена величина дата је изразом:

$$F_s = M \cdot a_s \quad [N] \quad (1.53)$$

где је:

- M - маса возила (kg),
- a_s - успорење возила као функција деформационог пута (m/s^2),
- F_s - сила на препреци као функција деформационог пута (N).

Сила на препреци може се израчунати и преко крутости деформационе структуре возила:

$$F_s = c \cdot S_{def} \quad [N] \quad (1.54)$$

Вредност успорења каросерије возила при налету на чврсту препреку може се одредити на два начина и то читавањем вредности са дијаграма који су приложени у извештајима CRASH тестова, или преко следећег израза:

$$a_s = \frac{V_0^2}{M \cdot S_{def}} \quad [m/s^2] \quad (1.55)$$

Изједначавањем наведених једначина добија се израз за израчунавање крутости чеоне површине возила који гласи:

$$c = \frac{F_s}{S_{def}} = \frac{M \cdot a_s}{S_{def}} \quad [N/m] \quad (1.56)$$

4.6.5. Могућност коришћења EES каталога процену брзине изгубљене на деформацију возила

Метода EES (Energy Equivalent Speed) се данас све више развија, захваљујући резултатима нових истраживања која се спроводе путем CRASH тестова, и омогућава широку примену за одређивање брзине возила при реконструкцији реалних незгода. Реконструкција саобраћајне незгоде, а самим тим и процена брзине изгубљене на деформацију, помоћу EES каталога углавном је могућа за сваку врсту незгоде у којој долази до деформације возила. Апсолутно прецизна реконструкција саобраћајне незгоде помоћу EES каталога није увек могућа и то из два разлога. Први разлог лежи у чињеници да у том поступку учествује неколико параметара који доводе до већег или мањег одступања. Други разлог је много озбиљније природе и огледа се у чињеници да је за коришћење ове методе неопходно располагати одговарајућим квалитетним фотографијама, што код нас, углавном, није случај.

У стручној литератури која се бави проблематиком примене фотографије за анализу саобраћајних незгода истакнут је огроман значај фотографије и то:

- мерни значај фотографије и
- значај фотографија за анализу врсте и обима оштећења.

Мерни значај фотографија односи се на могућност да се на основу њих одреде димензије оштећења, односно деформација на возилима која су учествовала у саобраћајној незгоди. Употребљиви и оптимални резултати могу се добити под условом да се приликом фотографисања фотоапарат постави нормално у односу на оштећену страну возила која се фотографише. Приликом анализе саобраћајне незгоде вештак је у могућности да на основу познатих димензија возила одреди размеру, односно пропорцију стварних димензија према димензијама на фотографији, и на тај начин сам направи размерну фотографију. У даљем поступку, вештак на тај начин, на основу величине оштећења на фотографији, према већ одређеној пропорцији, утврђује стварну (природну) величину оштећења.

Значај фотографија за анализу врсте и обима оштећења огледа се у томе што се на основу квалитетних фотографија може створити прецизна слика врсте и обима оштећења. Слика оштећења која се добија путем ових фотографија пореди се оштећењима на возилима која се налазе у EES каталогу или бази података која садржи податке о величини оштећења већег броја возила, па се на основу тога може извршити процена изгубљене брзине. Да би се створила прецизна слика врсте и обима оштећења неопходно је поседовати најмање три снимка која морају бити паралелна са возилом и то: два бочна снимка са обе стране возила и један чеони снимак. Поред ових снимака неопходно је поседовати и један до два дијагонална снимка на којима се виде оштећења две суседне стране возила. Снимци из птичије перспективе су од највећег значаја јер омогућавају да се на основу њих прикаже изглед оштећења, а потом, у одговарајућој размери, нацрта слика, односно изглед криве оштећења возила. Међутим, за добијање оваквих снимака неопходно је располагати специјалним стативима са телескопом и преносним механизмом за окидање, који није доступан увиђајној екипи. У сваком случају, располагање

већим бројем квалитетних фотографија доприноси поузданијем утврђивању брзине зато што EES каталог садржи велики број снимака оштећења из различитих углова.

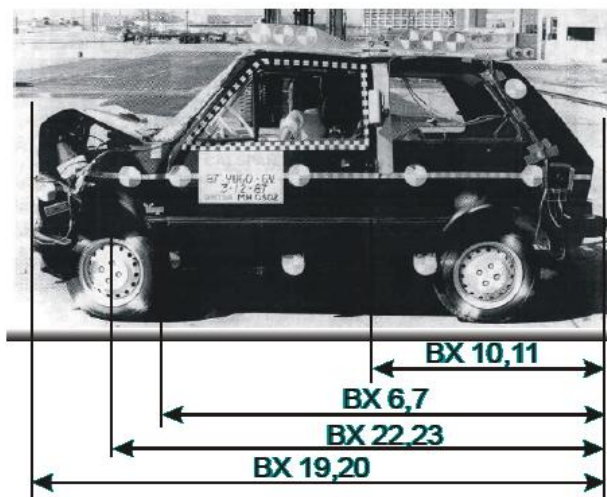
Обавезан садржај извештаја са CRASH тестова, поред досада наведеног, је и фото елаборат у ком се налази велики број веома квалитетних фотографија које су снимљене из различитих углова и са различитих позиција. Фотографије су смештене у четири одвојена каталога у зависности од врсте теста и лако су доступне за преглед:

- каталог фотографија при налету возила на круту баријеру;
- каталог фотографија при налету возила на деформабилну баријеру;
- каталог фотографија при судару или налету два возила;
- каталог фотографија при судару или налету возила и импактора.

Садржај Фото елабората CRASH тестова веома је прегледан и погодан за анализу изгледа и обима оштећења одређеног возила, тако да пружа велике могућности, за доста прецизну процену брзине возила која је потрошена на деформацију возила. У оквиру Фото елабората дат је и одређени број фотографија које су направљене после демонтаже возила како би се приказао изглед скривених оштећења која се јаве на каросерији возла. [1]

4.6.6. Одређивање изгубљене брзине возила на основу деформабилног понашања каросерије возила

У циљу бољег коришћења резултата CRASH тестова, повећан је број параметара који су мерени након теста. Током испитивања установљено је да приликом судара или налета возила, поред скраћења дужине возила, долази и до померања одређених карактеристичних тачака на каросерији возила у смеру дејства ударне силе. Карактеристичне тачке утврђене су током ранијих тестирања и означени су ознакама BX1 до BX21. Оне представљају опсег мера које је потребно измерити како би се одредио степен оштећења возила. Те мере одређују удаљеност појединих делова возила од његовог предњег или задњег дела, што зависи од локације оштећења. У следећој табели приказане су вредности скраћења појениних димензија каросерије возила YUGO GV, који је тестиран, при налету на препреку брзином од 56,2 km/h.



Слика 4. 14. Позиције и начин мерења кључних карактеристичних тачака на каросерији возила које се померају приликом судара или налета возила [5]

Ознака	Растојање задњег дела возила		
BX6	даље ивице десних врата		
BX7	даље ивице левих врата		
BX10	ближе ивице (стуба) десних врата		
BX11	ближе ивице (стуба) левих врата		
BX19	леве стране предњег браника		
BX20	десне стране предњег браника		
BX22	осовине предњег десног точка		
BX23	осовине предњег левог точка		
Ознака	Пре Теста	После Теста	Скраћење
BX6	2347	2337	10
BX7	2332	2337	-5
BX10	1295	1290	5
BX11	1270	1280	-10
BX19	3465	3005	460
BX20	3452	3066	386
BX22	-	-	-
BX23	-	-	-

Табела 6. Вредности скраћења појениних димензија каросерије возила YUGO GV

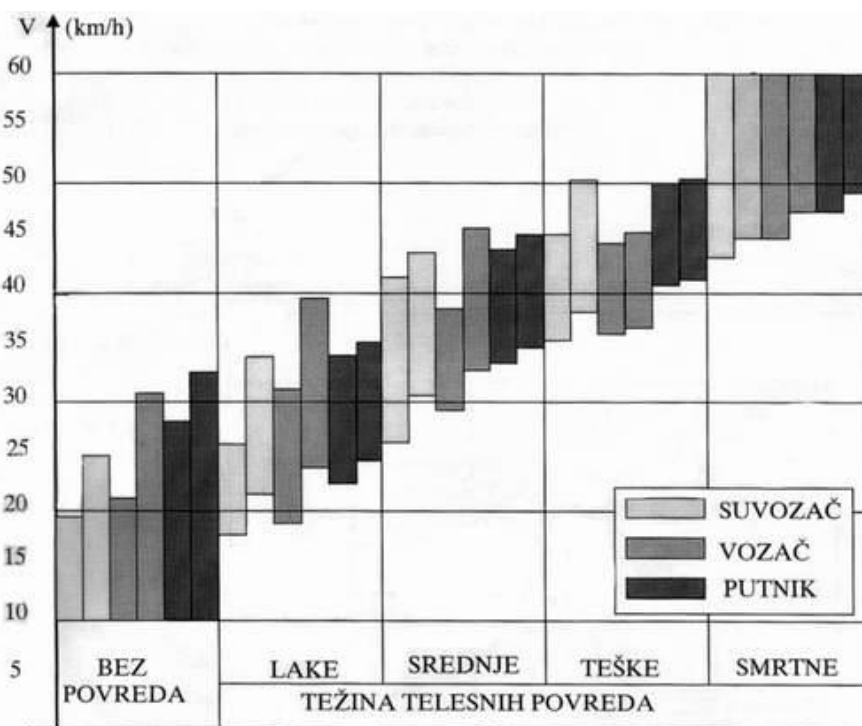
Узмемо ли у обзир наше услове и околности, нереално је очекивати да ће увиђајна екипа извршити мерења свих дефинисаних тачака. Зато је неопходно дефинисати минимум карактеристичних тачака, односно димензија, које је потребно измерити како би вештацима биле од користи приликом одређивања брзине возила на овај начин. На слици број 4.14. приказане су кључне карактеристичне тачке на каросерији возила које је неопходно измерити приликом увиђаја И то у случају да је деформисана предња страна возила. Мерење карактеристичних тачака у случајевима осталих типова судара, или налета заснива се на аналогном принципу, а то значи да се тачке

позиционирају у односу на неоштећени део возила дуж правца на коме је деловала ударна сила.

У колико би вештаку били доступни наведени подаци о померању карактеристичних тачака на каросерији оштећених возила, он би био у могућности да те исте вредности упоређи са вредностима неоштећеног возила у каталогу, да на основу тога утврди њихово померање, односно да на тај начин констатује скраћење карактеристичних димензија на возилу. Након тога вештак, према задатом критеријуму, из базе података издваја све резултате ЦРАСХ тестова који су слични са конкретним случајем и врши међусобно поређење тих вредности. На основу ове упоредне анализе вештак може констатовати брзину која је могла проузроковати конкретну величину деформације каросерије возила.

4.7. Одређивање сударне брзине возила на основу тежине повреда учесника незгоде

На основу тежине телесних повреда возача и путника из возила може се одредити сударна брзина возила. Зато се користе резултати добијени истраживањем повреде при одређеним вредностима сударних брзина за поједине марке аутомобила. На слици 4.15. приказан је дијаграм зависности сударне брзине аутомобила од тежине повреда возача и путника насталих при чеоним сударима. Овде је врло важно истаћи да возачи и путници нису за заштиту користили сигурносне појасеве, а да су при испитиваном коришћењу аутомобил: GA2-21 и Москвич 400.



Слика 4. 15. Зависност сударне брзине и тежине телесних повреда [5]

На основу повреда пешака кога је оборило возило, брзина којом се кретало возило непосредно пре удара у пешака може се само приближно израчунати пошто повреде пешака зависе од:

- старости, висине и тежине пешака
- облика и крутости чеоне површине
- од тога шта се догађа са пешаком после судара и сл.

При одређивању сударне брзине возила на основу повреда пешака врши се одређивање минималне сударне брзине код које се у знатнијем обиму (15-20%) појављују озледе на телу пешака. У следећим табелама дате су минималне сударне брзине карактеристичне за настанак појединих озгледа.

Врста повреде	Минимална налетна брзина (km/h)
Изоловани прелом лисне кости	око 20-25
Изоловани прелом гољеничне кости	око 30
Прелом читаве потколенице (облик костију)	око 35-40
Прелом натколеничне кости	око 35-40
Прелом костију карлице	око 40-45
Трауматска ампутација потколенице	око 70

Табела 7. Примарне повреде при минималним сударним брзинама

Врста повреде	Минимална налетна брзина (km/h)
Прелом кости темена и базе лобање	око 40-45
Озледа мозга	око 40-45
Прелом вратних пршљенова	око 55-60
Прелом грудне кости	око 60
Раздор прсне аорте	око 65
Раздор срца	око 65

Табела 8. Секундарне повреде при минималним сударним брзинама

Врста повреде	Минимална налетна брзина (km/h)
Прелом потколенице	око 30
Озледа мозга	око 30-35
Прелом лобање	око 30-35
Прелом карлице	око 30
Прелом натколенице	око 35
Прелом грудне кости	око 40
Раздор аорте и срца	око 40-45

Табела 9. Повреде настале при минималним брзинама сандучастог возила

4.8. Остале специфичне методе прорачуна брзине возила

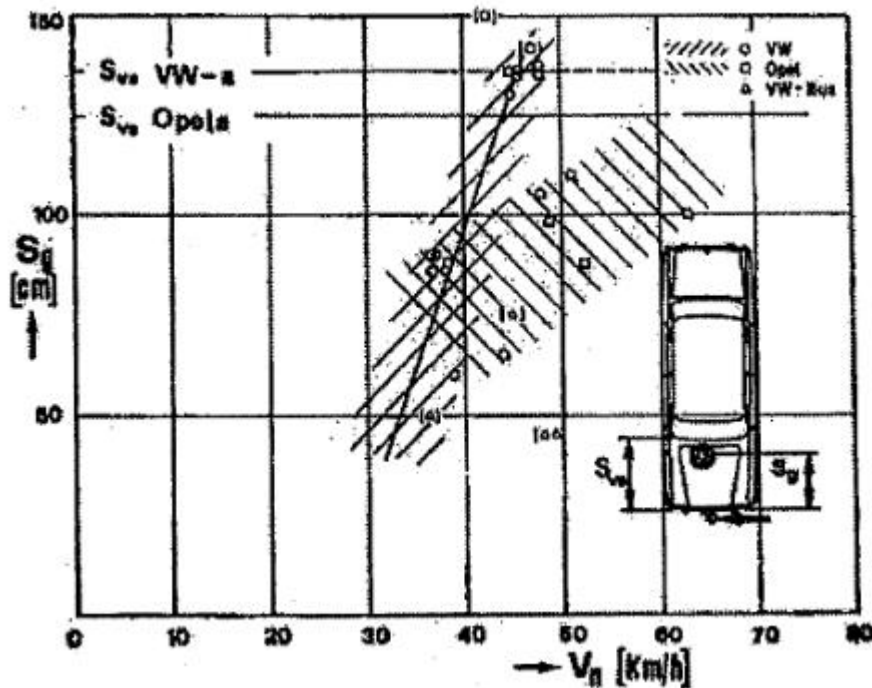
Поред наведених метода користе се и такозване специфичне методе које се користе за одређивање брзине учесника незгоде у појединим типовима саобраћајних незгода. Специфичност ових метода огледа се у томе што се оне не могу увек користити, већ се користе за саобраћајне незгоде које су се догодиле под одређеним условима.

4.8.1. Одређивање сударне брзине на основуместа удубљења од удара главе у делове аутомобила

Место на аутомобилу у које при судару удара глава пешака може се користити за анализирање сударне брзине возила. Локација удара зависи од облика предњег дела возила, висине пешака и сударне брзине возила.

При увиђају треба мерити растојање од површине коловоза преко поклопца мотора, односно пртљажника, па до удубљења на возилу. Пошто даљина удубљења зависи од чеоног облика возила мерење се врши на следећи начин: код возила са понтонским обликом, мерење се врши до доње ивице удубљења, а код возила са клинастим обликом до горње ивице удубљења.

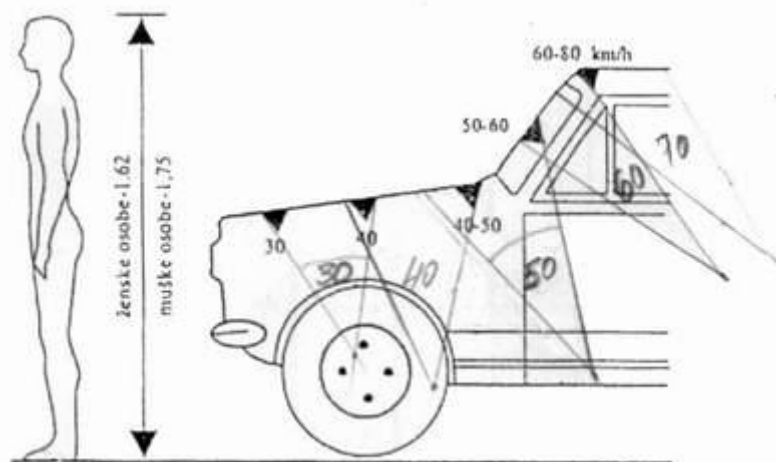
На слици 4.16. даје се дијаграм на коме је дата експериментална утврђена зависност између сударне брзине и растојања од коловоза до места удара главе.



Слика 4. 16. Зависност сударне брзине од места удубљења ударом главе пешака

Упоредивањем експериментално утврђене зависности са случајевима реалних незгода, утврђено је да се добијени резултати расипају у интервалу од $\pm 20\%$.

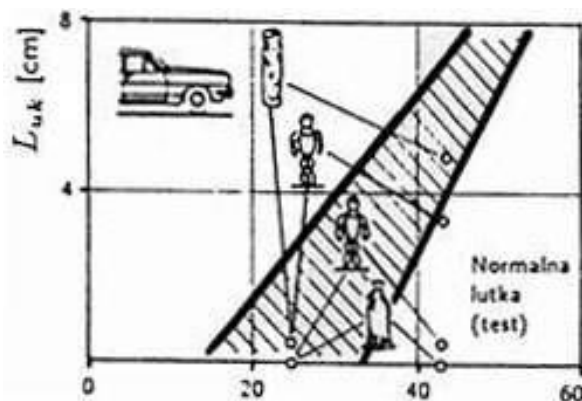
На основу експерименталних истраживања утврђено је да постоји и зависност изфнећу сударне брзине возила и места контакта главе пешака са поклопцем мотора и ветробранским стаклом. Зависност је дата за пешаке висине 1,75 m (жене 1,62), а за значајнија одступања у висини пешака потребно је извршити одређену корекцију. Орјентациона места контакта главе пешака са возилом приказана су на слици 4.17.



Слика 4. 17. Контактна места главе пешака у зависности од сударне брзине [5]

4.8.2. Одређивање сударне брзине на основу дубине удубљења лима возила

Утврђено је да са порастом сударне брзине удубљења лима од удара главе, кука или рамена постају дубља. За возило понтонског облика експерименталним путем утврђена је зависност између сударне брзине и дубине удубљења. На слици 4.18. је приказан дијаграм који показује ову зависност.

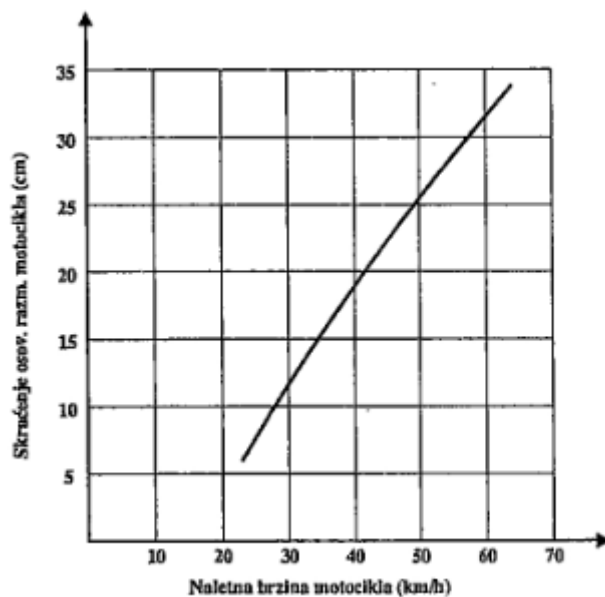


Слика 4. 18. Зависност између сударне брзине и дубине удубљења

Код коришћења овог дијаграма у реконструкцији реалних незгода, добиће се доња граница брзине, јер се иста дубина удубљења остварује лутком при нижим ударним брзинама. Еластичност људског тела налази се у граници између дрвене и пешчане лутке коришћене за симулирање. Анализом реалних незгода где је помоћу других метода одређена сударна брзина проверавана је ова зависност и резултати се не расипају изван експериментом утврђених граничних линија.

4.8.3. Одређивање сударне брзине мотоцикла на основу величине деформације осовинског размака

Брзина удара мотоцикла у бок аутомобила може се одредити на основу величине деформације осовинског размака мотоцикла. Испитивања која су рађена са разним категоријама за налете мотоцикла на бок мирујућег возила показују зависност деформације мотоцикла од сударне брзине. Добијени резултати испитивања приказани су дијаграмски на слици 4.19.



Слика 4. 19. Скраћење осовинског размака мотоцикла у зависности од сударне брзине

4.9. Прорачун безбедне брзине у експертизама саобраћајних незгода

У судској пракси врло често се од вештака тражи да одреди величину безбедне брзине аутомобила за одређену ситуацију односно брзину при којој би се кочењем избегао налет на изненадну и непредвидиву препреку. У том смислу и сами вештаци у свом налазу и мишљењу утврђују ове брзине, с тим што се користе различити називи као:

- прилагођена,
- безбедна,
- условно безбедна,
- избегавајућа,
- брзина при којој би се избегла незгода и тд.

Поред различитих назива и сами појмови, односно дефиниције ових брзина се разликују, па долази до озбиљних проблема и неразумевања у тумачењу резултата које је вештак утврдио за одређену ситуацију. Зато је врло значајно да се на самом почетку прецизно дефинишу појмови одређених брзина, а потом и поступак њиховог утврђивања.

4.9.1. Дефинисање безбедне и избегавајуће брзине

Што се тиче појма прилагођене брзине (V_p) последњих година она не ствара веће дилеме, јер је опште прихваћено да је то брзина коју одређује правосудни орган, на основу утврђене безбедне брзине од стране вештака. У стручној литератури срећу се предлози дефинисања још два појма о брзинама:

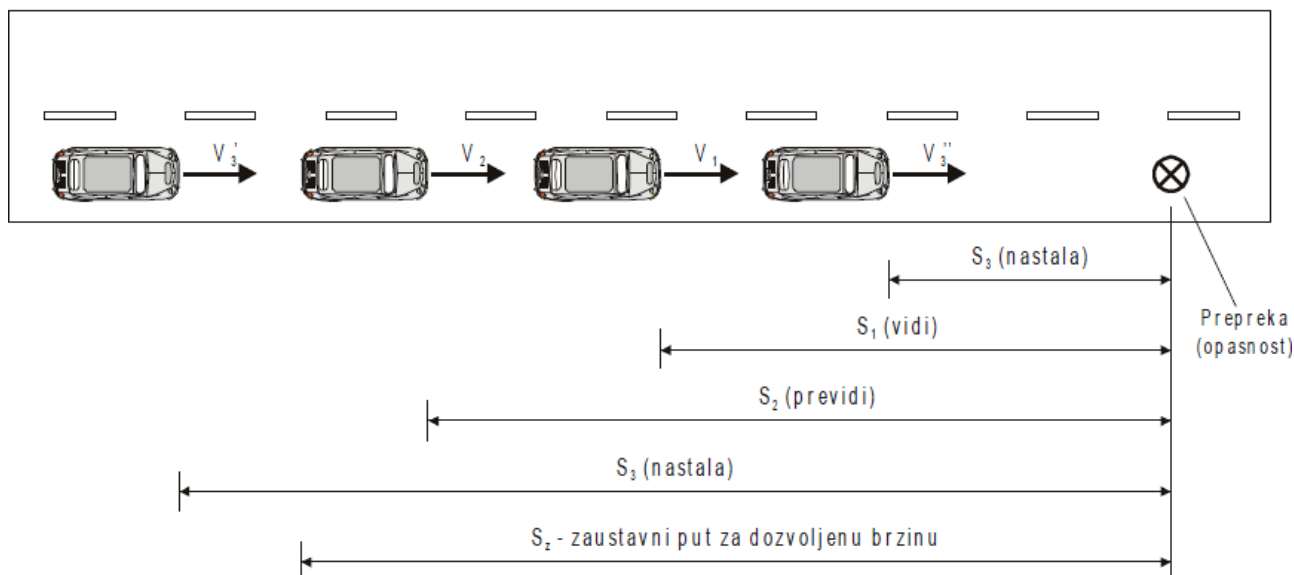
- Безбедна брзина (V_b) је брзина којом треба да буде вожено возило за конкретне услове које возач може да види или предвиди па да буде у могућности да благовремено заустави, или безбедно вози возило;
- Условно безбедна брзина (V_{ub}) је брзина при којој би возач у изненадно насталој опасној ситуацији могао да избегне незгоду ако би возило возио том брзином.

Суштински посматрано наведене брзине подразумевају да се са њима може избећи незгода (заустављањем или безбедном вожњом) с тим што се разликују по тренутку препознавања опасне ситуације. Једна омогућава избегавање опасне ситуације која се види или може да предвиди, а друга када је ситуација настала и то изненадно. Разлике су евидентне, па се и ове брзине могу раздвојити. Међутим, ако се жели да се до краја буде консеквентан мора се истаћи да постоје битне разлике у опасним ситуацијама које се могу видети и које се могу предвидети (када, од кога и сл.). Такође и настанак опасне ситуације може да буде изненадан (ступање пешака са десне стране на коловоз), али и дуготрајан (одрн камења), који због ограничене прегледности може да буде и изненадан или непредвидив. Зато, ако се доследно посматра треба разликовати тренутак настанка опасне ситуације, односно када је она:

- настала
- могла да се предвиди
- могла да се види.

Такође, код самог тренутка настанка опасне ситуације разликују се два случаја, када је настала далеко пре него што се могла да види ($V_s' > V_1$) и када је изненада настала мада се објективно могла раније видети ($V_s'' < V_1$). Шематски приказ наведених ситуација дат је на слици 4.20.

Брзина при којој би возач могао да избегне незгоду у тренутку кад је опасна ситуација:	
настала (изненадна)	Дефиниција брзине V_3 - избегавајућа
могла да се предвиди	V_2 - условно безбедна
могла да се види	V_1 - безбедна



Слика 4. 20. Графички приказ безбедне и условно безбедне брзине [5]

Безбедна брзина је она при којој би возач могао да избегне опасну ситуацију када је имао могућности да је види. Ако би возач могао раније да предвиди опасну ситуацију, он би могао да вози безбедно и већом брзином, па је логично да се она сматра условно безбедном (ако је могао да предвиди препреку и сл.). Што се тиче тренутка настанка опасне ситуације, ако је она настала изненада, возач је не би могао избећи да је возио и 20 km/h, а ако је трајнијег карактера (паркирано возило, одрон и сл.) онда се може избећи и при кретању максималном брзином, с тим да прегледност и видљивост нису ограничени. Зато се у овом случају говори о брзини при којој би се могла избећи незгода за одређену (или претпостављену) ситуацију.

4.9.2. Поступак за одређивање безбедне брзине возила

Често се од вештака тражи да одреди величину безбедне брзине аутомобила за одређену ситуацију у којој се као критеријум за одређивање безбедне брзине може узети одређено растојање или време.

За одређивање безбедне брзине по критеријуму растојања користи се формула:

$$V_{(b)} = \sqrt{(t_s \cdot b)^2 + 2b \cdot S_z} - b \cdot t_s \pm V_{px} \quad [m/s] \quad (1.57)$$

где је:

- t_s - укупно време потребно систему возач-возило за успостављање максималног успорења ($t_s = t_r - 0,5 t_3$) [s];

- S_z - растојање које возачу стоји на располагању за заустављање возила [m];
- $\pm V_{px}$ - компонента кретања препреке (V_p) паралелна кретању возила [m/s].

За одређивање безбедне брзине возила према временском критеријуму користи се следећа формула:

$$V_{(b)} = (t_{os} - t_s) \cdot b \quad [m/s] \quad (1.58)$$

t_{os} - време које возачу стоји на располагању за заустављање аутомобила екстремним кочењем пре стицања до опасне ситуације.

Ако се тражи вредност брзине са које ће после времена (t_p) брзина опасти на V_x , добија се из израза:

$$V_o = V_{px} + b(t_p - t_s) \quad [m/s] \quad (1.59)$$

Безбедно растојање (S_{ob}) са кога би возач требало да реагује да би избегао налет је:

$$S_{ob} \geq \frac{(V_o \pm V_{px})^2}{2 \cdot b} + (V_o \pm V_{px}) \cdot t_s \pm V_{px} \quad [m] \quad (1.60)$$

Потребно успорење (b_0) при којем би се могла избећи незгода:

$$b_{ob} \geq \frac{(V_o \pm V_{px})^2}{2[S_o - (V_o \pm V_{px}) \cdot t_s]} \quad [m/s^2] \quad (1.61)$$

S_o - растојање између возила и покретне препреке у тренутку реаговања возача (м).

Време правовременог реаговања (t_b) је најмањи временски интервал потребан да се избегне судар и износи:

$$t_b \geq t_s + \frac{V_o - V_{px}}{b} \quad [s] \quad (1.62)$$

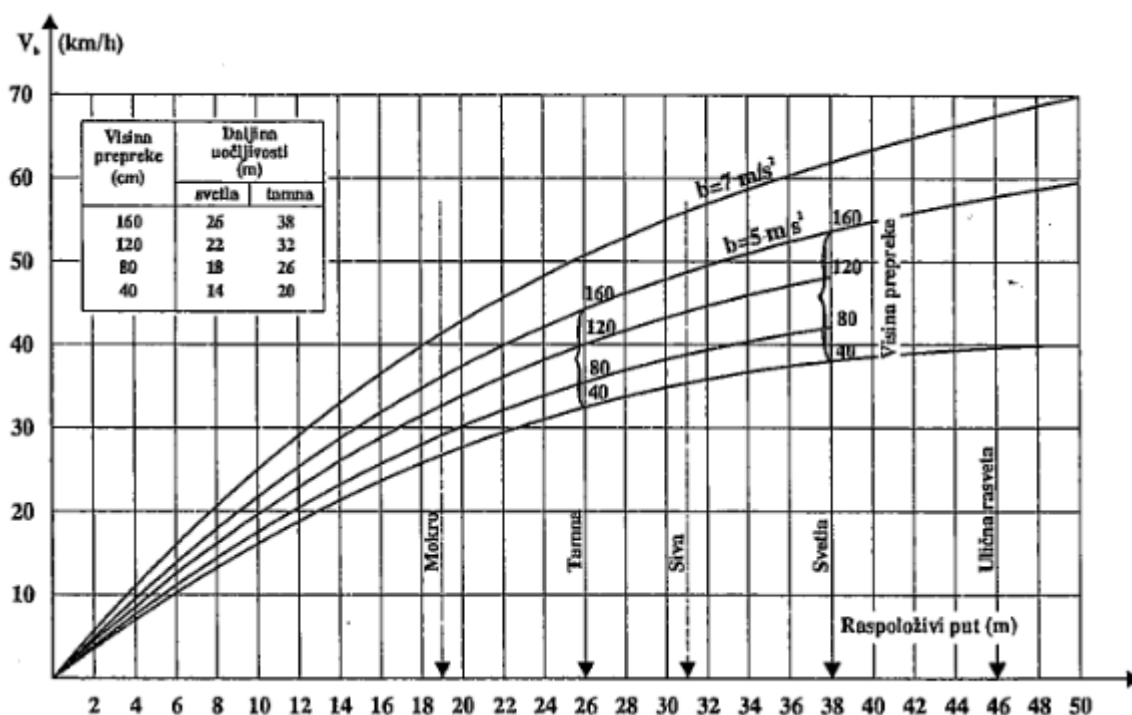
Потребно успорење према временском критеријуму - најмање успорење при коме би се возило довољно успорило (избегао налет) пре тренутка судара ако су остали услови непромењени:

$$b_0 \geq \frac{V_o - V_{px}}{t_{rs} - t_s} \quad [m/s^2] \quad (1.63)$$

4.9.3. Одређивање безбедне брзине у ноћним условима

Одређивање безбедне брзине за ограничени зауставни пут посебно долази до изражаја ноћу и у условима смањене видљивости. У ситуацији када возач вози под средњим светлима, што је чест случај на путевима са интензивнијим саобраћајем, уочљивост препреке на коловозу огранчана је дометом оборених светала. О могућностима уочавања препреке на путу (пешаци, бициклисти, паркирана возила и сл.) у ноћним условима детаљно је говорено у В глави. Посебно је истакнуто да даљина уочавања препреке зависи од њене осветљености, односно боје (тамна, сива, светла одећа и сл). Међутим, могућности распознавања препреке, у конкретној ситуацији, зависи од бројних фактора, као што су интензитет осветљења, рефлексија, контраст са позадином и тд. Одређена истраживања потврдила су и битан утицај величине препреке на даљину њеног уочавања.

У целини посматрано, даљина уочљивости препреке је у ствари и расположиви пут на коме возач може да заустави возило при одређеној брзини. Зато, дефинишући даљину уочљивости директно се одређује расположиви пут, а самим тим и безбедна брзина на основу израза (1.57) За практичну примену на слици 4.21. конструисан је дијаграм безбедне брзине у функцији даљине уочљивости препреке и то за различита стања коловоза, величине и осветљености препреке и друге релевантне услове. [4]



Слика 4. 21. Безбедна брзина у зависности од даљине уочљивости препреке

5. ЗАКЉУЧНА РАЗМАТРАЊА

За одређивање брзине учесника у саобраћајним незгодама користе се различите методе. Неке од тих метода су описане у овом раду. У случајевима када треба проучавати комплексне појаве као што су саобраћајне незгоде, које представљају компликоване и сложене проблеме са мало поузданих података, приступ преко симулације догађаја представљао би најбољи начин за приказ и решавање ових проблема. Симулацијом се елиминишу проблеми непостојања одговарајуће скупе опреме, лабораторија и слично. Ова метода за сада нема већу примену у нашој пракси. Имајући у виду чињеницу да рачунар са успехом може да симулира рад у реалној ситуацији, убудуће би требало посветити више пажње овој методи, поготово што су већ развијени одређени програми за симулацију и анализу незгода са пешацима, судара два возила и тд. Неки од тих програма су PS CRASH, VIRTUAL CRASH и тд, и ови програми могу да се злоупотребе, тако што се подаци који се уносе могу подешавати.

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. С обзиром да у сударима учествују возила различитих димензија, маса, конструкционих карактеристика и деформабилних својстава, вештачења судара могу се сврстати у ред најсложенијих и најкомплекснијих. Код овог типа незгода, експерти морају извршити детаљну анализу насталих оштећења на возилима, регистрованих трагова на коловозној површини, као и њихових зауставних позиција, на основу чега ће дати своје коначно мишљење о судару, а посебно одговорити на питања:

- Како су се возила сударила (угао судара, контактне површине,...)? .
- Где су се возила сударила?
- Колике су им биле сударне брзине ?

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 највећем броју случајева, анализом увиђајне документације могу се на недвосмислен начин утврдити позиције возила у тренутку судара и одредити њихове сударне брзине. Међутим, у појединим случајевима и поред квалитетно извршеног увиђаја, веома је тешко извршити реконструкцију њиховог сударног положаја, с обзиром да на месту незгоде нису регистровани трагови који би то омогућили. Поред тога, нису ретки ни случајеви да и поред великог броја трагова насталих у незгоди, они из одређеног разлога нису позиционирани у увиђајној документацији, иако је њихово постојање на основу анализе фотографија из фото-елабората евидентно. Посебан проблем за анализу представљају чеони судари. Код овог типа незгода, најчешће питање које се поставља вештаку је: Које је возило прешло на коловозну траку намењену кретању возила из супротног смера? У ситуацијама када у судару на коловозу нису настали материјални трагови, или када трагови нису регистровани у увиђајној документацији, могућност вештака да утврди сударну позицију возила и да одговор на претходно постављено питање веома су мале.

ПРИЛОГ БР. 1

Табелама вредности брзине у функцији пута кочења, времена кочења и успорења:

1. Пут кочења у зависности од брзине
2. Пут реаговања система В-В у зависности од брзине
3. Зауставни пут возила у зависности од брзине
4. Време кочења у зависности од брзине

Brzina		usporenje u m/s ²																
		1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0
km/h	m/s	Zaustavni put u m																
10	2.8	6.4	5.1	4.5	4.0	3.8	3.6	3.5	3.3	3.3	3.2	3.1	3.1	3.0	3.0	3.0	2.9	2.9
15	4.2	12.4	9.5	8.1	7.2	6.6	6.2	5.9	5.7	5.5	5.3	5.2	5.1	5.0	4.9	4.8	4.8	4.7
20	5.6	20.4	15.3	12.8	11.2	10.1	9.4	8.9	8.4	8.1	7.8	7.6	7.4	7.2	7.0	6.9	6.8	6.7
25	6.9	30.4	22.3	18.4	15.9	14.3	13.1	12.3	11.6	11.1	10.6	10.3	9.9	9.7	9.5	9.3	9.1	8.9
30	8.3	42.2	30.6	25.0	21.4	19.1	17.4	16.2	15.2	14.4	13.8	13.3	12.8	12.4	12.1	11.8	11.6	11.3
35	9.7	56.0	40.3	32.5	27.7	24.5	22.2	20.6	19.2	18.2	17.3	16.6	16.0	15.5	15.0	14.6	14.3	14.0
40	11.0	71.7	51.1	41.0	34.7	30.6	27.6	25.4	23.7	22.3	21.2	20.3	19.5	18.8	18.2	17.7	17.2	16.8
50	14.0	108.9	76.8	60.9	51.1	44.6	40.1	36.6	33.9	31.8	30.0	28.6	27.3	26.3	25.3	244.5	23.8	23.2
60	17.0	153.9	107.6	84.6	70.6	61.3	54.7	49.7	45.9	42.8	40.2	38.1	36.4	34.8	33.5	32.3	31.3	30.4
70	19.0	206.5	143.5	112.3	93.1	80.5	71.5	64.8	59.5	55.3	51.9	49.0	46.6	44.5	42.7	41.1	39.7	38.5
80	22.0	266.9	184.6	143.7	118.8	102.3	90.5	81.7	74.9	69.4	64.9	61.1	58.0	55.3	52.9	50.9	49.0	47.4
90	25.0	335.0	230.8	179.1	147.5	126.7	111.8	100.6	91.9	85.0	79.3	74.6	70.6	67.1	64.2	61.5	59.3	57.2
100	28.0	410.8	282.2	218.2	179.3	153.6	135.2	121.4	110.7	102.2	95.1	89.3	84.3	80.1	76.4	73.2	70.4	67.9
110	31.0	494.3	338.7	261.3	214.2	183.1	160.9	144.2	131.2	120.9	112.4	105.3	99.3	94.2	89.7	85.8	82.4	79.4
120	33.0	565.6	400.4	308.2	252.2	215.2	188.7	158.9	153.4	141.1	131.0	122.6	115.5	109.4	104.1	99.4	95.3	91.7

Табела 10. Пут кочења у зависности од брзине [1]

Brzina (km/h)	Vreme reagovanja vozača (t)															
	Put automobila u vremenu reagiranja vozača s ₀ (m)															
	0,3	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	2,0
5	0,41	0,69	0,83	0,97	1,11	1,25	1,38	1,52	1,66	1,80	1,94	2,08	2,22	2,36	2,50	2,77
10	0,83	1,38	1,66	1,94	2,22	2,50	2,77	3,05	3,33	3,61	3,88	4,16	4,44	4,72	5,00	5,55
15	1,25	2,08	2,50	2,91	3,33	3,75	4,16	4,58	5,00	5,41	5,83	6,25	6,66	7,08	7,50	8,33
20	1,66	2,77	3,33	3,88	4,44	5,00	5,55	6,11	6,66	7,22	7,77	8,33	8,88	9,44	10,00	11,11
25	2,08	3,47	4,16	4,86	5,55	6,25	6,94	7,63	8,33	9,02	9,72	10,41	11,11	11,80	12,50	13,88
30	2,50	4,16	5,00	5,83	6,66	7,50	8,33	9,16	10,00	10,83	11,66	12,50	13,33	14,16	15,00	16,66
35	2,91	4,86	5,83	6,80	7,77	8,75	9,72	10,69	11,66	12,63	13,61	14,58	15,55	16,52	17,50	19,44
40	3,33	5,55	6,66	7,77	8,88	10,00	11,11	12,22	13,33	14,44	15,55	16,66	17,77	18,88	20,00	22,22
45	3,75	6,25	7,50	8,75	10,00	11,25	12,50	13,75	15,00	16,25	17,50	18,75	20,00	21,25	22,50	25,00
50	4,16	6,94	8,33	9,72	11,11	12,50	13,88	15,27	16,66	18,05	19,44	20,83	22,22	23,61	25,00	27,77
55	4,58	7,63	9,16	10,69	12,22	13,75	15,27	16,80	18,33	19,86	21,38	22,91	24,44	25,97	27,50	30,55
60	5,00	8,33	10,00	11,66	13,33	15,00	16,66	18,33	20,00	21,66	23,33	25,00	26,66	28,33	30,00	33,33
65	5,41	9,02	10,83	12,63	14,44	16,25	18,05	19,86	21,66	23,47	25,27	27,08	28,88	30,69	32,50	36,11
70	5,83	9,72	11,66	13,61	15,55	17,50	19,44	21,38	23,33	25,27	27,22	29,16	31,11	33,05	35,00	38,88
75	6,25	10,41	12,50	14,58	16,66	18,75	20,83	22,91	25,00	27,08	29,16	31,25	33,33	35,41	37,50	41,66
80	6,66	11,11	13,33	15,55	17,77	20,00	22,22	24,44	26,66	28,88	31,11	33,33	35,55	37,77	40,00	44,44
85	7,08	10,80	13,16	16,52	18,88	21,25	23,61	25,97	28,33	30,69	33,05	35,41	37,77	40,13	42,50	47,22
90	7,50	12,58	15,00	17,50	20,00	22,50	25,00	27,50	30,00	32,50	35,00	37,50	40,00	42,50	45,00	50,00
95	7,91	13,19	15,83	18,47	21,11	23,75	26,38	29,02	31,66	34,30	36,94	39,58	42,22	44,86	47,50	52,77
100	8,33	13,88	16,66	19,44	22,22	25,00	27,77	30,55	33,33	36,11	38,88	41,66	44,44	47,22	50,00	55,55
105	8,75	14,58	17,50	20,41	23,33	26,25	29,16	32,08	35,00	37,91	40,83	43,75	46,66	49,58	52,50	58,33
110	9,16	15,27	18,33	21,38	24,44	27,50	30,55	33,61	36,66	39,72	42,77	45,83	48,88	51,94	55,00	61,11
115	9,58	15,97	19,16	22,36	25,55	28,75	31,94	35,13	38,33	41,52	44,72	47,91	51,11	54,30	57,50	63,88
120	10,00	16,66	20,00	23,33	26,66	30,00	33,33	36,66	40,00	43,33	46,66	50,00	53,33	56,66	60,00	66,66
125	10,41	17,36	20,83	24,30	27,77	31,25	34,72	38,19	41,66	45,13	48,61	52,08	55,55	59,02	62,50	69,44

U sudskoj praksi se za izračunavanje puta reagovanja vozača putničkih automobila i vozila na 2 točka koristi najčešće vreme reagovanja od 1 s (izb. * psihotehnička sekunda *) koje sadrži vreme reagovanja vozača kočenjem od oko 0,8 s i vreme zakocivanja (odziv sistem za kočenje i zakocivanje vozila) od oko 0,2 s.

Табела 11. Пут реаговања система возач-возило у зависности од брзине [1]

VREME KOČENJA t_s (s) U ZAVISNOSTI OD BRZINE AUTOMOBILA (v_i) I USPORENJA (b)																									
b	km/h	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120
m/s																									
1,39	2,78	4,17	5,56	6,94	8,33	9,72	1,11	12,50	13,89	15,28	16,67	18,06	19,44	20,83	22,22	23,61	25,00	26,30	27,78	29,16	30,56	31,94	33,33		
0,5	2,78	5,56	8,34	11,12	13,88	16,66	19,44	22,22	25,00	27,78	30,56	33,34	36,12	38,88	41,66	44,44	47,22	50,00	52,60	55,96	58,32	61,12	63,88	66,66	
1,0	1,39	2,78	4,17	5,56	6,94	8,33	9,72	1,11	12,50	13,89	15,26	16,67	18,06	19,44	20,83	22,22	23,61	25,00	26,30	27,78	29,16	30,56	31,94	33,33	
1,5	0,93	1,85	2,78	3,71	4,93	5,55	6,48	7,41	8,33	9,26	10,18	11,11	12,04	12,96	13,88	14,81	15,74	16,66	17,53	18,52	19,44	20,37	21,29	22,22	
2,0	0,69	1,39	2,08	2,78	3,47	4,16	4,86	5,55	6,25	6,94	7,64	8,33	9,03	9,72	10,41	11,11	11,81	12,50	13,15	13,89	14,58	15,28	15,97	16,16	
2,5	0,65	1,11	1,67	2,33	2,78	3,33	3,89	4,44	5,00	5,55	6,11	6,67	7,22	7,77	8,33	8,89	9,44	10,00	10,52	11,11	11,66	12,22	12,77	13,33	
3,0	0,46	0,92	1,39	1,85	2,31	2,78	3,24	3,70	4,16	4,63	5,09	5,55	6,02	6,48	6,94	7,41	7,78	8,33	8,77	9,26	9,72	10,18	10,64	11,11	
3,5	0,40	0,79	1,19	1,59	1,98	2,38	2,78	3,17	3,57	3,97	4,36	5,16	5,55	5,55	6,35	6,35	6,74	7,14	7,51	7,93	8,33	8,73	9,12	9,52	
4,0	0,35	0,69	1,04	1,39	1,73	2,08	2,43	2,78	3,12	3,47	3,82	4,16	4,51	4,06	5,21	5,55	5,90	6,25	6,57	6,94	7,29	7,64	4,98	8,33	
4,5	0,31	0,67	0,93	1,23	1,54	1,85	2,16	2,47	2,78	3,08	3,39	3,70	4,02	4,32	4,63	4,94	5,25	5,55	5,84	6,17	6,48	6,79	7,09	7,41	
5,0	0,28	0,56	0,83	1,11	1,39	1,66	1,94	2,22	2,50	2,78	3,05	3,30	3,61	3,89	4,16	4,44	4,72	5,00	5,26	5,55	5,83	6,11	6,39	6,66	
5,5	0,25	0,51	0,76	0,20	1,26	1,51	1,76	2,02	2,27	2,52	2,78	3,03	3,28	3,53	3,78	4,04	4,29	4,54	4,78	5,05	5,33	5,55	5,80	6,06	
6,0	0,23	0,46	0,69	0,92	1,15	1,39	1,62	1,85	2,08	2,31	2,55	2,78	3,01	3,24	3,47	3,70	3,93	4,16	4,38	4,63	4,86	5,09	5,32	5,55	
6,5	0,21	0,43	0,64	0,85	1,06	1,28	1,49	1,71	1,92	2,13	2,35	2,56	2,78	2,99	3,21	3,42	3,63	3,84	4,04	4,27	4,49	4,70	4,91	5,12	
7,0	0,20	0,39	0,59	0,79	0,99	1,19	1,39	1,59	1,78	1,98	2,18	2,38	2,58	2,78	2,97	3,17	3,37	3,57	3,75	3,97	4,16	4,36	4,56	4,76	
7,5	0,19	0,37	0,56	0,74	0,92	1,11	1,30	1,48	1,67	1,85	2,03	2,22	2,41	2,59	2,78	2,96	3,14	3,33	3,51	3,70	3,89	4,07	4,25	4,44	
8,0	0,17	0,35	0,52	0,69	0,86	1,04	1,21	1,39	1,56	1,73	1,91	2,08	2,25	2,43	2,60	2,78	2,95	3,12	3,28	3,47	3,62	3,82	3,99	4,16	
8,5	0,16	0,33	0,49	0,65	0,82	0,98	1,14	1,31	1,47	1,63	1,79	1,96	2,12	2,29	2,45	2,62	2,78	2,94	3,09	3,27	3,43	3,59	3,75	3,92	
9,0	0,15	0,31	0,46	0,62	0,77	0,92	1,08	1,23	1,39	1,56	1,69	1,89	2,00	2,16	2,31	2,47	2,62	2,78	2,92	3,00	3,24	3,39	3,55	3,71	

Табела 12. Време кочења у зависности од брзине [1]

ЛИТЕРАТУРА:

- [1] Светозар, К.: Експертизе саобраћајних незгода, ФТН Издаваштво, Нови Сад, 2009.
- [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] Јанковић, А., Симић, Д.: Безбедност аутомобила, DSP-mecatronik, Kragujevac СКВЕР 1996
- [5] http://vtsnis.edu.rs/Predmeti/tehnika_bezbednosti_i_kontrole_saobracaja 11/15/2012