



Adam Reza

Przyspieszenia i opóźnienia wzdluzne oraz przyspieszenia poprzeczne w normalnym ruchu drogowym

Streszczenie

Przyspieszenia, opóźnienia hamowania i przyspieszenia poprzeczne odgrywają ważną rolę w opiniowaniu wypadków drogowych. Cytowane w artykule wyniki badań pozwalają na określenie przedziałów różnych parametrów dla normalnego, typowego udziału w ruchu drogowym przy wykonywaniu różnych manewrów. Możliwe jest uwzględnienie płci i wieku kierowcy.

Słowa kluczowe

Wypadek drogowy, przyspieszenie, opóźnienie, przyspieszenie poprzeczne.

* * *

1. Wprowadzenie

W literaturze znajdują się przeważnie wyniki badań dla sytuacji ekstremalnych, natomiast w wielu przypadkach ruch pojazdu nie pozostawia po sobie żadnych śladów na jezdni. Gdy konieczne jest wykonanie analizy czasowo-przestrzennej dotyczącej ruchu z udziałem takiego pojazdu istotne jest ustalenie, w jaki sposób można opisać „normalne” zachowanie kierowcy. Aby odtworzyć przebieg wypadku, zweryfikować postępowanie jego uczestników i określić możliwość uniknięcia wypadku, należy znać wartości przyspieszeń w normalnym ruchu drogowym. Nierzadko zdarza się, że jeden z uczestników wypadku nieświadom zagrożenia do samego końca jechał w sposób typowy, tj. nie podjął żadnej reakcji obronnej.

2. Analiza badań wykonanych przed 2016 rokiem

2.1. Przyspieszenie wzdluzne

Z badań przeprowadzonych w roku 1998 r. wynika [10], że podczas ruchu prostoliniowego oraz skrętu w lewo i w prawo średnie przyspieszenie wynosiło

1,3 m/s². Jednak czas tych pomiarów wynosił 6 sekund i wzięto również pod uwagę wolne zwiększanie prędkości. Pomijając fazę wolnego zwiększania prędkości uzyskano średnie przyspieszenia początkowe od 1,3 do 2,5 m/s² (tabela 1).

Tabela 1. Średnie przyspieszenie w [m/s²] różnych pojazdów na płaskim odcinku drogi o długości 8–10 m [10].

Kierunek jazdy	prosto		skręt
	normalne	maksymalne	normalne
Taktyka przyspieszania			
samochód osobowy	1,5–2,5	3,0–6,0	1,0–2,0
samochód ciężarowy częściowo załadowany	0,7–1,0	ok. 1,5	0,5–0,7
pojazd członowy z pełnym ładunkiem	0,5–0,7	ok. 1,3	ok. 0,5
autobus miejski	0,8–1,2	2,0–2,5	0,5–1,0
motocykl	bez pasażera		z pasażerem
	2,0–3,5	4,0–7,0	1,5–2,5

Dalsze badania wykazały [4], że początkowe przyspieszenia podczas jazdy na wprost względem percentyla 10%/90% na drodze o długości 10 m, wynoszą od 1,4 do 2,3 m/s². Początkowe przyspieszenia podczas jazdy na wprost poza miastem wynosiły od 1,3 do 2,1 m/s² [6]. Natomiast początkowe przyspieszenie podczas manewrów zawracania na obszarach miejskich wynosiło między 1,0 a 1,7 m/s².

Kolejne badania, których wyniki zamieszczono w pracy [10], dotyczące przyspieszeń podczas normalnego ruszania kierowców w warunkach ruchu miejskiego z zatrzymaniami związanymi z sygnalizacjami świetlnymi powodowały, że wartości percentyla 10%, 50% i 90% wynosiły odpowiednio: 0,9, 1,6 i 2,6 m/s². W porównaniu z wynikami przedstawionymi w [4], zmierzono więc nieco wyższe przyspieszenia początkowe.

Biorąc pod uwagę różnice charakterystyczne dla danej osoby, w szczególności wiek i płeć kierowców stwierdzono, że podczas ruszania starsi kierowcy przyspieszają szybciej w ciągu pierwszych kilku sekund niż kierowcy w średnim lub młodszym wieku, a ponadto, że mężczyźni przyspieszają intensywniej niż kobiety i kierowcy z dużym doświadczeniem ruszają szybciej niż kierowcy ze średnim doświadczeniem lub początkujący kierowcy. Inne badania, wykonane w 2012 r., wykazały, że kobiety przyspieszają szybciej podczas startu niż mężczyźni [10].

2.2. Opóźnienia hamowania

Przeprowadzono pomiary opóźnień hamowania w codziennych manewrach jazdy. Dla percentylów 10%, 50% i 90% uzyskano opóźnienia hamowania odpowiednio: 1,2, 3,3 i 3,3 m/s².

W tabeli 2 przedstawiono wartości opóźnień maksymalnych dla różnych rodzajów nietypowych nawierzchni [10].

Tabela 2. Maksymalne opóźnienie hamowania w $[m/s^2]$ na różnych podłożach.

Rodzaj nawierzchni	Opóźnienie hamowania $[m/s^2]$
Suchy chodnik (kamienie kompozytowe)	7,0
Mokry chodnik (kamienie kompozytowe)	5,5
Suchy bruk	6,0
Mokry bruk	5,0
Suchy piasek, żwir	5,5
Mokry piasek, żwir	4,5
Jezdnia pokryta śniegiem	2,0–3,0
Lód (w zależności od temperatury)	0,5–2,0
Opóźnienie hamowania tramwajów i lekkich pojazdów szynowych	2,5–3,0

2.3. Przyspieszenia poprzeczne

W literaturze dostępne są różne wyniki badań przyspieszenia poprzecznego samochodów. Widać tendencję, że przyspieszenia poprzeczne zmniejszają się wraz ze wzrostem promienia skrętu (tabela 3).

Badania przyspieszeń bocznych typowych kierowców wykazały maksymalną wartość około $4,5 m/s^2$ przy prędkości do 50 km/h i maksymalną wartość około $2 m/s^2$ podczas manewru zmiany pasa ruchu [7].

W trakcie badań przeprowadzonych w 2008 r., w normalnej sytuacji kierowcy osiągnęli wartości przyspieszenia poprzecznego do $6 m/s^2$, a przyspieszenia kierowców sportowych wynosiły maksymalnie $7,5 m/s^2$. Boczne przyspieszenia „spokojnych” kierowców mieściły się w przedziale $1,5–5,0 m/s^2$.

Tabela 3. Przyspieszenie poprzeczne [10].

Promień łuku R [m]	< 100	< 200	< 300	< 400
Przyspieszenie poprzeczne $[m/s^2]$	1,5–8,2	0,8–5,4	0,4–3,2	0,4–2,3

3. Badania wykonane w 2016 r. [10]

W celu ustalenia normalnego zachowania kierowców w różnych sytuacjach drogowych, pomiary przeprowadzono podczas codziennych manewrów kierowania różnymi samochodami. W miarę możliwości uczestnicy badań korzystali z własnych pojazdów i jechali po wcześniej zdefiniowanej trasie testowej. Podczas jazdy zachowanie kierowców było rejestrowane za pomocą cyfrowej technologii pomiarowej (platformy PIC DAQ firmy Dr. Steffan Datentechnik, DSD), a następnie analizowane przy użyciu odpowiedniego oprogramowania. Mierzono przyspieszenie, opóźnienie i przyspieszenie poprzeczne w różnych sytuacjach i warunkach jazdy.

Pomiarów dokonywano na wjazdach i wyjazdach z autostrad, pokonywania zakrętów, wykonywania skrętów oraz ruszania i hamowania w związku z sygnalizacją świetlną. Te pomiary umożliwiły ustalenie przyspieszeń osiągniętych przez normalnego kierowcę w codziennym ruchu. Po zakończeniu jazd testowych każdy kierowca sam oceniał swoje zachowanie podczas jazdy w protokole testowym. Zmierzone wartości zostały następnie porównane z samooceną kierowcy. Wszystkie jazdy testowe przeprowadzono w warunkach dziennych, na suchej jezdni w lutym i w marcu w obszarze miasta Freising. W badanych pojazdach znajdowało się od dwóch do czterech osób.

Jazda testowa trwała około 50 minut i realizowana była na dystansie około 45 km. W badaniach wzięło udział 16 kierowców w różnym wieku: 8 kobiet w wieku 19–43 lat i 8 mężczyzn w wieku 20–46 lat. Jedna kobieta w wieku 19 lat była początkującym kierowcą, 14 osób było typowymi kierowcami, natomiast jeden mężczyzna w wieku 26 lat był ekspertem. Szesnaście samochodów osobowych było z lat produkcji od 1997 do 2013. Były to samochody małe (siedem), kompaktowe (cztery) średniej klasy (dwa), wyższej średniej (dwa) i jeden klasy wyższej.

Trasa testowa składała się z kilku odcinków, na których należało wykonać następujące manewry jazdy:

- wjazd na autostradę,
- zjazd z autostrady,
- skręt,
- przyspieszanie i hamowanie związane z wyświetlanymi sygnałami świetlnymi,
- wjazd w zakręt i jazda po zakręcie o różnym promieniu.

Na pierwszym odcinku badani musieli wjechać na autostradę i wyjechać z niej na kolejnym węźle. Pomiary przeprowadzono w każdym przypadku podczas przyspieszania na autostradzie i podczas zmniejszania prędkości przed zjazdem z autostrady. Promień odcinka wjazdowego na autostradę w wybranym miejscu wynosił około 84 m, a promień odcinka zjazdowego z autostrady wynosił około 54 m.

Na następnym odcinku badawczym zmierzono poprzeczne przyspieszenia. Osoby badane musiały wykonać dwa skręty w prawo i dwa skręty w lewo i musiały powtórzyć te manewry, tak aby w sumie wykonać cztery razy skręt w lewo i cztery razy skręt w prawo. Promienie drogi miały w tym miejscu od 10 do 15 metrów.

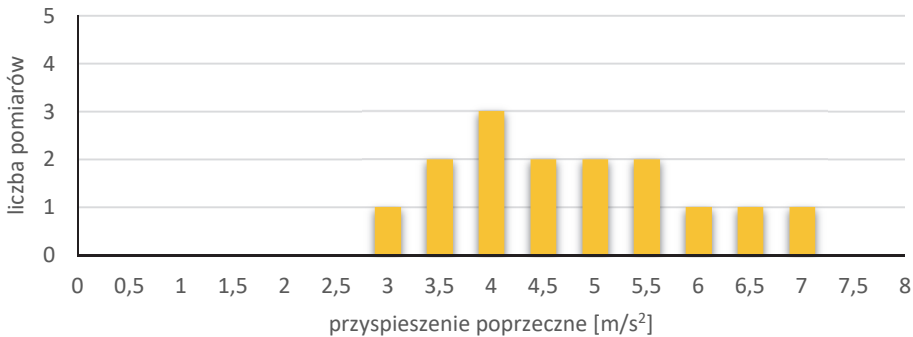
Na trzecim odcinku zmierzono opóźnienie hamowania i przyspieszenie związane z działaniem sygnalizacji w centrum miasta. Ponieważ nie zawsze dało się uniknąć wpływu innych użytkowników dróg, dlatego pomiary zostały przeprowadzone kilkakrotnie o różnych porach dnia w celu wybrania najlepszych pomiarów do oceny. W sumie do oceny dla każdego uczestnika badań wykonano po trzy powtórzenia.

Na czwartym odcinku badani pokonywali zakręty. Był to krótki odcinek z promieniem krzywizny około 363 m, dwoma dłuższymi odcinkami oraz krzywiznami o różnych promieniach.

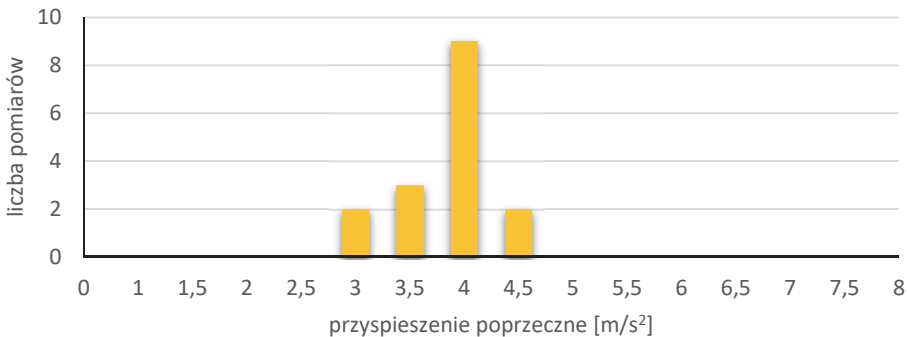
3.1. Badania na autostradzie

3.1.1. Przyspieszenia poprzeczne wszystkich badanych

Na ryc. 1 i 2 przedstawiono zmierzone wartości przyspieszeń poprzecznych podczas wjazdu na autostradę i zjazdu z autostrady. Dla wjazdu wartości zawierają się w bardzo szerokim przedziale od 2,5 do 7,0 m/s² i rozkład częstotliwości jest zbliżony. Natomiast przy wyjeździe przedział jest mniejszy od 3,0 do 4,5 m/s², przy czym wyraźnie nadreprezentatywna jest wartość 4 m/s². Rozkład częstotliwości osiągniętych opóźnień podany jest w tabeli 4.



Ryc. 1. Przyspieszenie poprzeczne wszystkich badanych przy wjeździe na autostradę.



Ryc. 2. Przyspieszenie poprzeczne wszystkich badanych przy wyjeździe z autostrady.

Tabela 4. Przyspieszenie poprzeczne wszystkich badanych przy wjeździe i wyjeździe z autostrady w [m/s²].

Wszyscy badani	Percentyl 10%	Mediana 50%	Percentyl 90%	Odchylenie standardowe
Wjazd na autostradę	2,9	4,4	6,0	1,23
Wyjazd z autostrady	2,9	3,4	4,3	0,48

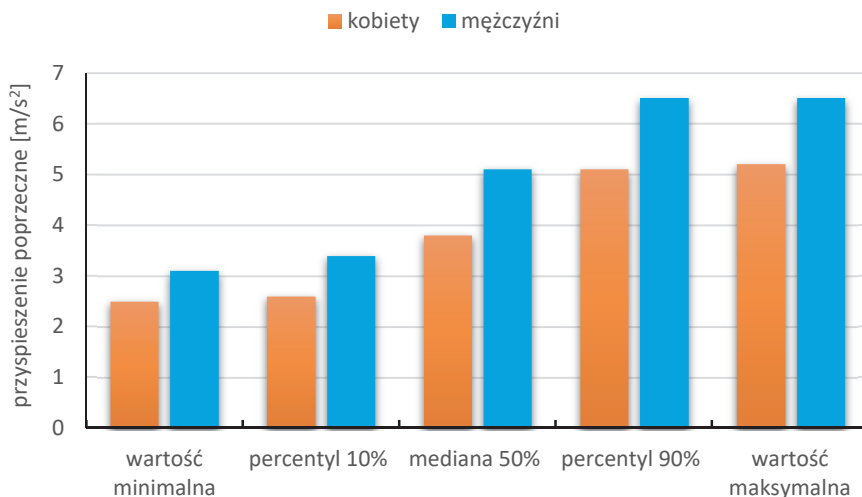
3.1.2. Różnice płci

Jeśli porównać kobiety i mężczyzn podczas wjazdu na autostradę (ryc. 3), to widać wyraźnie, że mężczyźni osiągnęli większe wartości przyspieszeń, mieszczące się w przedziale od 3,1 do 6,6 m/s². Przyspieszenia uzyskane przez kobiety zawierały się w przedziale od 2,5 do 5,3 m/s². Z drugiej strony mężczyźni przyspieszali szybciej na wjeździe na autostradę niż kobiety. Przy wyjazdach autostradowych nie można zauważyć żadnej istotnej różnicy w przyspieszeniach osiągniętych przez kobiety i mężczyzn (ryc. 4). Minimalne i maksymalne granice przyspieszeń wynosiły 2,6 i 4,3 m/s² dla obu płci.

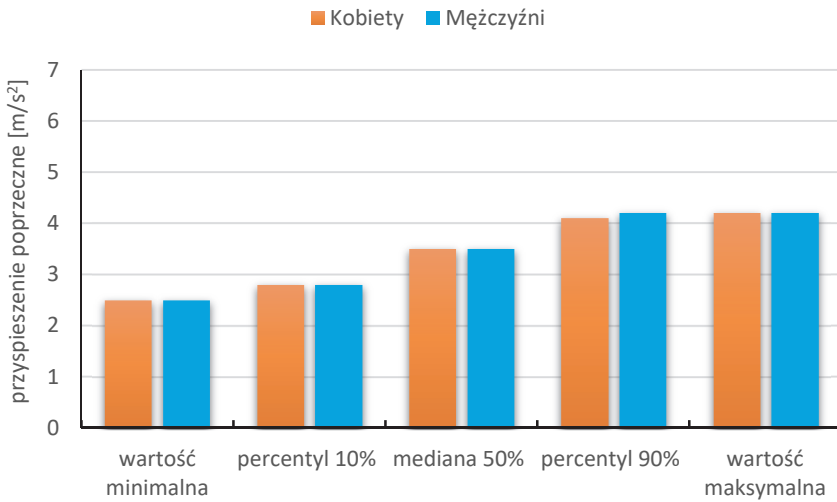
3.1.3. Rozróżnienie grup wiekowych

Po dokonaniu podziału na grupy wiekowe porównano wybrane przyspieszenia poprzeczne ze sobą, a wyniki tych porównań przedstawiono na ryc. 5 i 6. Nie ma większych różnic między przyspieszeniami poprzecznymi. W grupie wiekowej od 36 do 55 lat nie istnieje percentyl 10%, ponieważ zbyt mało osób znajdowało się w tej grupie wiekowej. Osoby w grupie wiekowej 36–55 lat osiągnęły największe przyspieszenia podczas jazdy wjazdu i zjazdu z autostrady odpowiednio 6,6 m/s² i 4,3 m/s².

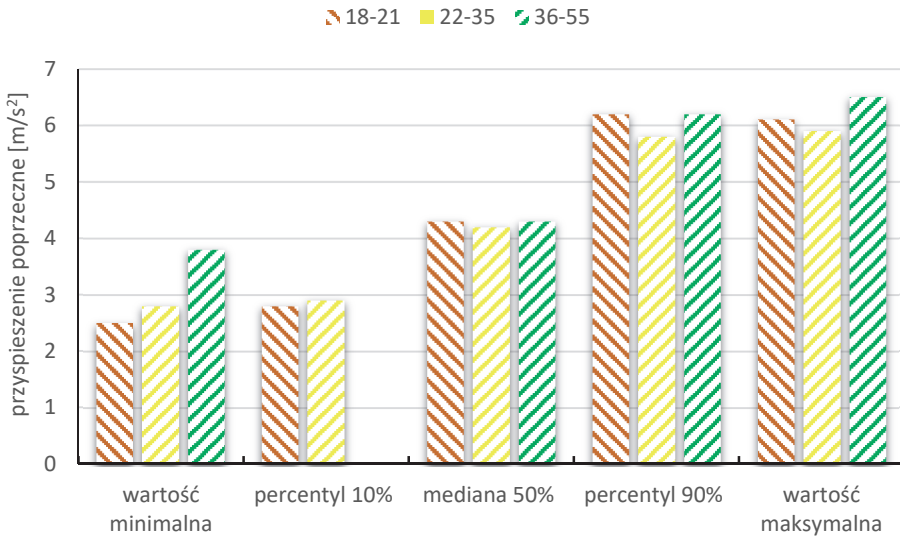
Najmniejsze przyspieszenia boczne wynosiły 2,7 m/s² dla najmłodszych i średnich grup wiekowych. Można jednak zakwestionować, czy wartości mogą być związane z normalnymi kierowcami przy różnicowaniu grup wiekowych, ponieważ tylko pięć do sześciu osób było włączonych do odpowiednich grup.



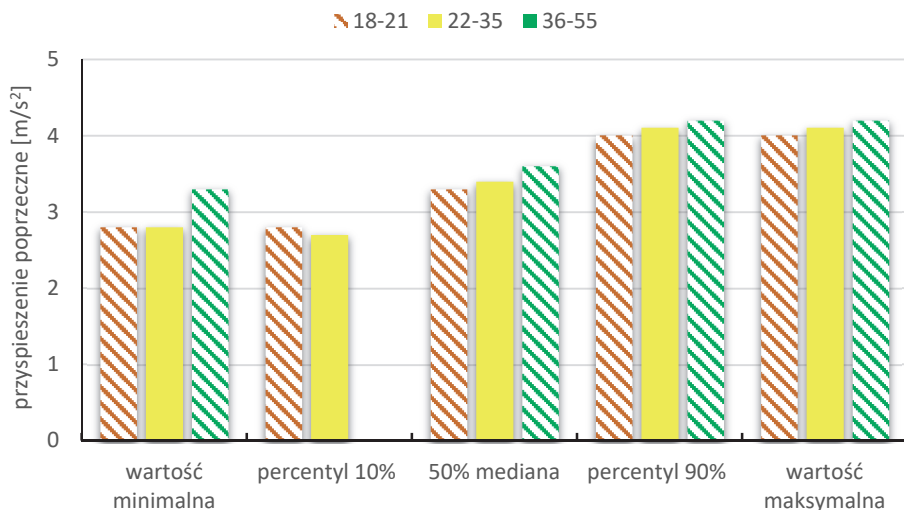
Ryc. 3. Porównanie przyspieszenia poprzecznego kobiet i mężczyzn podczas wjazdu na autostradę.



Ryc. 4. Porównanie przyspieszenia poprzecznego kobiet i mężczyzn podczas wjazdu z autostrady.



Ryc. 5. Przyspieszenie poprzeczne podczas wjazdu na autostradę w odniesieniu do wieku badanych.

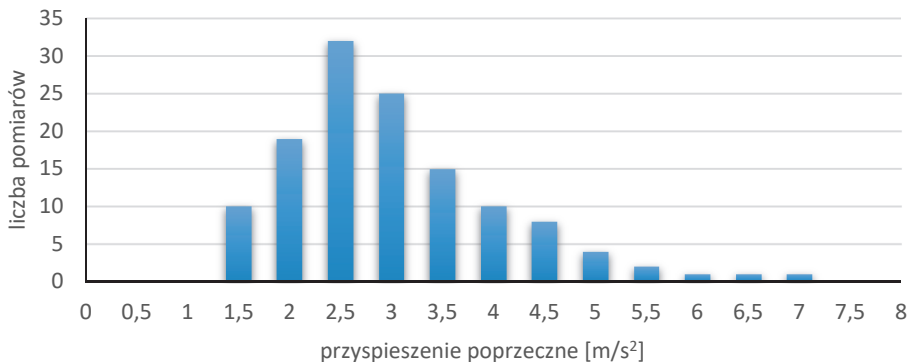


Ryc. 6. Przyspieszenie poprzeczne podczas wyjazdu z autostrady w odniesieniu do wieku badanych.

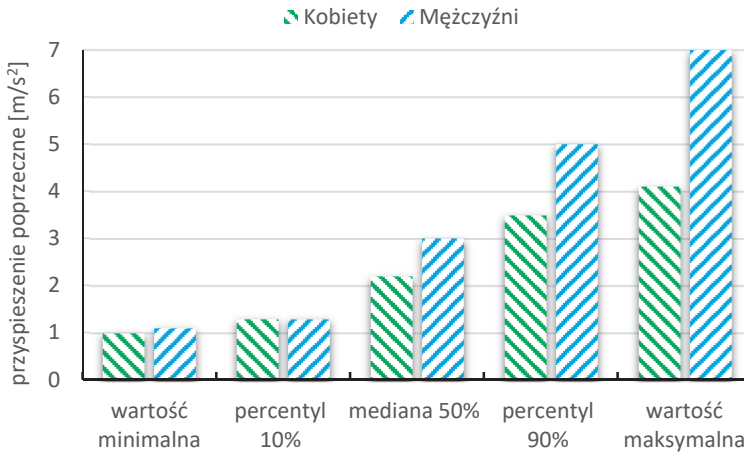
3.2. Przyspieszenia podczas skrętu

3.2.1. Przyspieszenia poprzeczne wszystkich badanych

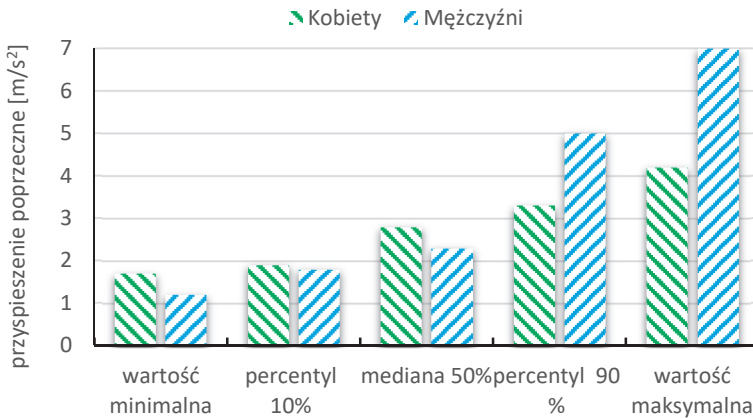
Patrząc na ryc. 7 można zauważyć, że rozkład przyspieszeń poprzecznych jest bardzo podobny do rozkładu normalnego. Najczęściej występujące przyspieszenia poprzeczne wynosiły od 2,0 do 3,5 m/s². Tylko 10% kobiet osiąga przyspieszenie poprzeczne powyżej 3,5 m/s². W przypadku mężczyzn 10% kierowców przekracza przyspieszenie 5,0 m/s². Nie ma większych różnic w wartościach przyspieszeń poprzecznych między skrętem w lewo (ryc. 9) i skrętem w prawo (ryc. 8). Średnia wartość dla kobiet wynosi 2,5, a dla mężczyzn 3,1 m/s². Zakres przyspieszeń poprzecznych mieści się w przedziale od 1,0 do 4,3 m/s² dla kobiet oraz od 1,2 do 7,0 m/s² dla mężczyzn.



Ryc. 7. Rozkład wartości przyspieszeń poprzecznych wszystkich badanych podczas skręcania.



Ryc. 8. Rozkład wartości przyspieszeń poprzecznych podczas skrętu w prawo.

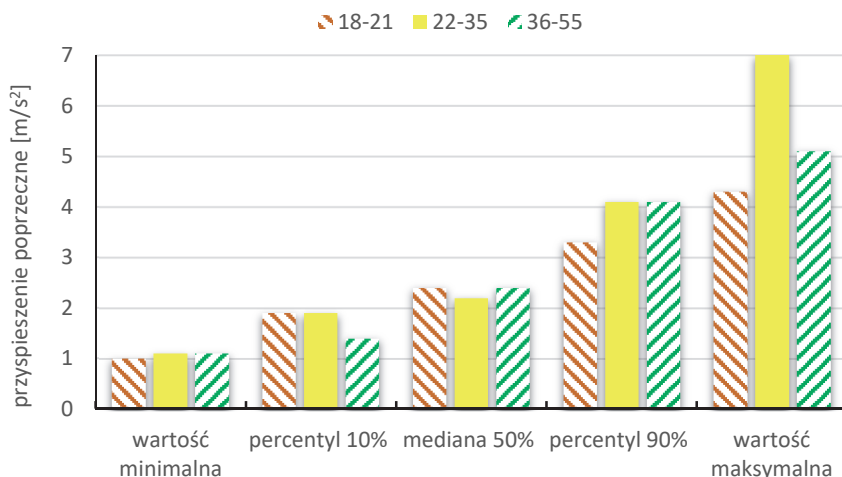


Ryc. 9. Rozkład wartości przyspieszeń poprzecznych podczas skrętu w lewo.

3.2.2. Uwzględnienie wieku badanych

W odniesieniu do kategorii wiekowej nie dokonano rozróżnienia między skrętem w lewo i w prawo, ponieważ nie było zauważalnych różnic. Na ryc. 10 przedstawiono najważniejsze dane. Porównując grupy wiekowe można zauważyć, że dla percentyla 10% przyspieszenia poprzeczne wynosiły od 1,4 do 1,8 m/s² dla wszystkich grup wiekowych. Jednak przyspieszenia dla percentyla 90% były najniższe dla najmłodszej grupy wiekowej i wynosiły 3,3 m/s², a przyspieszenie poprzeczne dla średniej i najstarszej grupy wiekowej osiągały wartości nie większe niż 4,1 m/s². Maksymalna wartość przyspieszenia wystąpiła w grupie wiekowej od 22 do 35 lat,

przy czym przyspieszenie $7,0 \text{ m/s}^2$ dotyczy dokładnie jednej badanej osoby. Pozostały zakres wartości jest podobny do przedziału wiekowego od 36 do 55 lat. Minimalne przyspieszenie boczne we wszystkich grupach wiekowych wynosiło około $1,0 \text{ m/s}^2$.



Ryc. 10. Rozkład wartości przyspieszeń poprzecznych w zależności od wieku.

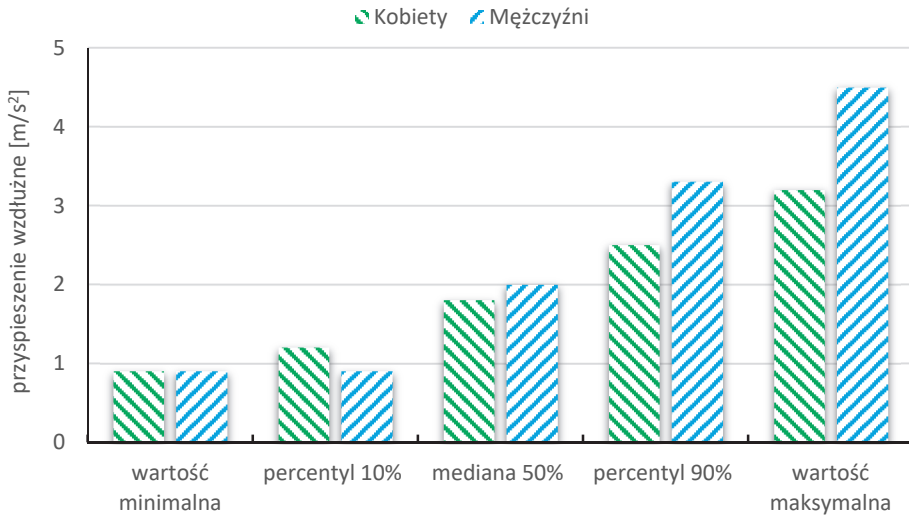
3.3. Przyspieszenie przy ruszaniu

Przyspieszenia przy ruszaniu mieściły się w zakresie od $2,0$ do $2,5 \text{ m/s}^2$. Patrząc na tabelę 5 można zauważyć, że generalnie przyspieszenia osiągnięte przez mężczyzn były znacznie większe niż u kobiet, poza percentylem 10%, przy którym kobiety ruszały z przyspieszeniem nie większym niż $1,3 \text{ m/s}^2$, natomiast mężczyźni z przyspieszeniem nie większym niż $0,9 \text{ m/s}^2$. Dla percentyla 90% mężczyźni osiągnęli przyspieszenie do $3,4 \text{ m/s}^2$, natomiast kobiety do $2,5 \text{ m/s}^2$. Na ryc. 11 znajduje się graficznie podsumowanie najważniejszych wyników. Można zauważyć, że maksymalna wartość początkowych przyspieszeń osiągniętych przez mężczyzn ($4,5 \text{ m/s}^2$) jest znacznie wyższa niż u kobiet ($3,3 \text{ m/s}^2$). Minimalna wartość jest taka sama dla obu płci, tj. $0,9 \text{ m/s}^2$. Ponadto średnie wartości wynosiły dla kobiet $1,9 \text{ m/s}^2$, a dla mężczyzn $2,3 \text{ m/s}^2$.

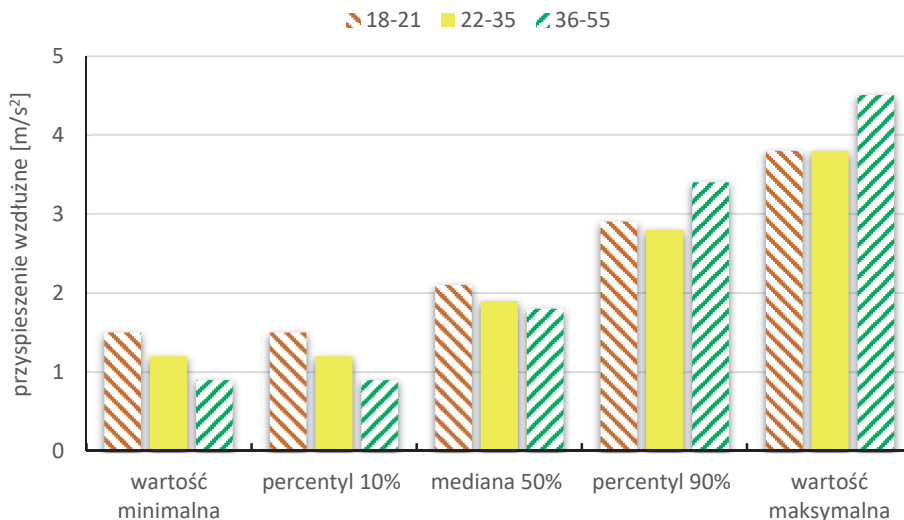
Tabela 5. Przyspieszenie wzdłużne w $[\text{m/s}^2]$ kobiet i mężczyzn podczas ruszania.

Płeć	Percentyl 10%	Mediana 50%	Percentyl 90%	Odchylenie standardowe
Kobiety	1,3	1,7	2,5	0,53
Mężczyźni	0,9	2,0	3,4	0,86

Z analizy ryc. 12 wynika, że najstarsza grupa wiekowa osiągała największe przyspieszenia, przy czym nie ma dużych różnic w pozostałych dwóch grupach wiekowych. W grupie wiekowej od 36 do 55 lat można zaobserwować większy zakres rozproszenia zmierzonych wartości w porównaniu do innych grup wiekowych. Najniższe początkowe przyspieszenia $0,9 \text{ m/s}^2$ osiągnęli badani z najstarszej grupy wiekowej. Najmłodsza grupa wiekowa osiągnęła najwyższą wartość minimalną z $1,5 \text{ m/s}^2$.



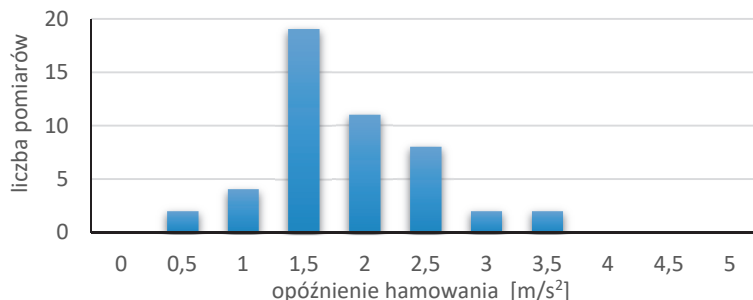
Ryc. 11. Przyspieszenia wzdłużne podczas ruszania.



Ryc. 12. Rozkład przyspieszeń z uwzględnieniem wieku badanych.

3.4. Opóźnienie podczas hamowania

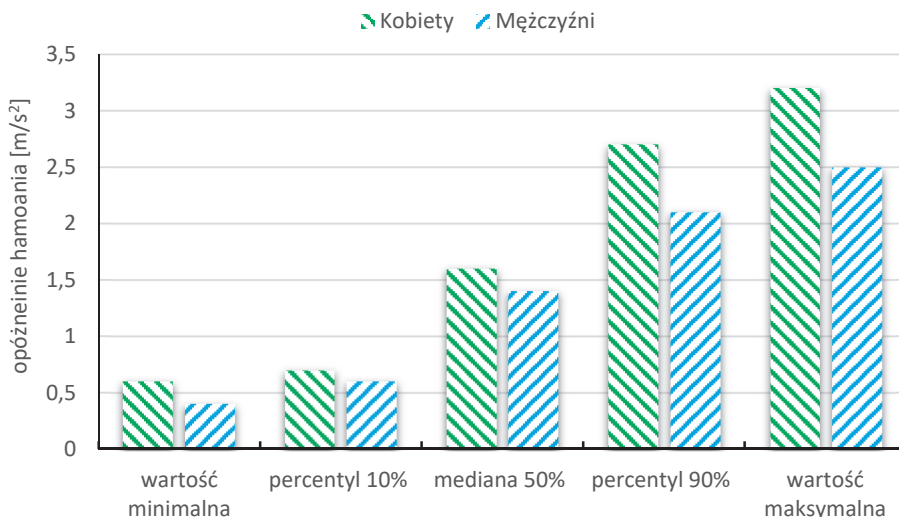
Wykres częstości występowania (ryc. 13) pokazuje, że większość opóźnień hamowania występowała w zakresie od 1,5 do 2,0 m/s². 90% wszystkich kierowców hamowało z opóźnieniem powyżej 0,7 m/s², a tylko 10% kierowców przekroczyło opóźnienie 2,4 m/s². Średnia wartość wszystkich wartości wynosi 1,67 m/s².



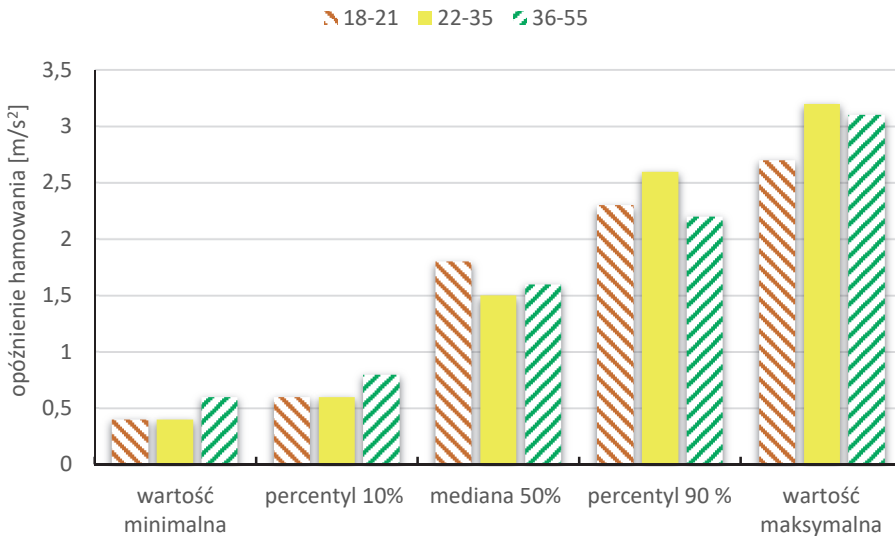
Ryc. 13. Opóźnienia przy hamowaniu.

Można zauważyć, że minimalne i maksymalne wartości dla kobiet i mężczyzn mieszczą się w zakresie od 0,4 do 3,2 m/s². Podsumowując najważniejsze percentyle i wartości minimalne i maksymalne na ryc. 14, można wyraźnie zauważyć, że wybrane opóźnienia hamowania u kobiet są zawsze większe niż u mężczyzn.

Porównując pomiary w poszczególnych grupach wiekowych (ryc. 15), można zauważyć, że 90% kierowców we wszystkich grupach wiekowych hamowało z opóźnieniem co najmniej 0,6 m/s². Największe wartości (maksymalna 3,2 m/s² osiągnęli kierowcy w wieku od 22 do 35 lat, a następnie najstarsza grupa wiekowa.



Ryc. 14. Rozkład opóźnień z uwzględnieniem płci.



Ryc. 15. Rozkład opóźnień z uwzględnieniem wieku.

3.5. Jazda po łuku

Oprócz przyspieszenia i opóźnienia oceniano również jazdę na drodze o różnych promieniach. W pierwszej kategorii (od 35 do 70 m) zmierzone wartości dla łuku w lewo były zauważalnie większe niż w przypadku łuku w prawo. W dwóch kolejnych kategoriach łuku (od 85 do 130 m i od 145 do 190 m) nie było prawie żadnych różnic między skrętem w lewo i w prawo. W ostatniej kategorii (od 355 do 390 m) przyspieszenia poprzeczne przy skręcie w prawo były większe w stosunku do skrętu w lewo. Można zauważyć, że wraz ze wzrostem promienia łuku, przyspieszenia poprzeczne zmniejszają się (tabela 6). Minimalne przyspieszenia poprzeczne we wszystkich kategoriach krzywizn wynosiły od 0,33 do 0,8 m/s². Należy również zauważyć, że w pomiarach pokonywania zakrętów maksymalne dopuszczalne prędkości (60 km/h i 70 km/h) zostały przekroczone przez wszystkich badanych. Mężczyźni ogólnie osiągnęli większe przyspieszenia poprzeczne we wszystkich kategoriach krzywych w stosunku do kobiet.

Tabela 6. Przyspieszenie poprzeczne w [m/s²] dla wszystkich badanych i kategorii zakrętów.

Jazda po łuku	Percentyl 10%	Mediana 50%	Percentyl 90%
35–70 m	1,3	3,0	4,8
85–130 m	1,2	2,8	5,0
145–190	1,5	2,4	4,2
355–390 m	0,3	0,9	1,7

3.6. Subiektywne uwzględnienie typu jazdy

W tabelach 7 i 8 przedstawiono wyniki badań z uwzględnieniem typu jazdy, który został subiektywnie oceniony przez uczestników badań.

Tabela 7. Przyspieszenia w [m/s²] z uwzględnieniem typu jazdy.

Typ jazdy	Wjazd na autostradę	Wyjazd z autostrady	Ruszanie	Skręcanie
Wolna	2,5–3,9	2,6–3,3	0,9–1,6	1,3–2,4
Normalna	4,0–5,3	3,4–4,4	1,7–2,5	2,5–3,5
Sportowa	5,4–6,6	4,5–5,0	2,6–4,5	3,6–7,0

Tabela 8. Przyspieszenia w [m/s²] w zależności od typu jazdy.

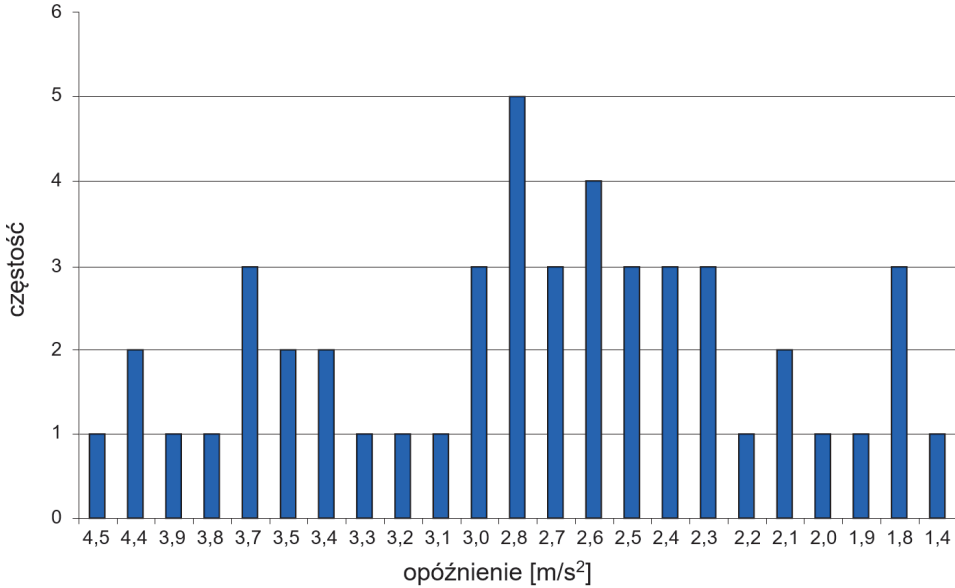
Typ jazdy	Hamowanie	Łuk			
		35–70 m	85–130 m	145–190 m	355–390 m
Wolna	0,4–1,4	0,7–2,6	1,5–2,4	1,8–2,1	0,2–0,5
Normalna	1,5–2,5	2,7–5,5	2,5–5,3	2,1–4,3	0,6–1,8
Sportowa	2,6–4,5	5,6–7,5	5,4–7,1	4,4–5,1	1,9–3,0

4. Wyniki badań opóźnienia hamowania

Uzyskane wyniki badań dotyczące hamowania w typowym ruchu drogowym [10] zostały porównane z innymi wynikami badań:

- Hoffmeistera [3],
- Konika, Müllera, Prestela, Toelge, Lefflera [4],
- Nickela [7],
- Burchardta [2],
- Mituneciciusa [8].

Hoffmeister [3] wykonał badania w czasie 48 przejazdów. Kierowcy jadący samochodem osobowym drogą krajową z prędkością 100 km/h podejmowali manewr hamowania w celu wykonania skrętu w prawo w wąską drogę boczną. Badania były prowadzone na suchej jezdni. W eksperymencie uczestniczyło 16 kierowców. Zbiorcze zestawienie wszystkich wyników w ujęciu statystycznym przedstawiono na ryc. 16. Minimalna wartość opóźnienia hamowania wynosiła 1,4 m/s², a maksymalna 4,5 m/s². Mediana wszystkich wyników wynosiła 2,7 m/s². 10% badanej populacji kierowców hamowało z opóźnieniem nie większym niż 1,9 m/s², a 90% kierowców z opóźnieniem nieprzekraczającym 3,7 m/s².



Ryc. 16. Zbiorne zestawienie wyników pomiarów hamowania.

Według wyników badań opublikowanych w 1999 r. [4] maksymalna wartość hamowania w ruchu drogowym nie przekracza $2,5 \text{ m/s}^2$.

Z wyników badań Nickela [7] wynika, że dla zmierzonych wartości opóźnień hamowania mediana wynosi $2,2 \text{ m/s}^2$, a 90% badanych kierowców hamowało z opóźnieniem nieprzekraczającym $3,3 \text{ m/s}^2$. Burchardt [2] ocenił średnią wartość opóźnienia hamowania w normalnej sytuacji drogowej w przedziale $1,5\text{--}3,0 \text{ m/s}^2$.

Badania w Wilnie [8] zostały wykonane w warunkach ruchu miejskiego w dwóch etapach. W pierwszym uczestniczył doświadczony ekspert, a w drugim brało udział 10 osób. Intensywność hamowania była również określana subiektywnie. Z badań dla pierwszego etapu wynika, że jako hamowanie gwałtowne należy przyjąć zmniejszanie prędkości z opóźnieniem przekraczającym 4 m/s^2 . Wartości z przedziału od $3,85$ do $4,33 \text{ m/s}^2$ były oceniane jako granica hamowania łagodnego i gwałtownego. W drugim etapie hamowanie z opóźnieniem większym od $5,18 \text{ m/s}^2$ zostało ocenione przez wszystkich 10 badanych jako gwałtowne. Minimalna wartość tak określonego hamowania wynosiła $3,9 \text{ m/s}^2$. Dla 1/3 badanych opóźnienie poniżej 5 m/s^2 nie było traktowane jako gwałtowne.

W kategorii dotyczącej gwałtownego hamowania dostępne są również inne wyniki badań [9]. W tych badaniach wzięło udział 16 kierowców, którzy poza miastem prowadzili pojazdy z prędkością 100 km/h , i zbliżając się do skrętu w prawo byli proszeni o zmniejszanie prędkości w sposób niegwałtowny. Podczas tych badań minimalna wartość opóźnienia wynosiła $1,4 \text{ m/s}^2$, a maksymalna $4,5 \text{ m/s}^2$. Obliczona średnia wartość opóźnień hamowania przez tych kierowców wynosiła $2,7 \text{ m/s}^2$, a 90% z nich nie przekraczało wartości $3,7 \text{ m/s}^2$.

5. Posumowanie

Badacze uzyskali różne, czasem odmienne wyniki badań w zakresie przyspieszeń i opóźnień wzdłużnych oraz przyspieszeń poprzecznych. Podane wartości dotyczą samochodów osobowych oraz dostawczych i suchej jezdni. Na jezdni mokrej, a zwłaszcza oblodzonej, wartości będą oczywiście mniejsze. Również dla innych rodzajów pojazdów będą inne wartości.

W normalnym ruchu drogowym przyspieszania wzdłużne są silnie uzależnione od rodzaju wykonywanego manewru ruszania do jazdy na wprost czy do skrętu. Ponadto istotny wpływ mają okoliczności ruchu, tj. czy kierowca ma pełny wgląd w sytuację i nie spodziewa się zagrożenia, czy też wykonuje manewr przy widocznym lub spodziewanym zagrożeniu (np. włączanie się do ruchu przy ograniczonej widoczności). Gdy nie ma zagrożenia, jako wartość maksymalną przyspieszenia należy przyjmować $1,6 \text{ m/s}^2$.

Zmierzone podczas badań opóźnienia hamowania w normalnym ruchu drogowym też zawierają się w dość szerokim przedziale. Jako wartość maksymalną opóźnienia w normalnym ruchu należy przyjąć 4 m/s^2 . Opóźnienie powyżej tej wartości, to już opóźnienie intensywne związane z podjęciem manewru obronnego albo błędem kierowcy polegającym na spóźnieniu się z podjęciem reakcji.

Osobne zagadnienie stanowi przyspieszenie poprzeczne. W normalnym ruchu drogowym są dwa aspekty: bezpieczeństwo oraz komfort jazdy. Biorąc pod uwagę aspekt związany z komfortem, to jako maksymalne przyspieszenie na jezdni suchej należy przyjąć 4 m/s^2 , ponieważ przy większych wartościach przyspieszenia nie jest on zapewniony, zwłaszcza dla pasażerów.

Bibliografia

1. Battiato, L., Wolff, H., Nover, W. (1998). Schaltvorgänge und Anfahrbeschleunigung des Normalfahrers im Innerortsverkehr, VKU, Heft 7/8.
2. Burckhardt M. (1979). Zur Theorie der Bremstechnik, Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik, nr 5, s. 94.
3. Hoffmeister L. (2008). Angleichsbremungen auf Landstrassen, Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik, nr 9.
4. Konik D., Müller R., Prestl W., Toelge T., Leffler H. (1999). Elektronisches Bremsen-Management als erster Schritt zu einem Integrierten Chassis-Management, Automobiltechnische Zeitschrift, nr 101.
5. Kraft, T. (2010). Gezielte Variation und Analyse des Fahrverhaltens von Kraftfahrzeugen, Dissertation, Karlsruher Institut für Technologie (KIT).
6. Krause, R. (2002). Anfahrbeschleunigungen im alltäglichen Straßenverkehr, VKU, Heft 4.
7. Nickel M. (2001). Längst- und Querbeschleunigungen bei normalen Fahrt, F. H. Köln.
8. Mitunevicius A., Mitunevicius V., Nagurnas S. (2013). Badania hamowania pojazdów w warunkach miejskich, Paragraf na Drodze numer specjalny, str. 215–223.

9. Schmidt C. (2013). Fahrstrategien zur Unfallvermeidung im Straßenverkehr für Einzel- und Mehrobjektszenarien, Dissertation, Karlsruher Institut für Technologie (KIT).
10. Von Taysi E., Bäumler H. (2017). Anfahrbeschleunigungen, Verzögerungen und Querbeschleunigungen von Normalfahrern im Straßenverkehr, Teil 1 i Teil 2, Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik, nr 6 i nr 7–8.
11. Reza A. (2010). Opóźnienie normalnego hamowania samochodów osobowych w ruchu drogowym, Paragraf na Drodze nr 3, str. 53–57.
12. D. S. D. G. (2013). PIC DAQ Messplattform zur Messung von Fahrzeugbeschleunigungen und Rotationsgeschwindigkeiten, Linz.

* * *

Longitudinal acceleration and deceleration and transverse acceleration in ordinary road traffic

Abstract

The knowledge of acceleration, braking deceleration and transverse acceleration play an important role in road accident expert reporting. The test results quoted in the paper enable the identification of the ranges of various parameters of various driving manoeuvres in ordinary typical participation in road traffic, including the driver's sex and age.

Key Words

Road accident, acceleration, deceleration, transverse acceleration.

