

METOD ZA ODREĐIVANJE BRZINA VOZILA U SLUČAJU CENTRALNOG ČEONOG SUDARA

METHOD FOR ESTIMATING VELOCITIES FOR DIRECT CENTRAL IMPACT OF VEHICLES

Radomir Mijailović¹; Milan Vujančić²; Milorad Cvijan³

Rezime: Kolike su stvarne brzine vozila u trenutku sudara? Prethodno pitanje predstavlja jedno od najznačajnijih pitanja u analizi saobraćajnih nezgoda. Usled toga u radu je razvijena metoda za određivanje brzina u trenutku sudara. Metoda je razvijena za slučaj plastičnog čeonog centralnog sudara dva vozila. Praktična primenljivost predložene metode dokazana je na numeričkom primeru sudara dva vozila.

KLJUČNE REČI: METOD, BRZINA, SUDAR.

Abstract: What are the actual impact velocities of two colliding vehicles? Previous question is one of the most important questions in accident analysis. Therefore, in this paper was developed method to determine impact velocities. This method is derived using the case of plastic direct central impact of two vehicles. Practical application of the suggested model is verified over numerical example in which impact of vehicles is analyzed.

KEY WORDS: METHOD, VELOCITY, IMPACT.

1 Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet, Beograd, radomirm@sf.bg.ac.rs

2 Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet, Beograd, vujanic@mail.com

3 Institut Sobracajnog fakulteta, Beograd

1. UVOD

Jedno od najčešćih i najznačajnijih pitanja sa kojima se veštak saobraćajno-tehničke struke susreće prilikom analize sudara vozila, odnosi se na utvrđivanje brzine vozila u trenutku sudara.

Da bi se mogla utvrditi brzina vozila, u trenutku sudara, neophodno je poznavati brzinu koja je izgubljena u sudaru, odnosno dela kinetičke energije koju je vozilo izgubilo u sudaru, kao i putanju i način kretanja vozila nakon sudara.

Spoljašnje sile koje deluju na vozilo, kao što su na primer vučna sila, sila vetra, sile otpora itd., su zanemarljivo male u odnosu na silu sudara, odnosno sila udara je nekoliko desetina puta veća od svih pobrojanih sila. Tako, na primer, gruba računica pokazuje da ako vozilo mase oko 1000 kg udara u barijeru brzinom od 50 km/h, srednja vrednost zaostale deformacije je oko 0,5 m, a srednje usporenje tokom udara je oko 20 g, dok je sila udara oko 20 t, što je mnogo veće od bilo koje obimne ili bočne sile na točku.

Pravilna analiza i tumačenje materijalnih dokaza (oštećenja vozila, tragova i zaustavnih položaja, povreda učesnika nezgode itd.), omogućava definisanje dinamike i toka sudara, odnosno mehanizma nastanka nezgode.

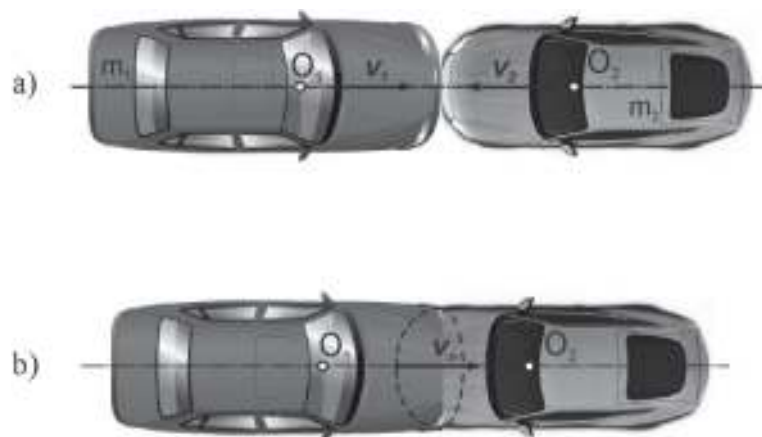
Veličina i karakter deformacija vozila predstavlja osnovni pokazatelj brzine izgubljene u sudaru. Međutim, ne smeju se zanemariti parametri koji utiču na deformaciono ponašanje vozila u sudaru, jer pored sudarne brzine na deformacije utiču i mase sudarenih vozila, položaj motora, raspored nosača karoserije, raspored lokalnih masa, deformacione karakteristike materijala od kojih je vozilo izgrađeno...

Za analizu u ovom radu uzet je centralni čeonni sudar koji se događa kada se vozila kreću jedan prema drugom, u susret, i sudaraju se prednjim delovima, a linija sudara prolazi kroz oba težišta vozila, a pravci brzina se nalaze na pravcu linije sudara. Doprinos ovog rada ogleda se u predloženoj metodi za određivanje brzina u trenutku sudara.

2. METODA

Za određivanje brzine vozila, odnosno izgubljene brzine u sudaru i nakon sudara, postoji veći broj različitih analitičkih i grafo-analitičkih metoda-modela koji se baziraju na teoretskim postavkama izvedenim iz zakona mehanike ili eksperimentalnim rezultatima. Primena postojećih metoda često je ograničena na pojedine tipove sudara ili je uslovljena detaljnijim poznavanjem deformacionih karakteristika vozila i drugih parametara, kao i preciznijim podacima prikupljenim tokom Uviđaja. S toga je primena postojećih metoda prilikom veštačenja saobraćajnih nezgoda ograničena. Najčešće pominjane i korišćene metode u priručnicima za saobraćajno-tehničko veštačenje su: zakon o količini kretanja, određivanje brzine vozila grafo-analitičkom metodom impulsnog dijagrama A.Slibara i EES metode (energetske metode i postupci pri analizi sudara vozila).

Centralni čeonni sudar (Slika 1) je onaj sudar koji se događa kada se vozila kreću jedan prema drugom, ususret, i sudaraju se prednjim delovima, a linija sudara prolazi kroz oba težišta vozila, a pravci brzina se nalaze na pravcu linije sudara. Ovi sudari nisu tako česti budući da ih vozači nastoje izbeći. U većini slučajeva, vozila su nakon završetka procesa sudara jedan pored drugoga, a mogu ostati na mestu sudara ako su njihove mase i brzine bile jednake. Ako mase i brzine nisu bile jednake, lakše vozilo ili ono koje se kretalo manjom brzinom biće odgurano unazad od mesta sudara. Eksperimentalno je utvrđeno da je koeficijent uspostavljanja (koeficijent restitucije) kod ovog tipa sudara reda veličine 0,05 do 0,1, pa je prema tome ovaj tip sudara približno plastičan, tako da uglavnom postoji jedna brzina nakon sudara, odnosno zajednička brzina, kao i zajedničko usporenje. S tim u vezi u daljem razmatranju uzeta je vrednost koeficijenta uspostavljanja $k=0$.



Slika 1. Centralni čeoní sudar vozila

Zajednička-ista brzina oba vozila nakon sudara (izlazna brzina brzina vozila iz sudara) može se računati prema izrazu:

$$v_n = \frac{m_1 \cdot v_1 - m_2 \cdot v_2}{m_1 + m_2} \quad (1)$$

gde je

m_1, m_2 – mase vozila "1" i "2", respektivno,

v_1, v_2 – brzine vozila "1" i "2" u trenutku sudara, respektivno.

Prethodna zajednička brzina može se izračunati i primenom izraza:

$$v_n = \sqrt{2 \cdot b \cdot S} \quad (2)$$

gde je

b – zajedničko usporenje vozila posle sudara,

S – put koji vozila pređu posle sudara.

Kinetička energija koje je vozilo "1" imalo u trenutku sudara može se izraziti u obliku:

$$E_{k1} = E_{k2} + E'_{k1} + E'_{k2} + A_{d1} + A_{d2} \quad (3)$$

gde je

E_{k2} – kinetička energija vozila "2" u trenutku sudara,

E'_{k1}, E'_{k2} – kinetička energija vozila "1" i "2" posle sudara, respektivno,

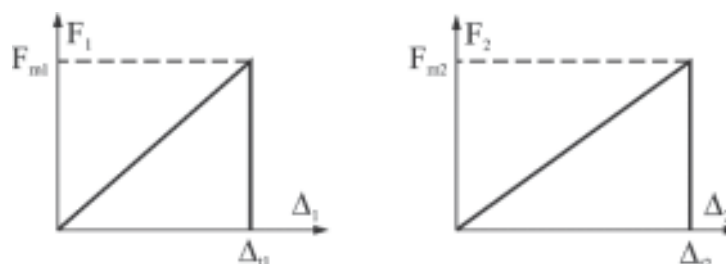
A_{d1}, A_{d2} – rad koji se troši na deformisanje vozila "1" i "2", respektivno.

Kinetičke energije vozila "1" i "2" u trenutku sudara su:

$$E_{k1} = \frac{m_1 \cdot v_1^2}{2}, E_{k2} = \frac{m_2 \cdot v_2^2}{2} \quad (4)$$

Kinetičke energije E'_{k1} i E'_{k2} omogućavaju vozilima "1" i "2" da od mesta sudara dođu u svoje zaustavne pozicije. One se izračunavaju primenom izraza:

$$E'_{k1} = \frac{m_1 \cdot v_n^2}{2}, E'_{k2} = \frac{m_2 \cdot v_n^2}{2} \quad (5)$$



Slika 2. Zavisnosti normalnih sila od deformacija

Rad koji se troši na deformisanje vozila "1" je oblika:

$$A_{d1} = \frac{F_{m1} \cdot \Delta_{t1}}{2} \quad (6)$$

Maksimalna sila koja se javlja prilikom deformisanja vozila "1" (Slika 2) zavisi od krutosti vozila i trajne deformacija "1":

$$F_{m1} = c_1 \cdot \Delta_{t1} \quad (7)$$

Korišćenjem izraza (6) i (7) izraz kojim se izračunava rad koji se troši na deformisanje vozila "1" dobija svoj konačan oblik:

$$A_{d1} = \frac{c_1 \cdot \Delta_{t1}^2}{2} \quad (8)$$

Na isti način dobija se i izraz kojim se izračunava rad koji se troši na deformisanje vozila "2"

$$A_{d2} = \frac{c_2 \cdot \Delta_{t2}^2}{2} \quad (8)$$

Krutosti vozila (c_1 , c_2) mogu se preuzeti iz kataloga, dok se trajne deformacije (Δ_{t1} , Δ_{t2}) mogu izmeriti nakon sudara.

Maksimalne sile koje se javljaju prilikom deformisanja vozila "1" i "2" međusobno su jednake:

$$F_{m1} = F_{m2} \quad (9)$$

Iz prethodne jednakosti sledi uslov koji je neophodno da ispune količnici krutosti i trajnih deformacija:

$$\frac{c_1}{c_2} = \frac{\Delta_{t,2}}{\Delta_{t,1}} \quad (10)$$

Analizom izraza (10) može se zaključiti da za primenu predložene metode je dovoljno poznavanje samo jedne od krutosti dva vozila. Kako se trajne deformacije (Δ_{t1} , Δ_{t2}) mogu izmeriti nakon sudara to se nepoznata krutost može izračunati primenom izraza (10).

Zamenom izraza (4) i (5) u izraz (3) dobija se:

$$\frac{m_1 \cdot v_1^2}{2} = \frac{m_1 \cdot v_2^2}{2} + \frac{(m_1 + m_2) \cdot v_n^2}{2} + A_{d1} + A_{d2} \quad (11)$$

U izrazu (11), kao i u izrazu (1) nalaze se dve nepoznate veličine, a to su brzine vozila u trenutku sudara (v_1 i v_2). Rešavanjem sistema jednačina (1) i (11) slede konačni izrazi kojima se izračunavaju brzine vozila "1" i "2" u trenutku sudara:

$$v_1 = \frac{-m_1 \cdot p \cdot v_n + \sqrt{m_1^2 \cdot p^2 \cdot v_n^2 + m_1 \cdot (m_2 - m_1) \cdot [p \cdot (m_1 + 2m_2) \cdot v_n^2 + 2m_2 \cdot A_d]}}{m_1 \cdot (m_2 - m_1)} \quad (12)$$

$$v_2 = \frac{m_1}{m_2} \cdot v_1 - \frac{p}{m_2} \cdot v_n$$

gde je

$$p = m_1 + m_2,$$

$$A_d = A_{d1} + A_{d2}.$$

3. NUMERIČKI PRIMER

Brzine vozila u trenutku sudara određuju se primenom izraza (12) uz neophodnost ispunjenja uslova (10). Posmatrajmo slučaj centralnog čeonog sudara vozila Volvo S40 i Suzuki Forenza: Neka su u analiziranoj saobraćajnoj nezgodi poznati sledeći podaci:

- smerovi brzina vozila Volvo, pre i posle sudara, su isti,
- smerovi brzina vozila Suzuki, pre i posle sudara, su suprotni,
- $b=3 \text{ m/s}^2$,
- $S=4 \text{ m}$,
- $c_1=980 \text{ kN/m}$, $c_2=870 \text{ kN/m}$,
- $\Delta_{t,1}=0,3 \text{ m}$, $\Delta_{t,1}=0,34 \text{ m}$

Primenom izraza (1) i (12) dobijaju se sledeće vrednosti brzina vozila u trenutku sudara i zajednička brzina vozila nakon sudara:

$$v_1=50,2 \text{ km/h}, v_2=18,1 \text{ km/h} \text{ i } v_n=17,6 \text{ km/h}$$

4. ZAKLJUČAK

U radu je razvijena metoda za određivanje brzina dva vozila u slučaju njihovog čeonog centralnog sudara. Eksperimentalno je utvrđeno da je koeficijent uspostavljanja kod ovog tipa sudara reda veličine 0,05 do 0,1, pa je prema tome ovaj tip sudara približno plastičan. Rukovođeni prethodnim zapažanjem u metodi je iskorišćena pretpostavka da je sudar plastičan. Poseban kvalitet metode ogleda se u jednostavnosti i praktičnosti njene primene.

5. LITERATURA

- [1] Cvijan, M. (2001). Poboljšana metoda za proračun brzine dva automobila u trenutku sudara, Zbornik radova sa savetovanja "Nauka u službi pravosuđa", Bečići-Budva
- [2] Cvijan, M. (2002). Poboljšana metoda za proračun brzine dva automobila u trenutku sudara kod zadnje centralnog sudara, Časopis "Vještak", Banja Luka
- [3] Dragač, R. (2000). Bezbednost drumskog saobraćaja III, Uviđaj i veštačenje saobraćajnih nezgoda, Beograd
- [4] Dragač, R., Vujanić, M. (2002). Bezbednost drumskog saobraćaja II, Saobraćajni Fakultet, Beograd
- [5] Janković, A., Simić, D. (1996). Vehicle safety, monograph, DSP-mecatronic, Kragujevac
- [6] Mijailović, R., Cvijan, M. (2014). Krutosti čeonog dela vozila kao funkcije trajnih deformacija, XIII Simpozijum "Veštačenje saobraćajnih nezgoda i prevare u osiguranju", str. 321-330
- [7] Rotim, F. (1992). Elementi sigurnosti cestovnog prometa, Sudari vozila, Svezak 3., Zagreb
- [8] Rotim, F., Peran, Z. (2011). Forenzika prometnih nesreća, Svezak 1, Zagreb
- [9] Vujanić M. i drugi (2000). Priručnik za saobraćajno-tehničko vještačenje i procjene šteta na vozilima, Banja Luka
- [10] Vujanić M. i drugi (2009). Priručnik za saobraćajno-tehničko veštačenje 2009, Beograd

