Elementi teorije pri analizi sudara

Grašić, Andre

Undergraduate thesis / Završni rad

2015

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Polytechnic Nikola Tesla in Gospić / Veleučilište Nikola Tesla u Gospiću**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:107:962895

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**

Repository / Repozitorij:

Polytechnic Nikola Tesla in Gospić - Undergraduate thesis repository

zir.nsk.hr

Image not found or type unknown

VELEUČILIŠTE „NIKOLA TESLA“ U GOSPIĆU

Andrej Grašić

ELEMENTI TEORIJE PRI ANALIZI SUDARA

Završni rad

Gospić, 2015.

VELEUČILIŠTE „NIKOLA TESLA“ U GOSPIĆU
Prometni odjel

Stručni studij Cestovni promet

ELEMENTI TEORIJE PRI ANALIZI SUDARA

Završni rad

MENTOR:

Ivica Baković mag.ing., viši predavač

STUDENT:

Andrej Grašić

MBS:2961000482/13

Gospić, rujan 2015.

Veleučilište „Nikola Tesla“ u Gospiću

Prometni odjel

Gospić, 2. travnja 2015.

ZADATAK

za završni rad

Pristupniku Andreju Grašiću, matični broj 2961000482/13, studentu **stručnog studija** cestovnog prometa izdaje se tema završnog rada pod nazivom:

Elementi teorije pri analizi sudara

Sadržaj zadatka :

1. Uvod
2. Određivanje mjesta sudara i međusobnog položaja
3. Sudari vozila s jednim tragom i vozila s dva traga
4. Sudari dvaju automobila
5. Zaključak

   Literatura

Završni rad izraditi sukladno odredbama Pravilnika o završnom radu Veleučilišta **„Nikola** Tesla“ u Gospiću.

Mentor: Ivica Baković, mag.ing., viši predavač, zadano: 2. travnja 2015. _____

Pročelnik odjela: Mr.sc. Katerina Dulčić, predavač, predati do: 30. rujna 2015. _____

Student: Andrej Grašić, primio zadatak: 2. travnja 2015. _____

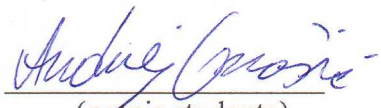
Dostavlja se:

- mentoru
- pristupniku

IZJAVA

Izjavljujem da sam završni rad pod naslovom **„Elementi teorije pri analizi sudara“** izradio samostalno pod nadzorom i uz stručnu pomoć mentora Ivice Bakovića, mag.ing., višeg predavača.

Andrej Grašić



(potpis studenta)

SAŽETAK

U elementima teorije pri analizi sudara postoji više teorija koje se promatraju nakon sudara. Kao prvo određuje se mjesto sudara i međusobnog položaja, koje se može podijeliti u dvije analize. Prva je analiza tragova i oštećenja vozila, dok je druga analiza pomoću koje se određuje mjesto sudara i sudarne brzine eksperimentalnom metodom iz podataka o odbacivanju komadića vjetrobranskog stakla i fara. Navedene analize mogu se podijeliti u podanalize tako da se zasebno promatraju pojedini dokazi. Tako kod analize tragova i oštećenja vozila se mogu promatrati oštećenja vozila, tragovi kočenja i zanošenja vozila, tragovi na kolniku od nečistoće vozila, tragovi boje i stakla, krajnji položaj pješaka te ostali tragovi koji se javljaju kao posljedica sudara a analizirani su u ovom radu. Kod analize odbacivanja vjetrobranskog stakla i fara postoje dvije podanalize, a to su daljina i mehanizam odbacivanja vjetrobranskog stakla i fara.

U tehničkoj praksi prilikom analize sudara koriste se pojmovi vozila s dva i s jednim tragom. Vozila s dva traga označuju se kao automobili (bez obzira bili osobni ili teretni), dok su vozila s jednim tragom bicikli, motocikli te mopedi. Analizirane su metode sudara vozila s jednim tragom i dva traga. Kod metode sudara vozila s jednim i dva traga analizirani su sudari bicikla i osobnog vozila te motocikla i osobnog vozila te su razmatrane različite varijante. Kod sudara vozila s dva traga spomenute su podvrste sudara.

Ključne riječi:analiza tragova, sudar, oštećenje vozila, tragovi kočenja, mjesto sudara, krajnji položaj, vozila s jednim tragom, vozila s dva traga, pješak, osobni automobil, motocikl, bicikl, elementi teorije

SADRŽAJ

1. Uvod 1

1.1. Problem i predmet istraživanje 1

1.2. Svrha i cilj istraživanja 1

1.3. Struktura rada 2

2. Određivanje mjesta sudara i međusobnog položaja 3

2.1. Analiza tragova i oštećenja vozila 3

2.1.1. Oštećenja vozila 3

2.1.2. Tragovi kočenja i zanošenja vozila 4

2.1.3. Ostali tragovi koji se javljaju kao posljedica sudara 7

2.1.4. Tragovi na kolniku nastali od otpale nečistoće s vozila 9

2.1.5. Tragovi boje i stakla 12

2.1.6. Produžavanje tragova nastalih djelovanjem inercijskih sila od pozicija zaustavljenih vozila unazad 13

2.1.7. Početak tragova nastalih u procesu kretanja vozila s djelovanjem inercijskih sila 14

2.1.8. Krajnji položaj vozila i položaj zajedničkog težišta vozila poslije sudara (smirivanja) 15

2.1.9. Krajnji položaj predmeta koji je nosio pješak (kapa, štap, torba…) 15

2.1.10. Krajnji položaj pješaka 15

2.1.11. Oštećenja na putničkom automobilu 18

2.1.12. Teške ozljede pješaka 19

2.2. Određivanje mjesta sudara i sudarne brzine eksperimentalnom metodom iz podataka o odbacivanju komadića vjetrobranskog stakla i fara 20

2.2.1. Daljina odbacivanja komadića razbijenog vjetrobranskog stakla 20

2.2.2. Mehanizam odbacivanja komadića stakla 23

3. Sudari vozila s jednim tragom i vozila s dva traga 25
3.1. Sudari bicikla i osobnog vozila 25
3.2. Sudari motocikla i osobnog vozila 26
3.2.1. Varijante sudara između motocikla i osobnog automobila s gledišta kinematike sudara 27
3.2.2. Kinetički elementi sudara između motocikla i osobnog automobila 31
4. Sudari dvaju automobila 36
4.1. Vrste sudara dvaju automobila 36
4.2. Elementi teorije kod sudara dvaju automobila 37
4.2.1. Koeficijent punoće udarnog procesa 37
4.2.2. Koeficijent energetskih gubitaka 37
4.2.3. Moment inercije (tromosti) motornih vozila 38
4.2.4. Primjena zakona o količini gibanja 39
4.2.5. Udar vozila u nepomičnu zapreku 40
5. Zaključak 42
Literatura 43
Popis slika 44
Popis tablica 45
Popis dijagrama 45

1. Uvod

U procesu izrade prometno-tehničkih vještačenja jedno od značajnijih pitanja je određivanje mjesta sudara i smjera kretanja sudionika u prometnoj nesreći. Na to pitanje odgovor se treba tražiti na samom mjestu nesreće.

U tehničkoj se praksi automobili, bez obzira jesu li osobna ili teretna, općenito označuju kao vozila s dva traga, dok se bicikli, bicikli s motorom, mopedi i motocikli označuju kao vozila s jednim tragom. Rješavanje problema sudara između ovih dviju kategorija vozila provodi se jednako kao i za opći slučaj sudara dvaju automobila.

I ovdje su oštećenja vozila polazište analize, tj. na osnovi oštećenja vozila utvrđuje se prvo relativni sudarni položaj između vozila.

1.1. Problem i predmet istraživanja

U radu će biti prikazane analize tragova i oštećenja vozila, određivanje mjesta sudara i sudarne brzine te elementi teorije kod sudara vozila kako s dva, tako i s jednim tragom.

Najugroženija skupina vozača jest ona na vozilima s dva kotača te će se obratiti pažnja na tipove sudara vozila s jednim i vozila s dva traga te međusobne sudare vozila s dva traga.

1.2. Svrha i cilj istraživanja

Svrha istraživanja je prikazati sve elemente teorije prilikom analize sudara, počevši od određivanja mjesta sudara i međusobnog položaja, prikazivanja sudara vozila s jednim i dva traga.

Cilj istraživanja je ukazati na pojedine dijelove kod analize tragova i oštećenja vozila, kao što su tragovi kočenja i zanošenje vozila, tragovi boje i stakla, krajnji položajpješaka, ali također ukazati i na neke eksperimentalne metode iz podataka o odbacivanju komadića vjetrobranskog stakla. Također, ukazat će se na pojedine vrste sudara kao što su bicikl – osobni automobil, motocikl – osobni automobil te sudari dvaju automobila.

1.3. Struktura rada

U drugom poglavlju ***„Određivanje mjesta sudara i međusobnog položaja“***prikazuju se analize tragova i oštećenja vozila na primjeru tragova kočenja, tragova boje i stakla, tragova na kolniku od otpale nečistoće iz krajnjeg položaja pješaka i ostalo.

U trećem poglavlju ***„Sudari vozila s jednim tragom i vozila s dva traga“***prikazani su sudari bicikla i osobnog vozila te motocikla i osobnog vozila te različite varijante sudara između motocikla i osobnog vozila.

U četvrtom poglavlju ***„Sudari dvaju automobila“*** prikazane su vrste sudara dvaju automobila kao i neki od elemenata teorije prilikom njihovih sudara. Neki od elemenata teorije su koeficijent punoće udarnog procesa, koeficijent energetskih gubitaka, moment inercije motornih vozila, primjena zakona o količini gibanja te udar vozila u nepomičnu zapreku.

2. Određivanje mjesta sudara i međusobnog položaja

Prometno-tehnička vještačenja spadaju u red najbrojnijih i najkompleksnijih vještačenja. U procesu njihove izrade jedno od značajnijih pitanja je određivanje mjesta sudara i smjera kretanja sudionika u prometnoj nesreći. Na to pitanje odgovor se traži još na uviđaju. Odgovor se ne traži samo prema položaju vozila na kolniku u smislu angažiranja određene prometne trake već se postavljaju pitanja u vezi s definiranjem međusobnog položaja vozila na mjestu sudara i njihovog položaja u odnosu na širinu kolnika, posebno u odnosu na sredinu i u odnosu na položaj nađenih tragova i krajnje pozicije u kojoj su se vozila zaustavila u procesu nesreće.

2.1. Analiza tragova i oštećenja vozila

2.1.1. Oštećenja vozila

Na osnovu lokacije i oblika oštećenja vozila koja su sudjelovala u sudaru, može se utvrditi dio brzine koju je vozilo izgubilo u oštećenju. Ako su oštećenja na vozilima koja su sudjelovala unesreći locirana na prednjem lijevom dijelu u širini od 30 [*cm*] može se zaključiti da su se ona ekscentrično frontalno sudarila preklapajući se frontalnim površinama u širini od 30 [*cm*]. Kad su oštećenja međusobno po obliku i položaju (visini, širini i dimenzijama)podudarna, zaključuje se da su nastale od međusobnog kontakta tih vozila.

Ako se analizira još i njihov pravac prostiranja može se usporedbom izvesti zaključak o međusobnom položaju, smjeru i pravcu kretanja vozila u trenutku primarnog kontakta. U slučaju kad oštećeni dio vozila površinski zadere kolnik u zoni mjesta sudara i kad se utvrdi koji je dio određenog vozila formirao trag na kolniku može se na osnovu lokacije traga i oštećenja vozila, dimenzija vozila i kolnika odrediti položaj vozila na mjestu sudara u odnosu na širinu kolnika.

Po obliku i lokaciji oštećenja na vozilu može se često identificirati objekt s kojim je automobil bio u kontaktu (nalet na stup znaka, odbojnu ogradu, sudar s pješakom ili biciklistom i slično). Prema obliku i rasporedu oštećenja nastalih na putničkom automobilu koji se sudario s pješakom mogu se orijentacijski odrediti brzina automobila i smjer kretanja pješaka u odnosu na pravac i smjer kretanja automobila.

Slika1.Oštećenje osobnog automobila nastala u sudaru s drugim vozilom



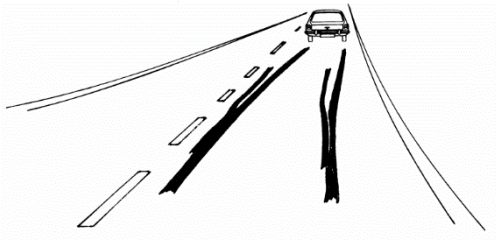
Izvor:http://promet-ekspert.hr/radovi/Primjer_Virtual_CRASH2.2.pdf (10.9.2015.)

Ako se ima u vidu i činjenica da se često u praksi pri uviđaju ne posvećuje dovoljno pažnje identifikaciji, opisu i pravilnom snimanju svih oštećenja na vozilima koja su sudjelovala u nesreći, može se lako zaključiti da se takvim postupkom ne stvaraju materijalni elementi nužni za rekonstrukciju mjesta sudara i toka nesreće.

2.1.2. Tragovi kočenja i zanošenja vozila

Prilikom sudara vozila ili naleta vozila na neku prepreku (ogradu, drvo, drugo vozilo, pješaka) na vozilo djeluju vanjske sile čiji intenzitet zavisi o snazi, mjesta i pravca djelovanja, koje izazivaju veće ili manje promjene u ponašanju vozila. To može imati za posljedicu samo promjenu opterećenja na pojedinim kotačima, a može izazvati i promjenu u smjeru i pravcu kretanja vozila. Ovakvi procesi, po pravilu, izazivaju diskontinuitet traga vozila, koje je prikazano na sljedećoj slici.

Slika 2.Lagani diskontinuitet u tragu kočenja putničkog vozila poslije sudara sa pješakom koji je prelazio ulicu s desne strane



Izvor:Inić, M. (2002.): Bezbednost drumskog saobaćaja, FTN, Novi Sad

Ukoliko je u sudaru izazvana veća udarna ili inercijska sila i ako te sile djeluju više ekscentrično, ostvarit će veći utjecaj na jači izražaj karakteristika u diskontinuitetu tragova.

U sudaru dva automobila približno jednakih masa, dolazi do jasno izražene promjene smjera, a često i pravca kretanja težišta tih vozila. Pri ovakvim procesima tragovi vozila pokazuju očiglednu promjenu smjera i pravca (uočava se oštro skretanje ili lomljenje traga, a često prekid ili pojava karakterističnog traga). Smjer te promjene određen je dinamikom udara. U slučaju kad je trag kočenja slomljen može se zaključiti da se vozilo u trenutku sudara nalazilo s odgovarajućim kotačima u poziciji tog diskontinuiteta uočenog na tragovima. Kad se zna lokacija tog diskontinuiteta traga na kolniku, tada se identificirano vozilo s poznatim dimenzijama locira na tu poziciju i lako se utvrđuje njegov položaj na kolniku, tj. mjestu sudara(Inić, M. 2002.).

Slika 3.Mjesto prijeloma traga kočenja putničkog vozila



Izvor:Inić, M. (2002.): Bezbednost drumskog saobaćaja, FTN, Novi Sad

U slučajevima kad vanjska sila koja djeluje na vozilo u procesu sudara nije imala jači intenzitet djelovanja i kad nije izazvala promjenu pravca i smjera težišta vozila koja bi se manifestirala lomljenjem tragova već je samo kratkotrajnim djelovanjem ostvarila

utjecajporemećaja opterećenja na nekom kotaču vozila, tada će takav kotač pod djelovanjem sile izvršiti promjenu traga (valovit trag, trag s promjenom intenziteta). Pod direktnim djelovanjem sile kotač se dovodi u kratkotrajnu vibraciju (vertikalnu ili bočnu) koja se manifestira na promjenu izgleda traga, (javlja se valovit trag) ali se brzo gubi uslijed stabiliziranja kotačadjelovanjemvlastitog prigušivanja.

Slika 4. Izgled blaže valovitog i isprekidanog traga, nastalog u sudaru od pritisnutog kotača vozila

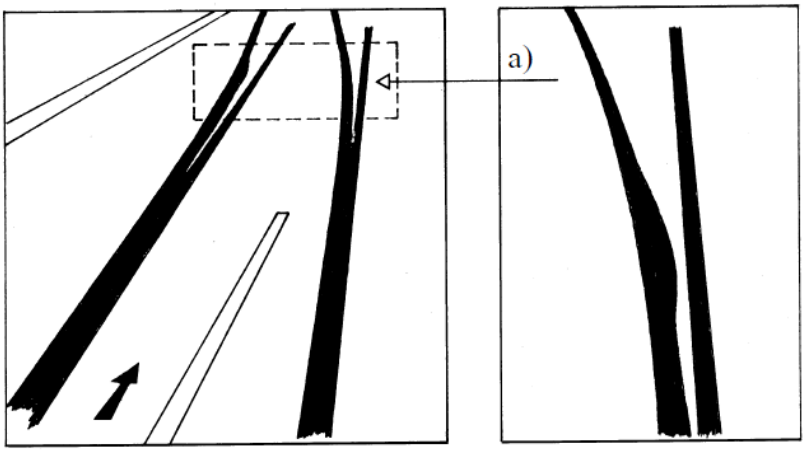


Izvor:Inić, M. (2002.): Bezbednost drumskog saobaćaja, FTN, Novi Sad)

Ovakav diskontinuitet se javlja samo na tragu kotača koji je najbliži djelovanju vanjske sile udara.

Ovo se događa jer pod djelovanjem vanjske sile kratkotrajno se poveća ili smanji pritisak (opterećenje) određenih kotača na kolnik. U slučajevima kad sila djeluje iznad težišta u zoni nekog kotača, ona može na njemu pod djelovanjem rasterećenja izazvati kraći prekid traga, ali bi na suprotnom kotaču pod djelovanjem dodatnog opterećenja mogli očekivati pojavu traga većeg intenziteta (crnji trag gume kočenog kotača s blokiranjem u trenutku sudara).

Slika 5. Lokalno usko ograničeno pojačanje traga kočenja prednjeg lijevog kotača putničkog vozila poslije sudara sa pješakom; a) uvećani dio koji pokazuje pojačanje traga



Izvor:Inić, M. (2002.): Bezbednost drumskog saobaćaja, FTN, Novi Sad

Treba istaknuti činjenicu da se ne mora uvijek javiti diskontinuitet na tragovima jer njegova pojava zavisi o jačinidjelovanja vanjske sile. Sile malog intenziteta ne izazivaju uočljivi diskontinuitet tragova. U slučaju kad se na tragovima ne uočava diskontinuitet, ne može se sa sigurnošću izvesti zaključak da se sudar dogodio van područja vidljivih kontinuiranih tragova. Isto tako ne može se definirati područje veličine vanjskih sila pod čijim se djelovanjem neće pojaviti diskontinuitet na tragovima. Za utvrđivanja ovakvog graničnog područja treba uzeti u obzir više čimbenika kao što su odnosi brzina i mase sudionika u sudaru, moment inercije vozila, položaj djelovanja vanjske sile u odnosu na težište vozila, karakteristiku vješanja, dinamiku raspodjele tereta na kotačima vozila, pritisak u gumama, stanje kolnika, položaj tereta na vozilu i drugo(Inić, M. 2002.).

Na osnovu istraživanja može se zaključiti da se diskontinuitet u tragovimajavlja pri međusobnim sudarima vozila i naletu vozila na teže prepreke i objekte. Kod sudara putničkog automobila s odraslim pješakom u velikom postotku slučajeva javlja se diskontinuitet u tragovima, a kod sudara automobila s djetetom vjerojatnost pojave diskontinuiteta u tragovima je mala. U slučajevima pojave veoma malog diskontinuiteta u tragovima treba izvršiti analizu radi utvrđivanja mogućih djelovanja i drugih okolnosti na njihovo nastajanje da se ne bi donio pogrešan zaključak o položaju mjesta sudara.

2.1.3. Ostali tragovi koji se javljaju kao posljedica sudara

U tragove kojima se može argumentirati mjesto sudara pripadaju:

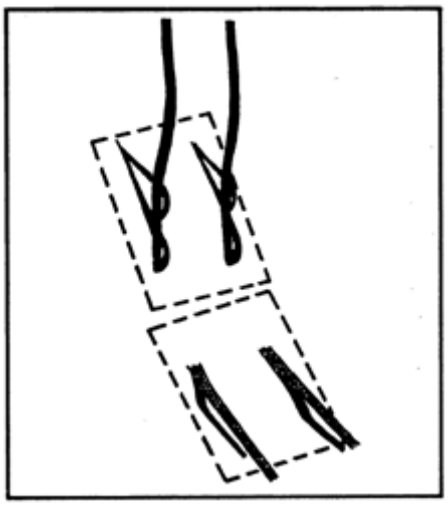
- Dublje ogrebotine ili tragovi oštećenja kolnika nađeni na kolniku u zoni mjesta nesreće;
- Tragovioštećenja kolnika obućom pješaka koji je sudjelovao u nesreći;
- Intenzivni tragovi pritiska guma;
- Tragovi za koje se na osnovu vrste, oblika, izgleda i toka prostiranja može smatrati da su nastali neposredno pri sudaru.

U procesu intenzivnijih sudara vozila kad nastaju jače deformacije i kad se oštećeni dijelovi gužvanjem potiskuju prema kolniku i donjoj strani vozila oni često dolaze u kontakt i s kolnikom. Tada nastaju tragovi oštećenja kolnika. Postojanje posebno dubokih ogrebotina ukazuju na užu lokaciju mjesta sudara, zato što se samo u trenutku sudara ostvaruje jak pritisak vozila na kolnik kad mogu nastati ovako duboke ogrebotine. To ne isključuje mogućnost da deformirano vozilo ostavi na kolniku ogrebotine i na dijelu puta koji prijeđe poslije sudara u toku inercijskog kretanja do smirivanja (zaustavljanja). Međutim, u ovim slučajevima nastale ogrebotine su obično slabije izražene (Inić, M. 2002.).

Isto kao i ogrebotine, u procesu sudara dva vozila mogu se pojaviti i kratki, ali intenzivni tragovi guma od kotača koji su usred inercijskih sila izazvanih u sudaru najjače bili opterećeni. To se događa kod udara putničkog automobila u kotač bicikla koji se deformacijom odbija ispod branika vozila i ostvaruje pritisak na kolnik, kad se pojavljuje jasno izražen trag gume kao posljedica jakog pritiska na kolnik.

Prilikom sudara vozila i pješaka kada je težina tijela prenesena na nogu zahvaćenu u primarnom sudaru branikom automobila ili kotačem, može doći do pojave traga nastalog struganjem dijelova potplate s cipele koja je klizala po kolniku ostavljajući na njemu vidljiv trag. Trag potkovičastog oblika nastaje pri jačim sudarima kad se vozila preklapaju u ekscentričnom frontalnom sudaru lijevim prednjim rubovima, i to najčešće kod prednjeg lijevog kotača vozila. Ovakvi tragovi nastaju pod djelovanjem kutnih brzina, tj. rotacije vozila oko vertikalne osovine povučene kroz težište dodirnih površina u trenutku primarnog kontakta.

Slika 6. Mjesto loma u tragu blokiranja putničkog vozila do kojega je došlo usred udara u putničko vozilo iz suprotnog smjera



Izvor:Inić, M. (2002.): Bezbednost drumskog saobaćaja, FTN, Novi Sad

Na osnovu promjene izgleda traga može se identificirati mjesto sudara. Tako na primjer, kad pri sudaru dođe do pucanja i pražnjenja guma nastupa promjena u tragu. Tragkotača s praznom gumom je obično širi od traga pune (napumpane) gume, izraženije su mu ivice po kojima su se rubovi obruča kotača oslanjali na kolnik.

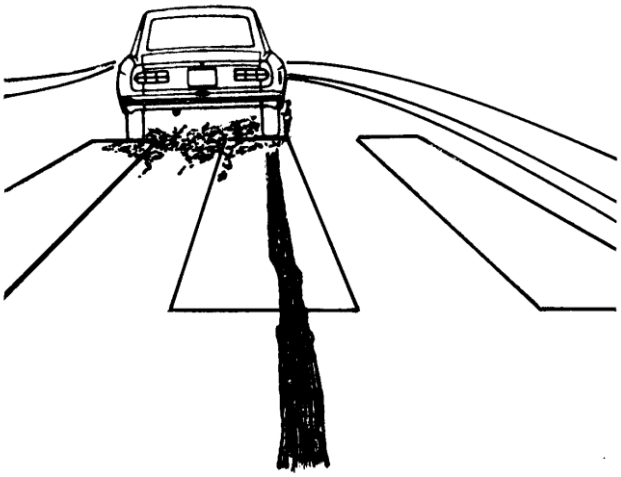
Kod većih brzina dolazi u ovim slučajevima do proklizavanja i okretanja gume po rubu kad trag gume postaje krivudav, a rubovi obruča kotača grebanjem ostavljaju trag oštećenja na kolniku.

Tragovi kočenja imaju bočnu devijaciju koja nastaje pri sudaru kad dolazi do bočnog osciliranja vozila. Na osnovu ovakve promjene na tragovima kočenja može se odrediti položaj vozila duž tragova u trenutku sudara. Na osnovu nabrojanih karakteristika tragova može se egzaktno odrediti mjesto sudara, jer ovi tragovi uvijek nastaju neposredno na mjestu sudara.

2.1.4. Tragovi na kolniku nastali od otpale nečistoće s vozila

Prilikom sudara vozila s pješakom i sudara između dva vozila može doći do razdvajanja nečistoće (zemlje, blata, prašine) koja je nanesena ispod blatobrana ili na drugim elementima i padanja na kolnik kad se formira trag od te nečistoće. Nečistoća se odvaja usred potresa vozila prilikom sudara i to prvenstveno s onih dijelova i površina karoserije koji su najbliži mjestu sudara (Inić, M. 2002.).

Slika 7.Stvarno mjesto sudara na visini pješačkog prijelaza daleko ispred konačnog položaja vozila i tragovi zemlje



Izvor:Inić, M. (2002.): Bezbednost drumskog saobaćaja, FTN, Novi Sad

Prethodna slika prikazuje lokaciju otpale nečistoće poslije sudara vozila i pješaka i prethodno izloženih diskontinuiranih tragova pri samom sudaru. Pošto se nanesena nečistoća odvoji, ako joj to omogućuje deformacija karoserije, ona pada pod djelovanjem zemljine sile teže po putanji koja odgovara zakonu horizontalnog hica. Udaljenost između mjesta sudara, odnosno mjesta na kome se nečistoća odvojila od dijelova vozila i počela da pada i mjesta na koje je pala na podlogu puta, može se izračunati prema sljedećoj jednadžbi:

$$S = V \cdot t$$

gdje je:

S – udaljenost od mjesta sudara do mjesta na koje je nečistoća pala na kolnik u metrima [m];

V – horizontalna brzina odbacivanja nečistoće [m/s];

t – vrijeme pada nečistoće [s].

Vrijeme pada može se izračunati na osnovu zakona o slobodnom padu iz jednadžbe:

$$t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$$

gdje je:

h – visina mjesta na vozilu mjerena od nivoa kolnika, sa kojega se odvojila nečistoća koja je pala na kolnik [m];

g= 9,81 [m/s^2].

Prilikom proračuna udaljenosti S treba imati u vidu činjenicu da horizontalna brzina odbacivanja nečistoće V nije jednaka brzini vozila u trenutku sudara, već je po pravilu znatno manja od nje. Brzina odbacivanja nečistoće podudara se otprilike s brzinom dodirnih točaka vozila prilikom faze kompresije. Kod frontalnih sudara ta brzina je vrlo mala i približava se nuli. Istraživanja prometnih nezgoda pokazuju da je u ovakvim slučajevima udaljenost između mjesta nezgode i lokacije tragova od nečistoće vrlo mala (ispod 1 [m]). Kod nezgode druge vrste (na primjer, sudara pod pravim kutom) može se lokacija tragova nečistoće naći na znatno većim udaljenostima (1-5 [m]) od mjesta sudara (Inić, M. 2002.).

Mjesto udara nečistoće na kolnik i njen početak lociranja kao traga na kolniku su približno identični.

Nečistoća koja je otpala s vozila se poslije udara u kolnik ne pomiče dalje bez formiranja traga. Kad se nečistoća od potresa odvaja od površine vozila i slobodno vertikalno pada na podlogu ceste, ona se kao trag koncentrira na užem lokalitetu i zadržava na mjestu pada zato što pada pod pravim kutom u odnosu na površinu kolnika, a kolnik se ne može smatrati elastičnim. U korištenju tragova od nečistoće treba biti pažljiv jer su moguće pogrešne interpretacije.

Na primjer, ima slučajeva kad se tragovi nečistoće nalaze neposredno na mjestu gdje su zaustavljena vozila, iako sve ukazuje na to da se sudar dogodio znatno ispred tog mjesta. Ovo se objašnjava time što se nečistoća u konkretnom slučaju nije sasvim odvojila od vozila na mjestu sudara, već pri kraju kočenja i to pod djelovanjem potresa kojima je vozilo bilo izloženo poslije oslobađanja opruga koje su u fazi sudara bile opterećene.

Ako nečistoća u sudaru otpadne s površine unutrašnje strane blatobrana iznad kotača vozila i ako u padu kontaktira kotač, njen put pada će biti produžen, a samo istresanje neće imati koncentriran trag, već će se formirati duži trag usred rotacijskog kretanja nečistoće pri padu po kotaču i blatobranu vozila.

2.1.5. Tragovi boje i stakla

Komadići razbijenog stakla i otpale boje koji se prilikom sudara odvajaju od vozila bivaju odbacivani po putanji horizontalnog hica do udara u površinu kolnika.

Vrijeme pada:

$$t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$$

gdje je:

h – visina mjesta odbacivanja [m];

g = 9,81 [m/s^2].

Daljina odbačaja:

$$S = V \cdot t$$

gdje je:

V – horizontalna brzina odbacivanja [m/s]

t – vrijeme pada [s].

Treba imati u vidu činjenicu da se komadići stakla kreću po podlozi puta i poslije pada, tj. udara u podlogu. Ovo vrijedi i za komadiće boje, ali u manjoj mjeri.

Prema istraživanjima prometnih nezgoda gdje je mjesto sudara pouzdano poznato, prvi komadići odbačenog stakla nađeni su na mjestu pada na kolnik,tj. na mjestu gdje su ostvarili kontakt s kolnikom poslije slobodnog leta u odbačaju do kolnika (Inić, M. 2002.). Ostali komadići stakla klizali su ili su se kotrljali po kolniku formirajući po njemu trag karakterističan po obliku koji definira smjer i pravac odbačaja od mjesta sudara. Ovakav tok odbačaja postoji samo u slučajevima kad se komadići stakla mogu slobodno kretati po svojoj putanji tj. kada njihovo odbacivanje nije spriječeno dijelovima drugog vozila ili tijelom pješaka. Prema tome, za određivanje mjesta sudara po ovoj metodi, relevantni su samo odbačeni komadići koji su najbliži mjestu sudara.

Pri proračunu daljine odbačaja S treba imati u vidu da brzina odbacivanja komadića stakla i boje, iz istih razloga kao i kod nečistoće, ne mora uvijek biti identična s brzinom

vozila. Prema istraživanjima prometnihnesreća utvrđeno je da je donja granica brzine komadića stakla i boje u trenutku odbacivanja bila oko polovice brzine vozila u trenutku sudara.

Kod određivanja mjesta sudara ovom metodom treba utvrditi kada je došlo do loma stakla – u trenutku primarnog sudara ili u njegovom toku. Kod naleta vozila na pješaka primarni sudar se ostvaruje prednjim branikom, a sekundarni vjetrobranom s kojega se odbacuju komadići razbijenog stakla ako u sudaru nisu razbijena stakla farova vozila.

U ovom slučaju mjesto sudara dobiveno proračunom iz daljine odbačaja komadića od vjetrobranskog stakla nije točno.

U ovakvim slučajevima treba daljini odbačaja komadića stakla dodati još i put koji je vozilo prošlo od trenutka prvog kontakta sa pješakom do trenutka udara njegove glave (tijela) u vjetrobransko staklo. Prema Apelovim eksperimentima sa lutkama ovo vrijeme iznosi od 0,2 - 0,8 s, zavisno od oblika karoserije automobila (Inić, M. 2002.).

2.1.6. Produžavanje tragova nastalih djelovanjem inercijskih sila od pozicija zaustavljenih vozila unazad

U slučajevima prometnihnesreća u kojima sudjeluju vozila na dva kotača, (bicikl, moped, motocikl)na putu odbačaja ili potiskivanja se pojavljuju tragovi u obliku ogrebotina koje ostavljaju prevrnuto vozilo koje po kolniku u odbačaju klizi ili biva potiskivano, vučeno od vozila koje je u sudaru imalo veću energiju.

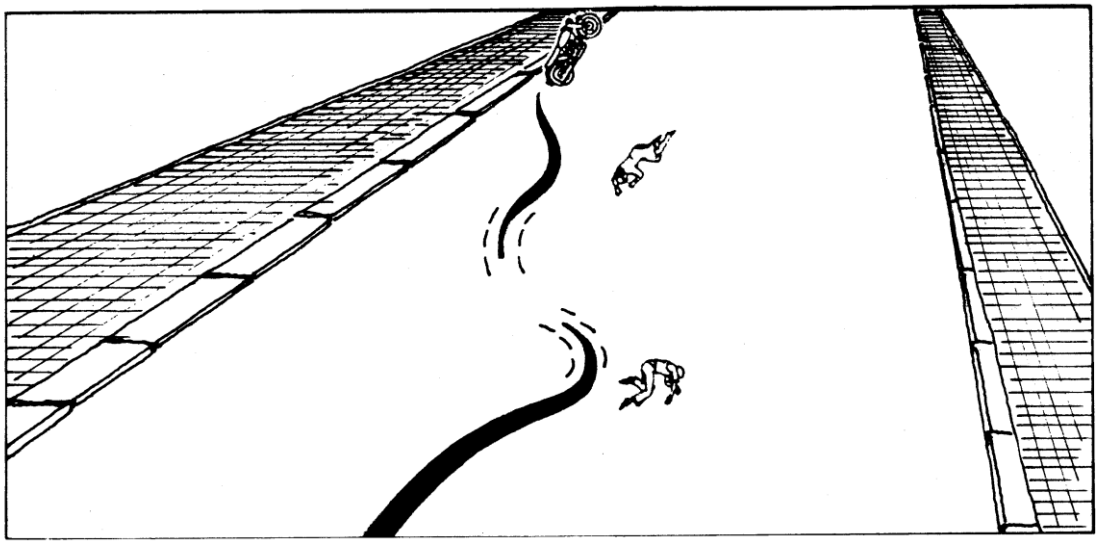
Istraživanja ovakvih prometnih nezgoda pokazuju da se u odbačaju prevrnutovozilo kreće težištem po ravnoj liniji sve dok vozilo u toku svog inercijskog kretanja ne udari u neku prepreku (na primjer rubnjak). Ogrebotine pri ovom odbačaju ne počinju uvijek sa samog mjesta sudara, odnosno od mjesta prevrtanja vozila na dva kotača.

Na osnovu poznatog položaja ostalih tragova grebanja kolnika dijelovima prevrnutog vozila na dva kotača koji je klizanjem odbačen od mjesta sudara do smirivanja u konačan položaj, može se rekonstruirati tok nezgode i odrediti mjesto sudara tako što se trag ogrebotina kolnika produžava unazad po mogućnosti do presijecanja s putanjom ili tragovima vožnje odnosno kočenja vozila s kojim se vozilo na dva kotačasudarilo. Prema lokaciji i izgledu oštećenja na vozilima se mogu precizno odrediti mjesto sudara na kolniku i međusobni položaj vozila u trenutku sudara.

2.1.7. Početak tragova nastalih u procesu kretanja vozila s djelovanjem inercijskih sila

Ako se trag kočenja nekog vozila koje je kočilo prije sudara prekida i nastavlja početkom tragova nastalih pod djelovanjem inercijskih sila u procesu sudara (tragovi grebanja kolnika, tragovi zanošenja i drugo) može se pouzdano odrediti mjesto sudara duž tih tragova. Mjesto sudara je u tom slučaju na kraju tragova kočenja i početku tragova nastalih pod djelovanjem inercijskih sila. Na osnovu početka tragova nastalih od djelovanja inercijskih sila, kao što su tragovi nastali od grebanja kolnika dijelovima u sudaru odbačenog vozila na dva kotača ili tragovi zanošenja putničkog automobila koji je poslije sudara odbačen u stranu, ne mogu se izvoditi pouzdani zaključci o lokaciji mjesta sudara i položaja sudionika na njemu. Prema izvršenim istraživanjima proizlazi da ovi tragovi mogu nastati neposredno poslije sudara, ali često se pojavljuju i poslije isteka izvjesnog vremena od sudara, što zavisi od niza okolnosti koje treba detaljno analizirati u svakom konkretnom slučaju nezgode koja se rekonstruira.

Slika 8. Kraj traga kočenja i početak traga zanošenja motocikla poslije sudara s pješakom



Izvor: Kostić, S. (2002.): Tehnike bezbednosti i kontrole saobraćaja, FTN, Novi Sad

Kod nekih vrsta nesreća, vozila na dva kotača mogu klizati na većoj udaljenosti po kolniku i da pri tome na njemu ne ostavljaju vidljive tragove, kao što automobili u nesrećama mogu poslije sudara mijenjati putanju, rotiraju ili se zanose u stranu, a da pri tome ne ostave na putu vidljive tragove pomoću kojih se može rekonstruirati tok ovakvog načina kretanja

automobila. U ovim slučajevima kada se prema položaju i početku ovakvih tragova ne može rekonstruirati tok nezgode koriste se drugi materijalni elementi (Kostić, S. 2002.).

2.1.8. Krajnji položaj vozila i položaj zajedničkog težišta vozila poslije sudara (smirivanja)

Ako se istražuje mjesto sudara u cilju dobivanja odgovora na kojoj se prometnoj traci dogodio sudar u određenim slučajevima krajnji položaj vozila može poslužiti kao dokaz za to. Ako se vozilo nakon sudjelovanja u frontalnom sudaru više ne kreće svojim prvobitnim smjerom i ako u sudaru izgubi veliki dio brzine, tada se obično ono zadrži naprometnoj traci na kojoj se dogodio sudar.

Ako su se vozila poslije sudara pod utjecajem inercije i dalje u znatnoj mjerikretala, ne može se donijeti ovakav zaključak.

2.1.9. Krajnji položaj predmeta koji je nosio pješak (kapa, štap, torba…)

Istraživanja prometnihnesreća između vozila i pješaka pokazala su da se predmeti koje je nosio pješak najčešće nalaze u neposrednoj blizini mjesta sudara.

To je i fizički razumljivo jer se u momentu sudara predmet odvaja od pješaka usred potresa i ne ubrzava se (kao tijelo pješaka) na brzinu vozila koje na njega naleti. Zato ovako razdvojeni predmeti od pješaka ne bivaju odbačeni po dužoj putanji.

Daljina odbačaja *S*ovih predmeta može se aproksimativno izračunati pomoću sljedeće jednadžbe:

$$S = \frac{V}{10}$$

gdje je:

V – brzina vozila u momentu naleta na pješaka [km/h];

S – udaljenost predmeta od mjesta sudara [m].

2.1.10. Krajnji položaj pješaka

Na temeljuEisholzovih eksperimentiranja s lutkom utvrđeno je da daljina odbačaja S_{od} raste s kvadratom sudarne brzine automobila (Kostić, S. 2002.):

$$S_{od} = \frac{V_s}{144}$$

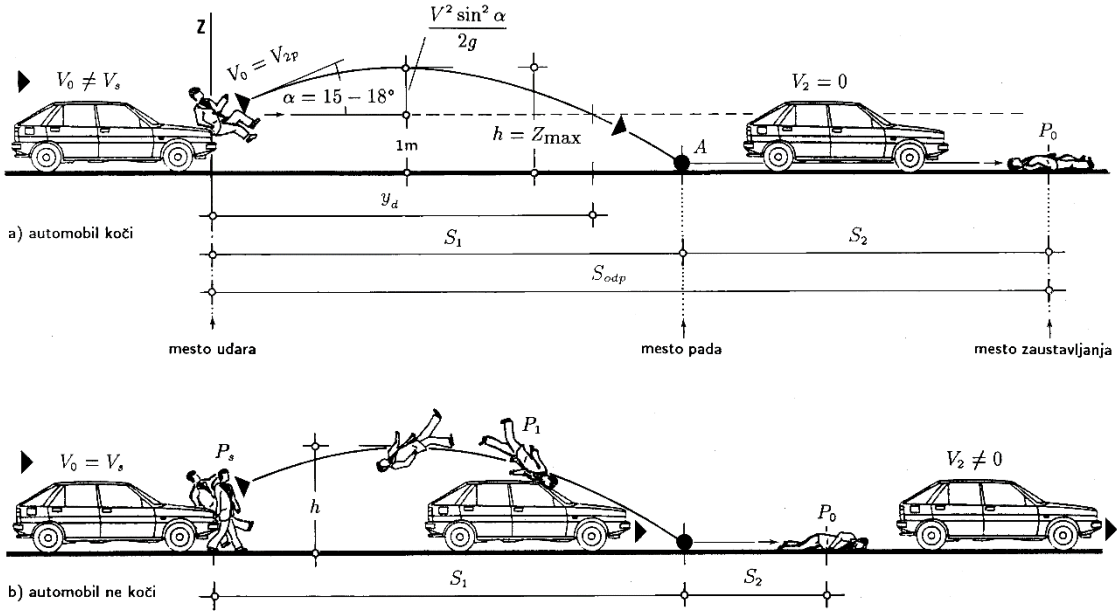
gdje je:

S_{od} – daljina odbačaja [m]

V_s – udarna brzina automobila [*km/h*].

Ova aproksimativna jednadžba vrijedi samo u slučajevima kad je putnički automobil u trenutku sudara bio potpuno zakočen i ako je pješak u sudaru zahvaćen cijelom figurom, (puno pogođen) a ne samo bočno okrznut.

Slika 9.Tijek sudara automobila i pješaka



Izvor:Kostić, S. (2002.): Tehnike bezbednosti i kontrole saobraćaja, FTN, Novi Sad

Istraživanja prometnih nezgoda pokazuju da se navedena aproksimativna jednadžba može koristiti i kod realnih nesreća, ali se rezultati mogu razlikovati urasponu od ± 10%. U ovim granicama jednadžba daje upotrebljive rezultate nezavisnood oblika prednjeg dijela karoserije vozila koje nalijeće na pješaka i nezavisno od veličine, težine, smjera kretanja i brzine pješaka koji je sudjelovao u sudaru s automobilom.

Međutim, treba posebno istaknuti da se ovom jednadžbom mogu dobiti upotrebljivi rezultati samo ako sudarna brzina automobila nije veća od 80-90 [*km/h*].

Kod većih brzina pri sudaru pješak biva odbačen na visinu veću od visine krova te vozilo na njega ne prenosi svoju brzinu usred čega se automobil zaustavlja iza mjesta na koje pada odbačeni pješak, a daljina odbačaja je u ovim slučajevima manja od one koja bi se dobila primjenom dane jednadžbe za izračunavanje daljine odbačaja.

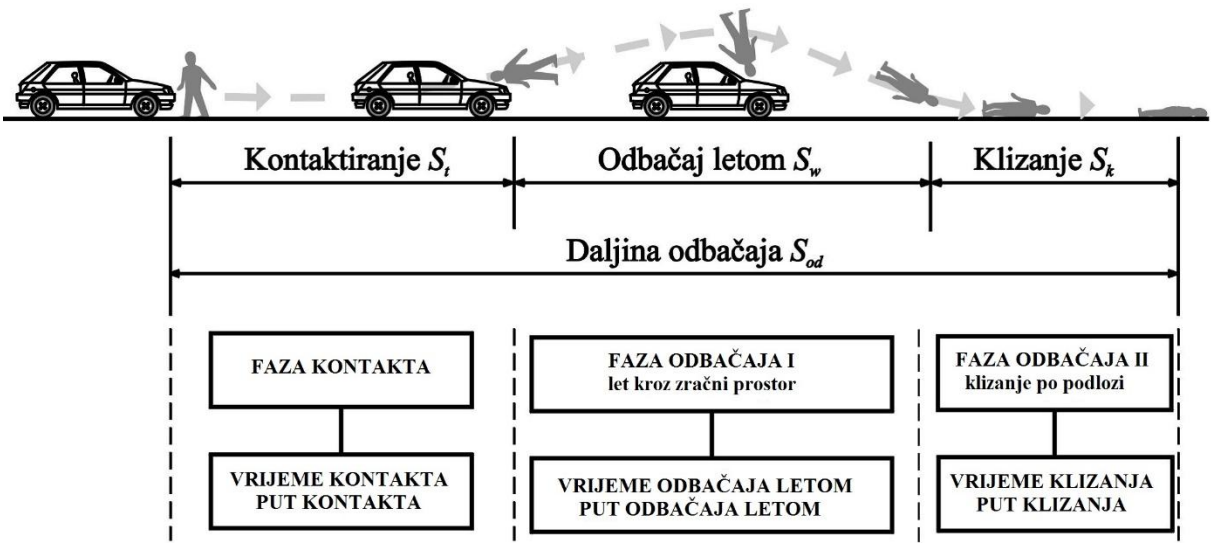
Udaljenost između mjesta sudara i krajnjeg položaja pješaka poznata pod nazivom "daljina odbačaja (domet) pješaka", sastoji se od tri parcijalno karakteristične dužine:

1. "Dužine transporta" – put kontaktiranja pješaka i vozila od trenutka prvog dodira s vozilom do trenutka odvajanja pješaka od vozila;
2. Pravog "dometa" – put leta tj. dužine koju tijelo pješaka u odbačaju preleti od trenutka odvajanja od vozila pa do trenutka pada (udara) na površinu kolnika;
3. "Dužine klizanja" – put klizanja, koji pješak u klizanju ili kotrljanju ostvari od momenta pada (udara) na kolnik pa do zaustavljanja u krajnjem položaju.

Eksperimentalno su mjerena vremena trajanja transporta, odnosno kontaktiranja vozila od strane pješaka (tj. vremena od trenutka prvog dodira do trenutka odvajanja – koja zavise od oblika karoserije vozila, brzine vozila, veličine pješaka). Utvrđeno je da kod vozila koja su kočila u momentu sudara to vrijeme iznosi između 0,2 do 0,8 sekundi (Kostić, S. 2002.).

Na sljedećoj slici je dana fazna podjela i slikovit prikaz daljine odbačaja.

Slika 10. Fazni prikaz tijeka sudara između automobila i pješaka



Izvor:Kostić, S. (2002.): Tehnike bezbednosti i kontrole saobraćaja, FTN, Novi Sad

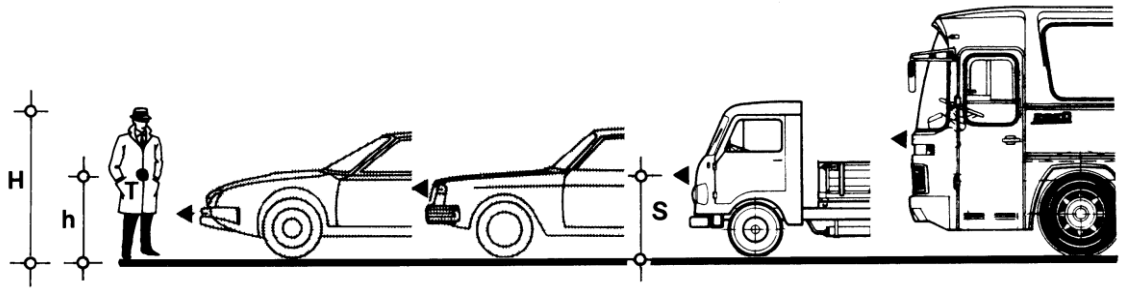
2.1.11. Oštećenja na putničkom automobilu

Ako bi bilo moguće na osnovu veličine i lokacije oštećenja vozila od sudara s pješakom odrediti brzinu vozila u trenutku sudara, tada bi se mogao na osnovu poznatog usporavanja vozila u kočenju b poslije sudara izračunati ostatak puta kočenja S_b prema sljedećoj jednadžbi:

$$S_b = \frac{V_s^2}{2b}$$

Tada bi bilo određeno i mjesto sudara. Međutim, stupanj oštećenja vozila izazvanudarom ne zavisi samo od brzine vozila u trenutku sudara nego i čvrstoće dijela karoserije s kojima je pješak bio u kontaktu, kao i od brzine, veličine i težine pješaka. Analizom prometnih nesreća utvrđeno je da se na osnovu oštećenja vozila mogu dati samo približni podaci o brzini vozila u trenutku sudara. Uži opseg moguće sudarne brzine može se odrediti na osnovu lokacije oštećenja na vozilu. Pješak će u fazi sudara u izjednačavanju svoje brzine s brzinom vozila ostvariti kontakte dublje duž vozila gledano od čelne površine što je brzina vozila u momentu sudara veća. Kod većih sudarnih brzina sile trenja između vozila i pješaka moraju djelovati duže, dok ne dođe do potpunog izjednačavanja brzine vozila i pješaka. Odnos između veličine i oblika oštećenja na vozilu i sudarne brzine u velikoj mjeri zavisi od oblika (forme) prednje strane vozila i veličine pješaka, kao što je prikazano na sljedećoj slici.

Slika 11.Kontakt čelnih površina prema težištu i visini pješaka sa kojim automobil dolazi u sukob



Izvor:Kostić, S. (2002.): Tehnike bezbednosti i kontrole saobraćaja, FTN, Novi Sad

Kako forma prednje strane karoserije ima utjecaj na raspored oštećenja treba razlikovati tri karakteristična i različita oblika karoserije značajnih za određivanje brzine vozila na osnovu lokacije oštećenja na vozilima (Kostić, S. 2002.)..

a) Vozila s relativno visokom vertikalnom prednjom maskom. Tipičan predstavnik ove grupe je VW kombi, Zastava kombi;
b) Vozila s manje-više izrazito četvrtastim prednjim dijelom karoserije kod kojih visina prednjeg dijela u prosjeku iznosi oko 90 [*cm*]. Tipični predstavnici ove klase vozila su: putnički automobili marke Opel, Ford itd. (stari modeli);
c) Vozila kod kojih se karoserija počevši od visine prednjeg branika postepeno uzdiže prema kabini. Tipični predstavnici ove klase su: VW Buba, veliki Citroenovi automobili i sportski automobili kao što su: Porsche ili Opel GT.

Očigledno je da vozila iz grupe a) zbog oblika svoje karoserije nisu pogodna za određivanje sudarne brzine na osnovu veličine i lokacije oštećenja. Za vozila iz grupe b) i c) možemo na osnovu istraživanja prometnih nesreća istaknuti sljedeće:

- Kod vozila iz grupe b) glava pješaka visokog oko 170 [*cm*] udara u vjetrobransko staklo samo kod sudarnih brzina većih od 50-60 [*km/h*]. Međutim, kod vozila iz grupe c) to se događa već i pri brzinama od oko 40 [*km/h*]. Prednji rub krova kontaktira pješak visok oko 170 [*cm*], kod vozila iz grupe b) pri sudarnoj brzini od najmanje 60-70 [*km/h*], a kod vozila iz grupe c) već pri brzini sudara od oko 50-60 [*km/h*].
- Kod viših pješaka ova mjesta kontaktiranja bit će ostvarena i s manjim sudarnim brzinama. Obrnuti zaključak vrijedi i u pogledu veličine vozila. Ako je udaljenost između prednjeg branika i vjetrobrana vrlo mala, naznačena kontaktna područja vozila bit će ostvarena i pri manjim brzinama, a kod vozila s većom daljinom od prednjeg branika do vjetrobrana, kontaktiranja s označenim mjestima, ostvarit će se kod većih sudarnih brzina od već naznačenih.

2.1.12. Teške ozljede pješaka

Da je moguće prema stupnjuozljeda egzaktno odrediti sudarnu brzinu vozila V_s tada bi se kod poznatog usporenja vozila *b* pomoću jednadžbe:

$$S_b = \frac{V_s^2}{2b}$$

mogao izračunati put kočenja od sudara do zaustavljanja S_b, a na osnovu njega odrediti i mjesto sudara. Međutim, na osnovu povreda pješaka sudarna brzina može se samo grubo

procijeniti u određenom opsegu. Prema rezultatima istraživanja prometnih nesreća, najmanja brzina kod koje je došlo do smrtnog stradanja pješaka iznosila je 15 [*km/h*], (žena, 80 godina), a najveća brzina kod koje je pješak prošao bez ikakvih povreda je 40 [*km/h*](dijete, 11 godina).

2.2. Određivanje mjesta sudara i sudarne brzine eksperimentalnom metodom iz podataka o odbacivanju komadića vjetrobranskog stakla i fara

2.2.1. Daljina odbacivanja komadića razbijenog vjetrobranskog stakla

Pomoću položaja komadića razbijenog stakla farova ili vjetrobrana automobila, mogu se određivati sudarna brzina i mjesto sudara vozila. Usporenje koje se ostvaruje pri klizanju komadića razbijenog stakla po suhoj i hrapavoj kolnoj površini ima srednju vrijednost od 10 do 14 [m/s^2]. Eksperimentalnim istraživanjima utvrđena je zavisnost između brzine vozila pri razbijanju vjetrobranskog stakla i daljine odbačaja i formiranja traga od komadića raspadnutog stakla. Eksperimenti su vršeni s vozilima i pod uvjetom koji u najvećoj mjeri odgovaraju realnim slučajevima:

a) Brzina kretanja vozila pri razbijanju stakla bila je 10 [*m/s*];
b) Usporenja vozila poslije razbijanja stakla imala su vrijednost do 6 [m/s^2];
c) Maksimalna visina gornjeg ruba vjetrobranskog stakla bila je do 3 [*m*];
d) Nagib vjetrobranskog stakla, mjereno iz horizontalnog položaja bio je do 40°;
e) Korištena su vozila koja su naprijed imala haubu (klasični automobili) i vozila bez haube (autobus i teretni automobili).

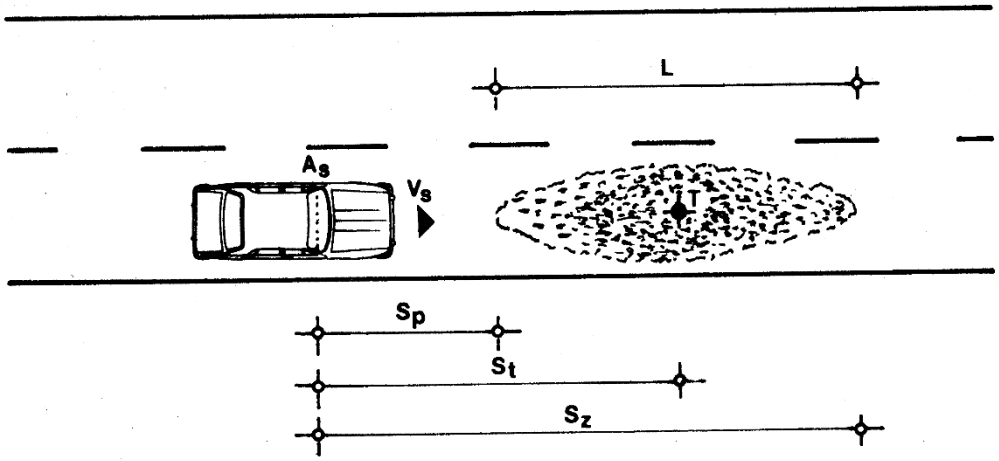
Pri snimanju je mjerena gustoća komadića stakla, daljina odbačaja prvog S_p i posljednjeg S_z komadića odbačenog stakla i udaljenost težištaS_t traga rasutog stakla od mjesta sudara (razbijanja vjetrobranskog stakla). Kod polja gdje su zatečeni prvi i posljednji komadići stakla ostvarena je prosječna gustoća stakla od 5 [g/m^2] pri veličini jednog komadića stakla od 9 x 7 x 5 [*mm*] i masi od 5 [*g*] po komadu.

Pri istraživanju je izvedeno 155 eksperimenata s razbijanjem jednoslojnog sigurnosnog vjetrobranskog stakla i 45 eksperimenata s razbijanjem stakla fara.

Primjera radi, navode se podaci uneseni u protokolarni list za jedan eksperiment sudara s razbijanjem vjetrobranskog stakla kod putničkog automobila.

- Brzina vozila u trenutku sudara $V = 11{,}8$ [m/s];
- Usporenje vozila od sudara do zaustavljanja $b = 2{,}0$ [m/s^2],
- Daljina odbačaja prvog komadića stakla $S_p = 6{,}2$ [m];
- Daljina odbačaja posljednjeg komadića stakla $S_z = 22$ [m];
- Udaljenost težišta traga stakla od mjesta sudara $S_t = 14{,}5$ [m];
- Oblik vjetrobranskog stakla kao kod putničkog automobila Ford;
- Dimenzije vjetrobranskog stakla 120 x 55 [cm];
- Masa vjetrobranskog stakla 8000 [g];
- Visina donjeg ruba vjetrobrana $H_d = 85$ [cm];
- Visina gornje ruba vjetrobranskog stakla $H_g = 140$ [cm];
- Nagib vjetrobranskog stakla 2°;
- Površina kolnika od betona bila je suha;
- brzina vjetra $W = 3$ [m/s];
- Smjer vjetra bio je suprotan smjeru kretanja automobila.

Slika 12. Izgled formiranog traga od odbačenih komadića stakla razbijenog vjetrobrana

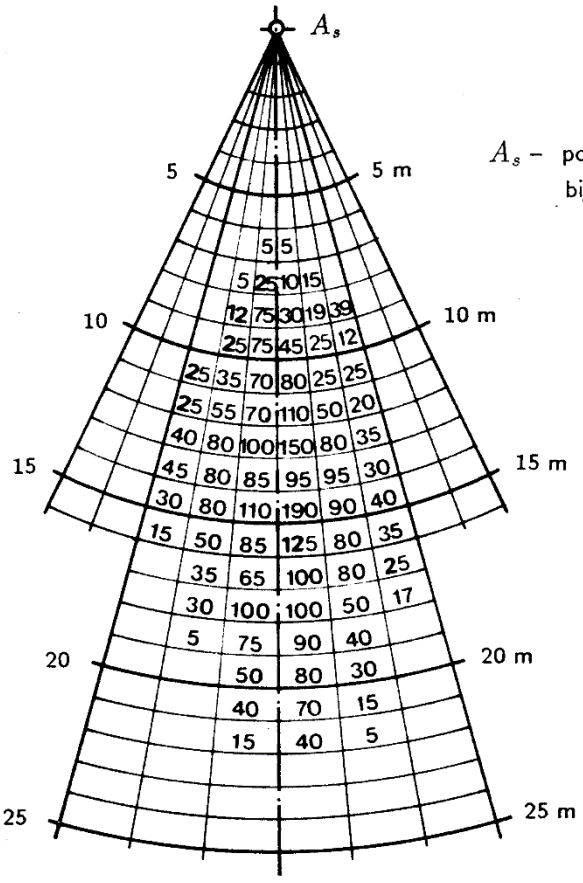


L – dužina traga od komadića stakla

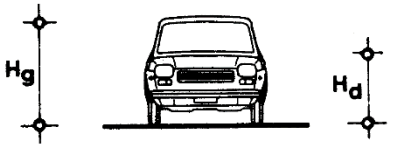
S_p – dužina odbačaja prvog komadića stakla vetrobrana

S_t – udaljenost težišta traga od sudarne pozicije automobila (A_s)

S_z – dužina odbačaja poslednjeg komadića stakla vetrobrana



A_s – položaj automobila na mestu sudara (razbijanju vetrobranskog stakla vozila).



H_g – gornja visina vetrobrana

H_d – donja visina vetrobrana

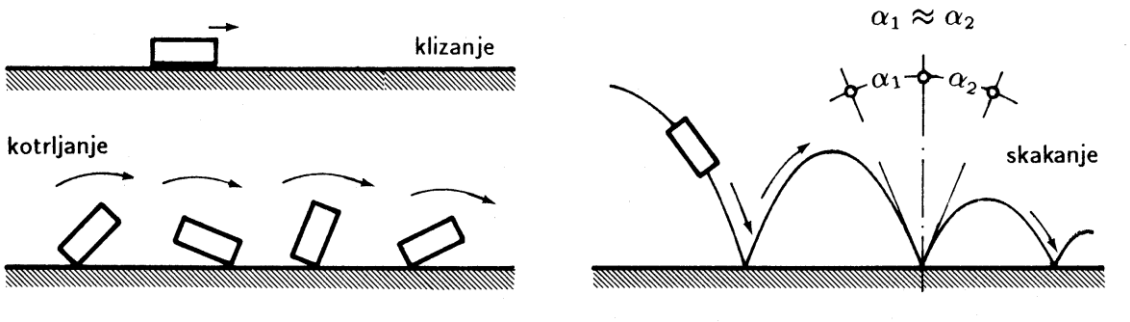
Izvor:Kostić, S. (2002.): Tehnike bezbednosti i kontrole saobraćaja, FTN, Novi Sad

2.2.2. Mehanizam odbacivanja komadića stakla

Na osnovi eksperimenta i filmskih snimaka utvrđeno je da se mehanizam odbačaja stakla razlikuje kod vozila s ili bez haube. Kod vozila bez haube (autobus) komadići razbijenog stakla su padali u većini u još labavo povezanim većim komadima stakla. Poslije kontaktiranja kolnika pojedini komadići su po njemu skakali i formirali dio kruga. Kod neznatnih sudarnih brzina komadići stakla su ležali u blizini mjesta sudara. Pri većim brzinama i pri normalnom usporavanju (kočenju) vozila poslije razbijanja vjetrobranskog stakla komadići su se odvajali i u vodoravnom izbačaju (zakon horizontalnog hica) padali na kolnik ispred vozila. Pri padu na kolnik komadići stakla su se kretali na tri načina: klizanjem, kotrljanjem i skakutanjem (Kostić, S. 2002.).

Pri padu na kolnik i skakutanju, komadići stakla su se naginjali i udarali o kolnik pod kutom padanja koji odgovara kutu izbacivanja. Na slici br. 12. prikazuju se načini kretanja komadića stakla odbačenih s vozila.

Slika 13.Mehanizam kretanja komadića razbijenog vjetrobranskog stakla po kolniku



Izvor:Kostić, S. (2002.): Tehnike bezbednosti i kontrole saobraćaja, FTN, Novi Sad

Ovakvi oblici kretanja komadića razbijenog i odbačenog stakla odvijaju se usporedno, tako da to proizvodi različito usporavanje pojedinih komadića stakla pri kretanju po kolniku.

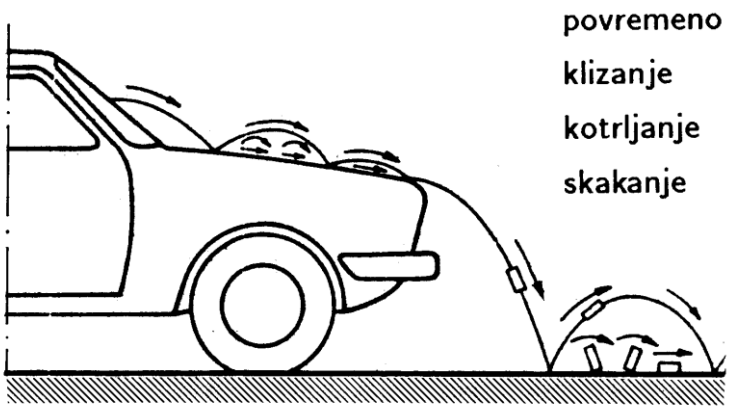
Kod klasičnih putničkih automobila koji imaju prednji koš (prednju haubu) i nagnuto vjetrobransko staklo, tijek odbačaja razbijenog stakla odvija se na nešto drugačiji način.

U slučajevima kad su vozila stajala, kad su bila slabo usporavana ili kad nisu uopće usporavana, pretežna masa razbijenog stakla vjetrobrana padala je u unutrašnji prostor (kabinu za putnike) vozila. Samo manja količina komadića stakla padala je odmah na stranu pored vozila, pa su baš oni bili pogodni za određivanje mjesta sudara.

Pri većim sudarnim brzinama i većem usporavanju vozila komadići stakla su izbacivani van, tako da su padali na poklopac motora (prtljažnika), pa su poslije klizanja, kotrljanja i odbijanja od poklopca padali na kolnik po kojem su se u odbačaju klizali, kotrljali i skakutali do smirivanja. Na slici br. 13. je shematski prikazan mehanizam odbačaja komadića razbijenog stakla vjetrobrana koji po kosom poklopcu motora savlada trenje izazvano usporenjem vozila i djelovanjem gravitacije.

Kod prosječnog nagiba poklopca motora od 5° i pri koeficijentu prianjanja između stakla i lakiranog lima poklopca motora $\mu = 0{,}28 \div 0{,}38$ ovaj mehanizam odbačaja pojavljivao se u većem obujmu kod realiziranja usporenja vozila većih od $b = 2 \div 3$ [m/s^2]. Od prednjeg ruba vozila komadići stakla su odbacivani po zakonu horizontalnog hica na kolnik da bi se po njemu do smirivanja kretali klizanjem, kotrljanjem i skakutanjem. Karakter mehanizma kretanja komadića stakla po kolniku kod vozila s poklopcem motora (s haubom) približavao se vozilima strambus kabinom utoliko više, ukoliko je vozilo bilo usporavano s većim usporenjem i ukoliko je vozilo imalo kraći čelni dio i strmiji poklopac motora.

Slika 14. Mehanizam odbačaja komadića stakla



Izvor:Kostić, S. (2002.): Tehnike bezbednosti i kontrole saobraćaja, FTN, Novi Sad)

3. Sudari vozila s jednim tragom i vozila s dva traga

Pri neposrednom izlasku u gusti promet dijelovi postavljeni na rubnjacima često su uzrokovali pad vozača vozila s jednim tragom.

Dok još pojedinačne nesreće te vrste nisu bile objašnjavane simulacijama pomoću njihovih kinematičkih značajki, glavni tipovi sudara između vozila s jednim tragom i osobnog automobila često su bila predmet znanstvenog istraživanja.

3.1. Sudari bicikla i osobnog vozila

Postoji nekoliko tipova sudara između bicikla i osobnog vozila, a najčešći su (Rotim, F. 1991.):

- Nalet bicikla na prednji dio osobnog vozila;
- Nalet bicikla bočno na osobno vozilo;
- Sudar u obliku okrznuća između osobnog vozila i bicikla.

Nalet bicikla na prednji dio osobnog vozila

Pri čelnom udarcu osobnog automobila na bicikl (bilo da bicikl „krstari“, dolazi mu ususret ili vozi u istom pravcu), bicikl će za nekoliko trenutaka bočno pasti na kolnik i tako otklizati do konačnog položaja.

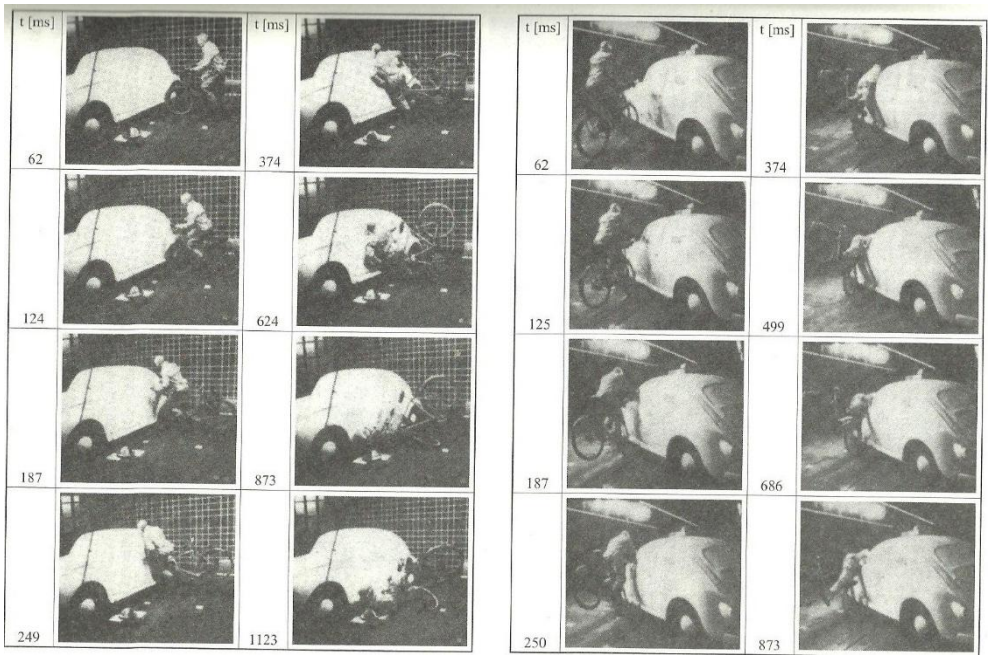
Biciklist udara u prednji dio i onda prolazi kroz faze koje odgovaraju fazama kretanja pješaka, a potom do konačnog položaja. Oba pokreta – izlijetanja su funkcije brzine udarca, odnosno na temelju impulsa stvorene poslije sudarne brzine.

Nalet bicikla bočno na osobno vozilo;

Kod naleta bicikla s oko 20 km/h bočno na osobno vozilo, nakon prvog dodira prednje vilice dolazi do savijanja, tako da kotač pritisne ramu. Nakon toga je usporenje veće nego sila trenja između lutke i sedla, tako da se ona pokreće naprijed. Nalet lutke slijedi nakon 200 do 300 [*ms*], a pad na podlogu nakon 1000 do 2000 [*ms*], što ovisi o vrsti i toku sudara.

Na sljedećoj slici se vidi nalet bicikla s oko 20 [*km/h*] bočno na osobno vozilo.

Slika 15.Nalet bicikla na stražnju bočnu stranu osobnog vozila u mirovanju



Izvor: Rotim, F. (1991.): Elementi sigurnosti cestovnog prometa, Svezak 3, Sudari vozila, Zagreb

3.2. Sudari motocikla i osobnog vozila

Ova vrsta sudara vozila s jednim tragom općenito se posebno razmatra i analizira jer je najučestalija u prometnoj svakidašnjici.

Glede prometnih nesreća s vozilima s jednim tragom treba imati na umu i sljedeće:

- Vozila s jednim tragom postižu prilično velike brzine;
- Vozilo s jednim tragom može udariti u osobni automobil ili biti udareno od njega;
- Sudarni kutovi mogu biti vrlo različiti, a relativne sudarne brzine velike i opasne za život u procesu sudara;
- Omjer sudarnih masa je, s vozačem i opterećenim osobnim automobilom u pokretu od 1:5 do 1:15, pa i više.

U procesu sudara ili naleta motocikla na osobni automobil znakovito je da se tijelo vozača i motocikl nakon prvog dodira odvajaju i započinju kretanja neovisno jedno o drugom.

Prema tome, iako vozač motocikla i motocikl do prvog dodira s motornim vozilom čine cjelinu, neposredno nakon sudara potrebno je analizirati tri neovisna čimbenika:

- Motorno vozilo;
- Motocikl;
- Vozač.

Od ovih triju elemenata sudara, vozač-čovjek je najugroženiji, s najnezaštićenijim vitalnim dijelovima tijela.

Pritom valja imati na umu da motocikli postižu posebno velike brzine, a s tim u vezi i golemu kinetičku energiju sustava. Istodobno je vozač motocikla često nezaštićen, a ponekad i suputnik ako sjedi iza njega (Rotim, F. 1991.).

3.2.1. Varijante sudara između motocikla i osobnog automobila s gledišta kinematike sudara

Varijante sudara između motocikla i osobnog automobila su:

I. Čelni ulazni udar u lijevi i desni prednji dio osobnog automobila;

II. Izravni nasuprotni čelni sudar, koji je najopasniji;

III. Čelni nalet motocikla na bočni dio automobila;

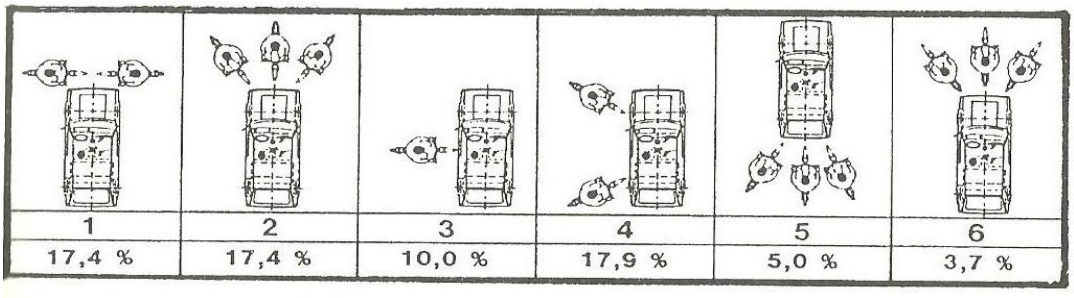
IV. Čelni sudar motocikla s bočnim dijelom automobila, istosmjerni i nasuprotni;

V. Tri kombinacije naleta motocikla na stražnji dio osobnog automobila, ravno i pod kutom;

VI. Nalet prednjeg dijela osobnog automobila na stražnji dio motocikla ravno i pod kutom.

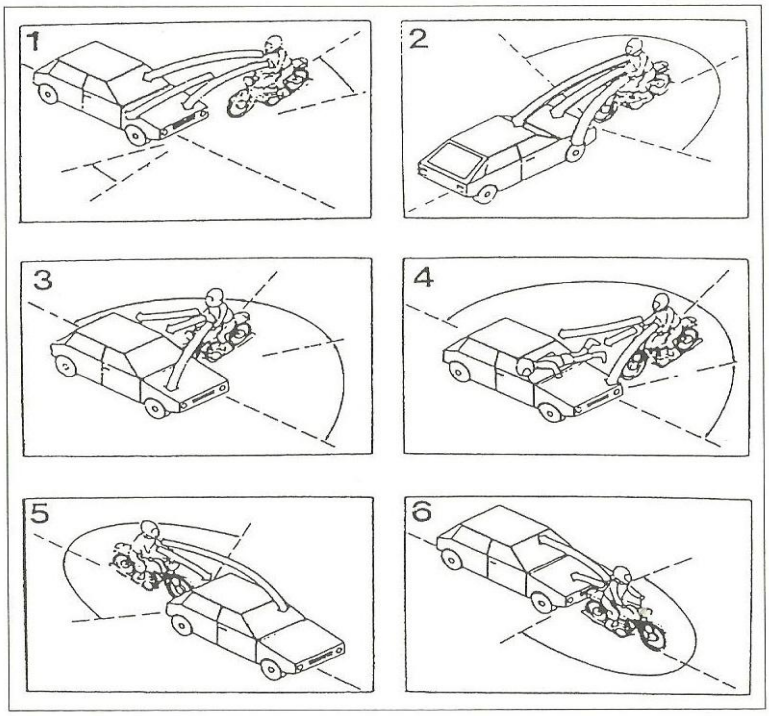
Mogućnost i tipovi sudara motocikla i osobnog automobila prikazani su na sljedećim slikama.

Slika 16. Varijante sudara između motocikla i osobnog automobila



Izvor*:* Rotim, F. (1991.): Elementi sigurnosti cestovnog prometa, Svezak 3, Sudari vozila, Zagreb

Slika 17. Primjeri najčešćih tipova sudara između motocikla i osobnog automobila



Izvor: Rotim, F. (1991.): Elementi sigurnosti cestovnog prometa, Svezak 3, Sudari vozila, Zagreb

S gledišta kinematike u procesu sudara između motocikla i osobnog automobila, postoji sedam skupina.

Prema podacima iz Njemačke postotna je učestalost u navedenim skupinama sudara sljedeća:

Tablica 1. Postotna učestalost po skupinama sudara

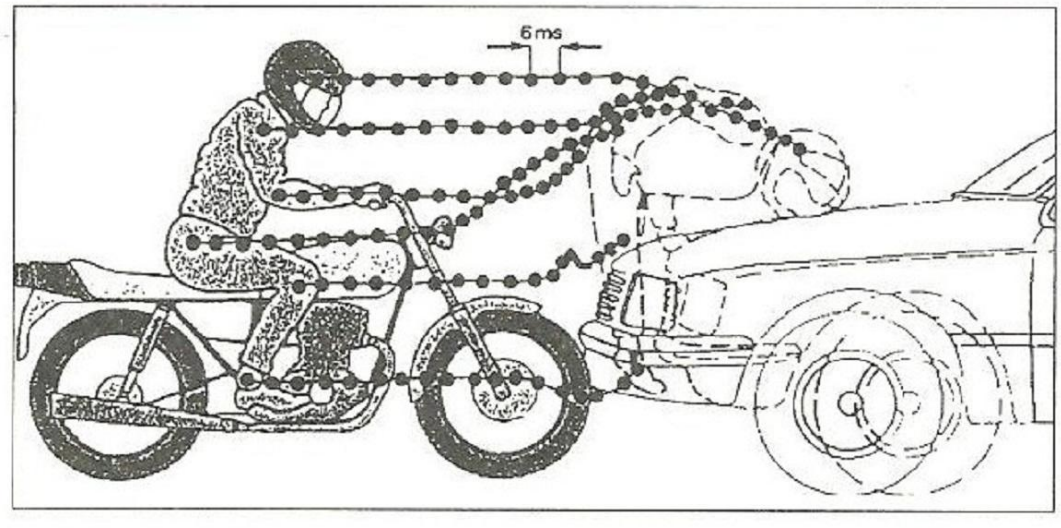
1.	Slobodan let vozača	8,9%
2.	Klizanje vozača po školjki	3,5%
3.	Nabacivanje vozača na školjku	12,3%
4.	Udarac u vozilo s promjenom smjera kretanja vozača	25,9%
5.	Udarac u školjku vozila bez promjene smjera vožnje	17,9%
6.	Udarac u školjku s nalijeganjem tijela vozača	12,3%
7.	Posredni sudar s padom vozača	19,2%

Izvor: Rotim, F. (1991.): Elementi sigurnosti cestovnog prometa, Svezak 3, Sudari vozila, Zagreb

Čelni sudar

Shematski prikaz čelnog sudara motocikla s vozačem pri brzini od 50 [*km/h*] predočen je na sljedećoj slici.

Slika 18.Čelni sudar motocikla s 50 [*km/h*] i osobnog automobila



Izvor: Rotim, F. (1991.): Elementi sigurnosti cestovnog prometa, Svezak 3, Sudari vozila, Zagreb

Predočen je i vremenski tok sudara, u intervalima od šest milisekunda [*ms*] od točke do točke, za pojedine dijelove tijela – kako i kada dolaze u dodir s dijelovima školjke vozila.

Velikih razlika između automobila u kretanju i onog u mirovanju, glede kinematike sudara, nema. Jedina je razlika u tome što prednji kotač motocikla nakon sudara dospijeva u poprečni položaj. U oba se slučaja podiže zadnji kotač, a motocikl biva povučen od vozila pri nižim brzinama ili odbijen u stranu pri višim.

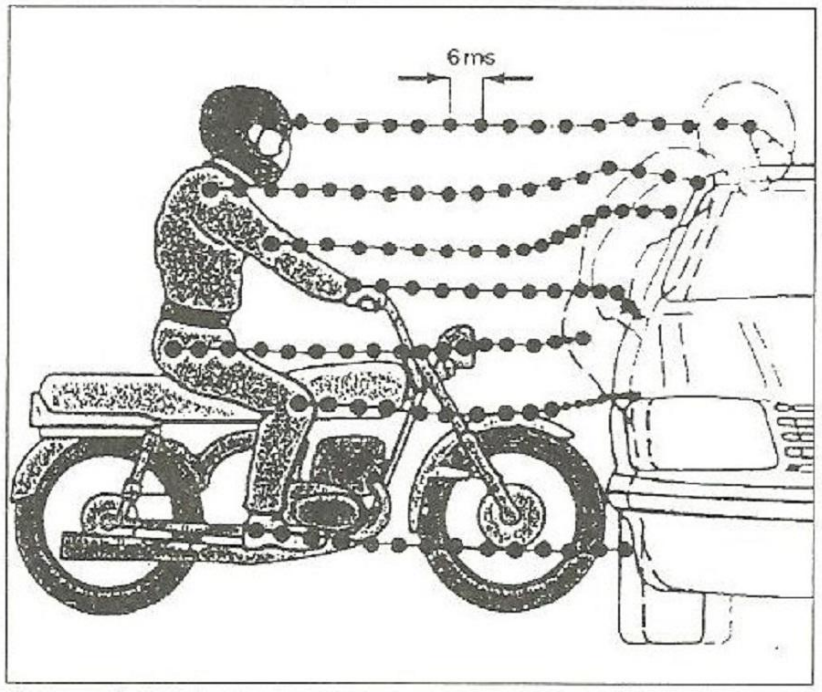
U tim ispitivanjima kinematike sudara koriste se „TEST – LUTKE“ DUMMY koje zamjenjuju vozača motocikla (Rotim, F. 1991.).

Pritom postoji stanovita razlika u odnosu na vozača, jer DUMMY ne reagira kao pravi vozač u trenutku prije, kao ni tijekom sudara.

Bočni sudar

Prikaz kinematike drugog znakovitog čestog sudara – bočnog sudara je na slici 3-5.

Slika 19. Bočni sudar motocikla s automobilom brzine 50 [*km/h*]



Izvor: Rotim, F. (1991.): Elementi sigurnosti cestovnog prometa, Svezak 3, Sudari vozila, Zagreb

Iz ove slike se na osnovi ucrtane putanje pojedinih dijelova tijela motociklista (stopalo, koljeno, kuk, šaka, lakat, rame i glava) može zbrajanjem točaka i množenjem sa šest dobiti vrijeme u milisekundama, koje protekne od trenutka primarnog dodira motocikla i automobila pa do trenutka dodira tog dijela tijela motociklista sa školjkom osobnog automobila.

Pri bočnom sudaru pri brzini od 50 [*km/h*] čitavo tijelo poleti prema školjki vozila, a glava često udara u čvrsti rub krova vozila.

To je ujedno i najopasnija varijanta bočnog sudara motociklista s osobnim automobilom.

Potrebno je istaknuti da su posljedice sudara motocikla s teretnim vozilom, autobusima i traktorima još opasnije za ozljede motociklista te su i materijalne štete veće.

Tada se radi o većem omjeru sudarnih masa, pa su u vezi s tim i deformacije motocikla i ozljede tijela još veće.

3.2.2. Kinetički elementi sudara između motocikla i osobnog automobila

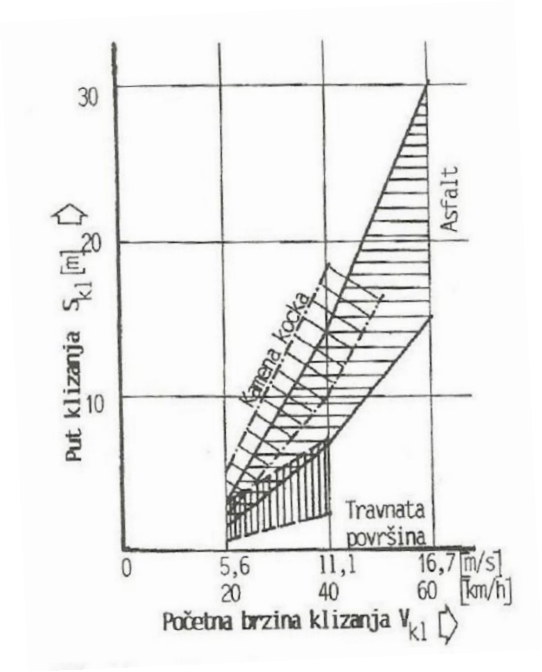
Nakon pada motocikla i tijela vozača na podlogu, oboje se nastavljaju i dalje kretati po podlozi. Ta podloga može biti: asfalt, makadam ili zatravljena površina.

U vezi s tim nameće se pitanje o usporenju koje se ostvaruje klizanjem motocikla i tijela vozača po raznim vrstama podloge.

Glavni parametri koji su bitni za ispitivanje i analize ovih nesreća jesu: brzina, put klizanja i usporenje što se ostvaruje pri tom klizanju motocikla i tijela vozača.

Na sljedećoj slici je prikazana duljina puta klizanja prevrnutog motocikla u funkciji veličine početne brzine klizanja po raznim vrstama podloga.

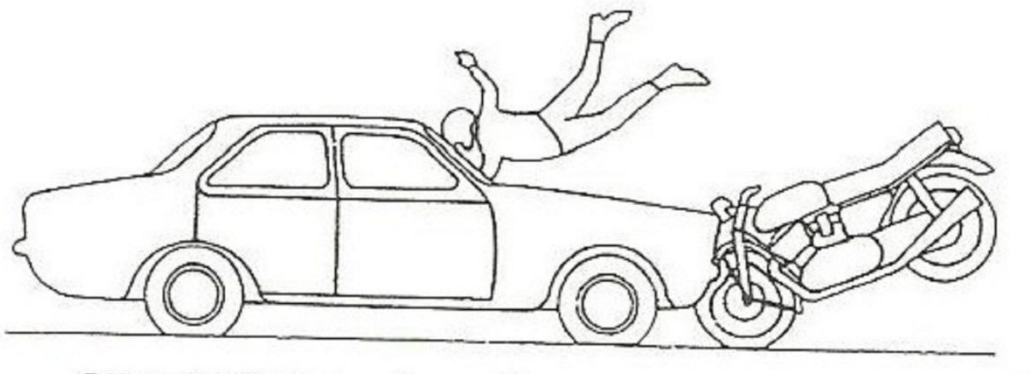
Dijagram 1.Dijagram daljine puta klizanja prevrnutog motocikla i bicikla u funkciji veličine početne brzine klizanja po raznim podlogama



Izvor: Rotim, F. (1991.): Elementi sigurnosti cestovnog prometa, Svezak 3, Sudari vozila, Zagreb

Mehanizam čelnog sudara

Slika 20.Mehanizam čelnog sudara između osobnog automobila i motocikla



Izvor: Rotim, F. (1991.): Elementi sigurnosti cestovnog prometa, Svezak 3, Sudari vozila, Zagreb

Tijekom procesa sudara, kao što je vidljivo, odvaja se tijelo vozača od motocikla. Stoga se u fazi nakon sudara odvojeno tijelo vozača i motocikl kreću neovisno jedan o drugome.

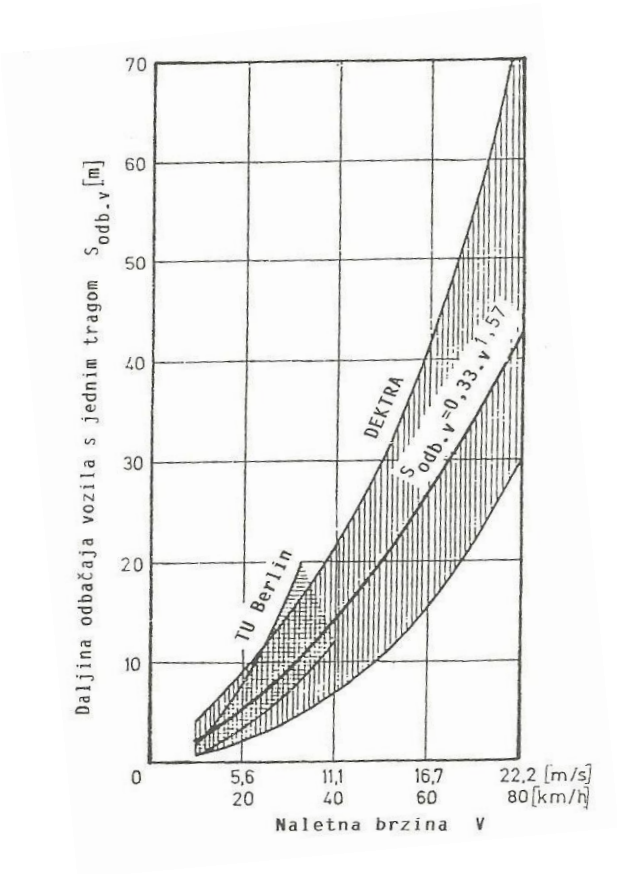
Opći izraz za izračunavanje brzine kretanja odbačenog motocikla glasi (Rotim, F. 1991.):

$$v_{kl} = \sqrt{26 \cdot a \cdot s_{kl}}[km/h]$$

Na osnovi prikupljenih rezultata prometnih nesreća dobiven je dijagram prikazan na slici br. 22, gdje je dan tok prosječnih vrijednosti daljine odbačaja motocikla s_vu funkciji veličine naletne brzine kretanja automobila v, što se može dobro aproksimirati paraboličnom funkcijom prema izrazu:

$$s_v = 0{,}33 \cdot v^{1{,}57}[m]$$

Dijagram 2.Dijagram daljine odbačaja vozila s jednim tragom u funkciji veličine naletne brzine gibanja osobnog automobila pri čelnom sudaru



Izvor: Rotim, F. (1991.): Elementi sigurnosti cestovnog prometa, Svezak 3, Sudari vozila, Zagreb

Odbačaj tijela može se aproksimirati paraboličnom funkcijom oblika:

$$s_{vz} = 0{,}253 \cdot v^{1{,}59}[m]$$

gdje je naletna brzina kretanja automobila *v* izražena u [*km/h*].

Tragovi od motocikla na kolniku nastaju, uglavnom, od sljedećih elemenata konstrukcije motocikla:

- Upravljača;
- Poluge ručne kočnice ili sklopke;
- Poluge nožne kočnice;
- Poluge mjenjača stupnja prijenosa;
- Poluge nožnog zaganjača;
- Nogara motocikla;
- Oslonaca nogu vozača motocikla i suputnika;
- Ispušnih cijevi;
- Okvira putnog svjetla;
- Isturenih dijelova kućišta motora.

Sudar motocikla sa zaprekom

Kod sudara motocikla sa zaprekom, često dolazi do prevrtanja sustava MOTOCIKL + VOZAČ. S pomoću poznatog izraza dobiva se vrijeme prevrtanja (Rotim, F. 1991.):

$$t = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta h}{g}}\ [s]$$

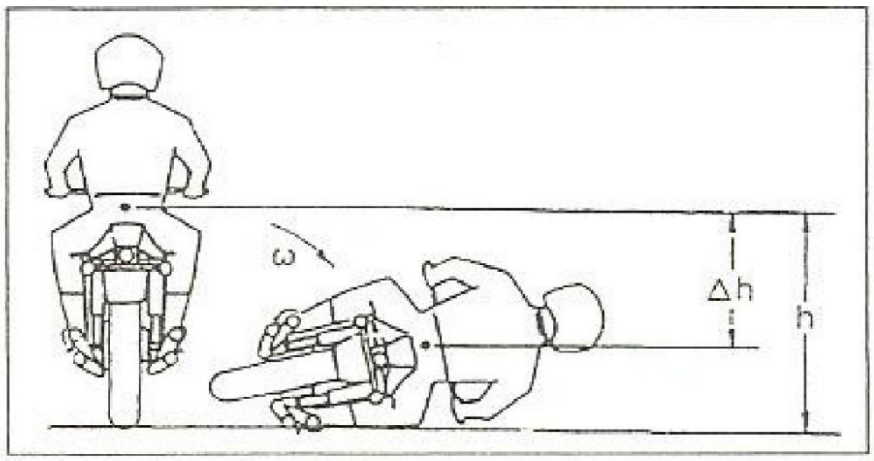
Gdje, kako se iz donje slike vidi, uvrštene oznake predstavljaju:

Δh– razlika visine težišta vozača u vožnji prije sudara i nakon pada na podlogu, izraženo u [m];

h – visina težišta vozača u vožnji u odnosu na podlogu, izraženo u [m];

g – ubrzanje zemljine teže = 9,81 [m/s]^2.

Slika 21.Pomak težišta sustava motocikl + vozač tijekom prevrtanja



Izvor: Rotim, F. (1991.): Elementi sigurnosti cestovnog prometa, Svezak 3, Sudari vozila, Zagreb

4. Sudari dvaju automobila

4.1. Vrste sudara dvaju automobila

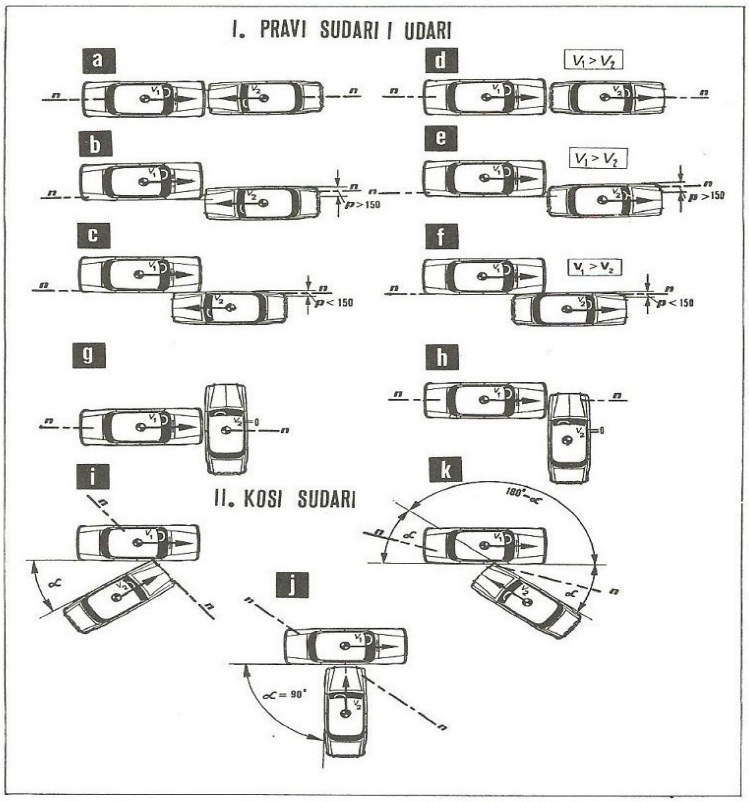
Sudari dvaju osobnih vozila mogu se razvrstati prema liniji udara ili sudara i konačnim oblicima proračuna. Ako su pravci brzina osobnih vozila do sudara usporedni s linijom udara, tada takav sudar ili udar se naziva pravi sudar ili udar, dok je u protivnom kosi sudar dvaju osobnih vozila (Rotim, F. 1991.).

Podvrste pri pravom ili kosom sudaru i pravom udaru su sljedeće:

a) Čelnocentralni sudar;
b) Čelnokutni sudar;
c) Čelnobočni sudar;
d) Stražnjecentralni sudar;
e) Stražnjekutni sudar;
f) Stražnjebočni sudar;
g) Centralnopravi udar;
h) Ekscentričnopravi udar;
i) Oštrokutni sudar;
j) Pravokutni sudar;
k) Tupokutni sudar.

Sudar od a) do h) spadaju pod prave sudare i udare, dok potonja tri spadaju u kose sudare.

Slika 22.Klasifikacija sudara dvaju osobnih vozila prema liniji sudara ili udara



Izvor: Rotim, F. (1991.): Elementi sigurnosti cestovnog prometa, Svezak 3, Sudari vozila, Zagreb

4.2. Elementi teorije kod sudara dvaju automobila

4.2.1. Koeficijent punoće udarnog procesa

Koeficijent punoće sudara može se definirati izrazom:

$$k_2 = k_p = 1 + k$$

Ako je koeficijent uspostavljanja $k = 0$, koeficijent punoće je 1, a pri koeficijentu uspostavljanja $k = -1$ koeficijent punoće je $k_p = 0$. Ako je koeficijent uspostavljanja $k = 1$, tada je koeficijent punoće sudara maksimalan i iznosi $k_p = 2$. Maksimalne deformacije strukture vozila u sudaru nastaju kada je koeficijent punoće $k_p = 1$.

4.2.2. Koeficijent energetskih gubitaka

Koeficijent energetskih gubitaka u udarnom procesu može se iskazati izrazom:

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

iz toga slijedi da, neovisno o tome radi li se o pozitivnom ili negativnom koeficijentu uspostavljanja, uvijek postoji gubitak energije pri udaru ili sudaru dvaju vozila.

Ako je koeficijent uspostavljanja $k = \pm 1$, nema energetskih gubitaka, a između navedenih vrijednosti koeficijenata uspostavljanja postoje energetski gubici, a postižu maksimalnu vrijednost pri koeficijentu uspostavljanja $k = 0$.

4.2.3. Moment inercije (tromosti) motornih vozila

Moment inercije mase vozila oko vertikalne osi položene kroz težište (gibanje izvan određenog pravca vožnje) uzima se za proračun da je vozilo pravokutno tijelo jednolične gustoće (samo kod osobnih vozila) te se moment inercije određuje prema izrazu:

$$I_o = M \cdot \frac{B^2+L^2}{12} \text{ ili } I_o = M \cdot i^2$$

gdje je:

B – širina vozila [m];

L – duljina vozila [m];

M – masa vozila [kg];

i – polumjer inercije [m].

Ako se uzima u obzir teret u prtljažniku, moment inercije određuje se prema izrazu:

$$I_o = I_o + M_p \cdot e^2$$

gdje je:

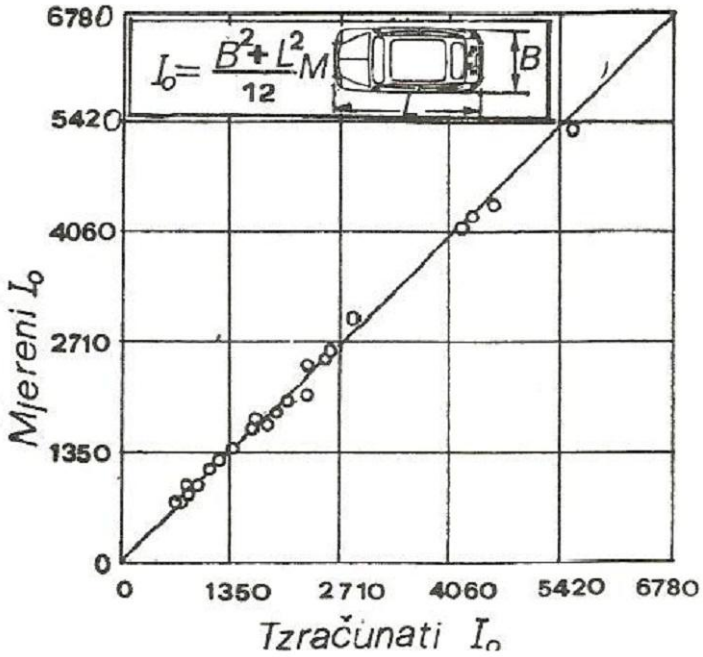
I_o – moment inercije vozila s obzirom na težište [kgm^2];

M_p – masa tereta u predjelu prtljažnika [kg];

e – razmak od središta tereta do težišta vozila [m].

Na slici su prikazane vrijednosti momenta inercije pri rotacijskom gibanju vozila izvan određenog pravca gibanja, na osnovi analitičkog proračuna i usporednog mjerenja udruženja MIRA (Udruženje istraživača u motornoj industriji) u Engleskoj.

Dijagram 3.Dijagram momenta inercije pri rotacijskom gibanju

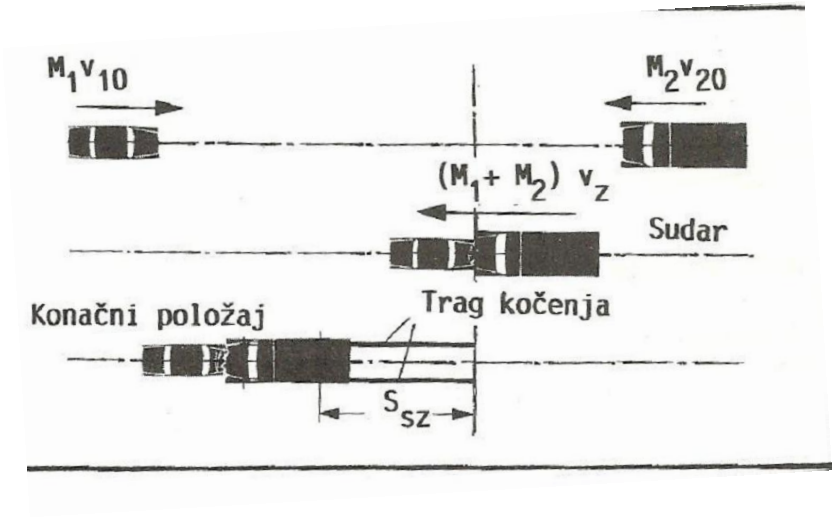


Izvor: Rotim, F. (1991.): Elementi sigurnosti cestovnog prometa, Svezak 3, Sudari vozila, Zagreb

4.2.4. Primjena zakona o količini gibanja

Prema zakonu o promjeni količine gibanja proizlazi da je ukupna količina gibanja jednog sustava masa uvijek konstantna. Ako u jednog tijela tijekom sudara s nekim drugim dođe do promjene količine kretanja, tada i u toga drugog (sudarenog) tijela mora doći do promjene količine gibanja (Rotim, F. 1991.). Međutim, zbroj njihovih količina gibanja prije sudara mora biti jednak zbroju pojedinačno izmijenjenih količina gibanja nakon sudara.

Slika 23.Sudar teretnog i osobnog vozila



Izvor: Rotim, F. (1991.): Elementi sigurnosti cestovnog prometa, Svezak 3, Sudari vozila, Zagreb

Kad se neko putničko vozilo mase M_1 i brzine v_{10} čelno sudari s nailazećim teretnim vozilom mase M_2i brzine v_{20} dolazi u jednom trenutku do njihovasjedinjenja pa se oba vozila nakon sudara, kao jedinstvena masa, gibaju još neko vrijeme na putu nekom novom brzinom v_z u pravcu kretanja vozila čija je količina kretanja veća (u ovom slučaju teretnog vozila) (Rotim, F. 1991.).

Prema zakonu o količini gibanja jednadžba glasi:

$$M_1 \cdot v_{10} + (-M_2 \cdot v_{20}) = (M_1 + M_2) \cdot v_z$$

Predznak (-) ispred izraza $M_2 \cdot v_{20}$ daje se onda kada se mase vozila kreću jedna nasuprot drugoj, a predznak (+) kada se mase kreću jedna iza druge, a do sudara dolazi zbog veće brzine (naleta) jedne od njih.

4.2.5. Udar vozila u nepomičnu zapreku

Ako vozilo naleti brzinom v_o na neku čvrstu nepomičnu zapreku praktički će u istom trenutku, zbog deformacije vozila, doći do zaklinjenja vozila u točki *K* koja predstavlja točku dodira te će zbog toga težište vozila *S* prijeći iz prvotnog pravocrtnog u krivocrtno kretanje po polaznoj kružnoj putanji polumjera r_K čije trenutno središte rotacije predstavlja upravo dodirna točka *K*.

Za vožnju bez zakretanja prije udara ($\omega_0 = 0$) vrijedi pravilo momenta količine kretanja:

$$Q_e = I_S \cdot \omega_t$$

odnosno nakon razdvajanja u x i y osi:

$$Q_x \cdot e_y - Q_y \cdot e_x = I_S \cdot \omega_t$$

nakon sređivanja iz toga slijedi da je:

$$v_o = \frac{I_K \cdot \omega_t}{M \cdot n}$$

budući da je točka *K* trenutno središte rotacije vozila neposredno nakon naleta, mora biti ispunjen uvjet:

$$\omega_t = {}^{v_t}/_{r_K}$$

nakon sređivanja se dobiva konačni izraz za veličinu brzine kretanja vozila u trenutku naleta na čvrstu i nepomičnu zapreku:

$$v_o = \frac{r_K^2 + i_v^2}{n \cdot r_K} \cdot v_t.$$

Poznajući brzinu kretanja vozila v_t neposredno nakon naleta na zapreku, zatim veličinu polumjera inercije vozila i_v te konačno geometrijske značajke n i r_K može se uz pomoć prikazanog izraza izračunati naletna brzina kretanja vozila v_o.

Budući da se često, u analizama realnih prometnih nezgoda, ne posjeduju podaci za veličinu polumjera inercije promatranog vozila, može se s dostatnom točnošću izračunati polumjer inercije osobnog vozila prema empirijskom izrazu:

$$i_v = 0{,}47 \cdot L_0\,[m]$$

gdje je $L_o$osovinski razmak vozila, a veličina polumjera inercije za kombi – vozila može se približno odrediti prema izrazu:

$$i_v = 0{,}49 \cdot L_0\,[m]$$

5. Zaključak

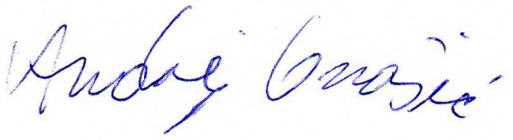
U ovom radu obrađeni su sudari vozila u cestovnom prometu. Pokušalo se pokazati u kojoj se mjeri fizika koristi pri sudaru vozila u teoriji gibanja vozila. Većina rada obrađena je s fizičke strane primjenjujući fizikalne zakone pri sudaru motornih vozila u cestovnom prometu.

Mjesto sudara se utvrđuje na osnovu karakterističnih tragova na samom mjestu nezgode, ali često se ono može i izračunati kada postoje potrebni elementi za proračun. Metodom analiza tragova i oštećenja vozila i povrede lica se u većini slučajeva sa velikom pouzdanošću može odrediti mjesto sudara i međusobni položaj. U nekim slučajevima je potrebno koristiti i druge metode: empirijske, eksperimentalne itd. Postoje i rijetki slučajevi kada nije moguće s relevantnom pouzdanošću odrediti mjesto sudara i međusobni položaj sudionika.

Kod analiziranja sudara, bilo vozila s jednim, dva ili više tragova, bitno je poznavati opće elemente teorije.

Mjesto prometne nezgode jedan od ključnih elemenata kod analize sudara. Na mjestu nezgode potrebno je promotriti drveće, grmove i ostale predmete što su se mogli naći u vidokrugu vozača koji su sudjelovali u nezgodi. Osim toga, treba ocijeniti vidljivost ceste te uzdužni i poprečni nagib ceste, zakrivljenost i širinu ceste te ostale elemente koji se uzimaju pri očevidu.

Kad su prikupljeni svi potrebni podaci, analizu sudara je moguće izraditi uz poznavanje i primjenu nekoliko zakona kinematike pomoću kojih se mogu izračunati brzine vozila koja su sudjelovala u nesreći, brzinu i put klizanja motociklista nakon sudara ili udara, put odbačaja motociklista te mnoge druge elemente koji razjašnjavaju analizu prometne nesreće.



Literatura

1. Rotim, F.: Elementi sigurnosti cestovnog prometa, Svezak 3, Sudari vozila, Zagreb, 1991.
2. Rotim, F.:PeranZ.:Forenzika prometnih nesreća, Svezak 1, Cestovnoprometna sigurnost, Zagreb, 2011.
3. Čović, M.: Vrste prometnih nesreća i pristup vještačenju, Zagreb, 2006.
4. Brach, R.M.: VehicleAccidentAnalysisandReconstructionMethods, SAE International, 2005.
5. Inić, M.: Bezbednost drumskogsaobaćaja, FTN, Novi Sad, 2002.
6. Kostić, S: Tehnike bezbednosti i kontrole saobraćaja, FTN, Novi Sad, 2002.
7. Cerovec, V.: Tehnika i sigurnost prometa, FPZ, Zagreb, 1985.

Popis slika

Slika1. Oštećenje osobnog automobila nastala u sudaru s drugim vozilom 4
Slika 2. Lagani diskontinuitet u tragu kočenja putničkog vozila poslije sudara sa pješakom koji je prelazio ulicu s desne strane 5
Slika 3. Mjesto prijeloma traga kočenja putničkog vozila 5
Slika 4. Izgled blaže valovitog i isprekidanog traga, nastalog u sudaru od pritisnutog kotača vozila 6
Slika 5. Lokalno usko ograničeno pojačanje traga kočenja prednjeg lijevog kotača putničkog vozila poslije sudara sa pješakom; a) uvećani dio koji pokazuje pojačanje traga 7
Slika 6. Mjesto loma u tragu blokiranja putničkog vozila do kojega je došlo usred udara u putničko vozilo iz suprotnog smjera 9
Slika 7. Stvarno mjesto sudara na visini pješačkog prijelaza daleko ispred konačnog položaja vozila i tragovi zemlje 10
Slika 8. Kraj traga kočenja i početak traga zanošenja motocikla poslije sudara s pješakom ... 14
Slika 9. Tijek sudara automobila i pješaka 16
Slika 10. Fazni prikaz tijeka sudara između automobila i pješaka 17
Slika 11. Kontakt čelnih površina prema težištu i visini pješaka sa kojim automobil dolazi u sukob 18
Slika 12. Izgled formiranog traga od odbačenih komadića stakla razbijenog vjetrobrana 22
Slika 13. Mehanizam kretanja komadića razbijenog vjetrobranskog stakla po kolniku 23
Slika 14. Mehanizam odbačaja komadića stakla 24
Slika 15. Nalet bicikla na stražnju bočnu stranu osobnog vozila u mirovanju 26
Slika 16. Varijante sudara između motocikla i osobnog automobila 28
Slika 17. Primjeri najčešćih tipova sudara između motocikla i osobnog automobila 28
Slika 18. Čelni sudar motocikla s 50 [*km/h*] i osobnog automobila 29
Slika 19. Bočni sudar motocikla s automobilom brzine 50 [*km/h*] 30
Slika 20. Mehanizam čelnog sudara između osobnog automobila i motocikla 32
Slika 21. Pomak težišta sustava motocikl + vozač tijekom prevrtanja 35
Slika 22. Klasifikacija sudara dvaju osobnih vozila prema liniji sudara ili udara 37
Slika 23. Sudar teretnog i osobnog vozila 40

Popis tablica

Tablica 1. Postotna učestalost po skupinama sudara 29

Popis dijagrama

Dijagram 1. Dijagram daljine puta klizanja prevrnutog motocikla i bicikla u funkciji veličine početne brzine klizanja po raznim podlogama 32
Dijagram 2. Dijagram daljine odbačaja vozila s jednim tragom u funkciji veličine naletne brzine gibanja osobnog automobila pri čelnom sudaru 33
Dijagram 3. Dijagram momenta inercije pri rotacijskom gibanju 39