

Избегавање судара возила у сустизању

БРАНИСЛАВ Б ЂУКИЋ, Институт „Кирило Савић“, Београд
ИВАН Д. ЈАНКОВИЋ, СП „Ласта“, Београд

Стручни рад
UDC: 656.052.43:656.086.1

Релативно велики број судара друмских возила настаје тако што једно возило сустигне друго, те се израђује велики број саобраћајно-техничких вештачења на околности под којима би ове саобраћајне незгоде биле спречене. У овом раду утврдили смо граничне вредности релевантних параметара при којима не би дошло до судара возила када се она крећу истом путањом или путањама које се секу.

Кључне речи: саобраћајно-техничко вештачење, сустизање возила

1. УВОД

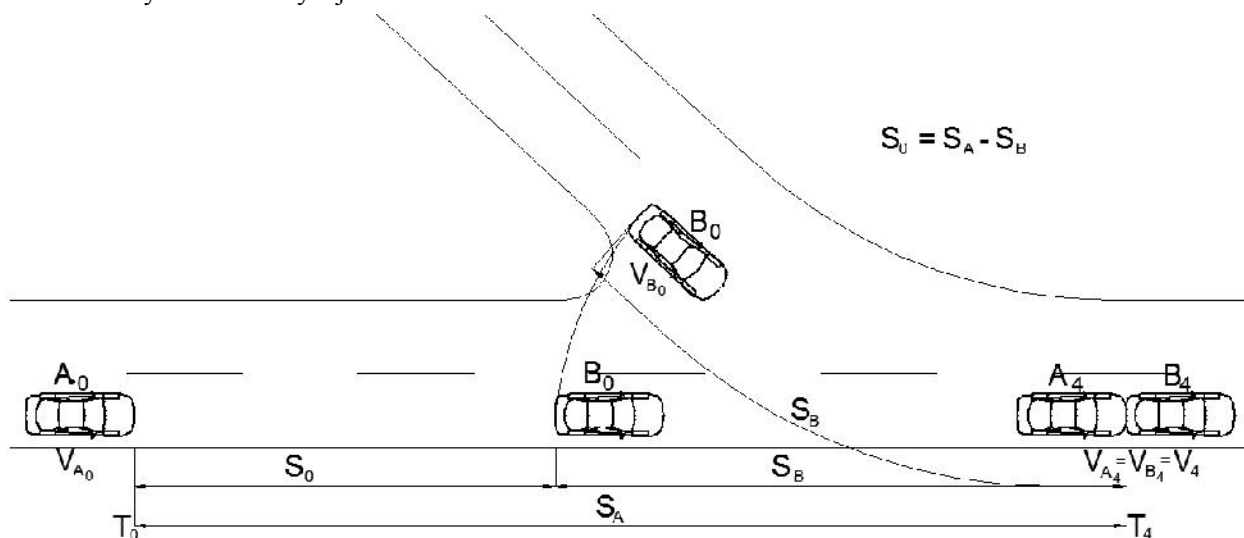
Није редак случај да је саобраћајна незгода настала тако што је једно возило сустигло друго или другу препреку. Сустизање возила може бити такво да се возила крећу по истој путањи или да се њихове путање спајају, као што је приказано на слици 1.

Приликом израде саобраћајно-техничких вештачења у оваквим случајевима може се поста-

вити релативно велики број релевантних питања, која би се од носила првенствено на услове под којима не би био остварен судар.

2. АНАЛИЗА ГРАНИЧНИХ СЛУЧАЈЕВА СУСТИЗАЊА ВОЗИЛА

На слици 1. возило које сустиже означено је са А, сустизано возило са В, а ознаке имају следећа значења:



Слика 1 – Сустизање возила

T_0 (s) - тренутак реакције возача возила А у циљу кочења,

Адреса аутора: Бранислав Ђукић, „Институт Кирило Савић“, Београд, Војводе Степе 51

Рад примљен: 02.02.2012

Рад прихваћен: 19.09.2014.

T_4 (s) - тренутак када је возило А сустигло возило В,

V_{A0} (m/s) - брзина кретања возила А у тренутку T_0 ,

V_{B0} (m/s) - брзина кретања возила В у тренутку T_0 ,

V_{A4} (m/s) - брзина кретања возила А у тренутку T_4 ,

V_{B4} (m/s) - брзина кретања возила В у тренутку T_4 ,

b_A (m/s²) - успорење возила А,

b_B (m/s²) - успорење возила В,

S_0 (m) - одстојање између возила А и В у тренутку T_0 када се возила крећу истом путањом, односно разлика путева које возила А и В пређу од тренутка T_0 до тренутка T_4 када се крећу путањама које се секу,

S_A (m) - пут који возило А пређе од тренутка T_0 до тренутка T_4 ,

S_B (m) - пут који возило В пређе од тренутка T_0 до тренутка T_4 .

Гранични случај при коме не би дошло до судара возила А и В, тј. при коме би био остварен само „додир“ возила А и В, у тренутку сустизања (T_4), захтева испуњење следећа два услова:

1. Да је у тренутку сустизања (T_4) успорење возила А веће од успорења возила В,
2. Да су брзине кретања возила А и В у тренутку сустизања (T_4) једнаке.

На слици 2. приказана је промена:

а) успорења, б) брзине и ц) пређеног пута возила током остваривања процеса кочења.

Карактеристични тренуци су следећи:

T_0 - тренутак када је возач уочио потребу за кочењем,

T_1 - тренутак када је сила возача почела да делује на педалу кочнице,

T_2 - тренутак почетка пораста силе кочења,

T_3 - тренутак краја пораста силе кочења,

T_4 - тренутак „додира“ возила А и возила В,

T_5 - тренутак заустављања возила А.

времена:

t_1 - време реаговања возача,

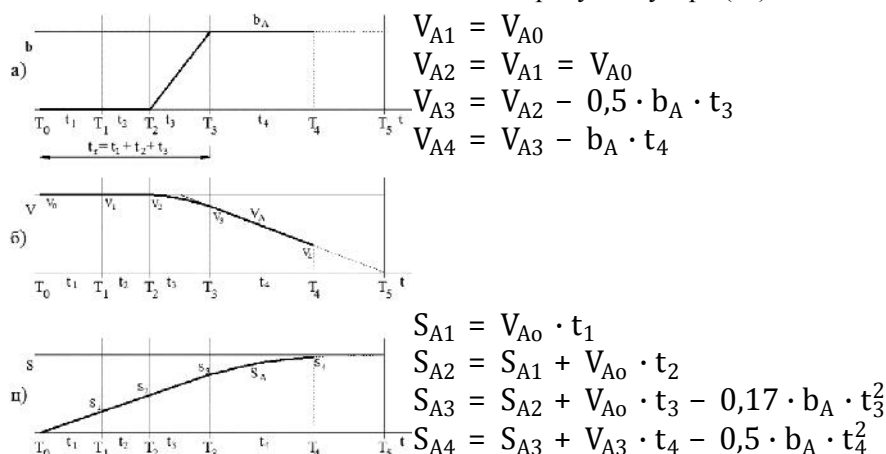
t_2 - време одзива кочионог система,

t_3 - време пораста кочионе силе, тј. пораста успорења до вредности b_A ,

t_4 - време од тренутка достизања успорења b до тренутка „додира“ возила А и В,

t_r - време реаговања возача и одзива кочионог система (када је t_r око једне секунде назива се психо-техничка секунда),

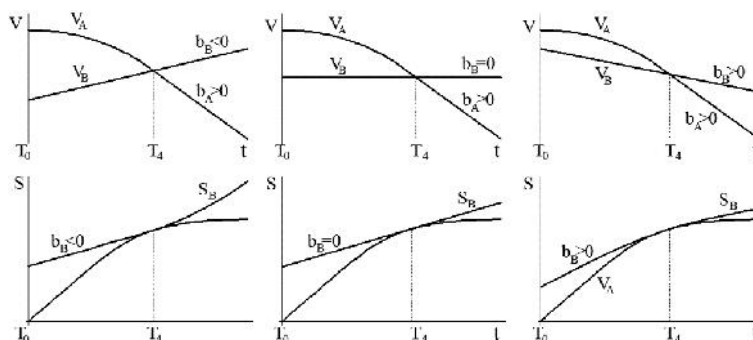
t_{rs} - време од тренутка започетог реаговања (T_0) до тренутка судара (T_4).



Слика 2 - Дијаграм кочења возила А

На слици 3. приказане су промене брзина кретања возила А и В у временском интервалу t_{rs} , као и пређени путеви возила.

Имајући у виду наведено могу се поставити следећа питања:



Слика 3 - Дијаграм кочења возила А и В у сустизању

- Колика је вредност граничне (максималне) брзине кретања возила А (V_{A0}) при којој би возач возила А кочењем могао да спречи судар са возилом В, предузимањем кочења у тренутку када се возила налазе на растојању S_0 (одстојање између возила А и В у тренутку T_0 када се возила крећу истом путањом, односно разлика путева које возила А и В пређу од тренутка T_0 до тренутка T_4 када се крећу путањама које се секу), ако је познато t_1, t_2, t_3, b_A, b_B и V_{B0}

Из наведеног следи да у тренутку T_4 возила А и В имају исту брзину, и то:

$$V_{A4} = V_4 = V_{A0} - 0,5 \cdot b_A \cdot t_3 - b_A \cdot (t_{rs} - t_r) \quad (1)$$

$$V_{B4} = V_4 = V_{B0} - b_B \cdot t_{rs} \quad (2)$$

Изједначавањем једначине (1) и (2) добија се израз:

$$V_{A0} = V_{B0} + 0,5 \cdot b_A \cdot t_3 + (b_A - b_B) \cdot t_{rs} - b_A \cdot t_r \quad (3)$$

Множењем израза (3) са t_{rs} добија се израз:

$$V_{A0} \cdot t_{rs} = (b_A - b_B) \cdot t_{rs}^2 + (V_{B0} + 0,5 \cdot b_A \cdot t_3 - b_A \cdot t_r) \cdot t_{rs} \quad (3.1)$$

За време t_{rs} возило А пређе пут дужине:

$$V_{A0} = V_{B0} + 0,5 \cdot b_A \cdot t_3 - b_A \cdot t_r + (b_A - b_B) \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot (S_0 + 0,17 \cdot b_A \cdot t_3^2 - 0,5 \cdot b_A \cdot t_3 \cdot t_r) + b_A \cdot t_r^2}{b_A - b_B}}$$

$$V_{A0} = V_{B0} + 0,5 \cdot b_A \cdot t_3 - b_A \cdot t_r + \sqrt{(b_A - b_B) \cdot [2 \cdot (S_0 + 0,17 \cdot b_A \cdot t_3^2 - 0,5 \cdot b_A \cdot t_3 \cdot t_r) + b_A \cdot t_r^2]} \quad (9)$$

Брзине кретања возила А и В у тренутку сустизања (T_4) могу се израчунати „убацивањем“ t_{rs} у изразе (1) и (2), а то је уједно и провера вредности V_{A0} .

- Колика је минимална вредност одстојања S_0 (одстојање између возила А и В у тренутку T_0 када се возила крећу истом путањом, односно разлика путева које возила А и В пређу од тренутка T_0 до тренутка T_4 када се крећу путањама које се секу) при коме не би дошло до судара возила А и В, ако су познате следеће величине: $t_1, t_2, t_3, b_A, V_{A0}, V_{B0}$ и b_B

Из израза (3) добија се време t_{rs} :

$$t_{rs} = \frac{V_{A0} - V_{B0} - 0,5 \cdot b_A \cdot t_3 + b_A \cdot t_r}{b_A - b_B} \quad (10)$$

Изједначавањем израза (8) и (10) добија се:

$$S_A = V_{A0} \cdot t_r + (V_{A0} - 0,5 \cdot b_A \cdot t_3) \cdot (t_{rs} - t_r) - 0,17 \cdot b_A \cdot t_3^2 - 0,5 \cdot b_A \cdot (t_{rs} - t_r)^2 \quad (4)$$

За исто време возило В пређе пут:

$$S_B = V_{B0} \cdot t_{rs} - 0,5 \cdot b_B \cdot t_{rs}^2 \quad (5)$$

те се пут возила А може изразити и на следећи начин:

$$S_A = S_0 + V_{B0} \cdot t_{rs} - 0,5 \cdot b_B \cdot t_{rs}^2 \quad (6)$$

Изједначавањем једначина (4) и (6) добија се израз:

$$V_{A0} \cdot t_{rs} = 0,5 \cdot t_{rs}^2 \cdot (b_A - b_B) + (V_{B0} + 0,5 \cdot b_A \cdot t_3 + b_A \cdot t_r) \cdot t_{rs} + 0,5 \cdot b_A \cdot t_r^2 - 0,5 \cdot b_A \cdot t_3 \cdot t_r + S_0 + 0,17 \cdot b_A \cdot t_3^2 \quad (7)$$

Изједначавањем израза (3.1) и (7) добија се време t_{rs} :

$$t_{rs} = \sqrt{\frac{2 \cdot (S_0 + 0,17 \cdot b_A \cdot t_3^2 - 0,5 \cdot b_A \cdot t_3 \cdot t_r) + b_A \cdot t_r^2}{b_A - b_B}} \quad (8)$$

Заменом времена t_{rs} у изразу (3) добија се одговор на постављено питање, тј. да је:

$$S_0 = \frac{(V_{A0} - V_{B0} - 0,5 \cdot b_A \cdot t_3 + b_A \cdot t_r)^2}{2 \cdot (b_A - b_B)} - 0,5 \cdot b_A \cdot t_r \cdot (t_r - t_3) - 0,17 \cdot b_A \cdot t_3^2 \quad (11)$$

Ако се возила А и В у тренутку T_0 крећу истим брзинама, израз (11) представља минимално теоријско безбедно одстојање између возила, те се израчунава на следећи начин:

$$S_0 = \frac{(b_A \cdot t_r - 0,5 \cdot b_A \cdot t_3)^2}{2 \cdot (b_A - b_B)} - 0,5 \cdot b_A \cdot t_r \cdot (t_r - t_3) - 0,17 \cdot b_A \cdot t_3^2 \quad (11.1)$$

Уколико је возило В заустављено од тренутка T_0 до тренутка T_5 , тада је $V_{B0}=0$ и $b_B=0$, а израз (11) представља дужину зауставног пута возила А, и гласи:

$$S_A = \frac{(V_{A0} - 0,5 \cdot b_A \cdot t_3 + b_A \cdot t_r)^2}{2 \cdot b_A} - 0,17 \cdot b_A \cdot t_3^2 - 0,5 \cdot b_A \cdot t_r \cdot (t_r - t_3) \quad (11.2)$$

Одговарајућим трансформацијама у обрасцу (11.2) добија се опште познати образац за израчунавање дужине зауставног пута возила који гласи:

$$S_A = V_{A0} \cdot t_r - 0,17 \cdot b_A \cdot t_3^2 + \frac{(V_{A0} - 0,5 \cdot b_A \cdot t_3)^2}{2 \cdot b_A} \quad (11.3)$$

2.1. Колика је минимална вредност брзине возила В (V_{B0}) при којој не би дошло до судара возила А и В, ако су познате следеће величине: t_1 , t_2 , t_3 , b_A , b_B , V_{A0} и S_0

У изразу (3) време t_{rs} се замени изразом (8), те се добија:

$$V_{B0} = V_{A0} - 0,5 \cdot b_A \cdot t_3 + b_A \cdot t_r - \sqrt{(b_A - b_B) \cdot [2 \cdot (S_0 + 0,17 \cdot b_A \cdot t_3^2 - 0,5 \cdot b_A \cdot t_3 \cdot t_r) + b_A \cdot t_r^2]} \quad (12)$$

• Колика је минимална вредност успорења возила А (b_A) при којој не би дошло до судара возила А и В, ако су познате следеће величине: t_1 , t_2 , t_3 , V_{A0} , V_{B0} , S_0 и b_B b_A се добија из израза (11), тј. израз (11) се трансформише у квадратну једначину, која гласи:

$$(0,25 \cdot t_3 - 0,34 \cdot t_3^2) \cdot b_A^2 + \left[2 \cdot (V_{A0} - V_{B0}) \cdot (t_r - 0,5 \cdot t_3) + b_B \cdot t_r \cdot (1,34 \cdot t_r - t_3) - 2 \cdot S_0 \right] \cdot b_A + 2 \cdot S_0 \cdot b_B + (V_{A0} - V_{B0})^2 = 0 \quad (13)$$

Решења квадратне једначине су:

$$b_{1,2} = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4 \cdot A \cdot C}}{2 \cdot A}$$

$$A = 0,25 \cdot t_3 - 0,34 \cdot t_3^2$$

$$B = 2 \cdot (V_{A0} - V_{B0}) \cdot (t_r - 0,5 \cdot t_3) + b_B \cdot t_r \cdot (1,34 \cdot t_r - t_3) - 2 \cdot S_0$$

$$C = 2 \cdot S_0 \cdot b_B + (V_{A0} - V_{B0})^2$$

• Колика је максимална вредност успорења возила В (b_B) при коме не би дошло до судара возила А и В, ако су познате следеће величине: t_1 , t_2 , t_3 , V_{A0} , V_{B0} , S_0 и b_A

b_B се такође добија из израза (11) и гласи:

$$b_B = b_A - \frac{(V_{A0} - V_{B0} - 0,5 \cdot b_A \cdot t_3 + b_A \cdot t_r)^2}{2 \cdot S_0 + b_A \cdot (t_r^2 + 0,34 \cdot t_3^2 - t_3 \cdot t_r)} \quad (14)$$

3. ПРИМЕР

На слици 1. је раскрсница на којој нема знакова који се односе на првенство пролаза возила кроз раскрсницу, те возач возила В има обавезу да пропусти возило А, јер му долази са десне стране. У циљу безбедног укључивања на пут са првенством пролаза возач возила В је зауставио возило у позицији као на слици 1. и осмотрио саобраћајну ситуацију (и) са своје десне стране, па се поставља питање на ком минималном одстојању S_0 мора бити возило А да би се укључење извршило на безбедан начин, с тим што возач возила А реагује кочењем у тренутку покретања возила В. Познате су следеће величине:

$$\begin{aligned} V_{A0} &= 20 \text{ m/s}; & V_{B0} &= 0 \text{ m/s}; \\ b_A &= 5 \text{ m/s}^2; & b_B &= -2 \text{ m/s}^2; \\ t_1 &= 0,8 \text{ s}; & t_2 &= 0,2 \text{ s}; & t_3 &= 0,2 \text{ s}; \end{aligned}$$

- На основу наведених величина коришћењем обрасца (11) израчунали смо да вредност минималног безбедног одстојања S_0 при коме не би дошло до судара износи 43,4 m.
- Да би извршили одговарајућу проверу и утврдили друге релевантне вредности, коришћењем обрасца (8) израчунали смо да време од тренутка започетог реаговања возача возила А до тренутка судара износи $t_{rs} = 3,64$ s.
- Коришћењем обрасца (2) утврдили смо да је брзина кретања возила В у тренутку сустизања износила 7,3 m/s.
- Употребом обрасца (5) израчунали смо да пут који је возило В прешло од тренутка T_0 до тренутка T_4 има вредност 13,2 m.
- На основу наведених вредности израчунали смо да је вредност $S_A = S_0 + S_B = 56,6$ m. Ради провере добијених резултата, коришћењем треће и четврте формуле написане на слици 2.б. израчунали смо да је у тренутку T_4 брзина возила А износила 7,3 m/s. Како су брзине возила А и В у тренутку T_4 једнаке, закључили смо да су израчунате величине тачне.

4. ЗАКЉУЧАК

Саобраћајно техничка вештачења у судским поступцима представљају један од најважнијих доказа и полазних основа за утврђивање пропуста које су начинили учесници саобраћајних незгода. Из тог разлога вештак саобраћајно-техничке струке мора са посебном пажњом да утврди релевантне параметре начина настанка саобраћајне незгоде, као и да изврши одговарајућу временско-просторну анализу.

Релативно велики број саобраћајних незгода друмских возила настаје тако што једно возило сустигне друго. Ови судари могу настати тако што

се возила (возило које сустиже и сустизано возило) пре судара релативно дуго крећу по приближно истој путањи, али и тако да се њихове путање поклопе непосредно пре судара. Пошто се саобраћајна незгода већ догодила, вештак саобраћајно-техничке струке, по правилу, има задатак да одговори на питање под којим условима се саобраћајна незгода не би догодила. У домаћој литератури постоје одговарајуће формуле за утврђивање брзине возила које сустиже, при којој не би био остварен судар за случај када се сустизано возило креће константном (равномерном) брзином. Међутим, у пракси врло чест случај је да се сустизано возило не креће равномерном брзином, већ да то возило од тренутка реакције возача возила које сустиже до тренутка судара мења своју брзину.

У овом раду изведена је формула која се може користити за утврђивање брзине возила које сустиже при којој не би био остварен судар, као и за случај када се сустизано возило креће променљивом брзином (успорава, убрзава). Поред тога, у овом раду дате су формуле на основу којих се може одредити вредност других релевантних параметара при којима не би дошло до судара, а то су: минимална брзина сустизаног возила, минимално одстојање између возила које сустиже и сустизаног

возила, минимално успорење возила које сустиже и минимално успорење сустизаног возила.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Дедовић, В., Динамика возила, Саобраћајни факултет Београд, 2004.
- [2] Драгач, Р., Вујанић, М., Безбедност друмског саобраћаја 2, Саобраћајни факултет Београд, 2002.
- [3] Вујанић, М., Липовац, К., Приручник за Саобраћајно-техничко вештачење, Саобраћајни факултет Београд, 2009.
- [4] Ленаси, Ј., Жежељ, С., Данон Г., Моторна возила, Саобраћајни факултет Београд, 1995.
- [5] Костић, С., Технике безбедности и контроле саобраћаја, Факултет техничких наука Нови Сад, 2002.
- [6] Ротим, Ф., Елементи сигурности цестовног промета-Експертизе саобраћајних незгода, ЈАЗУ Загреб, 1990.
- [7] Антић, Б., Вујанић, М., Судари у сустизању-Временско просторна анализа, X Симпозијум Златибор, 2011.

SUMMARY

AVOIDING CRASHES VEHICLES IN CATCHING UP

A relatively high number of crashes of vehicles occurs when one vehicle catches up with the other vehicle, so a greater number of traffic and technical expertise is made regarding the circumstances under which these traffic accidents can be prevented. In this work we established the limits of relevant parameters when crashes can be avoided.

Key words: *traffic and technical expertise, catching up with other vehicle*