

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу

Милица Ј. Ципковић

**Коефицијент реституције и значај ове величине за пасивну
безбедност**

Завршни рад

Крагујевац, 2014.

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Друмски саобраћај

Предмет: Механика саобраћајне незгоде

Број индекса: 722 / 2013

Милица Ципковић

**Коефицијент реституције и значај ове величине за пасивну
безбедност**

Завршни рад

Комисија за преглед и одбрану:

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

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да

- у уводу треба да истакне значај одређивања коефицијента реституције,
- објасни појам и значење коефицијента реституције,
- прикаже дефиниције коефицијента реституције, као и начин њиховог одређивања,
- прикаже принцип одређивања коефицијента реституције приликом судара два возила, као и удара возила у баријеру,
- прикаже принцип одређивања експерименталног одређивања коефицијента реституције на Флориду,
- утицај коефицијента реституције на шкољку(карасерију) возила,
- изведе адекватне закључке на основу претходних теоријских разматрања.

Препоручена литература:

Brach R. M.: Mechanical impact dynamics, Rigid body collision, New York, 2007.

Крагујевац, 2014.

ментор:

Др Александра Јанковић, ред. проф.

Резиме

У овом раду, дискутовано је о класичним моделима удара базирани на Њутновим законима кретања. Испитали смо идеју о коефицијенту реституције кроз три различите дефиниције. Прва дефиниција коефицијента реституције представља кинематски модел. То је Њутнова формула. Даље можемо видети кинетички модел коефицијента реституције, који је постављен од стране Poisson 1800 -те године. На крају испитали смо енергетску дефиницију коју је формулисао Stronge. На самом крају можемо видети начин одређивања коефицијента реституције приликом судара између два возила, као и удара возила у баријеру.

Кључне речи:

Коефицијент реституције, импулс, судар

Summary

In this paper, we have discussed classical impact models based upon Newton's Laws of Motion. We have examined the idea of coefficient of restitution in three different definitions. The first definition of coefficient of restitution is the kinematic model. This is Newton's formulation. Next, we looked at the kinetic model of coefficient of restitution, as postulated by Poisson in the 1800's. Lastly, we examined an energetic definition of impulse as formulated by Stronge. At the end we can see the way how to find coefficient of restitution in the collision between two cars and between car and barrier.

Keywords:

Coefficient of restitution, impulse, collision.

Садржај

1. Увод	6
2. Коефицијент реституције	7
2.1. Појам коефицијента реституције	9
2.1.1. Кинематичка дефиниција коефицијента реституције	10
2.1.2. Кинетичка дефиниција коефицијента реституције	11
2.1.3. Енергетска дефиниција коефицијента реституције	13
2.2 Одређивање коефицијента реституције	16
приликом судара два возила	16
2.3. Одређивање коефицијента реституције	20
приликом удара возила у баријеру	20
2.4. Одређивање коефицијента реституције на основу извештаја и резултата Креш тестова	21
2.4.1. Одређивање коефицијента реституције на бази дијаграма промене брзине у фукцији времена судара	22
2.4.2. Одређивање коефицијента реституције на бази дијаграма промене ударне силе у фукцију времена судара	23
2.4.3. Одређивање коефицијента реституције на бази дијаграма промене успорења у фукцији времена судара	25
2.4.4. Одређивање коефицијента реституције на бази дијаграма промене ударне силе у фукције деформационог пута	26
3. Експериментално одређивање коефицијента реституције на Флориду	28
4. Утицај коефицијента реституције на карасерију возила	31
Закључак	37
Литература	39

1. Увод

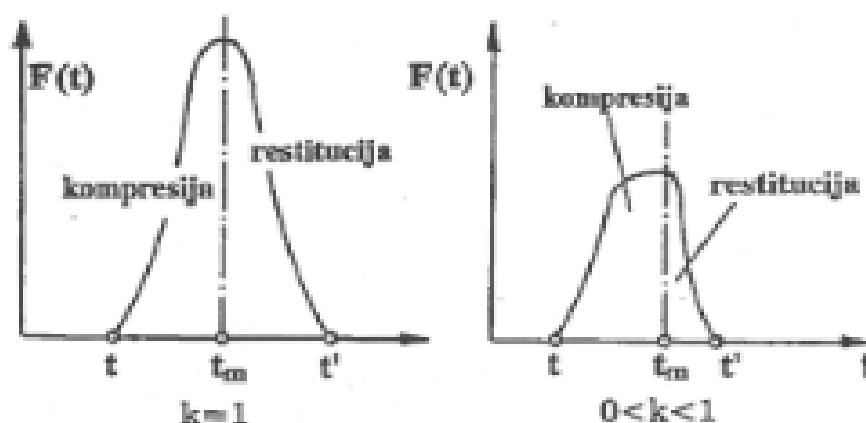
Собзиром да се у току судара јавља одређена деформација материјалног објекта уводи се појам коефицијента судара, тјс. коефицијент реституције. На бази Њутнових закона утврђено је да коефицијент реституције (успостављања односно судара) зависи само од еластичних својстава тела која се сударају. Однос апсолутних вредности пројекција релевантних брзина два тела након ударног процеса и непосредно пре ударног процеса на заједничку нормалу, коју чини линија судара, у тачки додира тела јесте константна величина која не зависи ни од брзина нити од облика тела, већ само од материјала од којег су тела направљена. Овакав однос назива се коефицијент реституције, и обележава се (κ).

Коефицијент реституције - његова вредност се утврђује експериментом и зависи од еластичних особина тела. Прво експериментално одређвање овог коефицијента извршено је на примеру еластичне куглице. Куглица која се испитује пусти се слободно да пада са одређене висине на равну плочу, при чему се изражуна брзина куглице непосредно пре удара. Приликом удара куглице постоје две веома кратке фазе. Током прве фазе брзина куглице се са брзине, смањује на нулу, и том приликом куглица се деформише и њена кинетичка енергија се претвара у унутрашњу потенцијалну енергију деформисане куглице. Током друге фазе куглица, под дејством унутрашњих еластичних сила, тежи да успостави првобитни облик. Том приликом њена унутрашња потенцијална енергија претвара се у кинетичку енергију кретања куглице при ком куглица има одређену брзину. Током прве фазе ударног процеса део кинетичке енергије куглице утроши се на њену деформацију, а други део на њено загревање, што значи да ће куглица, током почетка друге фазе, имати мању количину енергије. Ова промена количине енергије имаће за последицу мању брзину кретања куглице после завршеног ударног процеса. На бази експерименталних истраживања је утврђено да коефицијент реституције зависи, углавном од, еластичних својстава тела која се сударају и у том случају постоје два гранична случаја и то: потпуно пластичан и потпуно еластичан судар.

Коефицијент реституције успостављања односно судара зависи само од еластичних својства тела. Сам коефицијент реституције представља однос између брзина пре судара и после судара. Овај коефицијент описује однос између брзина којим ће тела наставити да се креће, након судара, и оних брзина којим су тела прилазила једна другом после судара. Сама разлика између брзина може се утврдити колико ће енергије изгубити током судара.

2. Коефицијент реституције

Коефицијент реституције (ознака κ) преставаља меру еластичности удара, и / или судара два тела. Вредност овог коефицијента се може кретати у одређене границе и то од 0 до 1. Када је његова вредност једнака броју један ($\kappa = 1$) судар је апсолутно (идеално) еластичан, док је за вредност која је једнака нули ($\kappa = 0$) судар је апсолутно (идеално) пластичан. То су теорије граничне вредности овог коефицијента.

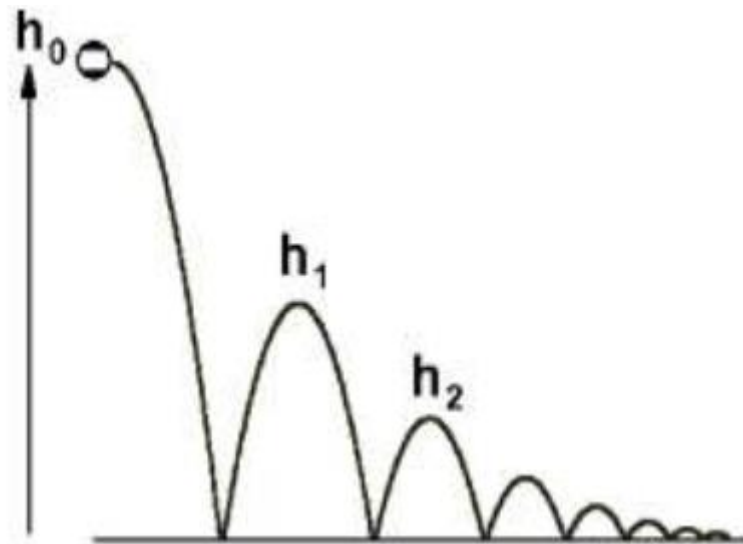


Слика 1. Дијаграмски приказ идеалног еластичног ($\kappa = 1$), и еластично- пластичног удара ($0 < \kappa < 1$)

Овај коефицијент представља однос између брзина пре и брзина после судара, као што приказује следећа формула:

$$\kappa = \frac{\text{брзина после судара}}{\text{брзина пре судара}}$$

Коефицијент реституције описује однос између брзина којима ће тела наставити да се крећу након судара, и оних брзина којима су тела прилазила једна другом пре судара. Сама разлика између брзина може се утврдити колико се енергије изгуби током судара. Важно је напоменути да се приликом цртања брзина после судара, цртају нормално на тангенту линију судара. Да би се описало колико је енергија изгуљена, битно је посматрати следећу слику:



Слика 2: Илустрација одређивања изгубљене енергије

На основу предходне слике може се утврдити да куглица масе m , која се пушта да пада са висине h_0 .

као што је већ наведено коефицијент реституције представља однос између брзине после и брзине пре судара:

$$k = \frac{v_1}{v_0}$$

даље следи да је :

$$v_0^2 = 2 \cdot g \cdot h_0$$

$$v_0 = \sqrt{2 \cdot g \cdot h_0}$$

Треба напоменути да је брзина v_1 представља брзину после удара.

$$v_1 = k \cdot v_0 = k \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h_0}$$

Посматрајући предходно може да се на основу њих написати следеће:

$$v_1 = \sqrt{2 \cdot g \cdot h_1}$$

Применом предходно наведене релације ,добиће се следеће:

$$k = \frac{v_1}{v_0}$$

$$k = \frac{\sqrt{2 \cdot g \cdot h_1}}{\sqrt{2 \cdot g \cdot h_0}}$$

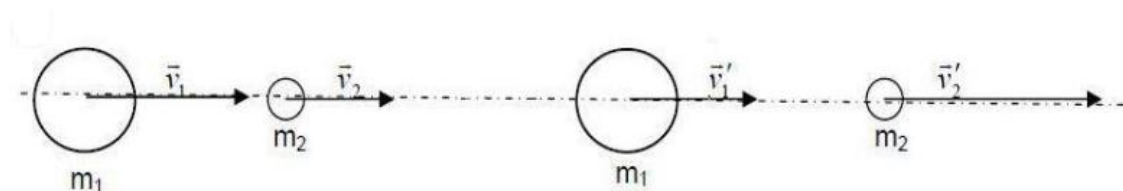
$$k = \sqrt{\frac{h_1}{h_0}}$$

2.1. Појам коефицијента реституције

Приликом судара два тела, брзина које ће се појавити након судара зависи од брзину пре, али и од врсту судара. Под врстом судара, мисли се да ли је судар идеално пластичан, идеално еластичан или нешто између тога. Приликом идеално еластичног судара, брзина након судара одваја тела и она је једнака брзинаом пре судара. У случају идеално пластичног судара тела се не раздвајају и настављају да се крећу заједно, али брзина је мања од брзине пре судара због изгубљене енергије приликом судара.

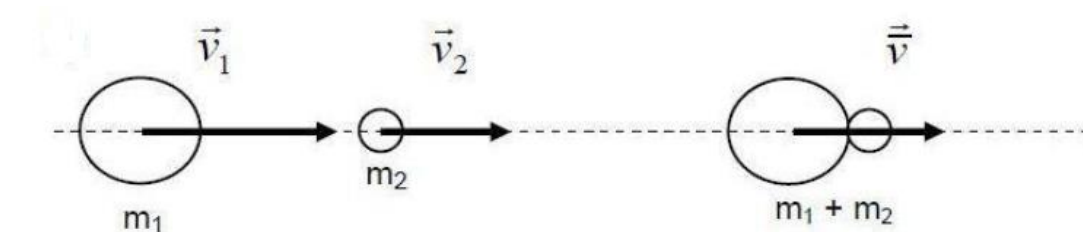
И сликовито се може навести предходно наведено, и то на следећи начин:

а)



- еластични судар

б)



-пластичан судар

Слика 3. Судар два тела

Као што је већ наведено коефицијент рестиуције се креће у границама између нуле и један, стим да је јединица за идеално еластичан судар, док нула означава идеално пластичан судар. У реалности овај коефицијент никада неће бити једнак ни једној од ове две вредности, већ ће увек бити негде између њих. Његова величина најчешће зависи од природе материјала од кога су тела направљена. Такође зависи и од ударних брзина, облика и величина сударајућих тела, тачке, односно места на телу где се судар дешава, па и од температуре тела.

Занимљиви примери величина за коефицијент реституције наведени су за следеће врсте материјала:

- $\kappa = \frac{5}{9}$ - величина за коефицијент реституције при удару у челик;
- $\kappa = \frac{15}{16}$ - величина за коефицијент реституције при удару о стакло;
- $\kappa = \frac{1}{2}$ - - величина за коефицијент реституције при удару дрвета о дрво.

Интересантно је да у првој формули испред разломака налази се знак минус. Али као што је већ наведено коефицијент реституције је иначе увек позитиван број, али међутим поменути знак минус се поставља из тог разлога што су брзине пре и после судара супротних смерова, па самим тим и супротних знакова.

Основне дефиниције коефицијента реституције су:

- Кинематичка дефиниција коефицијента реституције;
- Кинетичка дефиниција коефицијента реституције;
- Енергетска дефиниција коефицијента реституције.

2.1.1. Кинематичка дефиниција коефицијента реституције

Прву дефиницију коефицијента реституције дао је Issac Newton и то формулом која гласи:

$$k = \frac{v_2' - v_1'}{v_1 - v_2}$$

Где су:

v_1 - брзина кретања тела пре судара;

v_2 - брзина кретања тела пре судара;

v_1' - брзина кретања тела један после судара;

v_2' - брзина кретања тела два после судара.

Услучају да је судар линијски брзине су једнаке вредности вектора брзине. Уколико се судара дешава под неким углом тада брзине морају бити пројектоване под одговарајућим углом, односно представљају компоненте вектора брзине. Већину ствари који је Њутн написао биле су тачне, мада грешка је била у томе што је предпостављао да коефицијент реституције зависи само од материјала.

2.1.2. Кинетичка дефиниција коефицијента реституције

Поиссон је дао 1800-те године кинетичку дефиницију коефицијента реституције. Ова дефиниција говори да коефицијент реституције представља однос вредности одскочног импулса. С тим да се узима у обзир да оба импулса нормална на раван контакта.

Кинетичку дефиницију, описује следећа формула:

$$k = \frac{(F \cdot \Delta t)_{\text{одскочно}}}{(F \cdot \Delta t)_{\text{деформационо}}}$$

Пројзвод силе и времена представља импулс. Он се може израчунати на следећи начин:

$$I = F \cdot \Delta t = m \cdot \Delta v$$

Сила и брзина представљају векторе, тако да је логично закључити са импулс има правац, смер и интезитет.

$$\Delta v = v' - v$$

У физици деформациони импулс је већи од резултујућег, међутим одскочни импулс (реституционо импулс) је супротан по правцу од деформационог. Иако се помиње раван судара, током стварног судара положај те равни се мења. Међутим њен положај је најбоље одредити на основу импулса, јер како смо већ рекли импулс је нормалан на ударну раван. Како је већ примећено да је раније у изразима коришћена брзина v_c , а која се до сада претпостављала да је непозната требало би је одредити. Ово је могуће урадити применом трећег Њутновог закона који говори да се приликом судара два тела јављају импулси истог правца и интезитета, а супротног смера. Самим тим закључује се, да су вредности ових импулса једнаке, с тим да је једна позитивна, а друга негативна вредност што се може даље уочити:

$$I_1 = I_2$$

$$F_1 \cdot \Delta t = - F_2 \cdot \Delta t$$

На основу овога можемо применити трећи Њутнов закон на обе фазе судара, то јест фазу компресије и фазу реституције:

$$(F_1 \cdot \Delta t)_{\text{одскочно}} = - (F_2 \cdot \Delta t)_{\text{одскочно}}$$

$$(F_1 \cdot \Delta t)_{\text{деформацио}} = - (F_2 \cdot \Delta t)_{\text{деформацио}}$$

Ако импулсе из претходних релација изразимо преко масе и брзине за фазу реституције се добија следеће:

$$m_1 \cdot v_1' - m_1 \cdot m_{1c} = - (m_2 \cdot v_2' - m_2 \cdot v_{2c})$$

и за фазу деформације истим принципом се добија:

$$m_1 \cdot v_1 - m_1 \cdot m_{1c} = - (m_2 \cdot v_2 - m_2 \cdot v_{2c})$$

Из предходно наведено види се да брзина v_c и за једно и за друго тело могу се разликовати. Најбоље се може обијаснити решавањем предходно две релације и деформације, тјс добија се ова брзина за прво тело фази реституције износи:

$$V_{1c} = \frac{m_1 \cdot V + m_2 \cdot V_2' - m_2 \cdot V_{2c}}{m_1}$$

и за фазу деформације следи:

$$V_{1c} = \frac{m_1 \cdot V + m_2 \cdot V_2 - m_2 \cdot V_{2c}}{m_1}$$

Када се ради о дводимизалном, односно раванском судару кинетичку дефиницију карактерише судар само дуж једне линије, односно линија судара. Наравно у стварном судару два возила карактерише то што се судар дешава не само по једној линији, већ по неком одређеном облику. Међутим у поменутом случају посматрају се једноставнији пример где се све дешава у равни тако да и сила и брзине могу имати по две компоненте и то по нормали и тагенти, односно:

$$F = (F_n, F_t)$$

$$v = (v_n, v_t)$$

Индекси n , t означавају по којој се оси налазе неке од ових компонената.

Као што је већ наведено све пређашње компоненте при одређивању коефицијента реституције се гледају у правцу нормале.

$$k = \frac{v_1' - v_c}{v_c - v_1}$$

2.1.3. Енергетска дефиниција коефицијента реституције

W. J. Stronge је 2000- те године, промовисао је књигу у којој је коефицијент реституције дефинисао преко радова које изврше нормалне силе током судара. Ово је познато као Стронгова хипотеза, и математички се изражава као:

$$k^2 = - \frac{A_{\text{одскочно}}}{A_{\text{деформационо}}}$$

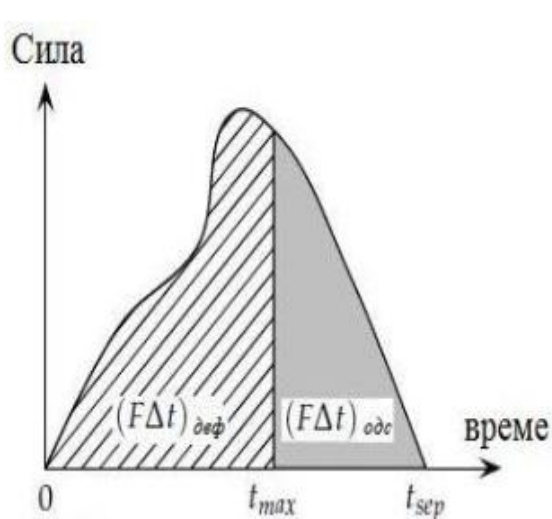
Где је :

$$A_{\text{одскочно}} = A_{1 \text{ одскочно}} + A_{2 \text{ одскочно}}$$

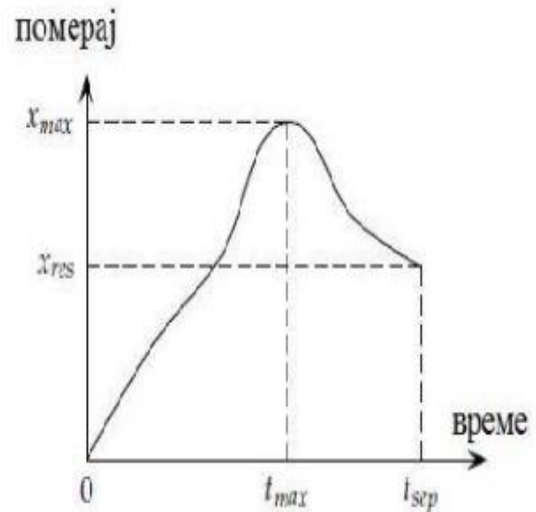
Може се приметити да је реституциони рад једнак збиру реституционих радова једног и другог возила. Па се подразумева да се оба рада добијају од нормалних сила током реституционе фазе приликом судара.

$$A_{\text{деформационо}} = A_{1 \text{ деформационо}} + A_{2 \text{ деформационо}}$$

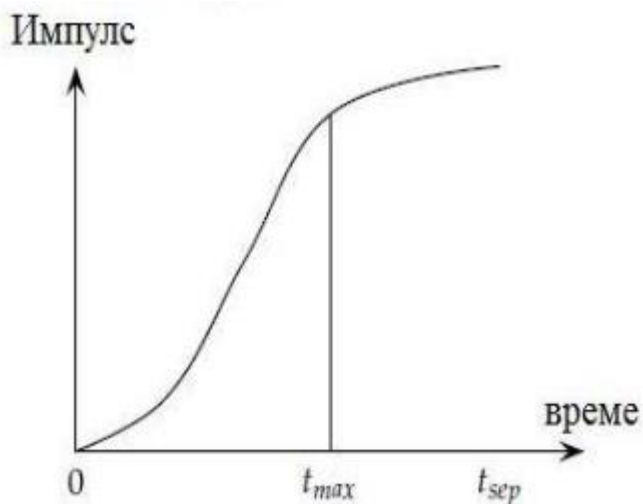
Ова релација показује да је деформациони рад једнак збиру деформационих радова једног и другог возила, приликом фазе деформације током судара. Према овој дефиницији захтева се да објекти, односно у овом случају возила буду деформабилна тела. У механици, деформабилна тела представљају она тела која мењају свој облик и/или запремину када на њих делује нека спољашња сила. Међутим овај услов не представља неко ограничење, зато што су у стварности сва тела и јесу деформабилна до неке границе. Енергија која је потребна да се изврши рад помоћу нормалних сила у ударној равни једнака је кинетичкој енергији која се добија преко брзина у ударној равни. Како би се лакше разумела веза између рада, енергије, импулса, брзине, силе и времена најбоље је посматрати слику 4, која показује низ дијаграма на којима се виде зависности ових величина.



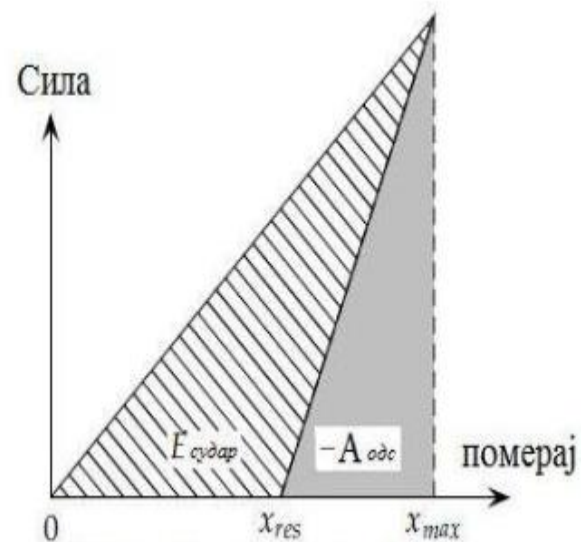
а) Дијаграм представља промену силе у функцији од времена. Подручија испод криве означавају деформациони и одскочни импулс.



б) Приказана је промена померања у функцији од времена.



ц) Импулс увек расте.



д) Подручије је приказано шафрином површине представља пад извршен силама приком судара

Слика 4. Илустрација веза између рада, енергије, импулса, брзине, силе и времена

Рад који је извршен на основу деформационе силе може се одредити формулом:

$$A_{\text{деформационо}} = \int_0^{x_{\text{max}}} F(x) dx$$

Он се може графички приказана 4 (д) . Уколико се искористи модел опруге који има линеарну карактеристику, што значи да је:

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

Може се одредити и рад који се утроши на фазу реституције, посматрајући слику 4(д), добија се следеће:

$$A_{\text{одскочно}} = \int_{x_{\text{max}}}^{x_{\text{res}}} F(x) dx$$

Но како је x_{max} веће од x_{res} окрећу се границе интеграла, па је:

$$A_{\text{одскочно}} = - \int_{x_{\text{res}}}^{x_{\text{max}}} F(x) dx$$

формула којом се израчунава осенчена површина на слици 4(д). Рад се још може израчунати користећи везе које је увео Poisson:

$$A = \int F \cdot v dt$$

$$A = v \int F dt$$

$$A = v \cdot F \cdot \Delta t$$

предходно наведеном релацијом показује да је рад једнак пројзводу брзине и импулса. Формула за израчунавање енергетског коефицијента реституције добиће се следеће :

$$A_{\text{одскочно}} = v_1 \cdot (F \cdot \Delta t)_{\text{одскочно}} + v_2 \cdot (F \cdot \Delta t)_{\text{одскочно}}$$

$$A_{\text{деформационо}} = v_1 \cdot (F \cdot \Delta t)_{\text{деформационо}} + v_2 \cdot (F \cdot \Delta t)_{\text{деформационо}}$$

$$k^2 = - \frac{v_1 \cdot (F \cdot \Delta t)_{\text{одскочно}} + v_2 \cdot (F \cdot \Delta t)_{\text{одскочно}}}{v_1 \cdot (F \cdot \Delta t)_{\text{деформационо}} + v_2 \cdot (F \cdot \Delta t)_{\text{деформационо}}}$$

Познато је из физике да се брзина може написати као:

$$v = a \cdot \Delta t$$

где је :

a - убрзање

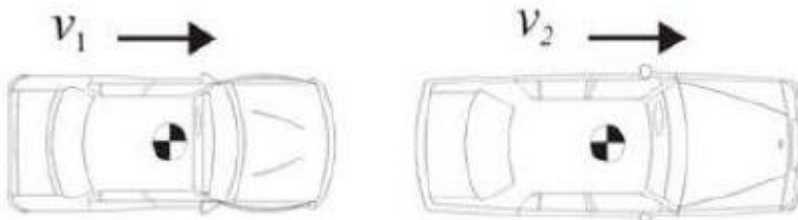
Стим да је опште познато по другом Њутновом закону да је сила једнака производу масе и убрзања, односно:

$$F = m \cdot a$$

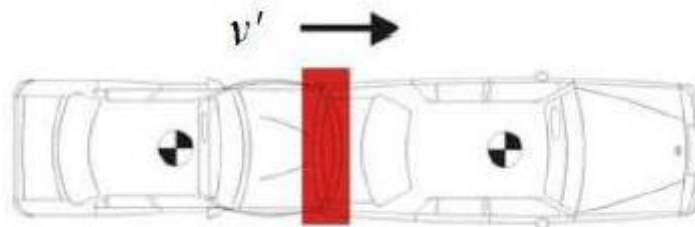
2.2 Одређивање коефицијента реституције приликом судара два возила

Ради одређивања коефицијента реституције приликом задњег судара два возила, најбоље је посматрати слику 5. Са слике 5, виде се три фазе и то:

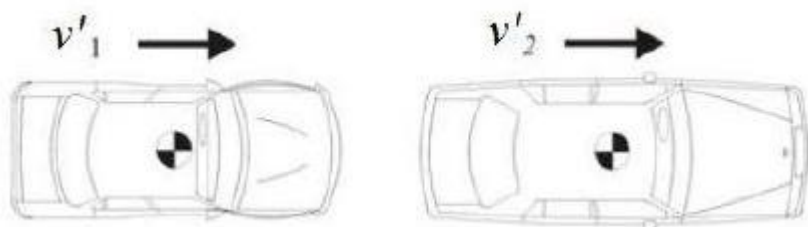
- а) Возила пре судара v_1 и v_2 (pre-crash фаза) ;
- б) Возила у току судара – крај компресије v' (crash фаза) ;
- в) Возила после судара v'_1 и v'_2 (post-crash фаза).



б)



в)



Слика 5. Задњи судар два возила

Како би судар уопште био могућ мора бити задовољен следећи услов:

$$v_1 > v_2$$

Приликом судара ова два возила јављају се силе које се повинују другом и трећем Њутновом закону. Формуле за ове две силе гласе:

$$m_1 \cdot \frac{dv_1}{dt} = -F$$

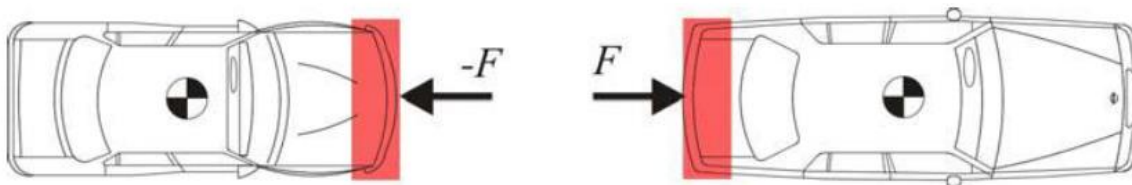
$$m_2 \cdot \frac{dv_2}{dt} = F$$

где су:

m_1 - маса возила 1

m_2 - маса возила 2

F - сила која се јавља у контакту судара ова два возила, и може бити приказана на следећој слици:



Слика 6. Трећи Њутнов закон

Према Poisson-новој хипотези судар се врши у две фазе и то:

- Фаза компресије ;
- Фаза реституције .

Током фазе компресије сила на контакту судара расте и возила се деформишу. Фаза компресије се завршава када нестану долазне брзине, то јест возила имају једнаку брзину v' . Ову фазу карактерише компресиони импулс, који се добија следећом формулом:

$$m_1 \cdot (v' - v_1) = -I_c$$

$$m_2 \cdot (v' - v_2) = -I_c$$

Компресиони импулс може се рачунати још и по формули:

$$I_c = \int_0^{t_c} F dt$$

t_c - време трајања компресије

Израз за брзину на крају компресије, односно брзину која је једнака за оба возила се добија следећом формулом :

$$- I_c = I_c$$

Импулси реституције једног и другог тела могу се дибити по следећим формулама:

$$m_1 \cdot (v'_1 - v_1) = - I_r$$

$$m_2 \cdot (v'_2 - v_2) = I_r$$

Реституциони импулс се може добити још и по формули:

$$I_r = \int_{t_c}^{t_r} F dt$$

t_r - време реституције

Како би се решио коефицијент реституције може се позвати на Poisson-ову хипотезу која је раније спомињана у кинетичкој дефиницији коефицијента реституције, и која показује да је коефицијент реституције једнак односу одскочног и деформационог импулса, односно реституционог и компресионог, што се краће може записати:

$$k = \frac{I_r}{I_c}$$

Компресиони импулс добиће се:

$$I_r = k \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{m_1 + m_2} \cdot (v_1 - v_2)$$

Компресиони и реституциони импулс, може се добити резултујући импулс као збир ова два:

$$I = I_r + I_c$$

Одређивање брзина после судара је могуће али под условом да су познате следеће компоненте, и то:

- Брзине пре судара;
- Масе возила;
- Коефицијент реституције .

Међутим како је суштина овог рада одређивање коефицијента реституције, претпоставља се да је он непознат па га је потребно одредити.

Први начин који се може искористити ради одређивања, јесте посматрање кинетичке енергије приликом судара.

Уопштено на самом почетку посматраће се кинетичка енергија на крају фазе компресије, и може се написати да је:

$$\frac{m_1 \cdot v_1^2}{2} + \frac{m_2 \cdot v_2^2}{2} = \frac{(m_1 + m_2) \cdot v'^2}{2} + \Delta E_m$$

ΔE_m - максимална кинетичка енергија која се изгуби при деформацијама

$$\Delta E_m = \frac{1}{2} \cdot \frac{m_1 \cdot m_2 \cdot (v_1^2 \cdot v_1 \cdot v_2 + v_2^2)}{m_1 + m_2}$$

$$\Delta E_m = \frac{1}{2} \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{m_1 + m_2} \cdot (v_1 - v_2)^2$$

$$\Delta E_m = \frac{1}{2} \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{m_1 + m_2} \cdot \Delta v^2$$

Слично као до сада, тачније према предходно наведеном релацијом, може се написати израз за кинетичку енергију током судара:

$$\frac{m_1 \cdot v_1^2}{2} + \frac{m_2 \cdot v_2^2}{2} = \frac{m_1 \cdot v_1'^2}{2} + \frac{m_2 \cdot v_2'^2}{2} + \Delta E$$

ΔE - укупна изгубљена енергија током судра

Ако се у горе наведеном изразу, убаци израз за брзину после судара, добиће се:

$$\begin{aligned} \Delta E &= \frac{m_1 \cdot v_1^2}{2} + \frac{m_2 \cdot v_2^2}{2} - \frac{m_1 \cdot v_1'^2}{2} + \frac{m_2 \cdot v_2'^2}{2} \\ \Delta E &= \frac{m_1 \cdot v_1^2}{2} + \frac{m_2 \cdot v_2^2}{2} - \frac{m_1}{2} \cdot \left[v_1 - \frac{m_2}{m_1 + m_2} \cdot (k + 1) \cdot (v_1 - v_2) \right]^2 \\ &\quad + \frac{m_2}{2} \cdot \left[v_2 - \frac{m_1}{m_1 + m_2} \cdot (k + 1) \cdot (v_1 - v_2) \right]^2 \\ \Delta E &= \frac{1}{2} \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{m_1 + m_2} \cdot \Delta v^2 (1 - k^2) \end{aligned}$$

Коефицијент реституције може се добити и на следећи начин :

$$\Delta E = \Delta E_m (1 - k^2)$$

$$1 - k^2 = \frac{\Delta E}{\Delta E_m}$$

$$-k^2 = \frac{\Delta E}{\Delta E_m} - 1 / \cdot (-1)$$

$$k^2 = 1 - \frac{\Delta E}{\Delta E_m}$$

$$k = \sqrt{1 - \frac{\Delta E}{\Delta E_m}}$$

$$k = \sqrt{\frac{\Delta E_m + \Delta E}{\Delta E_m}}$$

$$k = \sqrt{\frac{\Delta E_0}{\Delta E_m}}$$

где је:

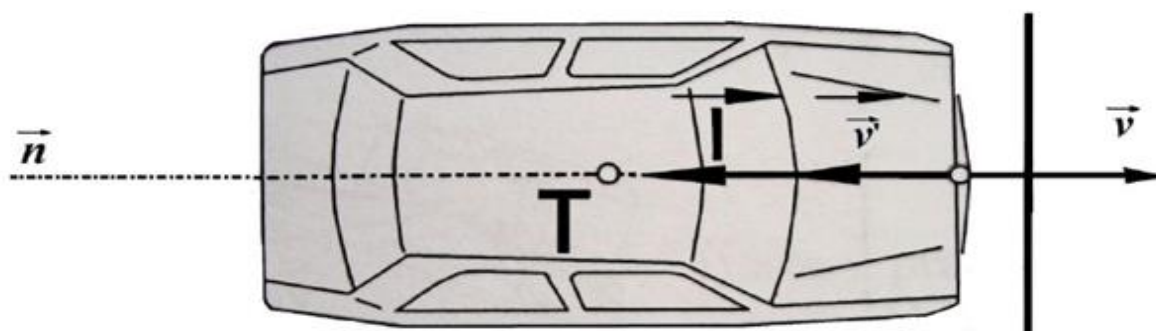
$\Delta E = \Delta E_m + \Delta E$ - реституциона енергија.

2.3. Одређивање коефицијента реституције приликом удара возила у баријеру

Баријера представља непомицну и недеформабилну препреку која има масу много већу од масе објекта, у овом случају возила, које у њу удара. Такође, баријера има много веће димензије од возила. Као и до сада када су у питању судар два возила, тако и када је у питању удар возила у баријеру коефицијент реституције се рачуна као однос брзине на крају судара (брзина којом се возило одбија од баријере) и брзине на почетку судара (брзина којом возило удара у баријеру).

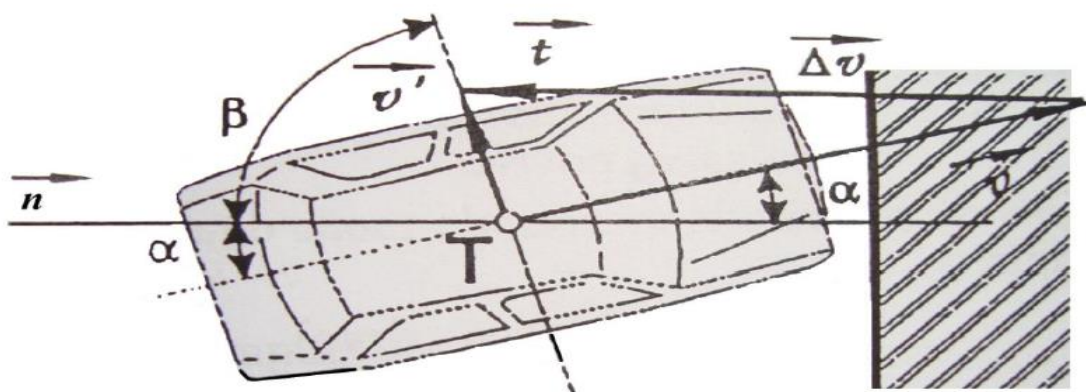
Уколико је у питању прав удар возила у баријеру, као што је приказано на слици 8, коефицијент реституције се рачуна као:

$$k = - \frac{v'}{v}$$



Слика 8: Прав удар возила у баријеру

Даље се може видети удар возила у баријеру под углом, што је приказано на слици 9. Коефицијент реституције се овде дефинише као однос нормалних компоненти релативних брзина на крају удара и на почетку удара. На слици може се видети да нормала заклапа угао α са долазном брзином, а угао β са одлазном брзином.



Слика 9: Удар возила у баријеру под углом

Компоненте брзина у правцу нормале на почетку и на крају судара су:

$$v_n = v \cdot \cos \alpha$$

$$v_n' = -v' \cdot \cos \beta$$

Уколико би се занемарило трење приликом удара возила у баријеру, онда је:

$$v_t = v_t'$$

$$v \cdot \sin \alpha = v' \cdot \sin \beta$$

одавде би се могло изразити v' :

$$v' = v \cdot \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$$

$$I_t = 0$$

$$I = I_n$$

коефицијент реституције је:

$$k = \frac{v_n'}{v_n}$$

Уколико се не би занемарило трење, онда би постојао коефицијент реституције и у правцу тангенте и он би се добио на сличан начин као и у правцу наормале, што се може даље видети.

$$k_t = -\frac{v_t'}{v_t}$$

2.4. Одређивање коефицијента реституције на основу извештаја и резултата Креш тестова

На основу резултата старијих експерименталних истраживања доказано је да се приликом реалних судара путничких аутомобила појављује коефицијент реституције који може имати вредности које се могу кретати у границама од $k = 0,05 \div 0,1$. Анализом видео снимака новијих Crash-тестова могуће је уочити да приликом налета возила на препреку или приликом судара путничких аутомобила, коефицијент реституције има знатно веће вредности од предложених. Оваква констатација наводи на закључак да препоручене вредности коефицијената треба прихватити са великом резервом из разлога што су они утврђени на основу испитивања од пре тридесетак година.

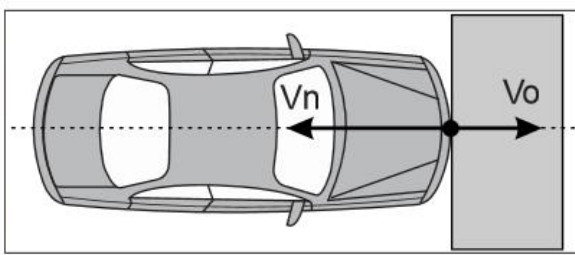
У том циљу, практичан поступак утврђивања коефицијента реституције приказан је на примеру Crash- теста број 4248, у коме је тестиран путнички аутомобил “BMW 325 И”, произведен 2002. године, налетом на чврсту баријеру. Брзина возила приликом налета износила је $V_o = 55,7$ км/х, маса возила била је $m = 1.731$ кг. Након теста измерен је пут деформације, који је у конкретном случају износио је $S_d = 0,454$ mm.

2.4.1. Одређивање коефицијента реституције на бази дијаграма промене брзине у функцији времена судара

Кретање возила под дејством сила у веома кратком временском интервалу, при којем тренутно настају коначне промене брзина, назива се удар, односно судар, ако су обавозлила у покрету. Ударни процес може се поделити у две фазе и то фаза судара или удара и фаза одбоја. Судар је прва фаза сударног процеса, који започиње у тренутку додира, возила са препреком, односно, два возила и траје до тренутка када се постигне најмање растојање између њихових тежишта. Одбој је друга фаза сударног процеса и она започиње од тренутка када се постигне најмање растојање између тежишта возила до њиховог раздвајања.

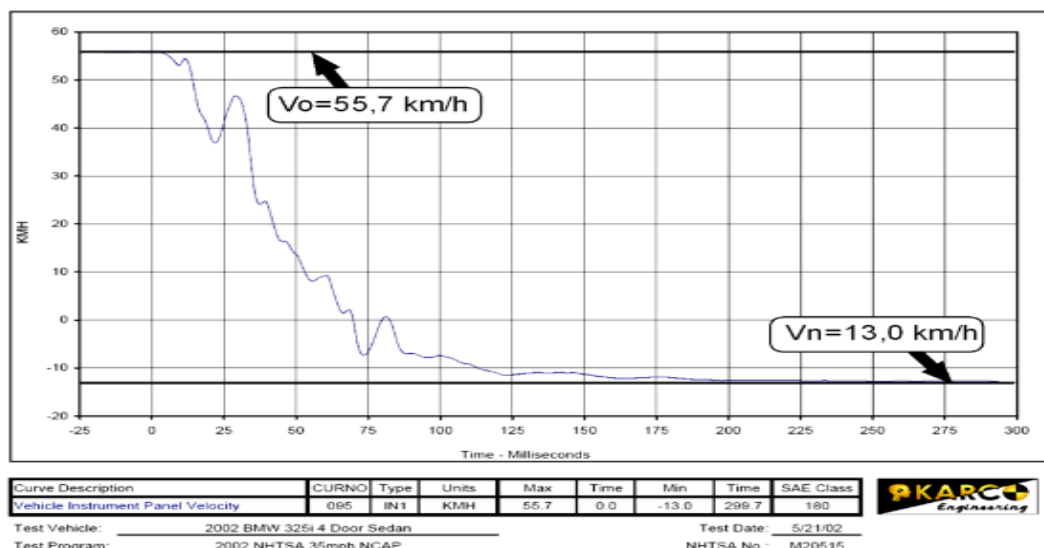


Слика 10. Налет возила BMW 325 на чврсту препреку



Слика 11. Динамика налета возила, на чврсту препреку

Приликом удара возила у чврсту непокретну препреку, коефицијент реституције може се дефинисати као однос врзине возила на крају удара (V_n), тј брзине којом се возило одбија од препреке и брзине возила на почетку сударног процеса, (V_o), тј брзине којом се возило креће непосредно пре удара у препреку. У извештајима са Crash- тестова, доступни су дијаграми који приказују промену брзине возила током сударног процеса. Изглед дијаграма који је снимљен током Crash-теста број 4248 приказан је на следећој слици :



Слика 12. Промена брзине возила у фукцији времена судара

Анализом дијаграма на слици 12, јасно се може очитати да вредност брзине возила на почетку сударног процеса износи $V_o = 56 \text{ km/h}$, да је удар возила у препреку трајао око 75 милисекунди и да брзина којом се возило одбија од препреке износи око $V_n = 13 \text{ km/h}$. На основу ових параметара могуће је израчунати коефицијент реституције, који у конкретном случају износи:

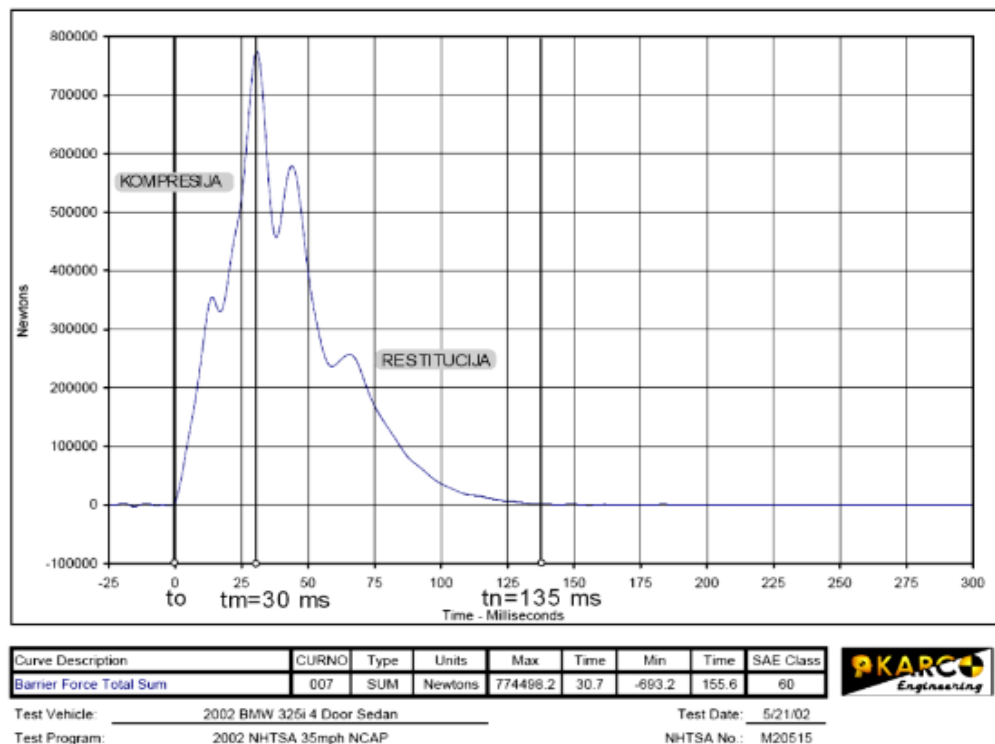
$$k = \frac{V_n}{V_o} = \frac{13,0}{56,0} = 0,23 [-]$$

2.4.2. Одређивање коефицијента реституције на бази дијаграма промене ударне силе у фукцију времена судара

Приликом сударног процеса возила појављују се сударне силе које нису константног карактера, односно, њихове вредности се мењају током ударног процеса, тако да њихове коначне вредности, зависе од већег броја фактора као што су: чврстоћа и еластичност материјала, структура материјала, величина и положај мотора, распоред појединих уређаја, величине сударне површине, брзине кретања возила. У моменту када се кинетичка енергија, коју поседује возило, у процесу удара у чврсту непомићну препреку, потпуно претвори у деформациони рад, постигнут је максимални пут деформисања. Ова деформација назива се динамичка. Након тога следи еластични поврат који се јавља као резултат еластичног понашања свих деформабилних и неоштећених делова структуре возила. Статичка деформација настаје тек након завршетка процеса еластичног поврата, трајна је, може се тачно измерити и има мање вредности у односу на динамичку деформацију.

На дијаграму који приказује функционалну зависност ударне силе од времена трајања сударног процеса, снимљеног током Crash-теста, неопходно је уочити фазу компресије и фазу

реституције. Лево од тачке у којој се јавља максимална сударна сила је фаза компресије–притиска, а десно од ове тачке је зона реституције, односно опуштања или успостављања. На основу оваквог дијаграма коефицијент реституције може се дефинисати као однос импулса компресионе и импулса реституционе силе.



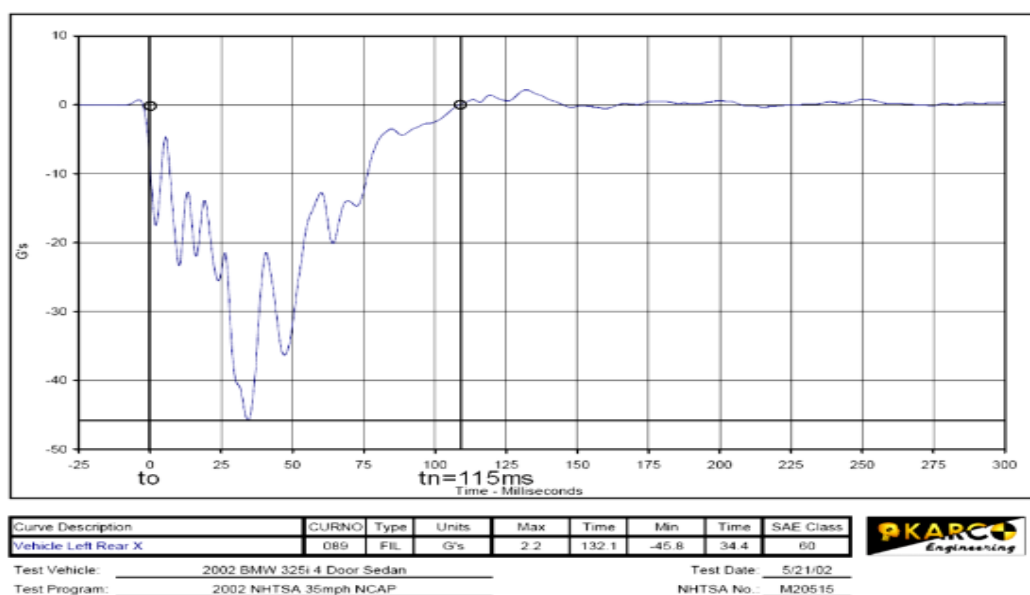
Слика 13. Вредност ударне силе у функцији времена судара

Анализом дијаграма на слици 13, јасно се може прочитати да се фаза компресије завршава након 30 милисекунди, када се јавља максимална вредност сударне силе $F=774498$, а да се фаза реституције завршава након 135 милисекунди. На основу ових параметара могуће је израчунати коефицијент реституције, који у конкретном случају износи:

$$k = \frac{\int_{t_0}^{t_m} F dt}{\int_{t_m}^{t_n} F dt} = \frac{774498 (30-0)}{774498 (135-30)}$$

2.4.3. Одређивање коефицијента реституције на бази дијаграма промене успорења у функцији времена судара

У оквиру извештаја у којима су приказани детаљни резултати Crash- тестова доступни су подаци о величини успорења одређених делова каросерије за конкретно возило. Подаци о вредностима успорења каросерије возила у функцији времена судара омогућавају да се на основу тих података утврди вредност коефицијанта реституције. Током спровођења Crash- тестова на карактеристичне делове каросерије возила поставља се девет акцелератора који региструју успорења каросерије возила, и то у тродимензионалном координатном систему у функцији времена судара. Увидом у детаљан извештај наведеног теста пронађен је дијаграм који приказује ток криве успорења чеоног дела возила, који уједно представља просечно успорење каросерије возила. Дијаграм тока криве успорења чеоног дела возила у функцији времена судара приказан је на слици 14.



Слика 14. Вредности успорења чеоног дела возила у функцији времена судара

Полазећи од основних израза за импулс силе, Њутнов закон и Закон о одржању количине кретања, можемо написати:

$$I = \int_{t_0}^{t_1} F(t) dt,$$

$$F = m \cdot a$$

$$I = m \cdot V$$

Под претпоставком да маса возила током сударног процеса остаје непромењена, могуће је на основу претходних израза написати следећу релацију:

$$\frac{I}{m} = \int_0^t a(t) dt$$

као и релацију за импулс силе при удару возила у препреку:

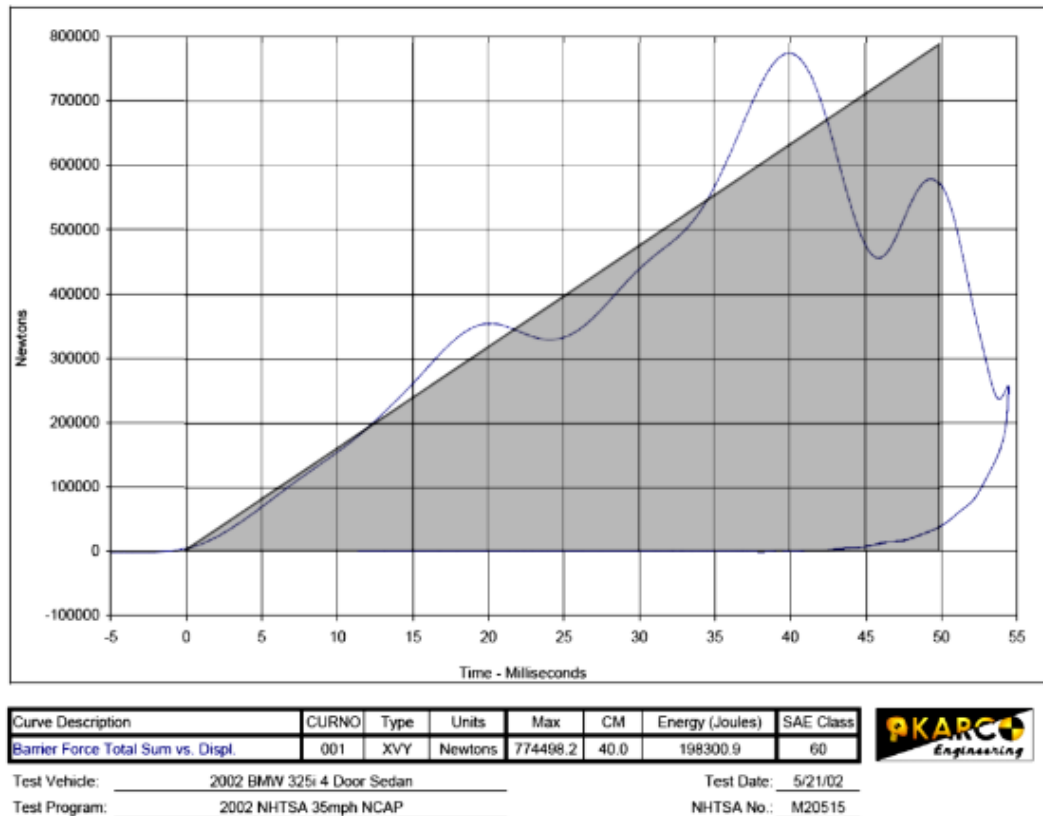
$$I = m \cdot v(1 + k)$$

Анализом дијаграма на слици 14, јасно се може прочитати да је максимална вредност успорења чоног дела возила износила $a = 45,8 \text{ g}$ а да се промена успорења чоног дела возила завршава након 115 милисекунди. На основу ових параметара могуће је израчунати коефицијент реституције, који у конкретном случају износи:

$$k = \frac{1}{v} \int_0^t a(t) dt - 1 = \frac{1}{55,7/3,6} [(45,8 \cdot 0,115) - 1] = 0,25$$

2.4.4. Одређивање коефицијента реституције на бази дијаграма промене ударне силе у функције деформационог пута

Да би се дошло до употребљивог израза за одређивање брзине возила полази се од чињенице да се приликом судара или удара возила у чврсту непомичну препреку, јавља ударна сила (F), која изазива деформацију делова возила који су у контакту, и да као последица тога настаје деформациони пут (S_d), на којем се обавља ударни рад. Ударни рад који је произведен у судару возила преко ударних сила и деформационих путева, одговара кинетичкој енергији промене брзина које се при судару појављују. Под деформационим радом сматра се онај део ударног рада (W_d) који се потроши на скраћење (деформацију) возила које је трајно. Стварни ток криве која приказује вредност силе током судара или удара возила у функцији величине деформације, снима се приликом CRASH тестова. Ток кретања силе деформације у функцији деформационог пута за конкретно возило приказана је на слици 15:



Слика 15. Ток кретања силе деформације у функцију деформационог пута

На претходној слици јасно се уочава да је деформациона енергија једнака површини испод криве силе деформације и да та површина, уз одређену апроксимацију представља површину правоуглог троугла, тако да се може израчунати преко следеће релације:

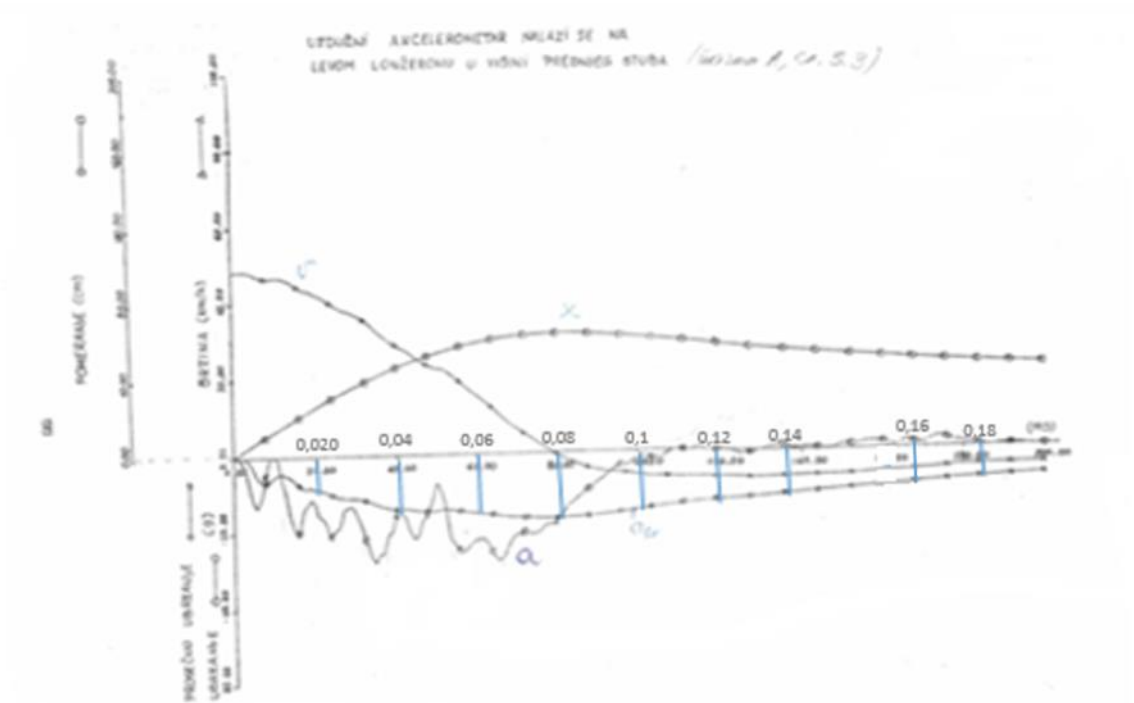
$$E_d = \frac{F \cdot S_d}{2} = \frac{793000 \cdot 0,5}{2} = 198300 \text{ [J]}$$

На основу закона о одржању енергије, произилази констатација да се при судару возила, кинетичка енергија претвара у деформациону енергију, односно деформацију, тако да можемо написати да је:

$$E_d = \frac{1}{2} m \cdot V^2 (1 - k^2)$$

$$k = \sqrt{1 - \frac{2 \cdot E_d}{m \cdot V^2}} = \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 198300}{1731 \cdot [55,7/3,6]^2}} = 0,22 [-]$$

3. Експериментално одређивање коефицијента реституције на Флориду



Слика 16. Измерена померања ,брзине и убрзања у путничком простору

$$V = \frac{dx}{dt} - \text{брзина}$$

$$a = \frac{dv}{dt} - \text{убрзање}$$

Израчунавање површине између две криве.. У нашем случају то је a и a_{sr} .

a - Убрзање

a_{sr} - Средње (просечно) убрзање

Треба се израчунати површина испод криве, па је:

$$P = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 + P_7 + P_8 + P_9 + P_{10}$$

За коефицијен реституције:

$$F = m \cdot a / dt$$

$$F dt = I = m \cdot a \cdot dt$$

$$\int F dt = m \cdot \int a(t) dt$$

I - импулс силе

m - маса возила

Овде да би се одредило експериментално одређивање коефицијента реституције:

$$k = \frac{\int_{t_0}^t F dt}{\int_{t_0}^t F dt} = \frac{\text{Импулс силе реституције}}{\text{Импулс силе компресије}}$$

k - коефицијент удара (реституције)

$$P_1 = \frac{a+b+c}{2}$$

$$P_1 = \frac{2+2+1}{2} = 2,5 \text{ cm}^2$$

$$P_2 = \frac{(a+b) \cdot h}{2}$$

$$P_2 = \frac{(1+1,4) \cdot 2}{2} = 2,4 \text{ cm}^2$$

$$P_3 = a \cdot b$$

$$P_3 = 2 \cdot 1,5 = 3 \text{ cm}^2$$

$$P_4 = 2 \cdot 1,8 = 3,6 \text{ cm}^2$$

$$P_5 = 2 \cdot 1,5 = 3 \text{ cm}^2$$

$$P_6 = 2 \cdot 1,3 = 2,6 \text{ cm}^2$$

$$P_7 = 1,9 \cdot 1 = 1,9 \text{ cm}^2$$

$$P_8 = 1,9 \cdot 1 = 1,9 \text{ cm}^2$$

$$P_9 = 3,5 \cdot 1 = 3,3$$

$$P_{10} = 1,7 + 0,9 = 1,63$$

$$P_{ik} = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 + P_7 + P_8 + P_9 + P_{10}$$

$$P_{ik} = 2,5 + 2,4 + 3 + 3,6 + 3 + 2,6 + 1,9 + 1,9 + 3,3 + 1,63 = 25,83 \text{ cm}^2$$

$$U_x = \frac{0,08 \text{ s}}{8 \text{ cm}} = \frac{0,01 \text{ s}}{0,01 \text{ m}}$$

$$U_x = 1 \frac{\text{s}}{\text{m}}$$

$$U_y = \frac{10 \text{ g}}{1 \text{ cm}} = \frac{10 \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{1 \text{ cm}} = \frac{100 \text{ m}}{\text{s}^2 \cdot \frac{1}{100} \text{ m}} = \frac{10^4}{\text{s}^2}$$

$$U_x \cdot U_y = 1 \frac{\text{s}}{\text{m}} \cdot 10^4 \frac{1}{\text{s}^2} = \frac{10^4}{\text{m} \cdot \text{s}}$$

$$P = 25,83 \text{ cm}^2 \cdot \frac{10.000}{100 \text{ cm} \cdot \text{s}} = 2,583 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$$

P_1 - Површина троугла

P_2 - Површина трапеца

$P_3, P_4, P_5, P_6, P_7, P_8, P_9, P_{10}$ - Површина правоугаоника

$$k = \frac{\int_{t_m}^t F dt}{\int_{t_0}^{t_m} F dt} = \frac{\text{Импулс силе реституције}}{\text{Импулс силе компресије}}$$

$$I_r = P_5 + \frac{P_6}{2} = 4,3$$

$$I_c = P_1 + P_2 + P_3 = 11,5$$

$$k = \frac{4,3}{11,5} = 0,37$$

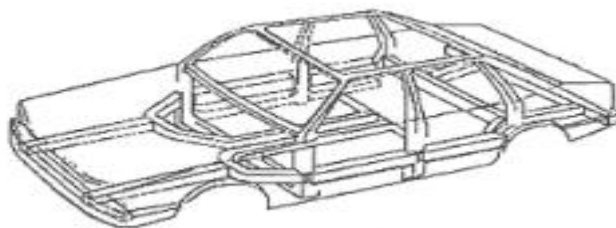
4. Утицај коефицијента реституције на карасерију (шкољку)

ВОЗИЛА

Карасерија служи за смештај возача, путника и терета. Карасерија аутомобила служи и за заштиту од спољних утицаја возача, путника и пртљага. У њу се често смештају и неки агрегати и склопови возила.

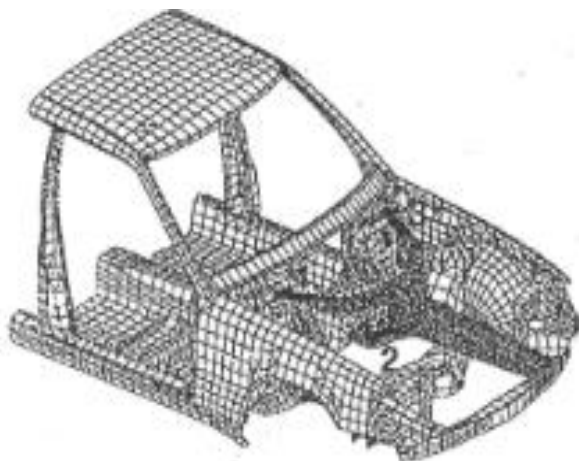
Пројзвођач OPEL (Немачка) је прва фирма која је почела са експериментално да се бави са проблемима безбедне карасерије возила. Безбедно возило изведено по препоруци ове фирме имало је већу тежину него стандардна, основна ова варијанта за око 25 %. Тежња сваког пројзвиђача аутомобила је да се направи мало ,компактно ,али ипак безбедно возило. Општа концепција безбедног возила је мотор напред. Ако је уз то и предњи погон онда је возило компактније. Возила са концепцијом мотор напред су безбеднији ,јер је мотор при чеоном удару прихвата део енергије, али треба обезбедити да недође до његовог продирања у путнички простор. Попречно постављен мотор заузима мање места у правцу осе возила и тиме омогућава већу зону деформације при чеоном удау при истој укупној дужини предњег краја возила. У циљу повећања безбедности код чеоног удара ,мотор је померен уназад ближе путничком простору. Тиме је у почетној фази удара омогућена већа деформација предњег дела чеоног костура, односно веће апсорбовање енергије удара, што је повољно.

При пројектовању путничког аутомобила ,са аспекта безбедности,треба имати у виду да путнички простор у саобраћајној незгоди не треба да трпи деформације које би могле да угрозе путнике. Зато путнички простор треба да буде крут,а предњи и задњи део возила деформабилни,да би примили енергију удара. На предњем и задњем делу возила је лакше постићи да деформације буду такве да не угрожавају безбедност путника ,док је то у бочном делу тешко остварити. "Повољне" деформације предњег краја возила, могуће је постићи избором уздушних носача,како дуж прагова ,тако и у моторском простору. Они би требало да се под дејством уздужне (аксијалне) силе "набирају" и на тај начин апсорбују енергију. Није повољно да се при аксијалном напрезању извијају, нарочито не са великим угибима извијања. На слици 17 је дат приказ структуре шкољке безбедног возила. Може се запазити да возило има затворен рам, који обухвата путнички простор по обиму. Ово је повољно са аспекта отклањања великих локалних деформација и дисконтинуитна у линији деформисања шкољке . Најповољније је створити целовит рам који би опасивао цело возо.



Слика 17. Безбедна концепција шкољке

Посебно важан деп шкољке преставља чеони костур, због опасности које носи чеони судар. На следећој слици дата је још једна могућност ојачања моторског простора.

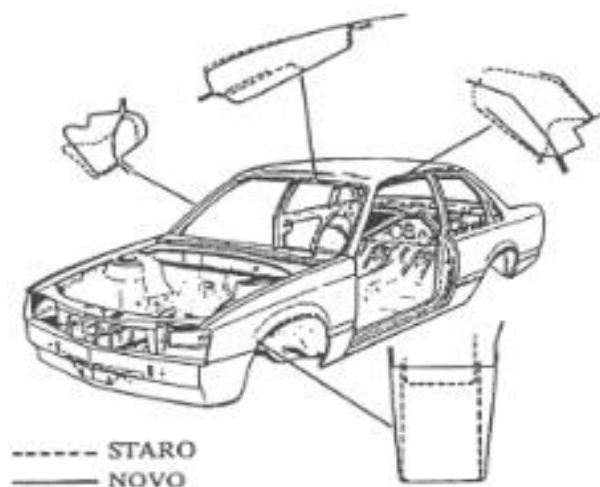


Слика 18. Безбедне концепције уздужних носача у моторском простору

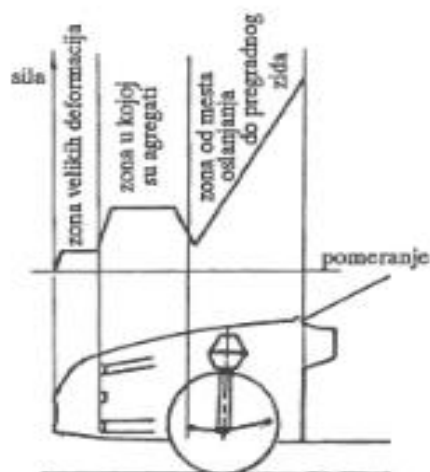
С обзиром да су најоптерећенији делови структуре шкољке при чеоном удару преградни зид (правац 1) ,тунел возила (правац 2) и бочне стране (правац 3), то је оптимирани уздужни носач у моторском простору треба да прихвати део оптерећења у овим правцима.

Компјутерску оптимизацију је могуће извести методама структуралне анализе. На слици 19 је приказано путничко возило, дискретизовано танким љускама и прорачунски оптимизовано методом коначних елемената (МКЕ). Моторски простор је оптимизиран тако да је добијено мање напрезање у путничком простору. Уочљиво је да уздужни носачи у моторском простору треба да буду слабијег пресека на делу ближег чеоној маски, а да ближе преградном зиду, тј. да се оствари " паралелни" пренос оптерећења.

На слици 19 су приказана побољшања шкољке једног возила, добијена оптимизацијом помоћу МКЕ.



Слика 19. Оптимизирана шкољка путничког возила



Слика 20. Променљива крутост по дужини моторског простора

Треба напоменути да је повољно постићи променљиву крутост, чеоног дела у уздужном правцу возила и то тако да крутост расте идући од чеоног маске ка путничком простору. То се постиже како конструктивним обликом носача у моторском простору, тако и размештајем агрегата у њему. На предходној слици је дата расподела крутости у правцу уздужне осе возила. Сваки агрегат као и елементи ослањања, представљају тачке дисконтинуитета линије деформације у уздужном правцу.

Предњи део треба да има малу крутост, како би се смањила агресивност у односу на пешаке и возила нижих тежинских класа према пешацима и малим возила. Са аспеката унутрашње безбедности зона предњег зида треба да је што чвршћа.

Возило као опасна ствар при производњи мора да испуњава строге прописе, а посебно у погледу активне и пасивне сигурности у саобраћају. Под активном сигурношћу се подразумева да техничка концепција возила буде тако изведена да се спречи да дође до саобраћајне незгоде. Ово се може постићи побољшањем конструкције возила у смислу лаког управљања, система кочења, побољшања решења за одржавање и др. Под пасивном сигурношћу односно унутрашњом сигурношћу подразумева се опрема возила са којом се ублажују последице незгоде. То се постиже одговарајућом конструкцијом каросерије која треба да буде таква да при судару апсорбује кинетичку енергију и исту разлаже тако да се деформације не простиру на кабину за путнике као и друга побољшања нпр: стакла, седишта, појасеви, аирбаг систем и др.

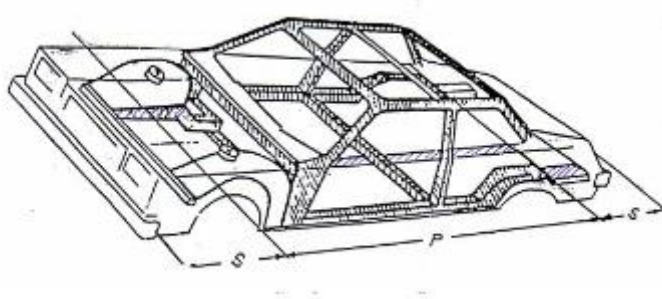
Један од важнијих задатака који је постављен пред конструктора самоносеће каросерије је конструктивно решење сигурносне ћелије за путнике. Пре другог светског рата већина путничких аутомобила се градило са јаком шасијом, а остала конструкција каросерије је била слаба. Један од разлога за ово је био и то што су просечне брзине кретања возила биле мале јер није била развијена путна мрежа. После рата напушта се тај тип конструкције и развија се самоносећа каросерија која је израђена од тањих челичних декапираних лимова ојачаним са

кутијастим профилима као носећих делова каросерије, а посебно кабине за путнике. Материјали поседују добру еластичност, добро апсорбују кинетичку енергију судара и имају добра својства да се гужвају без наглог ломљења или цепања те тако при директном судару од 50 km/sat не сме доћи до продирања мотора и других склопова до сигуросне ћелије односно иста мора остати неоштећена. Тако се самоносећа каросерија савремених путничких аутомобила састоји од примарних и секундарних носача и оплате која није заварена за каросерију, већ везана завртњима. У циљу смањења масе каросерије, а тиме и потрошње горива, у задње време, све више се употребљавају пластични материјали за облоге, блатобране, поклопце, а чак се и цела каросерија код ексклузивнијих аутомобила израђује од синтетичких (угљеничних) влакана.



Слика 21. Самоносећа карасерија

Конструкција самоносеће каросерије поред сигуросне ћелије за заштиту путника има и друге строге захтеве које мора да испуни и код поравке исте о томе вештак мора водити рачуна код одређивања начина поправке. Овде се мора знати да самоносећу каросерију чине оквир пода који претежно преузима силе, затим стубови, преградни носачи и бочни оквири са панелима и кровом.



Слика 22. Шема примарних (шрафирано) и секундарних носача

На шеми ознаке значе:

“ Р ” примарни носачи и ту спадају: Носачи главни уздужни и попречни, носачи осовина и вешања, носачи мотора и мењача, носач механизма за управљање, носачи елемената кочења, оквири врата, крова и стубови као и лежиште за уградњу куке за вучу.

“ S “ секундарни носачи и ту спадају: Носачи помоћни паралелно са уздужним и попречним примарним носачима, кућиште точка, предњи лим између примарних носача, блатобрани који се заварују и лимени делови који су помоћни носачи.

Оштећења на каросерији путничког аутомобила вештак мора да познаје и утврди степен оштећења на каросерији путничког аутомобила и то опише у налазу или записнику о оштећењу возила. Код првог прегледа возила оцењује укупан степен визуелног оштећења возила из незгоде и тако према стандарима HUK Verband извршена је класификација степена према дубини трагова пластичне деформације на лименим површинама каросерије. Ова оштећења су класифицирана на предња, задња и бочна оштећења у свему како је то приказано на следећим цртежима:

Шематски приказ степена оштећења на: предњем, бочном и задњем делу возила према HUK Verband:



Слика 23. Степен оштећења

Фотодукументација стварног оштећења предњег дела:



1- мало

2-средње

3- тешко

4-веома тешко

5-тотално

24. Класификација делимичних оштећења лимених делова каросерије

Код визуелног прегледа каросерије могу се уочити следећа оштећења лимених површина каросерије:

-Огреботине су трагови на каросерији чија ширина је већа од дубине и теку паралелно са правцем кретања оштећења, могу бити паралелне са коловозом, могу бити усмерене на ниже или таласасте, што указује какав је контакт био са другим предметом.

-Улубљења су такви трагови на оштећењу каросерије чија дубина је мања од ширине деформације. По облику може бити тачкаста(кратер), издужена(жљебаста) и др.,

-Гужвање лимене површине каросерије је таласасто борање лимене површине која настаје од силе чеоног притиска на лимену површину која је урам љења. Ова оштећења није препоручљиво поправљати из разлога што је веома тешко постићи прописану храпавост и стабилност за почетак лакирања.

-Кидање су лимени делови које су раздвојене површине што указује да је сила деловања на део била већа од затезне чврстоће материјала и ова оштећења се не поправљају на лименим површинама, већ се врши замена.

-Надувана површина су веће лимене површине које после деформације изгубе своју чврстоћу и постају лабилне познато под називом „федерирање“ као што је случај на поклопцима и блатобранима возила. Ове се површине могу укрућивати специјалним термичким поступцима.

ПОПРАВКА ОШТЕЋЕЊА НА КАРОСЕРИЈИ

Може се рећи да у свакој саобраћајној незгоди каросерија буде оштећена и зато је важно познавати врсте оштећења лимених површина и технолошки поступак поправке сагласно прописима произвођача возила и важећим правила струке. Обим и висину оштећења утврђује специјалиста, вештак или проценитељ који располажу стручношћу и искуством у тој области.

Поправка је условљена да буде обављена од стране овлашћеног сервиса који располаже одговарајућом опремом и оспособљеним стручњацима што је основни предуслов да ће поправка бити извршена по фабричким прописима и правилима струке, а возило доведено у беспрекорно стање уз одржавање чврстоће тела каросерије, одржавање саобраћајне и погонске сигурности и естетског изгледа.

Начини поправке лимених делова каросерије могу се отклонити следећи поступцима:

- Равнањем- масирањем на хладно, инфрацрвеним зрацима или конвенцио начином поправке.
- Делимичном заменом лименог дела ”делови дела” и
- Заменом оштећеног лименог дела.

Закључак

При судару два тела у овом случају возила, видело се да судар може бити потпуно пластичан или потпуно еластичан. Ово су у ствари гранични случајеви, који се јављају само у теорији, али то није случај у пракси. У пракси се углавном јавља трећи случај еласто пластичан судар. За прва два који се јављају само у теорији коефицијент реституције дефинисан је коначним вредностима које износе 1- за еластичан судар, и 0 -за пластичан судар.

Самим тим може се закључити да се у случају еласто-пластичног судара коефицијент реституције креће негде између претходно две наведене вредности. Као што је било могуће видети коефицијент реституције, иначе увек представља позитивну вредност, иако се у неким формулама за његово израчунавање јавља знак минус као знак испред бројних вредности. Првенствено се мисли на Њутнову формулу за израчунавање коефицијента реституције. У случају ове формуле коефицијент реституције је једнак односу одлазних и долазних брзина, односно брзина којима тела одлазе после судара и брзине којима прилазе пре судара.

Поменуте брзине су по природи супротних смерова једне од других, што би довело до негативне вредности приликом њиховог дељења. Преваходно томе поставља се знак минус на самом почетку како би довео до позитивне вредности коефицијента реституције, јер као што је већ речено он се може кретати у вредностима од $0 \div 1$, што значи да ни у ком случају не може бити негативан.

Иначе овај коефицијент представља меру еластичности судара, односно показује да ли ће се тела приликом судара одвојити једно од другог или не. Тако да су дефиниције коефицијента реституције логичне када се у њима поставља однос одређених компоненти. Под тиме се мисли на три дефиниције које су дате и то:

- Кинематска дефиниција коефицијента реституције
- Кинетичка дефиниција коефицијента реституције
- Енергетска дефиниција коефицијента реституције

Сама логичност састоји се у томе што компоненте чији се однос посматра представљају однос компонената под којим се возила одвајају једно од другог, и компонената под којима се возила спајају. Логика и принцип рада је исти, једино се од дефиниције до дефиниције разликује само да ли су у питању:

- Брзина
- Импулс
- Рад

Све до сада односило се на опште израчунавање коефицијента реституције различитим методама, и на самом крају још је показано принцип израчунавања приликом судара два возила, као и приликом удара возила у баријеру.

Коефицијент реституције представља бездимензионалну јединицу, која се прорачунава ради одређивања еластичности судара између два тела. Приликом судара возила коефицијент реституције описује колика количина енергије је утрошена на пластичну, а колика на еластичну деформацију возила.

Литература

1. Mr. Horwat's Science Pages, Интернет адреса:

<http://horwat.wicomico.wikispaces.net/file/view/Lab+18+-+Coefficient+of+restitution.pdf>

приступљено 15.10.2014.

2. Jackson Hole Scientific Investigations, Inc., Интернет адреса:

<http://www.jhscientific.com/downloads/CrushAndRestitution.pdf> ; приступљено 16.10.2014.

3. Cornell University Library, Интернет адреса:

<http://arxiv.org/vc/physics/papers/0601/0601168v1.pdf> ; приступљено 17.10.2014

4. Јанковић, А., Симић Д.: Безбедност аутомобила, Крагујевац, 1996.

5. W. J. Stronge, Impact Mechanics. Cambridge: Cambridge University Press, 2000.

6. Brach Raymond M. , R. Matthew Brach : Vehicle accident analysis and reconstruction methods, SAE R -311, 2005.

7. Cliff W. E., A. Moser: Reconstruction of twenty staged collisions with PC - crash's optimizer, SAE 2001-01-0507.

8. Limpert, R.: Motor vehicle accident reconstruction and cause analysis, Fifth Edition Lexis Publishing, 1999.

9. McHenry, R., McHenry B.: McHenry accident reconstruction, McHenry Software 2000.