

POSTUPAK ODREĐIVANJA BRZINA VOZILA KOD SUDARA U RASKRSNICAMA

PROCEDURE OF DETERMINATING VEHICLES VELOCITIES WHEN COLLIDING AT INTERSECTIONS

Nenad Milutinović¹; Vladimir Erac²; Zoran Jelić³

Rezime: Pouzdano utvrđivanje sudarnih brzina i mesta sudara automobila čine osnovu za sprovođenje tačne prostorno-vremenske analize, koja omogućava pravilno sagledavanje okolnosti pod kojima se nezgoda dogodila i utvrđivanje propusta učesnika nezgode. Kod sudara vozila u raskrsnicama, gde se dešavaju najčešće bočni, ekscentrični sudari, a vozila imaju složeno kretanje (translaciju i rotaciju) problem računanja brzina se dodatno usložnjava. U praksi saobraćajno-tehničkog veštačenja mogu se sresti primeri koji upućuju na zaključak da veštaci ponekad dodatno uprošćavaju analitičke tehnike izostavljanjem pojedinih parametara i time dolaze do rezultata čija je tačnost diskutabilna. Iz tih razloga u radu je prikazan jedan od analitičkih postupaka rekonstrukcije sudara vozila u raskrsnicama, zasnovan na zakonu o održanju količine kretanja, s posebnim osvrtom na računanje sudarnih brzina vozila.

KLJUČNE REČI: SAOBRAĆAJNA NEZGODA, BRZINA, RASKRSNICA, ZAKON O ODRŽANJU KOLIČINE KRETANJA

Abstract: The reliable determination of collision velocities and car crash scenes are the basis for the implementation of accurate space and time analysis, which allows proper consideration of the circumstances under which the accident occurred and determines the failure of accident participants. When analyzing vehicle collision at intersections, where lateral eccentric collisions are the most frequent and vehicles have a complex movement (translation and rotation) problem of calculating velocity is additionally complicated. In practice of traffic and technical expertise we can meet examples which suggest that experts sometimes additionally simplify the analytical techniques omitting certain parameters and thus come to a result whose accuracy is questionable. For these reasons, this paper presents one of the analytical procedures of vehicle collision at intersections, based on the conservation of momentum movement law, with special reference to calculating the collision velocity of the vehicles.

KEY WORDS: TRAFFIC ACCIDENT EXPERTISE, VELOCITY, INTERSECTION, CONSERVATION OF LINEAR MOMENTUM

1 Visoka tehnička škola strukovnih studija, Kragujevac, nenadmilu@yahoo.com

2 Politehnička škola, Kragujevac, vladimirerac@yahoo.com

3 Politehnička škola, Kragujevac, jzoca2004@yahoo.com

1. UVOD

Prilikom proračuna sudarne brzine vozila može se dogoditi da jedan veštak odabere jedan od analitičkih metoda za proračun brzina vozila u sudaru, dok drugi veštak za proračun brzina može koristiti kompjuterske metode, pa da su u svakom od navedenih slučajeva dođu do različitih rezultata. U praksi saobraćajno-tehničkog veštačenja mogu se sresti primeri koji upućuju na zaključak da veštaci ponekad dodatno uprošćavaju analitičke tehnike izostavljanjem pojedinih parametara i time dolaze do rezultata čija je tačnost diskutabilna.

Svaki od metoda ima svoje prednosti i nedostatke odnosno ograničenja, pa su moguće i različite tačnosti dobijenih rezultata. Ovakve razlike je moguće smanjiti primenom više metoda i postupaka, ali od posebne važnosti jesu uslovi i način primene pojedinih metoda.

Iz navedenih razloga predmet ovog rada su sudari vozila, s posebnim osvrtom na one tipove sudara koji su karakteristični za sudare u raskrsnicama, kod kojih vozila imaju složeno kretanje (translaciju i rotaciju) i gde je problem računanja brzina još izraženiji. Cilj rada je da se ukaže na specifičnosti primene zakona o održanju količine kretanja u rekonstrukciji sudara vozila..

2. TEORETSKE OSNOVE ZAKONA O ODRŽANJU KOLIČINE KRETANJA

Po zakonu o održanju količine kretanja, zbir količina kretanja zatvorenog sistema je nepromenjen pa važi:

$$m_1 \cdot \vec{V}_1 + m_2 \cdot \vec{V}_2 = m_1 \cdot \vec{V}_3 + m_2 \cdot \vec{V}_4 \quad (2.1)$$

Gde su: m_1 , m_2 , mase vozila 1 i vozila 2, V_1 i V_2 sudarne brzine vozila 1 i vozila 2, a V_3 i V_4 , brzine nakon sudara vozila 1 i vozila 2.

Da bi smo primenili zakon o održanju količine kretanja mora se imati na umu da (Bartlett, 2005):

- Vreme trajanja sudara veoma kratko i t najčešće od 0,08 s do 0,12 s
- Trajanje kontakta je jednako za oba vozila koja učestvuju u sudaru
- Sila kojom vozilo 1 deluje na vozilo 2 jednaka je sili kojom vozilo 2 deluje na vozilo 1
- Spoljašnje sile koje deluju na točkovima i otpor vazduha su znatno manji od sila kojima vozila deluju jedno na drugo, pa se mogu zanemariti

3. PRIMENA ZAKONA O ODRŽANJU KOLIČINE KRETANJA ZA SUDARE U KOJIMA SU UČESTVOVALI AUTOMOBILI

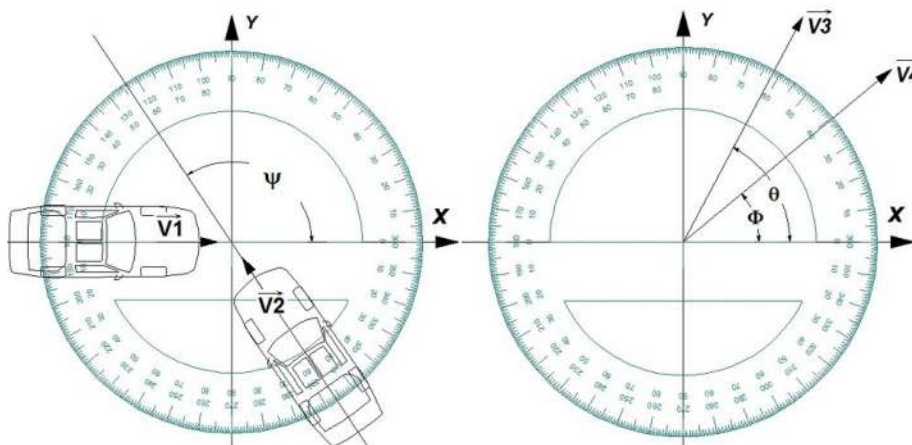
Za analizu je potrebno da se odredi mesto sudara i prilazni uglovi vozila koja su učestvovala u sudaru. Kada se utvrdi mesto sudara moguće je utvrditi puteve koje su težišta vozila 1 i vozila 2 prešla od sudara do zaustavljanja.

Uzimajući u obzir puteve koje su prešla težišta vozila, kao i stanje podloge po kojoj su se vozila kretala moguće je utvrditi izlazne brzine vozila iz sudara, po poznatim obrascima:

$$V_3 = \sqrt{2 \cdot b_1 \cdot S_1} \quad (2.2)$$

$$V_4 = \sqrt{2 \cdot b_2 \cdot S_2} \quad (2.3)$$

Gde su: b_1 -usporenje koje je vozilo 1 ostvarivalo na putu od sudara do zaustavljanja, b_2 -usporenje koje je vozilo 2 ostvarivalo na putu od sudara do zaustavljanja, S_1 - put koji je težište vozila 1 prešlo od sudara do zaustavljanja, S_2 - put koji je težište vozila 2 prešlo od sudara do zaustavljanja.



Slika 1. Određivanje uglova potrebnih za analizu

Brzina vozila 2 u trenutku sudara bila bi:

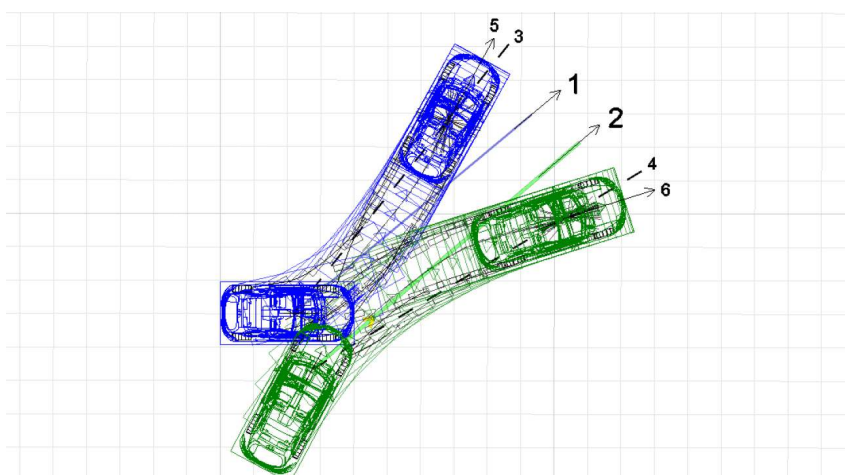
$$V_2 = \frac{m_1 \cdot V_3 \sin \theta}{m_2 \sin \psi} + \frac{V_4 \cdot \sin \phi}{\sin \psi} \quad (3.1)$$

Brzina vozila 1 u trenutku sudara bila bi:

$$V_1 = \frac{V_3 \cdot \cos \theta}{\cos \alpha} + \frac{m_2 \cdot V_4 \cdot \cos \phi}{m_1 \cdot \cos \alpha} - \frac{m_2 \cdot V_2 \cdot \cos \psi}{m_1 \cdot \cos \alpha} \quad (3.2)$$

Gde je: prilazni ugao vozila 1 (radi lakše orijentacije uzima se da je, kao reperna vrednost), ψ ugao između uzdužnih osa vozila u trenutku sudara tj. vektora njihovih sudarnih brzina, θ ugao između vektora brzine vozila 1 nakon sudara i X ose, ugao između vektora brzine vozila 2 nakon sudara i X ose.

Posebno treba obratiti pažnju na uglove θ i ψ , koji predstavljaju tzv. uglove razdvajanja vozila i odnose se na ugao kojim se definiše položaj vektora brzine vozila nakon sudara, a ne podužna osa vozila ili ugao za koji je vozilo zarotirano nakon sudara. Pravilno određivanje uglova nakon sudara predstavljeno je na slici 3, na kojoj su pozicijama 1 i 2 označeni pravilno određeni uglovi razdvajanja, a pozicijama 3, 4, 5 i 6 netačni uglovi (koji se nekada u praksi pogrešno poistovećuju).



Slika 2. Određivanje uglova nakon sudara

Intenzitet promena brzine (težišta) vozila (ΔV) za vreme sudara možemo odrediti na osnovu sledećih izraza:

$$\Delta V_1 = \sqrt{(V_1)^2 + (V_3)^2 - 2 \cdot V_1 \cdot V_3 \cdot \cos(\theta - \alpha)} \quad (3.3)$$

$$\ddot{A}V_2 = \sqrt{(V_2)^2 + (V_4)^2 - 2 \cdot V_2 \cdot V_4 \cdot \cos(\psi - \phi)} \quad (3.4)$$

Zakon o održanju količine kretanja može se primeniti i kod kolinearnih sudara kada je jedno vozilo zaustavljeno, a drugo se kreće pa bi tada brzina vozila 1 u trenutku sudara mogla da se izračuna po obrascu:

$$V_1 = \frac{(m_1 + m_2)}{m_1} \cdot V_3 \quad (3.5)$$

Ukoliko se oba vozila kreću jedno prema drugom tada bi se po zakonu o održanju količine kretanja brzina vozila 1 mogla izračunati po obrascu:

$$V_1 = V_3 + \frac{m_2}{m_1} \cdot V_4 + \frac{m_2}{m_1} \cdot V_2 \quad (3.6)$$

Dok bi brzina vozila 2 u trenutku sudara bila:

$$V_2 = \frac{m_1}{m_2} \cdot V_1 - V_4 - \frac{m_1}{m_2} \cdot V_3 \quad (3.7)$$

U anglosaksonskoj literaturi (Day, 1987), česta je podela sudara na kolinearne i kose. Pri čemu se kolinearnim sudarima nazivaju oni sudari kod kojih je ugao između vektora sudarnih brzina vozila manji od 10° , a ako je ovaj ugao veći od 10° onda se radi o kosom sudaru. Neki autori kao graničnu vrednost navode i 20° .

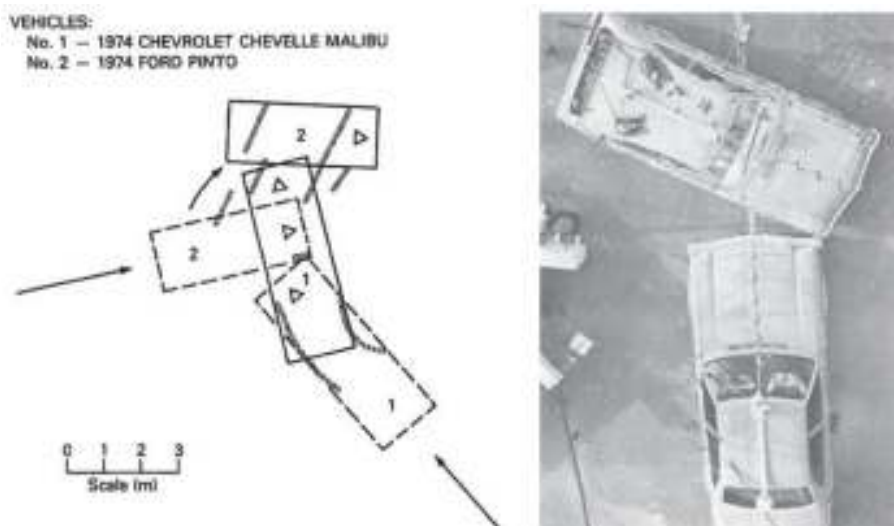
Ukoliko je došlo do kolinearnog sudara u kome su vozila nakon sudara nastavila kretanje pod određenim uglovima tada bi brzina vozila 1 u trenutku sudara bila:

$$V_1 = V_3 \cdot \cos \theta + \frac{m_2 \cdot V_4}{m_1} \cdot \cos \phi + \frac{m_2}{m_1} \cdot V_2 \quad (3.8)$$

4. PRIMER UPOTREBE ZAKONA O ODRŽANJU KOLIČINE KRETANJA KOD SUDARA AUTOMOBILA

Na primeru RICSAC testa u kome su korišćena vozila poznatih masa i u kome su dobijene vrednosti realnih sudarnih brzina pokazaćemo pogodnost korišćenja zakona o održanju količine kretanja za određivanje sudarnih brzina.

U ovom RICSAC testu korišćena su vozila FORD Pinto iz 1974 i CHEVROLET Chavelle Malibu iz 1974. Masa vozila FORD bila je 1411kg, a masa vozila CHEVROLET 2109kg. Sudarne brzine vozila su poznate i iznosile su po 31,7 km/h (Smith, 1980).



Slika 3. Sudarni položaj vozila u RICRAC testu (Smith, 1980)

Uzimajući u obzir podatke sa situacionog plana ove nezgode izvršili smo analizu korišćenjem zakona o održanju količine kretanja i dobili sledeće rezultate:

Izlazna brzina iz sudara vozila FORD bila bi:

$$V_3 = \sqrt{2 \cdot b_1 \cdot S_1} = \sqrt{2 \cdot 4,2 \cdot 3,7} = 5,58 \frac{m}{s} = 20,08 \frac{km}{h} \quad (4.1)$$

Izlazna brzina iz sudara vozila CHEVROLET bila bi:

$$V_4 = \sqrt{2 \cdot b_2 \cdot S_2} = \sqrt{2 \cdot 4,2 \cdot 2,7} = 4,76 \frac{m}{s} = 17,13 \frac{km}{h} \quad (4.2)$$

Sudarna brzina vozila CHEVROLET, izračunata primenom zakona o održanju količine kretanja bila bi:

$$V_2 = \frac{m_1 \cdot V_3 \sin \theta + V_4 \cdot \sin \phi}{m_2 \sin \psi} = \frac{1411 \cdot 5,58 \cdot \sin(55) + 2109 \cdot 4,76 \cdot \sin(95)}{2109 \cdot \sin(118)} = 8,83 \frac{m}{s} \quad (4.3)$$

$$V_2 = 31,79 \frac{km}{h} \quad (4.4)$$

Sudarna brzina vozila FORD, izračunata primenom zakona o održanju količine kretanja bila bi:

$$V_1 = \frac{V_3 \cdot \cos \theta + \frac{m_2 \cdot V_4 \cdot \cos \phi}{m_1 \cdot \cos \alpha} - \frac{m_2 \cdot V_2 \cdot \cos \psi}{m_1 \cdot \cos \alpha}}{\cos \alpha} \quad (4.5)$$

$$V_1 = \frac{1141 \cdot 5,58 \cdot \cos(55) + 2109 \cdot 4,76 \cdot \cos(95) - 2109 \cdot 8,83 \cdot \cos(118)}{1411} \quad (4.6)$$

$$V_1 = 8,78 \frac{m}{s} = 31,59 \frac{km}{h} \quad (4.7)$$

Intenzitet promena brzine (težišta) vozila FORD (ΔV_1) bio bi:

$$\Delta V_1 = \sqrt{(V_1)^2 + (V_3)^2 - 2 \cdot V_1 \cdot V_3 \cdot \cos(\theta - \alpha)} \quad (4.8)$$

$$\Delta V_1 = \sqrt{31,59^2 + 20,08^2 - 2 \cdot 31,59 \cdot 20,08 \cdot \cos(55)} \quad (4.9)$$

$$\Delta V_1 = 25,95 \frac{km}{h} \quad (4.10)$$

Intenzitet promena brzine (težišta) vozila CHEVROLET (ΔV_2) bio bi:

$$\Delta V_2 = \sqrt{(V_2)^2 + (V_4)^2 - 2 \cdot V_2 \cdot V_4 \cdot \cos(\psi - \phi)} \quad (4.11)$$

$$\Delta V_2 = \sqrt{31,79^2 + 17,13^2 - 2 \cdot 31,79 \cdot 17,13 \cdot \cos(118 - 95)} \quad (4.12)$$

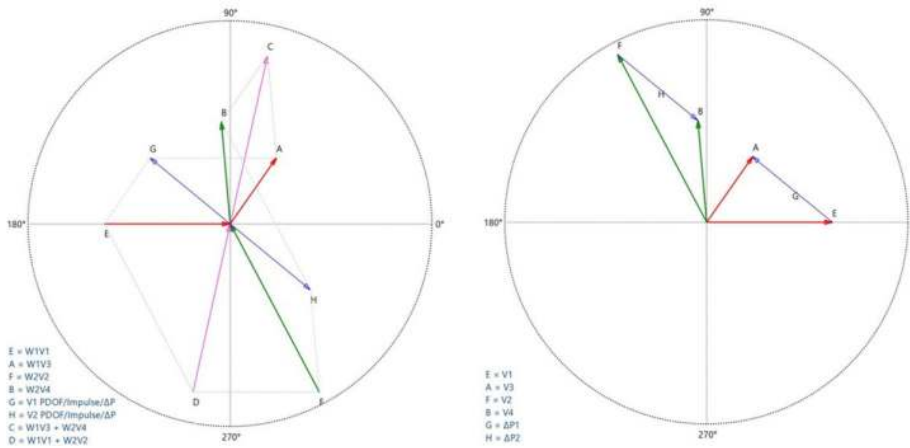
$$\Delta V_2 = 17,36 \frac{km}{h} \quad (4.13)$$

Impuls

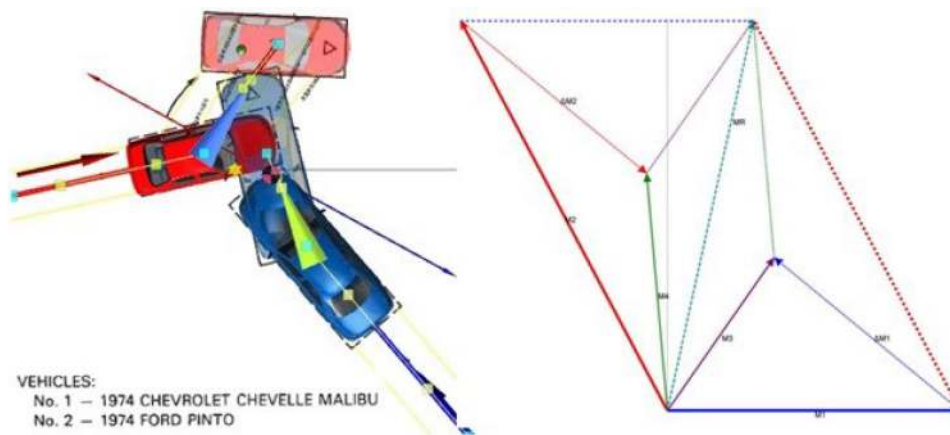
$$p_1 = -1 \cdot \sin^{-1} \left(\frac{V_3 \cdot \sin(-\theta)}{\Delta V_1} \right) = -1 \cdot \sin^{-1} \left(\frac{20,08 \cdot \sin(-55)}{25,95} \right) = 39,33^\circ \quad (4.14)$$

$$p_2 = -1 \cdot \sin^{-1} \left(\frac{V_4 \cdot \sin(\psi - \phi)}{\Delta V_2} \right) = -1 \cdot \sin^{-1} \left(\frac{17,13 \cdot \sin(118 - 95)}{17,36} \right) = 22,68^\circ \quad (4.15)$$

Predstavljanje rezultata grafički moguće je na više načina, a kao što je to predstavljeno na sledećim slikama.



Slika 4. Grafičko predstavljanje zakona o održanju količine kretanja



Slika 5. Grafički prikaz primene zakona o održanju količine kretanja

Za slučajeve kada se uglovi neposredno nakon sudara i ugao između vozila u trenutku sudara mogu samo približno odrediti, lako se mogu varirati pojedini ulazni parametri i videti kako to utiče na sudarne brzine, a to je najjednostavnije učiniti primenom programa RecForms.

Wt 1	Wt 2	DSpd1	DSpd2	AAng2	DAng1	DAng2	ASpd1	ASpd2
1411 kg	2109 kg	20 km	17 km	115 deg	55 deg	95 deg	28.8 km	31.0 km
1411 kg	2109 kg	20 km	17 km	116 deg	55 deg	95 deg	29.7 km	31.2 km
1411 kg	2109 kg	20 km	17 km	117 deg	55 deg	95 deg	30.7 km	31.5 km
1411 kg	2109 kg	20 km	17 km	118 deg	55 deg	95 deg	31.6 km	31.8 km
1411 kg	2109 kg	20 km	17 km	119 deg	55 deg	95 deg	32.5 km	32.1 km
1411 kg	2109 kg	20 km	17 km	120 deg	55 deg	95 deg	33.5 km	32.4 km

Wt 1	Wt 2	DSpd1	DSpd2	AAng2	DAng1	DAng2	ASpd1	ASpd2
1411 kg	2109 kg	20 km	17 km	118 deg	52 deg	95 deg	32.1 km	31.3 km
1411 kg	2109 kg	20 km	17 km	118 deg	53 deg	95 deg	31.9 km	31.5 km
1411 kg	2109 kg	20 km	17 km	118 deg	54 deg	95 deg	31.8 km	31.6 km
1411 kg	2109 kg	20 km	17 km	118 deg	55 deg	95 deg	31.6 km	31.8 km
1411 kg	2109 kg	20 km	17 km	118 deg	56 deg	95 deg	31.4 km	31.9 km
1411 kg	2109 kg	20 km	17 km	118 deg	57 deg	95 deg	31.2 km	32.1 km
1411 kg	2109 kg	20 km	17 km	118 deg	58 deg	95 deg	31.0 km	32.2 km
1411 kg	2109 kg	20 km	17 km	118 deg	59 deg	95 deg	30.8 km	32.4 km
1411 kg	2109 kg	20 km	17 km	118 deg	60 deg	95 deg	30.6 km	32.5 km

Wt 1	Wt 2	DSpd1	DSpd2	AAng2	DAng1	DAng2	ASpd1	ASpd2
1411 kg	2109 kg	20 km	17 km	118 deg	55 deg	90 deg	33.9 km	31.9 km
1411 kg	2109 kg	20 km	17 km	118 deg	55 deg	91 deg	33.4 km	31.9 km
1411 kg	2109 kg	20 km	17 km	118 deg	55 deg	92 deg	33.0 km	31.9 km
1411 kg	2109 kg	20 km	17 km	118 deg	55 deg	93 deg	32.5 km	31.8 km
1411 kg	2109 kg	20 km	17 km	118 deg	55 deg	94 deg	32.1 km	31.8 km
1411 kg	2109 kg	20 km	17 km	118 deg	55 deg	95 deg	31.6 km	31.8 km
1411 kg	2109 kg	20 km	17 km	118 deg	55 deg	96 deg	31.1 km	31.8 km

App Angle 2
App Angle 2 degrees
From
To
Increments

Dep Angle 1
 Dep Angle 2

Dep Angle 1 degrees
From
To
Increments

Dep Angle 1
 Dep Angle 2

Dep Angle 2 degrees
From
To
Increments

Weight 1
 Weight 2
 Dep Spd 1
 Dep Spd 2

App Angle 2
 Dep Angle 1
 Dep Angle 2

Dep Angle 2 degrees
From
To
Increments

Slika 6. Analiza senzitivnosti

Na slici je prikazano variranje uglova koji se koriste za analizu sudara, a koji su približni onima koji su korišćeni za analizu predmetnog RICSAC testa. Pored variranja uglova, moguće je variranje i izlaznih brzina iz sudara, kao i masa vozila.

5. PRIMENA ZAKONA O ODRŽANJU KOLIČINE KRETANJA ZA SUDARE U KOJIMA JE UČESTVOVAO MOTOCIKL

Primenjujući zakon o održanju količine kretanja, kod ovih nezgoda treba imati u vidu da se impulsna jednakost motocikla i motocikliste pre sudara, neposredno posle sudara razlaže na dva dela. Kada postoji i suvozač to razdvajanje se vrši u tri dela i to različitim brzinama i po različitim putanjama. Zato se kod istraživanja ovih saobraćajnih nezgoda primenjuju ovi zakoni prema sledećem izrazu:

$$m_1 \cdot \vec{V}_1 + (m_2 + m_3) \cdot \vec{V}_2 = m_1 \cdot \vec{V}_3 + m_2 \cdot \vec{V}_4 + m_3 \cdot \vec{V}_5 \quad (5.1)$$

Gde su: m_1 , m_2 , m_3 , mase automobila, motocikla i motocikliste, V_1 i V_2 sudarne brzine automobila i motocikla, V_3 , V_4 i V_5 , brzine nakon sudara automobila, motocikla i motocikliste, respektivno.

Ako se koordinatni sistem postavi tako da apscisa odgovara pravcu vektora sudarne brzine automobila i prethodna jednačina projektuje na ordinatu, dobija se brzina motocikla na sledeći način:

$$V_2 = \frac{m_1 \cdot V_3 \cdot \sin \theta + m_2 \cdot V_4 \cdot \sin \psi + m_3 \cdot V_5 \cdot \sin \gamma}{(m_2 + m_3) \cdot \sin \psi} \quad (5.2)$$

Gde je: ψ ugao između uzdužnih osa vozila u trenutku sudara tj. vektora njihovih sudarnih brzina, θ ugao između vektora sudarne brzine automobila i vektora brzine automobila nakon sudara, Φ ugao između vektora sudarne brzine automobila i vektora brzine motocikla nakon sudara, γ ugao između vektora sudarne brzine automobila i vektora brzine motocikliste nakon sudara.

Sudarna brzina automobila može se izračunati na osnovu sudarne brzine motocikla, prema sledećem izrazu:

$$V_1 = \frac{m_2 \cdot V_4 \cdot \cos \phi + m_3 \cdot V_5 \cdot \cos \gamma - (m_2 + m_3) \cdot V_2 \cdot \cos \psi}{m_1} \quad V_3 \cos \theta \quad (5.3)$$

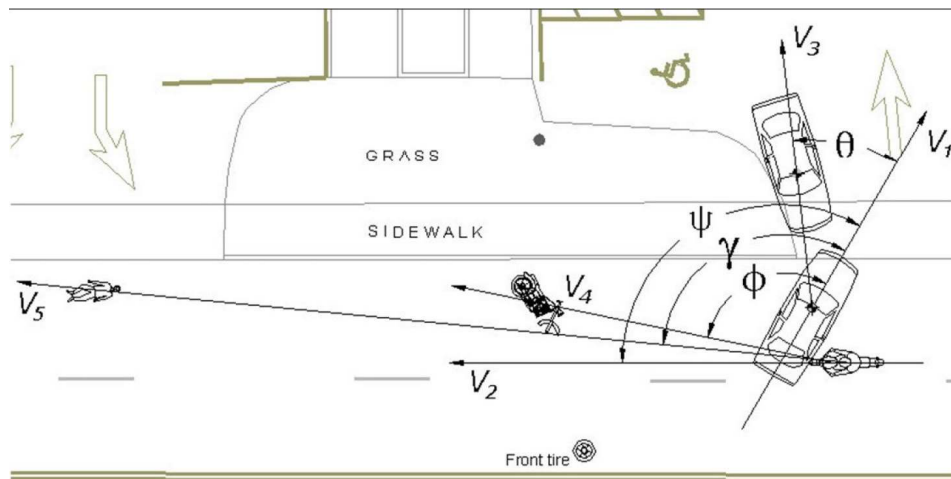
6. PRIMER UPOTREBE ZAKONA O ODRŽANJU KOLIČINE KRETANJA KOD SUDARA U KOJIMA JE UČESTVOVAO MOTOCIKL

U cilju sprovođenja uporedne analize, korišćena je realna saobraćajna nezgoda – nalet motocikla *Harley Davidson* na zadnji desni bok automobila *Ford Probe* koji je skretao ulevo na parking. Nezgoda je karakteristična po tome što je mesto kontakta jasno definisano i u podužnom i u poprečnom pravcu. Osim toga, poznate su i zaustavne pozicije oba učesnika nezgode, uključujući i položaj tela motocikliste.



Slika 7. Zaustavne pozicije vozila i oštećenja na automobilu (Bruce, 2002)

Na osnovu analize oštećenja na automobilu *Ford Probe* i motociklu *Harley Davidson* zaključeno je da je primarni kontakt ostvaren između prednjeg točka motocikla i zadnjeg desnog blatobrana automobila u visini točka odnosno zadnje osovine automobila. Nakon toga došlo je do kidanja prednjeg točka na motociklu, kontakta tela motocikliste sa automobilom, njegovog prebacivanja preko prtljažnika, leta i suljanja po kolovozu do zaustavne pozicije u dužini od oko 18m. Motocikl je zarotiran u smeru kretanja kazaljke na satu i oboren desnim bokom klizao do zaustavne pozicije na putu dužine od 10,6m. Automobil je u zaustavnu poziciju dospeo tako što je zarotiran u smeru kretanja kazaljke na satu prešavši put dužine od 5,2m.



Slika 8. Skica mesta saobraćajne nezgode sa odgovarajućim uglovima i vektorima brzina (Bruce, 2002)

Na osnovu dužina odgovarajućih puteva klizanja motocikla, tela motocikliste i automobila, kao i odgovarajućih usporenja, mogu se izračunati njihove brzine nakon sudra.

Brzina motocikla nakon sudara:

$$V_4 = \sqrt{2 \cdot b_{kl} \cdot S_{kl}} = \sqrt{2 \cdot 3,7 \cdot 10,6} = 8,86 \frac{m}{s} = 31,88 \frac{km}{h} \quad (6.1)$$

Brzina motocikliste nakon sudara:

$$V_5 = \sqrt{2 \cdot b_{kl} \cdot S_{kl}} = \sqrt{2 \cdot 7 \cdot 18} = 15,87 \frac{m}{s} = 57,15 \frac{km}{h} \quad (6.2)$$

Brzina automobila nakon sudara:

$$V_3 = \sqrt{2 \cdot b \cdot S_{sz}} = \sqrt{2 \cdot 3 \cdot 5,2} = 5,58 \frac{m}{s} = 20,1 \frac{km}{h} \quad (6.3)$$

Sudarne brzine vozila mogu se izračunati primenom zakona o održanju količine kretanja i to:

Sudarna brzina motocikla:

$$V_2 = \frac{m_1 \cdot V_3 \cdot \sin \theta + m_2 \cdot V_4 \cdot \sin \psi + m_3 \cdot V_5 \cdot \sin \gamma}{(m_2 + m_3) \cdot \sin \psi} \quad (6.4)$$

$$V_2 = \frac{1256,5 \cdot 5,58 \cdot \sin 36 + 287,1 \cdot 8,86 \cdot \sin 108 + 93,4 \cdot 15,87 \cdot \sin 115}{(287,1 + 93,4) \cdot \sin 120} \quad (6.5)$$

$$V_2 = 24,27 \frac{m}{s} \text{ ili } 87,37 \frac{km}{h} \quad (6.6)$$

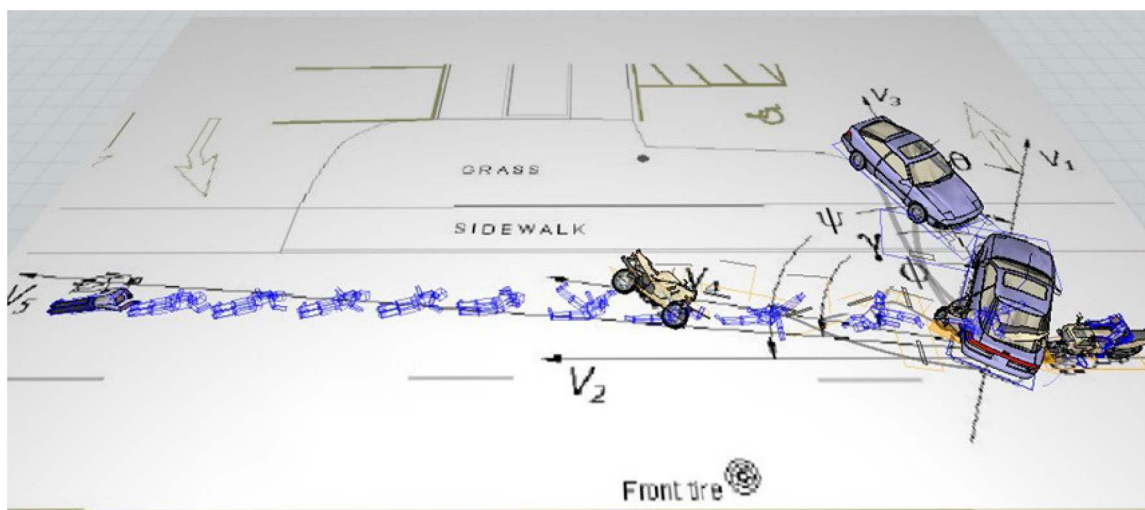
Sudarna brzina automobila:

$$V_1 = \frac{m_2 \cdot V_4 \cdot \cos \phi + m_3 \cdot V_5 \cdot \cos \gamma - (m_2 + m_3) \cdot V_2 \cdot \cos \psi}{m_1} \quad V_3 \cos \theta \quad (6.7)$$

$$V_1 = 5,58 \cdot \cos 36 + \frac{278,1 \cdot 8,86 \cdot \cos 108 + 93,4 \cdot 15,87 \cdot \cos 115 - (278,1 + 93,4) \cdot 24,27 \cdot \cos 120}{1256,5} \quad (6.8)$$

$$V_1 = 6,99 \frac{m}{s} \quad \text{ili} \quad 25,19 \frac{km}{h} \quad (6.9)$$

Radi kontrole dobijenih rezultata, sprovedena je kompjuterska simulacija ove saobraćajne nezgode. Na osnovu oštećenja na vozilu, brzina dobijenih računskom analizom, prethodno utvrđenih pravaca kretanja vozila i zaustavnih pozicija automobila, motocikla i motocikliste najbolji rezultat dobijen je kao što je to prikazano na sledećoj slici.



Slika 9. Grafički rezultati kompjuterske simulacije sudara Ford Probe i Harley Davidson

Sudarna brzina za *Ford Probe* iznosila bi 24,37 km/h, a za motocikl *Harley Davidson* 87,37 km/h, što odgovara i brzinama dobijenim primenom zakona o održanju količine kretanja.

7. DISKUSIJA

Zakon o održanju količine kretanja može se primenjivati uvek, ali u nekim situacijama rezultati postaju veoma osetljivi, za svaku promenu. Te situacije su:

- Kada se brzine i uglovi nakon sudara mogu samo pretpostaviti, a ne i tačno utvrditi
- Kada je ugao koji zaklapaju uzdužne ose vozila koje učestvuju u sudaru manji od 20°.
- Kada je razlika u masi dva vozila koja učestvuju u sudaru veća od četiri puta
- Kada se vozila samo bočno dodiruju i nema međusobnog preklopa

Proračuni impulsa koji se koriste u mnogim od ovih programa pretpostavljaju da se sudar odvija u prvom kvadrantu tj. sva merenja su pozitivna. Ova pretpostavka stavlja restrikciju na koordinatni sistem i može da dovede do grešaka za neke konfiguracije sudara. Uz to, jednačine nisu validne za kolinearne sudare i postaju izuzetno osetljive za približno kolinearne sudare. Korisnik mora da bude siguran da su jednačine koje program koristi validne za određenu konfiguraciju sudara koja se analizira.

Primena zakona o održanju količine kretanja za sudare u kojima su učestvovali motocikl i automobil, je veoma često ograničena jer nakon sudara dolazi do razdvajanja vozača i motocikla, a u mnogim slučajevima se u uviđajnoj dokumentaciji ne nalaze podaci o zaustavnom položaju vozača motocikla, a prilikom primene prikazane metode treba imati u vidu da se impulsna jednakost motocikla i motocikliste pre sudar, neposredno posle sudara razlaže na dva dela.

8. ZAKLJUČAK

Praktična primena zakona o održanju količine kretanja u rekonstrukciji sudara vozila znatno je olakšana u poslednje vreme kroz kompjuterske programe namenjene rekonstrukciji saobraćajnih nezgoda u odnosu na period od pre nekoliko godina kada je grafička primena ove metode zahtevala ručna crtanja ili pomoću programa koji nisu namenjeni rekonstrukciji sudara vozila. Iako se na ovim područjima najviše koriste kompjuterski programi za simulaciju saobraćajnih nezgoda impulsnog tipa (PC-CRASH, Virtual CRASH), klasična primena zakona o održanju količine kretanja u rekonstrukciji sudara vozila ne odnosi se na njih, već na programe koji služe kompjuterskoj analizi sudara vozila u pogledu rekonstrukcije. Programi koji su korišćeni u rekonstrukciji pojedinih primera sudara vozila u ovom radu, a na koje autori upućuju čitaoce ovog rada i ohrabruju da ove programe primenjuju u praksi saobraćajno-tehničkog veštačenja su RecForms, ARAS 360 HD, REC-TEC, Crash Zone, pri čemu prilikom njihove upotrebe moraju imati na umu specifičnosti i ograničenja ove metode, na koje je ukazano u radu.

9. LITERATURA

- [1] Bartlett, W.: *Conservation of Linear Momentum (COLM)*, Pennsylvania State Police Annual Reconstruction Conference, 2005.
- [2] Bruce F. McNally: *Motorcycle Speed Estimates Using Conservation of Linear and Rotational Momentum*, ACTAR McNally and Associates Accident Reconstruction Services, ACTAR Mechanical Forensics Engineering Services, 2002.
- [3] Day, T.D. and Harqens, R.L. *An Overview of the Way EDCRASH Computes Delta-V*, SAE 870045, Beaverton, 1987.
- [4] Smith R.A. and J.T. Noga: *Examples of staged collisions in accident reconstruction*, The American Society of Mechanical Engineers, 1980.