



**Włodzimierz
Treter**

Weryfikacja możliwości rozpoznania kolizji przy małych prędkościach uderzenia

Streszczenie

Artykuł zawiera analizę możliwości zweryfikowania odczucia przez kierowcę i pasażerów samochodu kolizji przy małych prędkościach uderzenia, wynoszących kilka lub kilkanaście kilometrów w na godzinę. Do takich kolizji dochodzi niejednokrotnie podczas manewrowania na placach parkingowych. Odczucie przez osoby wewnątrz samochodu uderzenia w inny pojazd bywa utrudnione z uwagi na jednoczesne hamowanie pojazdu. *Szarpięcie* spowodowane zderzeniem bywa często zbyt słabe, aby osoba je zarejestrowała.

Słowa kluczowe

Odczucie kolizji, mała prędkość, zderzenie.

* * *

1. Wstęp

Inspiracją do opracowania niniejszego materiału było pytanie, zadane przez sąd, Czy kierujący, który wyjeżdżał tyłem z miejsca parkingowego mógł odczuć zaistnienie kolizji z pojazdem, znajdującym się na drodze dojazdowej.

2. Zjawiska akustyczne

Analiza zjawisk akustycznych oparta na materiale dowodowym zwykle nie jest możliwa. Wyjątkiem są nagrania pochodzące z kamer pokładowych. Programy symulacyjne nie pozwalają na odtworzenie dźwięków towarzyszących kolizjom. Pewne możliwości dają filmy dostępne w Internecie lub gry komputerowe. Jak na razie są to jednak tylko możliwości ilustracyjne.

Kolizjom towarzyszą zjawiska akustyczne, których natężenie zależy od prędkości i kąta uderzenia. Średnie natężenie dźwięku w trakcie typowej kolizji dla wyjazdu z miejsca parkingowego samochodu osobowego, przy prędkości uderzenia równej 3 km/h i kącie uderzenia od 15° – 20° osiąga wartość 75 dB (A). Jest to wielkość zmierzona poza pojazdem w odległości ok. 1 m od punktu uderzenia [1].

Mgr inż. Włodzimierz Treter, biegły sądowy Sądu Okręgowego w Warszawie i Radomiu.

Pomiar wykonany w takiej samej odległości przy zderzeniu mimośrodowym pojazdów z 30% pokryciem przy podobnej, jak poprzednio prędkości, daje wynik równy 78 dB (A). Natężenie dźwięku narasta, jeśli dochodzi do pękania plastikowych zderzaków.

Dla osoby znajdującej się poza pojazdem natężenie odgłosu kolizji sytuuje się między 70 a 80 dB (A), tj. między poziomem natężenia hałasu we wnętrzu głośnej restauracji, darcia papieru bądź normalnych odgłosów we wnętrzu samochodu a poziomem natężenia głośnej muzyki w pomieszczeniach lub trąbienia.

W szeregu testów ustalono, że np. włączone radio podnosi poziom natężenia dźwięku we wnętrzu pojazdu o 3 – 6 dB (A) i może zagłuszyć odgłos lekkiej kolizji.

Dla porównania natężenie dźwięku w różnych sytuacjach wynosi:

- 40 dB – szmery w domu,
- 50 dB – szum w biurach,
- 60 dB – odkurzacz,
- 70 dB – wnętrze głośnej restauracji, darcie papieru, wnętrze samochodu,
- 80 dB – głośna muzyka w pomieszczeniach, trąbienie,
- 90 dB – ruch uliczny,
- 100 dB – motocykl bez tłumika.

Natężenie dźwięku generowanego w trakcie opisanych kolizji jest kilkakrotnie mniejsze we wnętrzu auta, z uwagi na wygłuszenie kabiny. Włączone radio może zagłuszyć odgłos lekkiej kolizji.

3. „Szarpięcie” wskutek kolizji w czasie hamowania

Prędkość uderzeń przy kolizjach „parkingowych” zawiera się zwykle w granicach od kilku do kilkunastu kilometrów na godzinę. Rozpoznanie zaistnienia kolizji jest w sposób istotny utrudnione, jeśli kierujący przed zderzeniem hamował. Wprawdzie przy skoncentrowanej uwadze kierującego nawet niewielkie zmiany parametrów ruchu samochodu są zauważane, ale w codziennym ruchu drogowym uwaga kierującego bywa rozproszona.

W przypadkach, gdy przed kolizją samochód jest hamowany, należy brać pod uwagę czas narastania i przyrost opóźnienia od wartości wynikającej z hamowania do wartości maksymalnej, wynikającej z uderzenia w drugi pojazd. Im bardziej intensywne hamowanie podjęte przez kierującego, tym mniejsza jest różnica między całkowitą wartością opóźnienia a opóźnieniem wynikającym jedynie z hamowania. Inaczej mówiąc, im silniej kierujący hamuje, tym *szarpięcie* wynikające z kolizji jest słabsze i trudniej wyczuwalne.

4. Oszacowanie prędkości uderzenia – centralne uderzenie w tył pojazdu

Ingenieurbüro Schmedding przeprowadziło badania [1], polegające na tym, że kierujący miał rozpoznać, czy samochód doznaje opóźnienia (czy hamuje) w trakcie jazdy po torze o długości ok. 1 kilometra. W próbach wykorzystano samochód Opel Astra. Uczestniczyło w nich – w charakterze kierujących – 15 osób o poziomie doświadczenia odpowiadającemu większości kierowców. Osoba prowadząca badanie siedziała z tyłu i bez uprzedzenia – za pomocą specjalnego urządzenia – uruchamiała hamulec ręczny, co generowało maksymalne opóźnienie rzędu 2 m/s^2 . Hamowanie to symulowało przebieg lekkiej kolizji. Próby prowadzono podczas jazdy do przodu z prędkościami 30 i 50 km/h, a także podczas jazdy do tyłu. Spośród 75 prób spostrzeżenia kierujących były prawidłowe w 31 przypadkach. W 44 przypadkach kierujący nie odczuli hamowania, a to oznacza, że nie odczuliby zaistnienia lekkiej kolizji.

W badanej grupie były osoby, które prawidłowo odpowiedziały we wszystkich przypadkach (nr 7 i 8), ale były i takie, które ani razu nie udzieliły prawidłowej odpowiedzi (nr 12 i 13). Wynika stąd, że na rozpoznanie zaistnienia lekkiej kolizji wpływają nie tylko wartość opóźnienia i intensywność jego narastania, ale również cechy danej osoby.

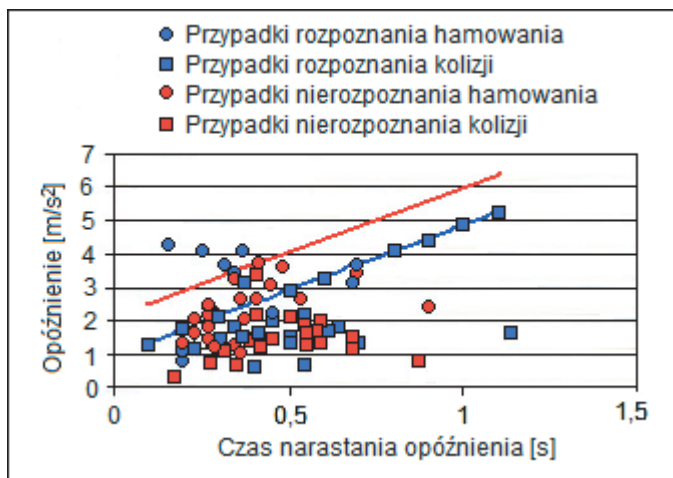
Kierujący	Do tyłu 1	50 km/h	Do tyłu 2	Do przodu	30 km/h
1	●	●	●	●	●
2	●	●	●	●	●
3	●	●	●	●	●
4	●	●	●	●	●
5	●	●	●	●	●
6	●	●	●	●	●
7	●	●	●	●	●
8	●	●	●	●	●
9	●	●	●	●	●
10	●	●	●	●	●
11	●	●	●	●	●
12	●	●	●	●	●
13	●	●	●	●	●
14	●	●	●	●	●
15	●	●	●	●	●

Ryc. 1. Kolor czerwony wskazuje odpowiedzi nieprawidłowe, kolor zielony – prawidłowe (na podstawie [1]).

Schmedding [1] cytuje także wyniki badań, w trakcie których samochód Volkswagen T4 z podwójną kabiną uderzał przednim prawym narożem w prawy

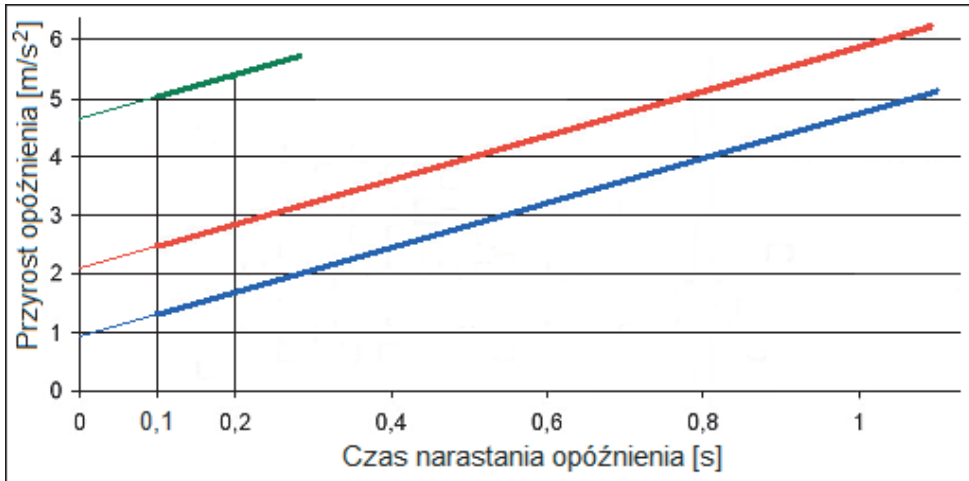
bok samochodu Opel Astra F. Kąty uderzenia zawierały się w granicach 15° – 20° . W trakcie każdej próby kierujący samochodem Volkswagen hamował. Masy pojazdów pozostawały w proporcji 1775 kg (uderzający) do 1025 kg (uderzany). Osoba badana zajmowała miejsce z tyłu po prawej stronie kabiny.

Przeprowadzono 96 prób. Zadanie polegało na rozpoznaniu uderzenia w trakcie hamowania. Efekt zderzenia z innym pojazdem nakładał się na zmniejszanie prędkości wskutek hamowania, co utrudniało ocenę. Osoby, uczestniczące w badaniach nie rozpoznały faktu zaistnienia kolizji w 56 przypadkach.



Ryc. 2. Rozpoznawanie kolizji w zależności od wartości i czasu narastania opóźnienia w trakcie jazdy do przodu (na podstawie [1]).

Granica pewnego rozpoznania kolizji została wyznaczona przez Wolffa [2]. Wskazana jest ona linią niebieską na ryc. 3. Z przeprowadzonych w późniejszym czasie eksperymentów wynika, że ok. $\frac{1}{4}$ przypadków nierozpoznania kolizji sytuuje się powyżej granicy wyznaczonej przez Wolffa.



Ryc. 3. Granice rozpoznawania kolizji: podczas jazdy do przodu (linie niebieska i czerwona) i do tyłu linia zielona.

Schmedding [1] na podstawie własnych badań ustalił zmodyfikowaną linię graniczną (linia czerwona na ryc. 3), powyżej której przypadki nierozpoznania kolizji nie wystąpiły. Linie niebieska i czerwona na rycinach 2 i 3 odnoszą się do jazdy do przodu. Linia zielona na ryc. 3 jest granicą rozpoznania kolizji w trakcie jazdy do tyłu. Jej przebieg odpowiada spostrzeżeniu, że w przypadku uderzeń tyłem pojazdu granica rozpoznania kolizji dwukrotnie przekracza granicę odczucia kolizji przy uderzeniach przodem. Intensywność opóźnienia (pochodna opóźnienia względem czasu, czyli tzw. *sarpnięcia*), powyżej której kolizja jest odczuwana przy uderzeniach tyłem pojazdu jest dwa razy większa od intensywności opóźnienia w przypadkach uderzenia przodem.

Granice rozpoznawania kolizji opisane są przez następujące równania:

$$\Delta a_{\text{Zielony}} = 3,77 \cdot \Delta t + 4,87 \quad (1)$$

$$\Delta a_{\text{Czerwony}} = 3,77 \cdot \Delta t + 2,11 \quad (2)$$

$$\Delta a_{\text{niebieski}} = 3,77 \cdot \Delta t + 0,94 \quad (3)$$

Cienkie linie na ryc. 3, sięgające odciętej równiej zero, są aproksymacją dla czasów narastania opóźnienia właściwych małym prędkościom uderzenia. Z badań Schmeddinga [1] wynika, że przebieg granic rozpoznawania kolizji nie jest zależny od relacji mas zderzających się pojazdów, ani od kąta uderzenia.

5. Granica pewnego rozpoznania kolizji jako funkcja szarpnięcia – krzywa ustalona przez Wolffa [2]

Wykres przedstawiony na rycinie 4 pokazuje przebieg granicy rozpoznania kolizji (tzw. BRK – Beschleunigung Rück Kriterium) w zależności od intensywności narastania opóźnienia (szarpnięcia). Przebieg ten został opisany przez Wolffa [2] równaniem:

$$a_{GRANICZNE} = \frac{C \cdot Ruck}{(Ruck - B)} \quad (4)$$

gdzie:

Rück (szarpnięcie):

$$Ruck = \frac{\Delta a}{\Delta t} \quad (5)$$

Δa – przyrost opóźnienia, spowodowanego kolizją [mg = 0,001g],

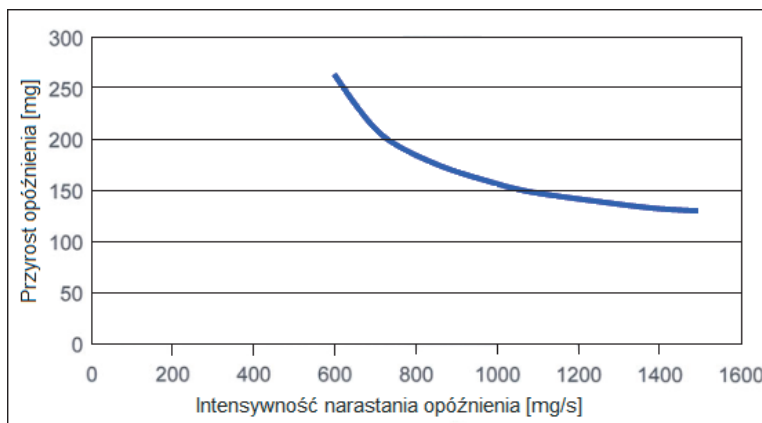
Δt – czas narastania opóźnienia, spowodowanego kolizją [s],

g – przyspieszenie ziemskie,

$B = 378$ – współczynnik,

$C = 97$ – współczynnik.

Na wykresie ryc. 4 przyjęto $100 \text{ mg} = 1 \text{ m/s}^2$.



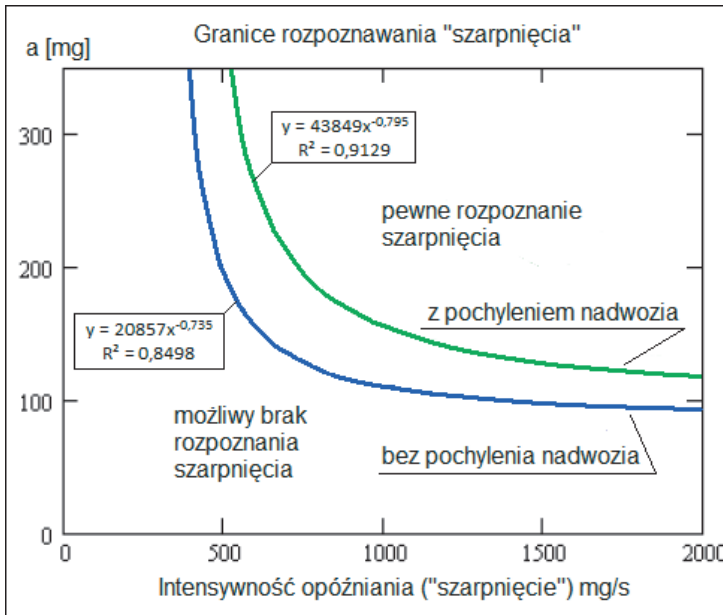
Ryc. 4. Granica rozpoznania kolizji jako funkcja intensywności narastania opóźnienia szarpnięcia (na podstawie [1]).

Do pewnego rozpoznania kolizji dochodzi, gdy:

$$a_{GRANICZNE} < \Delta a \quad (6)$$

6. Granica pewnego rozpoznania kolizji jako funkcja szarpnięcia – krzywe ustalone przez Priestera i in. [3]

Priester i in. badali granice rozpoznawalności kolizji w przypadku, gdy samochodem uderzającym był lekki pojazd dostawczy. Ustalono zależności między opóźnieniem a intensywnością jego narastania („szarpnięciem”) pokazane są na ryc. 5.



Ryc. 5. Granica rozpoznawania „szarpnięcia” (na podstawie [3]).

Poniższe równania wynikają z wykresów przedstawionych przez Priestera in. [3].

$$\Delta a_{zielony} = 43849 \left(\frac{\Delta a}{\Delta t} \right)^{-0,795} \quad (7)$$

$$\Delta a_{niebieski} = 20857 \left(\frac{\Delta a}{\Delta t} \right)^{-0,735} \quad (8)$$

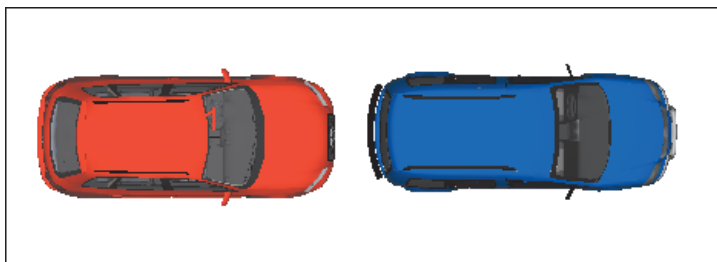
7. Metodyka analizy w oparciu o dostępny materiał dowodowy

Jeśli materiał dowodowy pozwala na ustalenie prędkości uderzenia na podstawie zakresu uszkodzeń pojazdów, to przebieg opóźnienia można ustalić, korzystając z programu symulacyjnego. We wszystkich poniższych przykładach wykorzystano siatkowy model zderzenia zastosowany w programie PC-Crash.

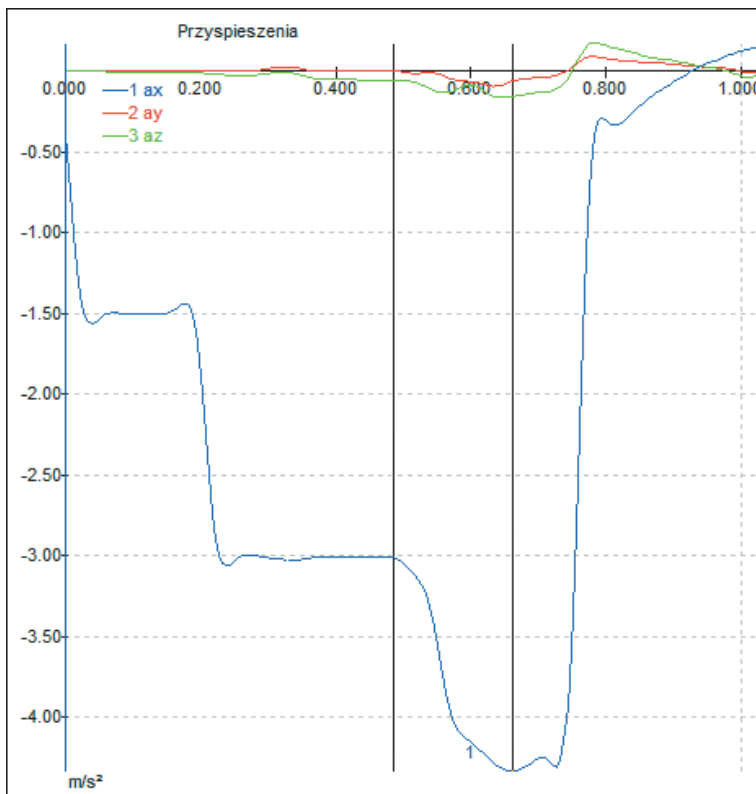
Przykład A

Samochód Audi A3 jadąc do przodu po prostej uderzył z prędkością 7 km/h w nieruchomy, pozostawiony na „luzie”, samochód VW Caddy. Opóźnienie hamowania samochodu Audi przed kolizją wynosiło 3 m/s^2 .

Przypadek ten ma szczególne znaczenie dla tych pojazdów, które odznaczają się „martwą strefą” z przodu, niewidoczną dla kierującego.



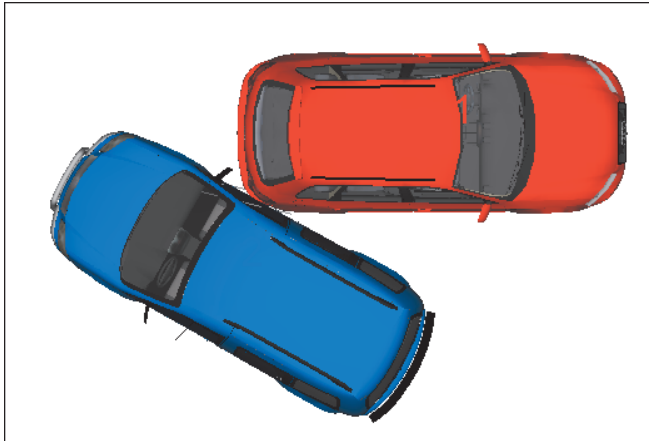
Ryc. 6. Ustawienie pojazdów w początkowej chwili kolizji.



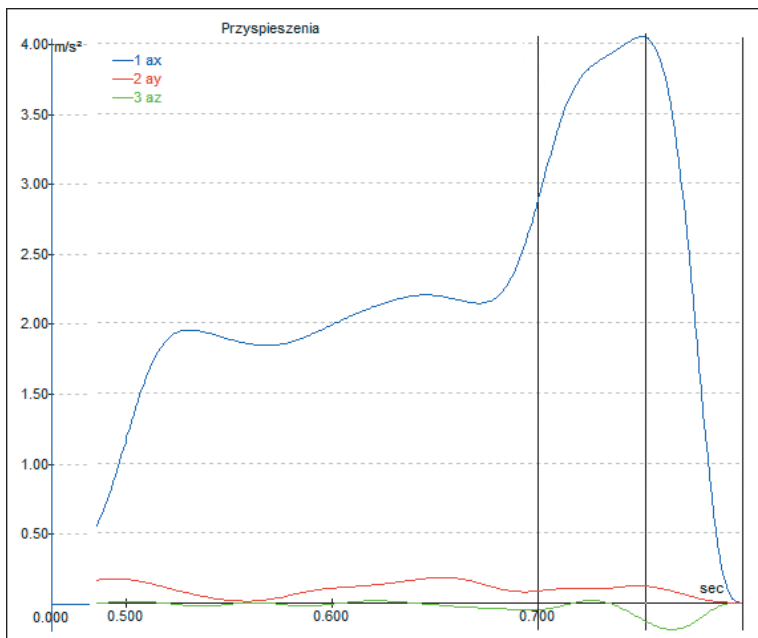
Ryc. 7. Przebiegi przyspieszeń samochodu uderzającego.

Przykład B

Samochód Audi A3, jadąc tyłem po prostej, uderzył z prędkością 12 km/h w zaparkowany, z włączonym I biegiem i hamulcem awaryjnym, samochód VW Caddy. Opóźnienie hamowania samochodu Audi przed kolizją wynosiło 3 m/s^2 .



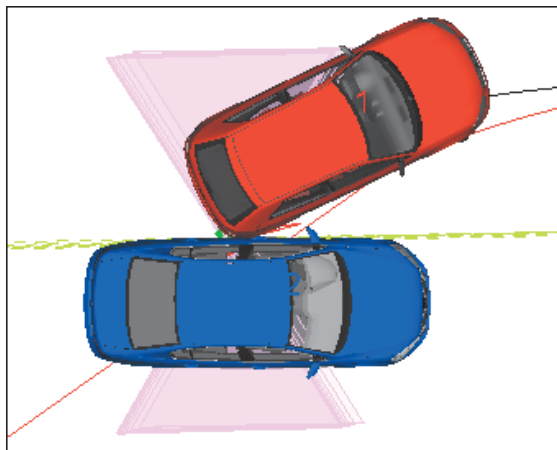
Ryc. 8. Ustawienie pojazdów w początkowej chwili kolizji.



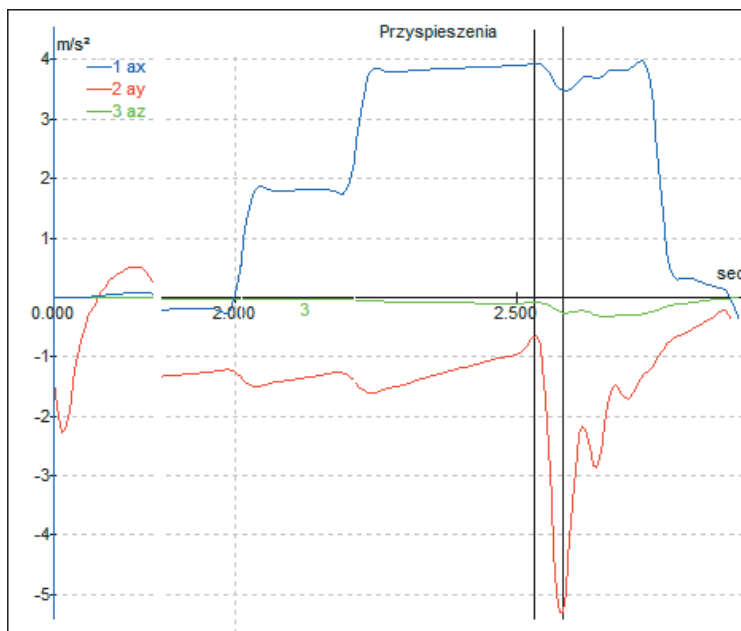
Ryc. 9. Przebiegi przyspieszeń samochodu uderzającego.

Przykład C

Samochód Audi A3, jadąc tyłem po łuku, uderzył z prędkością 5,7 km/h w zaparkowany, z włączonym I biegiem i hamulcem awaryjnym, samochód Citroen C5. Opóźnienie hamowania samochodu Audi przed kolizją wynosiło 4 m/s^2 .



Ryc. 10. Ustawienie pojazdów w początkowej chwili kolizji. Samochód uderzający cofał po łuku.

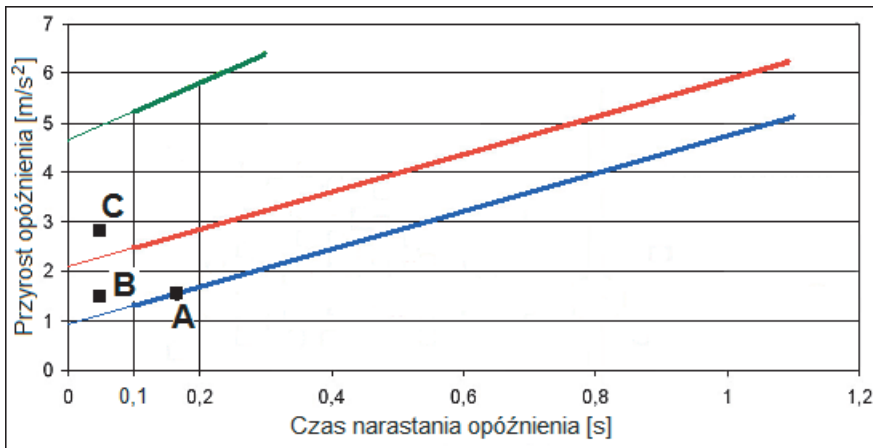


Ryc. 11. Przebiegi przyspieszeń samochodu uderzającego.

W tym przypadku wobec stosunkowo małej zmienności przyspieszenia wzdłużnego istotna dla rozpoznania zaistnienia kolizji jest zmiana przyspieszenia poprzecznego.

7.1. Porównanie wyników symulacji wykonanych w programie PC–Crash z granicami rozpoznania kolizji wyznaczonymi przez Wolffa i Schmeddinga [1]

W oparciu o granice wyznaczone przez Wolffa i Schmeddinga można wskazać, że we wszystkich przykładach możliwe było nierozpoznanie przez kierującego zaistnienia kolizji. Przyrosty opóźnienia sytuowały się bowiem pod liniami granicznymi (ryc. 12).



Ryc. 12. Ilustracja możliwości rozpoznania kolizji: we wszystkich przykładach rozpoznanie kolizji nie było pewne. Podczas jazdy do przodu (linie niebieska i czerwona) i do tyłu linia zielona.

Tabela 1. Zestawienie wyników symulacji PC–Crash.

	Kierunek jazdy	V _U [km/h]	a _F [m/s ²]	a _{MAX} [m/s ²]	Δa [m/s ²]	Δt [s]
A	do przodu	7	3,03	4,30	1,27	0,661 – 0,486 = 0,175
B	do tyłu	12	3,14	4,63	1,49	0,753 – 0,702 = 0,051
C	do tyłu	5,7	4,01	6,94	2,93	2,581 – 2,535 = 0,046

$$\Delta a = a_{MAX} - a_F \tag{9}$$

gdzie:

a_{MAX} – maksymalna wartość opóźnienia w trakcie kolizji [m/s²],

a_F – opóźnienie wynikające z hamowania pojazdu przed kolizją [m/s²].

badania

Tabela 2. Porównanie granic pewnego rozpoznania kolizji z oszacowanymi przy użyciu programu PC–Crash przyrostami opóźnienia, spowodowanymi kolizją.

Przykład	Kierunek jazdy	Δt [s]	Równanie	Granica pewnego rozpoznania kolizji [m/s ²]	Przyrost opóźnienia w kolejnych przykładach [m/s ²]
A	do przodu	0,175	$\Delta a_{niebieski} = 3,77 \cdot \Delta t + 0,94$	1,60	1,27
B	do tyłu	0,051	$\Delta a_{zielony} = 3,77 \cdot \Delta t + 4,87$	5,06	1,49
C	do tyłu	0,046	$\Delta a_{zielony} = 3,77 \cdot \Delta t + 4,87$	5,04	2,93

7.2. Porównanie wyników symulacji PC–Crash z kryterium opóźnienia i szarpnięcia, wprowadzonym przez Wolffa [2]

W interpretacji wyników z użyciem przebiegu granicy rozpoznania kolizji, ustalonych przez Wolffa na podstawie kryterium opóźnienia i szarpnięcia (BRK) [2] przyjęto, że podczas jazdy do tyłu granica odczuwania kolizji jest dwukrotnie wyższa, niż w przypadku jazdy do przodu.

W tabeli 3 czcionką koloru czerwonego wskazano przypadki, w których kolizja mogła nie być rozpoznana. Czcionką koloru niebieskiego wskazano przypadek, w którym kolizja powinna zostać rozpoznana. Wnioski te częściowo odpowiadają wnioskowi płynącemu z porównania czasów i wartości narastania opóźnienia z liniowymi granicami rozpoznania kolizji, wprowadzonymi przez Wolffa i Schmeddinga.

Tabela 3. Porównanie granic pewnego rozpoznania kolizji z oszacowanymi przy użyciu programu PC–Crash przyrostami opóźnienia, spowodowanymi kolizją.

Przykład	Szarpnięcie [mg/s]	$a_{graniczne}$ [mg]	$a_{graniczne}$ [mg] skorygowane ze względu na kierunek jazdy	Δa [mg] (PC–Crash)
A	726,00	202,36	202,36	127,00
B	2921,57	111,41	222,82	149,00
C	6369,57	103,12	206,24	293,00

7.3. Porównanie wyników symulacji PC Crash z kryterium opóźnienia i szarpnięcia, wprowadzonym przez Priestera

W interpretacji wyników z użyciem przebiegów granic rozpoznania kolizji, ustalonych przez Priestera i in. [3] na podstawie kryterium opóźnienia i szarpnięcia

przyjęto, że podczas jazdy do tyłu granica odczuwania kolizji jest dwukrotnie wyższa, niż w przypadku jazdy do przodu.

Dla przypadku A (jazda do przodu, bez przechylenia nadwozia):

$$\Delta a_{niebieski} = 20857 \left(\frac{\Delta a}{\Delta t}\right)^{-0,735} \quad (10)$$

Dla przypadku B (jazda do tyłu, bez przechylenia nadwozia):

$$\Delta a_{niebieski} = 2 \cdot 20857 \left(\frac{\Delta a}{\Delta t}\right)^{-0,735} \quad (11)$$

Dla przypadku C (jazda do tyłu, z przechyleniem nadwozia):

$$\Delta a_{zielony} = 2 \cdot 43849 \left(\frac{\Delta a}{\Delta t}\right)^{-0,795} \quad (12)$$

Tabela 4. Porównanie granic pewnego rozpoznania kolizji z oszacowanymi przy użyciu programu PC-Crash przyrostami opóźnienia, spowodowanymi kolizją.

Przykład	Szarpnięcie [mg/s]	a _{graniczne} [mg] skorygowane ze względu na kierunek jazdy	Δa [mg] (PC-Crash)
A	726,00	164,61	127,00
B	2921,57	118,32	149,00
C	6369,57	82,93	293,00

8. Wnioski

Niezależnie od metody interpretacji wyników w przykładzie A mogło nie dojść do rozpoznania kolizji.

Odnosnie przykładu B, to z dwóch metod interpretacji (w kolejności: pierwszej i drugiej) wynika, że do rozpoznania kolizji mogło nie dojść. Trzecia (w kolejności) metoda wykazała, że kolizja powinna być rozpoznana. Skłania to do ostrożności w przyjęciu, że granica odczucia kolizji podczas jazdy tyłem dwukrotnie przekracza granicę, ustaloną dla przypadków jazdy do przodu.

Ta sama uwaga odnosi się do przykładu C.

Bibliografia

- Schmedding, K. (2011). *Wahrnehmbarkeit und Nachweis von Pkw-Kollisionen*, Vieweg+Teubner Verlag, Wiesbaden.
- Wolff, H. (1992). *Möglichkeiten und Grenzen der Wahrnehmbarkeit leichter – Kollisionen*, Eurotax – Autorenreihe.
- Priester, J., Weyde, M., Plötz, C. (1998). *Wahrnehmbarkeit von Leichten Lkw – Kollisionen*, Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik 36.

* * *

An analysis of the possibility to perceive a collision occurrence at low impact speed

Abstract

An analysis is performed of the possibility of vehicle driver and occupants to recognize if they are involved in a collision at low impact speeds of a few or several km/h. Such collisions frequently happen during manoeuvres on parking lots. It is difficult for vehicle occupants to feel the impact against another vehicle because braking takes place simultaneously. The jolt caused by the collision is often too slight to be registered by a person.

Key words

Perception of collision, low speed, collision.