

# SUDARI VOZILA CESTOVNOG PROMETA

*Stručni rad / Professional paper*

UDK 656.1.084

*U radu se obrađuju sudari vozila cestovnog prometa, odnosno nastoji se objasniti teorije sudara dvaju automobila uz primjenu osnovnih fizikalnih zakona pri sudaru dvaju tijela. Govori se o vrstama sudara (elastični i neelastični sudari, pravi i kosi), tehničkoj analizi sudara, određivanju puta sudara i brzinama vozila prilikom sudara. Prikazuju se različite mjere sigurnosti i jasne slike zaštite za sprječavanje i ublažavanje prometnih nezgoda.*

**Ključne riječi:** sudari, sudari cestovnih vozila, elastični i neelastični sudari, zakon očuvanja količine gibanja, zakon očuvanja energije.

## 1. Uvod

Mogućnost nastanka prometnih nezgoda u suvremenom prometu je vrlo velika zbog raznolikosti prometnog sustava i velikog broja sudionika u prometu. Prometna nezgoda može nastati sudarom vozila u vozilo, naletom vozila na pješaka ili zanošenjem vozila pri velikim brzinama kojima se kreću suvremena cestovna motorna vozila. Uz navedeno, prometna nesreća nastaje izljetanjem i prevrtanjem vozila.

Prilikom nastanka prometne nezgode potrebno je obaviti analizu te nezgode kako bi utvrdili uzrok nezgode ali i odgovornost sudionika te nezgode. Pri analizi prometne nezgode pokušava se objasniti što se dogodilo tijekom sudara, kako se dogodilo i gdje se dogodilo a pri tom se mora uzeti u obzir činjenice kao što su: kako su se sudarili automobili, gdje su se sudarili i kolike su bile brzine automobila.

U ovom radu pokušat će se objasniti teorije sudara dvaju automobila. Proučavanjem procesa sudara mogu se poduzeti različite mjere sigurnosti ali i prikazati jasna slika zaštite za sprječavanje ili ublažavanje prometnih nezgoda.

Govorit će se o vrstama sudara (elastični i neelastični sudari), podjeli na prave i kose, a zatim će se tehnički analizirati sudar kako bi se odredio put sudara, brzine vozila prilikom sudara te napisati odgovarajuće formule.

---

<sup>1</sup> Diplomant Veleučilišta u Šibeniku

<sup>2</sup> Veleučilište u Šibeniku

Suvremena cestovna vozila se kreću velikim brzinama dok moderne prometnice osiguravaju veću sigurnost prilikom vožnje. Ipak zbog različitih faktora na koje sudionik u prometu može i ne može utjecati dolazi do prometnih nezgoda koje stručnjaci različitim ispitivanjima i metodama pokušavaju spriječiti ili smanjiti.

Da bi se stanje u cestovnom prometu podiglo na veću razinu, društvo bi moralo stalno ulagati znatne napore u poboljšanje elemenata cestovnog prometnog sustava, a svi subjekti i sudionici u prometu bi trebali sustavno razvijati prometnu kulturu.

## 2. Vrste sudara

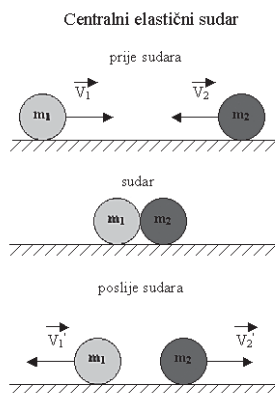
Do sudara dolazi kada dvije čestice (ili dva sustava čestica) međusobno djeluju približavajući se jedna drugoj i time promijene svoje gibanje. Sudar može biti savršeno elastičan i djelomično elastičan te savršeno neelastičan sudar. Kada se dvije elastične kuglice sudare pod djelovanjem impulsne sile, koja nastaje zbog njihovog međusobnog djelovanja, one se deformiraju. Nakon određenog vremena čestice se odvajaju i vraćaju u prvobitni oblik te se nastavljaju gibati ali promijenjenim brzinama.

### 2.1. Savršeno elastičan sudar

Elastični sudari su oni sudari u kojima je ukupna kinetička energija prije sudara jednaka kinetičkoj energiji poslije sudara odnosno nema gubitka energije. S obzirom na smjer gibanja čestica prije i poslije sudara elastični sudar može biti centralni i necentralni. Da bi sudar bio savršeno elastičan tijela bi morala biti ili savršeno kruta (da ne dođe do deformacije) ili savršeno elastična (da ne dolazi do gubitka energije). Pravi savršeno elastični sudari se događaju samo u mikrosvijetu (sudari molekula plina i sl.).

Na slici 1 prikazan je centralno savršeni elastični sudar dviju kuglica (njihove brzine leže na istom pravcu nosiocu koji prolazi kroz središte obiju kuglica). Dvije kuglice masa  $m_1$  i  $m_2$  brzina  $v_1$  i  $v_2$  se sudaraju elastično i na njih ne djeluju vanjske sile.

Slika 1. Prikaz centralno savršeno elastičnog sudara



Izvor: [www.dominis.phy.hr](http://www.dominis.phy.hr)

Zbog toga vrijedi zakon očuvanja količine gibanja:

$$m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = m_1 \vec{v}'_1 + m_2 \vec{v}'_2 \quad (1)$$

A budući da je sudar savršeno elastičan, ukupna kinetička energija prije sudara je jednaka ukupnoj kinetičkoj energiji poslije sudara:

$$\frac{m_1 \vec{v}_1^2}{2} + \frac{m_2 \vec{v}_2^2}{2} = \frac{m_1 \vec{v}'_1^2}{2} + \frac{m_2 \vec{v}'_2^2}{2} \quad (2)$$

Ako se jednadžba (2) preoblikuje dobiva se:

$$m_1 (\vec{v}_1^2 - \vec{v}'_1^2) = -m_2 (\vec{v}_2^2 - \vec{v}'_2^2) \quad (3)$$

Preuređivanjem jednadžbi (1) i (3) dobiva se izraz za relativnu brzinu prije sudara koja je jednaka po iznosu ali je suprotnog smjera od relativne brzine nakon sudara:

$$\vec{v}_1 - \vec{v}_2 = -(\vec{v}'_1 - \vec{v}'_2) \quad (4)$$

Pomoću jednadžbi (1) i (4) mogu se izračunati brzine poslije sudara  $\vec{v}'_1$  i  $\vec{v}'_2$  koje iznose:

$$\vec{v}'_1 = \frac{(m_1 - m_2)\vec{v}_1 + 2m_2\vec{v}_2}{m_1 + m_2} \quad (5)$$

$$\vec{v}'_2 = \frac{(m_2 - m_1)\vec{v}_2 + 2m_1\vec{v}_1}{m_1 + m_2} \quad (6)$$

Također postoje tri posebna slučaja kod savršeno elastičnih sudara, a to su:

1. kada su mase vozila jednake tada čestice jednostavno zamijene brzine. Ako druga kugla miruje tada poslije sudara prva kugla stane dok druga odleti brzinom koju je prije sudara imala prva kugla.
2. Kada savršeno elastična kugla udara vrlo veliku kuglu ili savršeno elastični zid, tada se kugla odbija jednakom brzinom kojom je i došla dok zid ne dobiva energiju jer kugla prilikom sudara ne mijenja energiju.
3. Kada vrlo velika kugla udari u kuglicu koja miruje, brzina joj se vrlo malo promijeni, dok lagana kuglica odleti brzinom dva puta većom od brzine udarne kuglice.

## 2.2. Savršeno neelastičan sudar

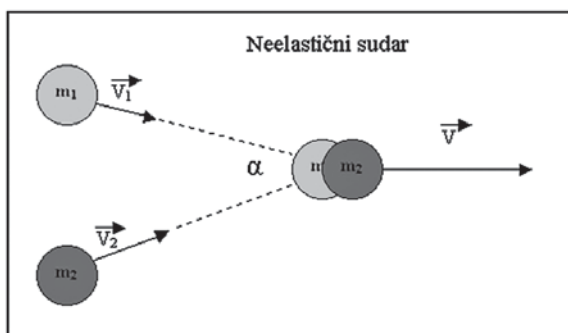
Neelastični sudari su oni sudari kod kojih dolazi do gubitka energije zbog različitih razloga (toplina, deformacije tijela i sl.). Pri savršeno neelastičnom sudaru nakon sudara se kugle deformiraju, slijepe jedna uz drugu i nastavljaju gibanje zajedničkom brzinom (slika 2.). Pri ovakvom sudaru kinetička energija nije očuvana jer se jedan njezin dio utroši na promjenu unutrašnje energije.

Pomoću zakona očuvanja količine gibanja dobiva se formulu za brzinu nakon sudara  $\vec{v}'$ :

$$m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = (m_1 + m_2) \vec{v}' \quad (7)$$

$$\vec{v}' = \frac{m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2}{m_1 + m_2} \quad (8)$$

Slika 2. Neelastičan sudar



Izvor: www.dominis.phy.hr

Ukupna kinetička energija prije sudara iznosi:

$$E_k = \frac{1}{2} m_1 v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2^2 \quad (9)$$

Dok je ukupna kinetička energija poslije sudara jednaka:

$$E_k' = \frac{1}{2} (m_1 + m_2) v'^2 \quad (10)$$

Razlika između konačne i početne kinetičke energije se označava sa  $Q$  a iznosi:

$$Q = -\frac{m_1 m_2}{2(m_1 + m_2)} (\vec{v}_1 - \vec{v}_2)^2 \quad (11)$$

Kao i kod savršeno elastičnog sudara tako i kod savršeno neelastičnog sudara postoje posebni slučajevi, a to su:

1. kada se sudare dvije kuglice jednake mase, brzina nakon sudara bit će jednaka polovici vektorskog zbroja brzina prije sudara.
2. Kada kuglica od gline padne na tlo, ondje i ostane. Kada se komad željeza na nakovnju udara čekićem, kinetička energija čekića se pretvara u energiju deformacije komada željeza i u unutrašnju energiju te se željezo zagrijava.

### 3. Koeficijenti prilikom sudara

Svaki sudar sastoji se od udara i djelomičnog odbijanja. Kako bi se opisala priroda sudara primjenjuju se tri koeficijenta. To su koeficijent uspostavljanja (restitucije)  $k$ , koeficijent punoće udarnog procesa  $k_p$  i koeficijent energetske gubitaka  $k_e$ .

Koeficijentom uspostavljanja  $k$  karakterizira se rasipanje mehaničke energije u procesu sudara na nepovratnu deformaciju tijela a koeficijent je dat izrazom:

$$k = \frac{v_2' - v_1'}{v_1 - v_2} \quad (12)$$

gdje je:

- $v'_1c$  - brzina prvog vozila nakon sudara,
- $v'_2c$  - brzina drugog vozila nakon sudara,
- $v_1$  - brzina prvog vozila prije sudara,
- $v_2$  - brzina drugog vozila prije sudara,
- $v$  - zajednička brzina vozila nakon sudara

Ako vrijedi  $v_1c = v_2c = v$  radi se o neelastičnom sudaru;  $k = 0$ . Sudar je potpuno elastičan ako je  $k = 1$ .

Eksperimentalno je dokazano da se kod osobnih vozila pri sudaru koeficijent restitucije kreće u rasponu  $k = 0,05 - 0,1$ , pa se stražnje centralni sudari mogu smatrati gotovo neelastičnima u području velikih iznosa izgubljenih brzina u procesu sudara.

Koeficijent punoće  $k_p$  može se definirati izrazom:

$$k_p = 1 + k \quad (13)$$

Maksimalne deformacije strukture vozila u sudaru nastaju kada je koeficijent punoće  $k_p = 1$ , tj. kad je koeficijent uspostavljanja jednak nuli (plastičan sudar).

Koeficijent energetskih gubitaka u udarnom procesu  $k_e$  definiran je izrazom:

$$k_e = 1 - (\pm k)^2 \quad (14)$$

Energetski gubici su najveći kad je  $k = 0$  (potpuno plastičan sudar). Neovisno o tome je li koeficijent uspostavljanja pozitivan ili negativan, pri sudaru dvaju vozila uvijek postoji gubitak energije.

#### 4. Analiza sudara

Gibanje vozila u veoma kratkom vremenskom intervalu pod djelovanjem određene sile pri čemu nastaju konačne promjene brzina naziva se sudarom ili udarom. Udarni procesi se dijele na dvije faze:

1. sudar (udar) - traje od trenutka kada se dva vozila dodirnu do trenutka najvećeg zbližavanja njihovih težišta;
2. odboj (kompresija, restitucija) - traje od trenutka najvećeg zbližavanja težišta vozila do razdvajanja tih vozila.

Pri sudaru dvaju automobila važno je odrediti mjesto prometne nezgode koje obuhvaća položaj mjesta sudara i položaj automobila nakon sudara, tragove klizanja njihovih kotača prije i nakon sudara i mjesto krhotina automobila. Mjesto sudara je dio ceste na kojem su se sudarila dva automobila. Tvrdom oznakom na površini ceste se fiksira mjesto sudara koje se određuje pomoću pouzdanih tragova na cesti ali i pomoću razbacanih dijelova automobila na cesti. Ulje i voda što isteknu na površinu ceste iz automobila se nalaze u blizini mjesta sudara te se ističu u pravcu na površini ceste. Prilikom određivanja mjesta sudara treba uzeti u obzir sve moguće čimbenike odnosno pouzdane tragove koji nam pomažu pri točnom određivanju mjesta sudara.

Vozila prilikom sudara ocrtavaju tragove na početku sudara, ali i na putu smirivanja (zaustavljanja) vozila. Valja napomenuti da vozila imaju različite brzine prije i poslije sudara (udara).

Uz pretpostavku da se vozila prije udara ne zakrenu vrijedi definicija da je linija sudara ravna crta koja prolazi kroz točku dodira dvaju vozila pri sudaru, akoja je usporedna s relativnim brzinama njihovih težišta na početku sudara. Linija sudara je pravac djelovanja sile između dvaju sudarenih automobila, a ovisi o smjerovima kretanja automobila i o njihovim brzinama. Nakon udara se vozila razdvajaju i odmiču na različite strane. Upravo iz tog razloga je nužno odrediti linije sudara svakog vozila jer uz pomoć linije sudara možemo bez problema odrediti položaj vozila prije sudara jer obje linije prije sudara moraju ležati na istom pravcu.

Prema liniji sudara, sudar dvaju automobila može biti pravi sudar i kosi sudar. Pravi sudari se dijele na:

1. čelnocentralni sudar - vozila se kreću točno jedan prema drugome i udaraju prednjim dijelovima;
2. čelnokutni sudar - vozila idu u susret jedan prema drugome ali ne udaraju cijelom čeonom površinom;
3. čelnobočni sudar - sudar dvaju vozila bočnim stranama;
4. stražnjecentralni sudar - brže stražnje vozilo nalijeće na vozilo ispred sebe;
5. stražnjekutni sudar - brže vozilo nalijeće na vozilo ispred sebe ali ne udara ga svom površinom;
6. stražnjebočni sudar - sudar dvaju vozila bočnim stranama (u istom smjeru gibanja);
7. centralnopravi sudar - udar osobnog vozila u mirujuće vozilo (linija udara prolazi kroz oba težišta);
8. ekscentričnopravi sudar - osobno vozilo udara u mirujuće (linija udara ne prolazi kroz težište mirujućeg automobila).

Kosi sudari se dijele na:

1. oštrokutni sudar,
2. pravokutni sudar,
3. tupokutni sudar.

Kosi sudari dvaju automobila su sudari kod kojih linija sudara nije paralelna s pravcima brzina automobila neposredno prije sudara već se one nalaze pod određenim kutom. Ovisno o veličini kuta dijele se na:

- oštrokutni sudar - sudar vozila pod oštrim kutom;
- pravokutni sudar - sudar vozila pod pravim kutom;
- tupokutni sudar - sudar vozila pod tupim kutom.

Kosi sudari su česti na križanjima ceste gdje je moguće da dolazi i do prevrtanja. Do prevrtanja ne dolazi pri brzinama manjim od  $60 \text{ km h}^{-1}$ . Najčešći sudari su oni kod kojih dolazi do prevrtanja samo jednog vozila.

## 5. Statistički podatci sudara vozila u Republici Hrvatskoj

U periodu od 2003. godine do 2012. godine u RH su se dogodile 574 000 prometnih nesreća. U njima je nastradalo 223 000 osoba (poginulih je 5590 osobe, teško je ozlijeđenih 40 000 osoba, a 177 000 osoba je lakše ozlijeđeno).

Bitni pokazatelji sigurnosti cestovnog prometa su broj poginulih osoba na 100 000 stanovnika, broj poginulih osoba na 100 000 vozila te broj poginulih osoba na 100 000 vozača. U posljednjem desetljeću porastao je broj registriranih vozača motornih vozila i broj registriranih motornih vozila a isto tako se smanjio broj prometnih nesreća i njihovih posljedica zahvaljujući poboljšanju kvalitete prometnica, primjenom Zakona osigurnosti prometa na cestama i primjenom i implementacijom Nacionalnog programa sigurnosti cestovnog prometa RH.

Prije svega treba spomenuti da su se kilometri autocesta u RH u posljednjih deset godina povećali za 104,0 %. Unatoč dugoročnom ulaganju u sigurnost i kvalitetu cestovnih prometnica broj poginulih u prometnim nesrećama u posljednjih 10 godina je znatno oscilirao. Tako se taj broj od 701 poginulih osoba u 2003. godini pao na 393 u 2012. godini što je najmanji broj poginulih u posljednjih četrdeset sedam godina.

Prometne nesreće i njihove posljedice izražene u relevantnim brojevima neznatno su veće od onih u najrazvijenijim zemljama Europske unije, no njihove su strukture gotovo identične što ukazuje na ujednačenost mjera pasivne sigurnosti a povećani opseg broja prometnih nesreća je rezultat razlika u cestovnoj infrastrukturi i prometnoj kulturi. Iako se broj poginulih i ozlijeđenih osoba u prometnim nesrećama u zadnjih 10 godina smanjio, stanje sigurnosti u prometu daleko je od idealnog. Prometni odgoj i obrazovanje je nužno provoditi od djetinjstva, kao i razvijanje prometne kulture.

Nacionalnim programom sigurnosti cestovnog prometa Republike Hrvatske 2011.–2020. nastoji se nastaviti pozitivan trend sigurnosti u prometu. Glavni cilj novog nacionalnog programa je smanjiti broj poginulih osoba do 2020. godine za 50 % u odnosu na 2010. godinu. Mjere kojima bi se do 2020. godine broj poginulih osoba trebao smanjiti na 213 provest će se na sljedećim poljima djelovanja: promjena ponašanja sudionika u prometu; bolja cestovna infrastruktura; sigurnija vozila; učinkovita medicinska skrb nakon prometnih nesreća i ostala područja djelovanja.

## 6. Zaključak

U ovom radu obrađeni su sudari vozila u cestovnom prometu. Pokušalo se pokazati u kojoj se mjeri fizika koristi pri sudaru vozila u teoriji gibanja vozila. Većina rada obrađena je sa fizičke strane primjenjujući fizikalne zakone pri sudaru motornih vozila u cestovnom prometu. No od samog procesa sudara puno su važniji ljudski životi koji se gube prilikom prometnih nesreća. Koliko god se iznosile činjenice i podatci vezani za sam proces odnosno fizičke zakone koji vrijede, čovjek je jedan od najvažnijih faktora koji utječe na sam sudar i njegove posljedice.

Da bi se postigli bolji rezultati te smanjio broj prometnih nesreća kao i osoba stradalih u prometu bitno je provoditi prometni odgoj i obrazovanje od djetinjstva kako bi se bolje poznavali uzroci nezgoda, načini povećanja sigurnosti i načina utjecaja na sudionike u prometu.

Od bitnih čimbenika za sigurnost prometa (sudionici, vozila i ceste), prometna kultura svih sudionika - a posebno vozača – najbrže može smanjiti tragične posljedice. Ona ne traži toliko financijskih sredstava, koliko svježije ideje te stalan i sustavan rad na njihovom promicanju.

Da bi se stanje sigurnosti u cestovnom prometu podiglo na višu razinu, društvo bi moralo stalno ulagati znatne napore u poboljšanje prometne infrastrukture, a svi mjerodavni subjekti i sudionici u prometu sustavno razvijati prometnu kulturu.

## LITERATURA

- 1) P. Kulišić, Mehanika i toplina, Školska knjiga, Zagreb, 2005..
- 2) F. Rotim, Elementi sigurnosti cestovnog prometa, svezak 3 (Sudari vozila) Zagreb, 1992.
- 3) F. Rotim i Z. Peran, Forenzika prometnih nesreća, svezak 1 (Cestovnoprometna sigurnost), Zagreb, 2011.
- 4) <http://www.stradaliuprometu.hr/sigurnost.php>
- 5) <http://www.hak.hr/sigurnost-u-prometu/>
- 6) Bilten o sigurnosti cestovnog prometa 2012., MUP Republike Hrvatske, Zagreb, 2013.

### *Summary*

#### **VEHICLE ROAD TRAFFIC COLLISIONS**

*In this work activity we are working on car crashes in road traffic, we are trying to explain the theory of a car crash by using the elemental physical laws when two bodies collide. It is spoken about the types of crashes (elastic and non-elastic, straight and leaning), the technical analysis of the crash, defining the direction of the crash and the speed of the vehicles during the crash. Different safety measures and clear pictures of safety criterions are shown.*

**Key words:** collisions, traffic vehicles crashes, elastic and non-elastic crashes, the law of energy conservation, the law of motion preserverence.