

ANALIZA I KARAKTERISTIKE KOSOG ČEONOG SUDARA VOZILA / ANALYSIS AND CHARACTERISTICS OF AN OBLIQUE FRONTAL VEHICLE COLLISION

Momčilo Sladoje¹, Asib Alihodžić¹

¹Internacionalni Univerzitet Travnik u Travniku, Aleja Konzula Meljanac bb BiH,
e-mail: m.b.sladoje@gmail.com, asibdr@gmail.com,

Stručni članak

<https://www.doi.org/10.58952/zr20261501485>

UDK / UDC 656.1.08:629.113.001.5

Sažetak

Najčešće saobraćajne nezgode na putevima su sudar dva ili više vozila. Posljedice saobraćajne nezgode zavise od mnogo faktora, ali su dva dominantna faktora: prvi je količina kinetičke energije kojom vozila raspolažu u momentu primarnog kontakta, a drugi je pozicije i način ulaska vozila u sudarni proces. Kinetička energija zavisi od mase i brzine vozila, gdje se veličina kinetičke energije može korigovati brzinom kretanja vozila na putu. Adekvatnom saobraćajnom signalizacijom i konstantnim kontrolama na putevima, može se uticati na brzinu vozila i smanjiti negativne posljedice nezgode po osnovu posjedovanja kinetičke energije u sudarnom procesu. Posljedice saobraćajne nezgode su direktno zavisne od načina ulaska vozila u sudarni proces. Na ovaj faktor bezbjednosti se ne može nikako li se može uticati vrlo malo. Čak se u nekim saobraćajnim nezgodama vrlo teško utvrđuje način položaj vozila u primarnom kontaktu, odnosno vrste sudara. Iz tog razloga sam ovaj rad posvetio samo jednoj vrsti sudara, a to je kosi čeon sudar. Ovakva vrsta sudara je vrlo česta, a teško se može utvrditi na pouzdan način. Izlazne putanje vozila iz sudarnog procesa, kod kosog čeonog sudara, su vrlo različite i u dobrom dijelu zavise od konstrukcije vozila i kinetičke energije sa kojom vozilo raspolaže u momentu primarnog kontakta.

Ključne riječi: saobraćajna nezgoda, brzina vozila, kosi čeon sudar, primarni kontakt.
JEL klasifikacija: R40, R41, R48, D62

Abstract

The most common traffic accidents on the roads are collisions between two or more vehicles. The consequences of a traffic accident depend on many factors, but there are two dominant factors: the first is the amount of kinetic energy that the vehicles have at the moment of primary contact, and the second is the position and manner of entry of the vehicle into the collision process. Kinetic energy depends on the mass and speed of the vehicle, where the amount of kinetic energy can be corrected by the speed of the vehicle on the road. With adequate traffic signaling and constant controls on the roads, the speed of the vehicle can be influenced and the negative consequences of the accident based on the possession of kinetic energy in the collision process can be reduced. The consequences of a traffic accident are directly dependent on the manner of entry of the vehicle into the collision process. This safety factor cannot be influenced at all or can be influenced very little. In some traffic accidents, it is even very difficult to determine the manner of the position of the vehicle in the primary contact, or the type of collision. For this reason, I have dedicated this paper to only one type of collision, which is the oblique frontal collision. This type of collision is very common, and it is difficult to determine reliably. The exit paths of the vehicle from the collision process, in the case of an oblique frontal collision, are very different and largely depend on the construction of the vehicle and the kinetic energy that the vehicle has at the moment of primary contact.

Keywords: traffic accident, vehicle speed, oblique frontal collision, primary contact.
JEL classification: R40, R41, R48, D62

UVOD

Saobraćajne nezgode su svakodnevna pojava i kao tekve predstavljaju najčešće i najznačajnije oblike društvenih rizika savremenog društva. Posledice saobraćajnih nezgoda su nesagledive i imaju veliki broj povređenih i poginulih učesnika u saobraćaju, kao i znatne materijalne štete. Saobraćajne nezgode su različite po vrstama, i sve su jednako neprijatne za učesnike. Međutim, kosi čeoní sudar vozila zauzimaju posebno mesto, s obzirom na to da za posledicu ima teške tjelesne povrede i smrtne ishode, a materijalna šteta je ogromna. Ova vrsta sudara obuhvata situacije u kojima prednji deo vozila ostvaruje kontakt sa drugim vozilom ili objektom pod ostrim uglom, najčešće u opsegu od 15° do 30°.

Za razliku od direktnih čeonih sudara, kod kosih čeonih sudara dolazi do asimetrične deformacije vozila, gdje se sile ne prenose duž uzdužne ose vozila. Ovako djelovanje sila akcije i reakcije u sudarnom procesu, dovodi do složenije dinamike sudara. Kod kosog čeonog sudara u fazi smirivanja vozila nakon izlaska iz sudarne pozicije, dešava se rotaciono kretanje vozila, pomeranje putničke kabine i nejednaku aktivaciju sistema pasivne bezbednosti. Kao posledica rotacionog kretanja, putnici u vozilu su izloženi različitim vrstama opterećenja, što povećava rizik od teških povreda, naročito u predelu glave, grudnog koša i donjih ekstremiteta.

Shodno tome, vrlo su kompleksne analize saobraćajnih nezgoda sa kosim čeonim sudarom i kao takve predstavljaju poseban izazov za naučna razmatranja. Rekonstrukcija saobraćajne nezgode u kojoj se dogodio kosi čeoní sudar, iziskuje posebnu pažnju i analizu velikog broja faktora, kao što su ugao sudara, brzina vozila, mesto primarnog kontakta, tehničke karakteristike vozila i ponašanje pasivnih elemenata bezbednosti u samom vozilu. Zbog svoje učestalosti i težine posledica, ova vrsta sudara predmet je brojnih eksperimentalnih istraživanja i standardizovanih testova bezbednosti vozila, čiji je cilj unapređenje konstrukcije vozila i smanjenje posledica po učesnike u saobraćaju. Zato će u ovom radu biti navedene sve karakteristike kosog čeonog sudara i način njihove analize.

1. KARAKTERISTIKE KOSOG ČEONOG SUDARA

Kosi čeoní sudar predstavlja saobraćajnu nezgodu u kojoj jedno vozilo svojim prednjim čeonim dijelom udara u prednji čeoní dio drugog vozila i pri čemu središnje ose vozila međusobno zaklapaju ostri ugao. Kosi čeoní sudar predstavlja i saobraćajnu nezgodu u kojoj jedno vozilo svojim prednjim čeonim dijelom udara u neku drugu prepreku i pri čemu središnja osa ne zklapa pravi ugao sa ravni te prepreke. U kosom čeonom sudaru dolazi do bitnih oštećenja čeonih površina oba vozila. Kod ovih sudara, kinetička energija koju posjeduju vozila, pretvori se u toplotnu energiju deformacionih površina, poznatih kao **crumple zones**. Čeone površine vozila su projektovane da apsorbuju deo kinetičke energije, smanjujući tako sile koje deluju na kabinu i putnike. Crumple zone funkcioniše po principu kontrolisane deformacije, gdje se materijali od kojih je napravljena čeoná konstrukcija vozila deformišu ili savijaju pod dejstvom sile sudara, čime se kinetička energija utroši na deformaciju, dok se putnici tako štite od saobraćajne nezgode.

Karakteristike kosog čeonog sudara su:

1. Asimetrična deformacija prednjeg čeonog dijela vozila,
2. Deformacija prednjih i bočnih dijelova vozila, aktiviranje bočnih vazdušnih zavjesa i airbag-ova u sjedištima vozila, i
3. Prenos kinetičke energije na putnike, povrede glave, kukova, gornjih i donjih ekstremiteta.



Slika 1. i 2. Prikaz dva vozila koja su učestvovala u istom kosom čeonom sudaru¹⁶⁷

Biomehanički efekti kosog čeonog sudara su vrlo kompleksni. Pri sudaru, vozilo gubi brzinu, a tela putnika nastavlja kretanje napred po inerciji, što dovodi do naglih translacijskih pomeranja tela, a to izazva kombinovane povrede. Najčešće povrede kod kosog čeonog sudara su:

- Povrede glave i vrata: nagli trzaj glave napred, a ona vraćanje unazad dovode do potresa mozga, povreda vratnih pršljenova. Povrede na glavi su posledica udara glave o upravljač, instrument tablu ili vjetrobransko staklo, a povrede vrata su prilikom povratka (odbijanja) unazad.
- Povrede grudnog koša: nastaju usljed udara gornjeg dijela tijela u upravljač ili vazdušni jastuk. Posljedice su fraktura rebra, oštećenja srca i pluća ili unutrašnje krvarenje.

¹⁶⁷ Iz arhive autora

- Povrede donjih ekstremiteta: noge putnika su posebno ugrožene zbog kontakta sa pedalama, instrument tablom ili deformisanom strukturom vozila. Posljedice su fraktura potkolenice, butne kosti i skočnog zgloba.

Povrede putnika zavise od kinetičke energije koju vozila posjeduju u momentu primrnog kontakta, a koja je direktno su proporcionalne masi i kvadratu brzine vozila. Pored toga zavisi i od položaja putnika i vozilu, od toga da li su pratili vožnju i bili spremni na sudar i od toga da li su koristili sigurnosni pojas. Studije su pokazale da kod kosog čeonog sudara, u kojima oba vozila posjeduju brzinu od 50 km/h, kod putnika mogu nastati teške povrede glave, vrata, grudnog koša i donjih ekstremiteta, dok pri brzinama iznad 80 km/h postoji visok rizik od smrtnog ishoda.

1.1. SITUACIJE U KOJIMA NASTAJU KOSI ČEONI SUDARI

Za razliku od direktnog čeonog sudara, kod kosog čeonog sudara kontaktne sile se prenose delimično frontalno, a delimično bočno, što stvara kombinovanu kinematiku tela vozila i putnika. Ovakvi sudari su česti u realnim saobraćajnim situacijama, posebno u sledećim slučajevima:

- Djelimičan prelazak vozila u suprotnu traku.
- Prilikom lijevog i desnog skretanja vozila na kolovozu ili prilikom preduzimanja radnje preticanje, kada vozač ne ostavi dovoljan prostor ili ne proceni pravac kretanja drugog vozila.
- Prilikom ulaska vozila u raskršnicu, što može dovesti do kontakta prednjeg dela vozila sa prednjim ili bočnim delom drugog vozila.

1.2. DINAMIKA SUDARA

Kod kosog čeonog sudara, kontaktne površine vozila ne obuhvataju kompletnu prednju čeonu stranu vozila, već samo nje dio, što značajno menja kinematiku i dinamiku vozila u toku sudarnog procesa. Zbog takvog sudara na vozilima se dešavaju sljedeće pojave :

- Kontaktne površine vozila nema homogenu krutost – što dovodi do toga da jedan dio čeone konstrukcije vozila (ona koji je u direktnom kontaktu) apsorbuje većinu količinu kinetičke energije, dok drugi dio vozila (ona koji nije u direktnom kontaktu) apsorbuje manju količinu kinetičke energije. Ova asimetričnost uzrokuje rotaciju iz razloga neravnomerne raspodele sila akcije.
- Kontaktne površine vozila imaju asimetričnu deformaciju prednjeg dijela vozila – kod ofset sudara deformacija nisu simetrične, a energetski efekat na kabinu varira u zavisnosti od ugla udara i brzine.
- Prenos sila na putnike uključuje kombinaciju frontalnih i bočnih komponenti - ovo znači da putnici doživljavaju ne samo naglu deceleraciju napred, već i bočno pomeranje.

Kod kosog čeonog sudara vozilo može da se rotira i doživljava promjenu pravca i msjera kretanja, a putnici su izloženi kombinovanim silama koje deluju frontalno i bočno. Upravo ova kombinacija sila čini ofset sudare posebno opasnim, jer standardni sistemi zaštite, kao što su vazdušni jastuci i sigurnosni pojasevi, nisu uvek optimalno raspoređeni da apsorbuju sile pod uglom.

1.3. ULAZAK VOZILA U SUDARNI PROCES

Središnej ose vozila kod kosog čeonog sudara u sudarnom procesu zaklapaju oštri ugao. Veličina ugla predstavlja ključni faktor u distribuciji sila u vozilu. Doasadašnja naučna istraživanja pokazuju da su posljedice zavisne od veličine ugla pod kojim vozila ulaze u sudarni proces, pa tako imamo:

- Ugao od 15° – 30° . Kod ovih kosih sudara, dio sila djeluje bočno na putnike, pa su oni izloženi većim lateralnim opterećenjem ramena, vrata i glave u poređenju sa putnicima koji su imali direktan čeon sudar. Bočne sile izazivaju rotaciju glave i torza, povećavajući rizik od loma rebara i povreda vratnog dela kičme.
- Ugao od 30° – 45° . Kod ovih kosih sudara, dio sila djeluje iz prednje zone, ali i dalje postoji asimetrična deformacija. Putnici su izloženi kombinovanom djelovanju frontalnih i bočnih sila, a što izaziva teške povrede grudnog koša i ramena, dok donji ekstremiteti ostaju relativno zaštićeni.

Analize kinematike kosih sudara pokazale su da se putanja vozila i putnika tokom udara značajno razlikuje od klasičnog frontalnog sudara. Važno je napomenuti da putnici koji nisu pravilno vezani ili su nepravilno pozicionirani u sedištu doživljavaju ekstremnije kombinovane sile.

1.4. PREVENCIJA I BEZBJEDNOSNE MJERE

Kako bi se smanjio broj i težina povreda kod kosog čeonog sudara, primenjuju se mere koje uključuju aktivne i pasivne elemente bezbjednosti, kroz različite tehnologije u vozilima, kao i odgovarajuće intervencije na infrastrukturi. Uz sve to potrebna je i dodatna edukaciju vozača. Aktivne mjere bezbjednosti se provode u vidu primjene tehnologija koje omogućavaju pravovremeno reagovanje vozila i potencijalno izbegavanje sudara. Efikasan sistem automatsko kočenje u nuždi (AEB), koji koristi senzore i kamere za detekciju prepreka i drugih vozila, aktivno usporava vozilo ili zaustavlja ga prije nego što dođe do kontakta. Pored toga primjenjuju se savremeni sistemi podesivih aktivnih pojaseva za sjedenje. Oni mogu smanjiti posljedice udara tako što prilagođavaju zatezanje pojasa u zavisnosti od brzine i ugla sudara, čime se smanjuje translacija i rotacija tela putnika, naročito glave i torza.

U pasivne elemente zaštite u vozilu se primjenjuju, elementi zaštite putnika. Zona deformacija konstruktivnih elemenata vozila, projektovana je tako da se kontrolisano deformiše kontaktni dio vozila pri udaru, a sa ciljem apsorbovanja značajne količine kinetičke energije, a to će smanjiti sile koje deluju na kabinu i putnike. Kod kosih čeonih sudara, ove zone moraju biti posebno prilagođene za asimetrično opterećenje, jer frontalni udar pod uglom prenosi sile kombinovano frontalno i bočno. Osim crumple zona, pravilno pozicionirani vazdušni jastuci, uključujući bočne jastuke i bočne zavjese, doprinose umanjeњу pokrete glave u smjeru translacionih i rotacionih sila na glavu, vrat, grudni koš i ramena, dok moderni sigurnosni pojasevi ograničavaju neželjeno pomeranje tela.

Kao pasivni elementi bezbjednosti kod kosih čeonih sudara, značajna uloga imaju infrastruktura i edukacija vozača. Inovacije na infrastrukturi uključuju ugradnju dvosmernih zaštitnih barijera na autoputevima i brzim putevima, zatim jasno obeležene signalizacije i poboljšanja u dizajnu raskrsnica, što omogućava vozačima bolju vizuelnu percepciju i više vremena za reakciju. Edukacija vozača bazira se na bezbjednosnim mjerama kod preticanja i skretanja, pravilno procenjivanje udaljenosti i brzine drugih vozila, kao i na svijest o riziku ulaska u saobraćajnu traku namijenjenu za kretanje vozila u drugom smjeru. Kombinacija tehnologije u vozilu, pasivne zaštite, bezbjedne infrastrukture i kontinuirane edukacije vozača predstavlja najefikasniji pristup u smanjenju broja i težine posljedica kosih čeonih sudara, čime se direktno povećava bezbjednost svih učesnika u saobraćaju.

ZAKLJUČAK

Kosi ili ofset frontalni sudar predstavlja jednu od najsloženijih i najrizičnijih vrsta saobraćajnih nezgoda, jer kombinacija sila značajno povećava biomehanički stres na putnike. Djelimičan kontakt prednje čeon površine vozila uzrokuje asimetričnu deformaciju, što dovodi do neravnomernog prenosa kinetičke energije i povećanog rizika od povreda glave, vrata, grudnog koša i ramena. Ostali dijelovi tijela putnika su relativno manje ugroženi nego kod klasičnih čeonih sudara, ali i dalje mogu doživjeti kontuzije ili torzije, naročito kod posjedovanja većih brzina.

Biomehaničke studije i simulacije sa lutkama za sudare jasno pokazuju da položaj putnika, zatim pravilno korišćenje sigurnosnog pojasa, pravilno pozicioniranje položaja tijela putnika u vozilu i ispravni vazdušni jastuci, značajno utiču na težinu povreda. Djeca, osobe nižeg rasta ili putnici sa nepravilnim sjedenjem, imaju veći rizik od povreda. Razumijevanje kinematike i dinamike kosih čeonih sudara omogućava razvoj vozila sa efikasnijim pasivnim zaštitnim strukturama, kao što su crumple zone i bočno-frontalni vazdušni jastuci, ali i aktivnim sistemima koji mogu smanjiti vjerovatnoću sudara, poput automatskog kočenja i podesivih aktivnih pojaseva.

Pored tehnologije na vozilu, na bezbednost utiču i mjere koje se provode na infrastrukturi, uključujući dvosmjerne zaštitne barijere, jasnu signalizaciju i pažljivo projektovane raskrsnice. Bitna je i edukacija vozača o mjerama bezbjednosti prilikom preticanja i skretanja, zatim povećani rizici na raskrsnicama, itd. Kombinacija tehničkih, infrastrukturnih i edukativnih mjera predstavlja pokušaj efikasnog pristupa u smanjenju broja i težine posljedica od kosog čeonog sudara, čime se direktno doprinosi povećanju stepena bezbjednosti u saobraćaju. Kosi čeon sudar zahtijevaju multidisciplinarni pristup koji integriše biomehaniku, inženjering, saobraćajnu infrastrukturu i ljudski faktor, a njihovo razumevanje i prevencija predstavljaju ključni element moderne saobraćajne bezbjednosti.

LITERATURA

1. Adamović Ž., Alihodžić A., Teorija globalnog razmišljanja, Naučna knjiga, I.Sarajevo, 2002.
2. Alihodžić A., Planjaks H., Metodologija naučno istraživačkog rada, Internacionalni univerzitet Travnik, Travnik, 2017.
3. Alihodžić A., Sladoje M., Vrednovanje investicija i projekata, Saobraćajni fakultet u Doboju, Doboj, 2018.
4. Alihodžić A., Stević Ž., Specijalne oblasti logistike, Saobraćajni fakultet Doboj, 2015.
5. Anderson J.D. et.al. Analysis of a Real-World High-Speed Rollover Crash from a Video Record and Physical Evidence 2008
6. Dragač, R. (2007). Uviđaj i veštačenje saobraćajnih nezgoda na putevima . Službeni list
7. Henderson M. Paine M: Passenger Car Roof Crush Strength Requirements, 1997
8. Hunger J.D., Wheelen T., L., Essential of strategic management, Addison-Wesley, 1997.
9. Gabeljić, S., & Lukanović, N. (2024). Ponašanje tijela putnika u vozilu koji koristi/ne koristi sigurnosni pojas kod frontalnog sudara dva vozila.
10. Keifer, O.P., Richardson, W.C., Layson, P.D., Reckamp, B.C., and Heilmann, T.C., Vehicle Linear and. Rotational Acceleration, Velocity and Displacement during Staged Rollover Collisions; SAE International, 2007.
11. Logan, D. B., Fitzharris, M. P., & Fildes, B. N. (2007). Lower extremity risk and harm associated with narrow offset frontal impact crashes. U K.-U. Schmitt (Ed.), Proceedings of the International Research Council on the Biomechanics of Injury (IRCOBI 2007) (str. 115–126). IRCOBI.
12. Markham J., Project Manager, External Effects of Transport Dublin, 1994.
13. Nathan A., Rose, Gray Beauchamp: Development of a Variable Deceleration Rate Approach to Rollover Chash Recostruction, SAE International, 2007.
14. Orłowski R.K., Moffatt A.E., Bundorf R, and Helcomb M.: Reconstruction of Rollover Collisions, Tehnical Papers 1989.
15. Pintar, F. A., Yoganandan, N., & Maiman, D. J. (2008). Injury mechanisms and severity in narrow offset frontal impacts. Annals of Advances in Automotive Medicine, 52, 185–189. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19026235/>
16. Rajčević, S., Štrbac, M., Kukić, D., Marković, M., Ivanović, I., Petrović, R., & Radić, I. (2024). The epidemiology of road traffic injuries in the Republic of Serbia: A study based on hospital data
17. Sladoje M., Multimodalni transport, Internacionalni univerzitet Travnik, Travnik 2023.
18. Sladoje M., Uvod u špediciju i transportnu logistiku, Internacionalni univerzitet Travnik, Travnik 2024.
19. Steierwald G., Künne H-D.; Stadverkehrs-planung; Stuttgart, 1993.
20. <http://web.efzg.hr/dok/OIM/dtipuric/2013-12-novo-Implementacija%20strategije.pdf> (datum posjete 28.03.2024.)
21. Wikipedia Саобраћајна незгода — Википедија