

# ANALIZA STANU BEZPIECZEŃSTWA PASAŻERÓW NA TYLNYCH SIEDZENIACH SAMOCHODU OSOBOWEGO PODCZAS WYPADKU DROGOWEGO

ANDRZEJ ŻUCHOWSKI<sup>1</sup>, LEON PROCHOWSKI

## Streszczenie

Wyniki badań pokazują, że w wielu rozwiązaniach konstrukcyjnych samochodów osobowych, obciążenia dynamiczne pasażerów na tylnych siedzeniach mogą być znacznie większe niż osób na przednich fotelach, a więc i ryzyko obrażeń jest dla nich wyższe. W pracy zestawiono przykładowe przebiegi obciążeń dynamicznych, powstających podczas czołowego uderzenia w przeszkodę i które działają na osoby jadące w pierwszym i drugim rzędzie foteli samochodowych. Jednocześnie zwrócono uwagę na relacje między miejscem zajmowanym w samochodzie a prawdopodobieństwem odniesienia obrażeń w różnych wypadkach drogowych.

Przeprowadzono analizę obciążeń dynamicznych, jakie działają na osoby na tylnych siedzeniach w wielu samochodach. W tym celu wykorzystano wyniki badań laboratoryjnych (testów zderzeniowych) samochodów. Rozważono obciążenia dynamiczne działające na pasażerów o różnych cechach antropometrycznych. Wyniki tych analiz odniesiono do obciążeń działających na kierowcę i pasażera obok kierowcy, a więc do osób jadących, które są chronione przez typowe systemy bezpieczeństwa biernego na przednich fotelach. Podczas oceny wykorzystano wskaźniki biomechanicznej odporności ciała człowieka na skutki obciążeń udarowych.

**Słowa kluczowe:** transport, bezpieczeństwo ruchu drogowego, bezpieczeństwo pojazdów, testy zderzeniowe, pasażer na tylnym siedzeniu

## 1. Wprowadzenie

W krytycznych sytuacjach drogowych o życiu i obrażeniach człowieka decydują urządzenia systemu ochrony indywidualnej w samochodzie, takie jak pasy bezpieczeństwa, poduszki gazowe, zagłówki, fotele i foteliki dla dzieci. Skuteczność działania tych urządzeń zależy od wielu czynników, często trudnych do uwzględnienia na etapie ich projektowania,

<sup>1</sup> Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Mechaniczny, ul. Gen. S. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa, e-mail: azuchowski@wat.edu.pl, tel. 22 683 74 54

np. masa i wzrost osoby jadącej, pozycja na fotelu, stan regulacji fotela i koła kierownicy, kierunek uderzenia.

Problem bezpieczeństwa osób jadących na drugim i trzecim rzędzie foteli w samochodach osobowych dotychczas traktowany jest drugorzędnie. Ważnym potwierdzeniem tego stanu jest osiągnięty etap konstrukcji tych urządzeń dla osób na tylnych fotelach. Z reguły brakuje tam regulacji położenia punktów mocowania pasów, napinaczy pasów, regulacji siedziska fotela. Także wymagania homologacyjne do pojazdów w zakresie ochrony osób znajdujących się w samochodach podczas zderzenia czołowego i bocznego (Dyrektywy 96/79/WE i 96/27/WE Parlamentu Europejskiego i Rady) dotyczą wyłącznie ochrony osób na przednich siedzeniach.

Celem pracy jest porównanie obciążeń dynamicznych, działających na osoby jadące na kolejnych rzędach foteli, z obciążeniami działającymi na kierowcę i siedzącego obok niego pasażera w czasie wypadku drogowego. Aktualność pracy wynika z kilku ważnych aspektów:

- rośnie liczba siedzisk w samochodach osobowych, z 4-5 do 5-7 a nawet więcej;
- pojawił się trzeci rząd foteli, często w miejscu obecnego bagażnika;
- wyposażenie w urządzenia do ochrony osób na drugim i trzecim rzędzie foteli jest zwykle gorsze niż na pierwszym.

W pracy dokonano analizy wyników pomiarów wykonywanych podczas testów zderzeniowych [8]. Analizowane wyniki dotyczą czołowego uderzenia samochodu w sztywną, płaską barierę, ustawioną prostopadle do kierunku ruchu samochodu.

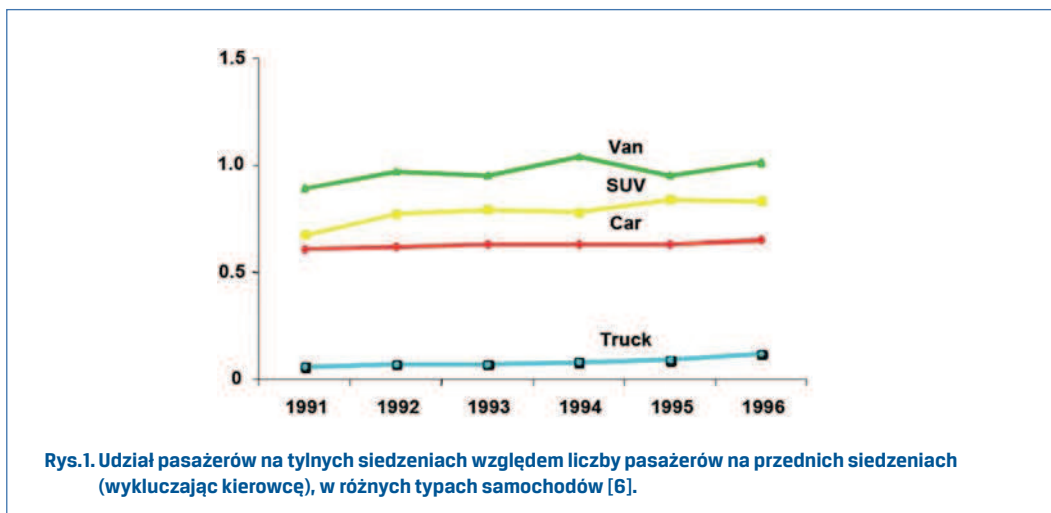
Wyniki badań pokazują, że w wielu samochodach osobowych, obciążenia dynamiczne pasażerów na tylnych siedzeniach mogą być znacznie większe niż osób na przednich fotelach, a więc i ryzyko obrażeń jest dla nich wyższe [3,6,7,9].

## **2. Charakterystyki statystyczne ofiar wypadków drogowych w samochodach osobowych**

Znaczna część samochodów osobowych wykorzystywana jest wyłącznie przez ich kierowców. Rzadko są publikowane dane o liczbie pasażerów przewożonych samochodami osobowymi. W badaniach wykonanych w Krakowie w latach 90-tych stwierdzono, że średnie napełnienie samochodów w ruchu miejskim podczas dojazdu i powrotu z pracy jest 1,4-1,7 osoby na samochód [2]. Na podstawie szczegółowych danych o wypadkach drogowych w Japonii z lat 1995-2000 w pracy [7] podano następującą strukturę napełnienia w ponad 530 tysiącach samochodach:

- 84,6 % tylko kierowca,
- 11,7% kierowca +1 pasażer,
- 2,5% kierowca +2 pasażerów,
- 0,6% kierowca +3 pasażerów,
- 0,1% kierowca +4 pasażerów.

Z danych tych wynika, że pasażerowie na tylnych siedzeniach stanowią tylko około 3% z ogólnej liczby osób jadących samochodami osobowymi. Podobne wyniki przedstawiono na rysunku 1. Rysunek pokazuje rezultaty pomiaru obecności pasażerów na tylnych siedzeniach względem pasażerów na przednich [6]. Osoba kierowcy jest wykluczona z obliczeń częstotliwości zajmowania siedzeń.



Strukturę ofiar wypadków drogowych w Polsce z udziałem samochodów osobowych podano w tabeli 1. Oddzielnie podano dane dotyczące poszkodowanych wśród kierowców, pasażerów na przednim fotelu oraz pasażerów na tylnych siedzeniach. Część ofiar wśród pasażerów to dzieci, jednak dostępne dane statystyczne nie zawierają informacji, w jakim pojeździe przewożone było dziecko-pasażer, poszkodowane w wypadku drogowym.

Tabela 1. Struktura ofiar wypadków drogowych w Polsce z udziałem samochodów osobowych (s.o.) [4].

| Rok  | Ogółem |       | Kierowca s.o. |       | Pasażer s.o.- przód |       | Pasażer s.o.- tył |       | Pasażer - dziecko* |       |
|------|--------|-------|---------------|-------|---------------------|-------|-------------------|-------|--------------------|-------|
|      | Zabici | Ranni | Zabici        | Ranni | Zabici              | Ranni | Zabici            | Ranni | Zabici             | Ranni |
| 2007 | 5583   | 63224 | 1517          | 18355 | 882                 | 15057 | 183               | 2 668 | -                  | -     |
| 2008 | 5437   | 62097 | 1465          | 17469 | 904                 | 15097 | 171               | 2 549 | 81                 | 2591  |
| 2009 | 4572   | 56046 | 1334          | 16030 | 702                 | 13554 | 143               | 2 291 | 60                 | 2319  |
| 2010 | 3907   | 48952 | 1125          | 14033 | 595                 | 11684 | 133               | 1 872 | 60                 | 2115  |

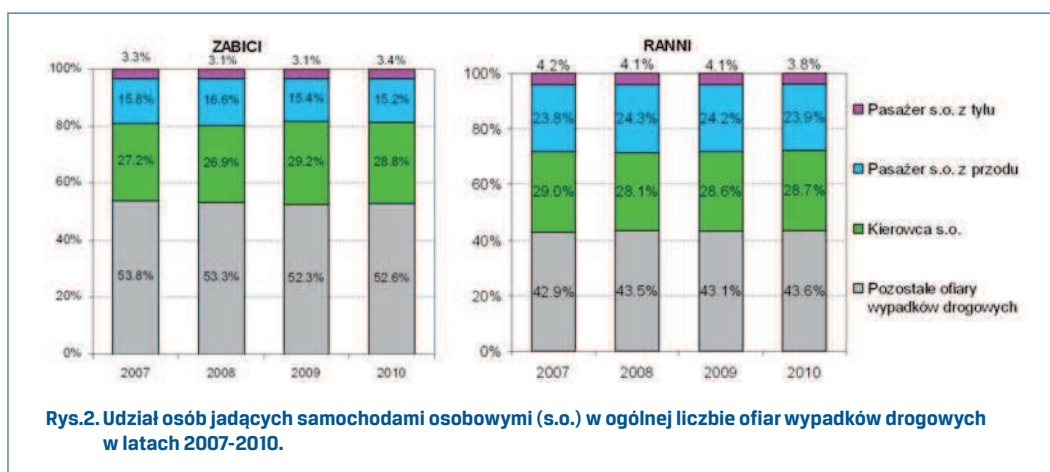
\*) dzieci 0-14 lat ujęto tu jako pasażerów w samochodach osobowych i innych pojazdach

Na podstawie danych z tabeli 1, na rysunku 2 podano udział kierowców i pasażerów samochodów osobowych w ogólnej liczbie ofiar wypadków drogowych w latach 2007-2010. Zabici stanowili 46...48% a ranni 56...57%, w tym:

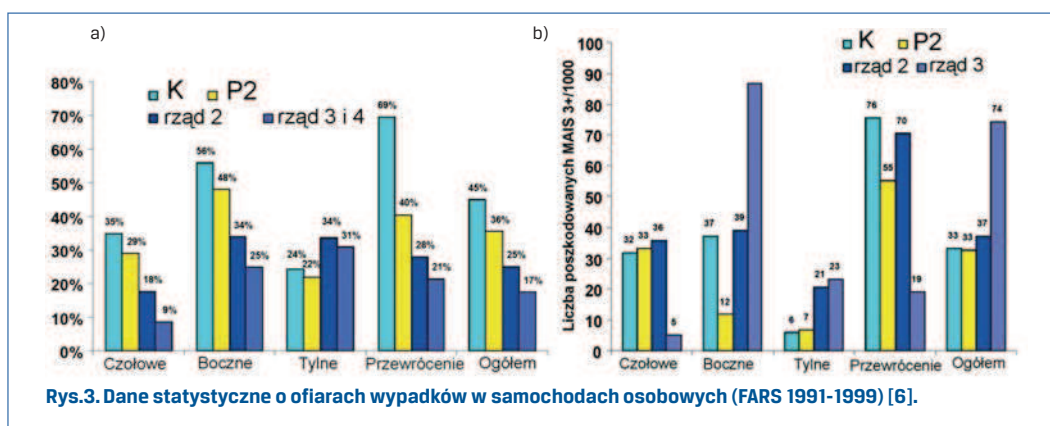
- kierowcy 27...29% zabici oraz 28...29% ranni;
- pasażer z przodu 15...17% zabici oraz 23...24% ranni;
- pasażer z tyłu 3% zabici oraz 4% ranni.

Pasażerowie na tylnych siedzeniach stanowili:

- 6,6...7,2% zabitych oraz 6,8...7,4% rannych wśród ofiar wypadków w samochodach osobowych (kierowca + pasażerowie);
- 15,9..18,3% zabitych oraz 13,8...15,1% rannych spośród pasażerów (bez kierowców).



Rysunek 3a zawiera dane statystyczne o ofiarach wypadków drogowych w samochodach osobowych (osoby powyżej 13 roku życia). Pokazano też umiejscowienie tych ofiar w samochodzie. Bardzo interesująca informacja wynika z połączenia częstotliwości zajmowania tylnych siedzeń ze statystyką ofiar w samochodach osobowych, co pokazano na rysunku 3b [6]. Słupki na rysunku 3b wyrażają w promilach iloraz liczby osób z ciężkimi obrażeniami (MAIS 3+) do liczby osób jadących na konkretnych siedziskach w czasie wypadku. Wskazuje to na niekorzystną sytuację osób jadących na tylnych siedzeniach w samochodzie osobowym.



Uzupełniając te informacje warto dodać, że stały wzrost wskaźnika motoryzacji (liczba samochodów osobowych na 1000 mieszkańców) wskazuje na zmniejszającą się liczbę osób przypadającą na jeden samochód (tabela 2). Liczba ta zmalała od 15 w 1980 roku do 2,25 w roku 2010.

**Tabela 2. Wskaźnik motoryzacji w Polsce [4,5].**

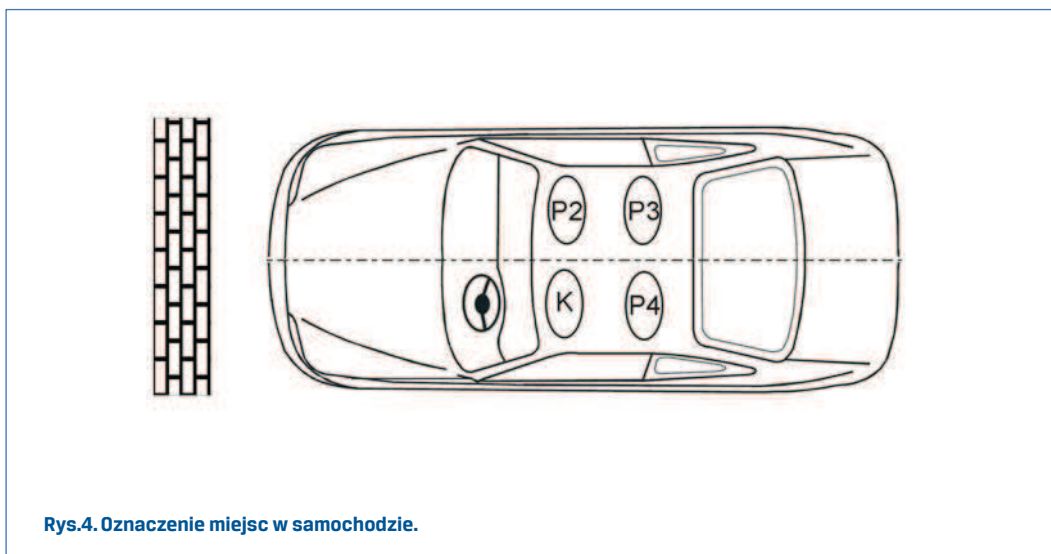
| Rok                                   | 1980   | 1990   | 2000   | 2005   | 2010   |
|---------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Liczba mieszkańców (tys.)             | 35 735 | 38 183 | 38 644 | 38 157 | 38 187 |
| Liczba samochodów osobowych (tys.)    | 2 383  | 5 261  | 9 991  | 12 339 | 16 990 |
| Wskaźnik motoryzacji                  | 67     | 138    | 259    | 323    | 445    |
| Liczba osób na jeden samochód osobowy | 15,00  | 7,26   | 3,87   | 3,09   | 2,25   |

### 3. Rozmieszczenie osób w samochodzie i zakres analizy

Główne czynniki wpływające na obrażenia osób na poszczególnych rzędach foteli są następujące:

- dostępność środków ochrony indywidualnej na pierwszym i kolejnych rzędach foteli;
- pozycja osób jadących i przestrzeń jaką mają do dyspozycji na ww. fotelach.

Rozważono oddziaływanie tych czynników na powstawanie obrażeń u osób jadących, niezależnie od zajmowanego miejsca w określonym rzędzie foteli. Na rysunku 4 podano oznaczenia miejsc w samochodzie, które zostaną wykorzystane w dalszej części pracy.



**Rys.4. Oznaczenie miejsc w samochodzie.**

Biorąc pod uwagę czynniki decydujące o powstawaniu obrażeń oraz wyniki testów uderzenia samochodu w przeszkodę, do dalszej analizy wykorzystano wyniki pomiarów obciążeń dynamicznych głowy, torsu i miednicy, przebiegi sił w nogach oraz w szyi, a także wyniki pomiarów sił w pasach bezpieczeństwa. Przykładowe przebiegi tych wielkości fizycznych pokazano na rysunku 5. Otrzymano je podczas czołowego uderzenia samochodu w sztywną przeszkodę przy prędkości 56 km/h. Na miejscu kierowcy, pasażera obok kierowcy (P2) i pasażera na prawym tylnym fotelu (P3) posadowiony był manekin (F5 – 5-centylowa kobieta). Na kolejnych wykresach zestawiono realizacje:

- wypadkowe opóźnienie głowy, torsu i miednicy;
- wypadkowa siła działająca na szyję;
- ugięcie klatki piersiowej (torsu);
- siły działające na kości udowe.

Wartości wypadkowe opóźnienia i siły obliczono ze składowych mierzonych w trzech wzajemnie prostopadłych kierunkach (x,y,z):

$$a(t) = \sqrt{a_x^2(t) + a_y^2(t) + a_z^2(t)} \quad , \quad F(t) = \sqrt{F_x^2(t) + F_y^2(t) + F_z^2(t)} \quad .$$

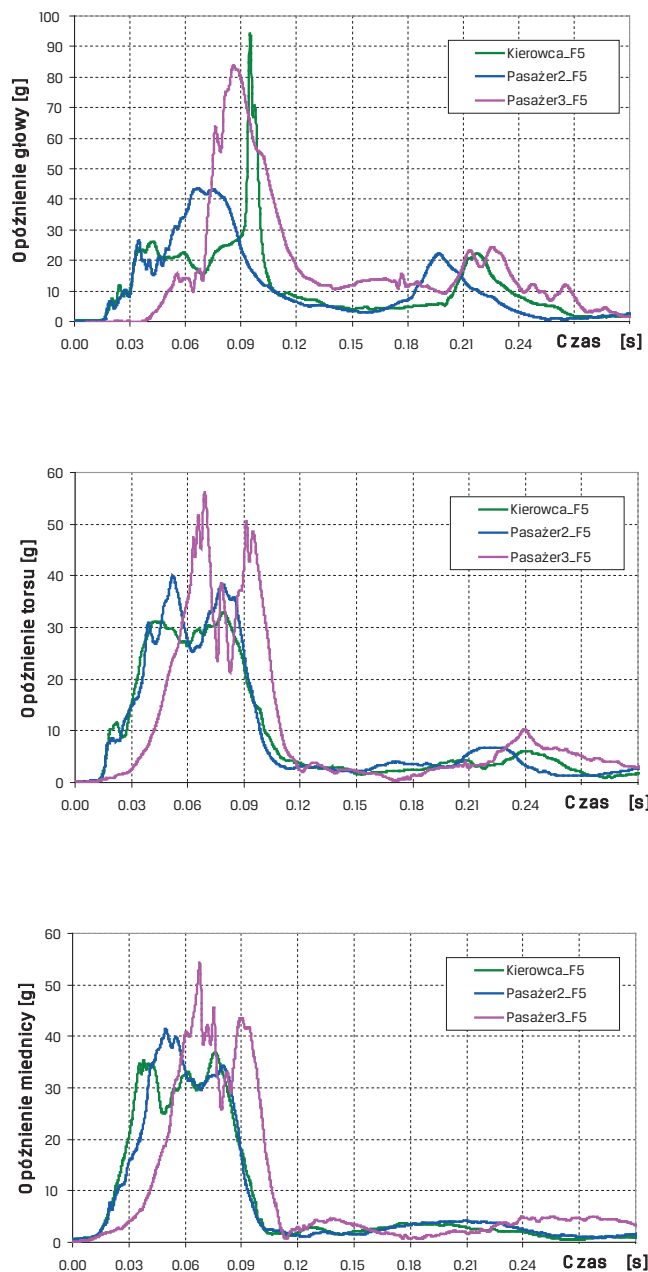
Bezpośrednie porównanie realizacji wskazuje na znacznie większe obciążenia manekina P3 w stosunku do obciążeń obserwowanych na manekinach K i P2, których obciążenia są podobne. Przykładowo, na podstawie rysunku 5 mamy, że wskaźnik obciążenia głowy pasażera P3 jest HIC=1140 (obrażenia śmiertelne), natomiast dla kierowcy i pasażera P2 wynosi odpowiednio HIC=280 i 331. Powyższe potwierdza, że są sytuacje, w których zagrożenie życia pasażera z tyłu samochodu jest wielokrotnie większe niż osób na przednich fotelach.

Wielkości pomierzone podczas testów zderzeniowych wykorzystano do określenia dwóch rodzajów wskaźników liczbowych:

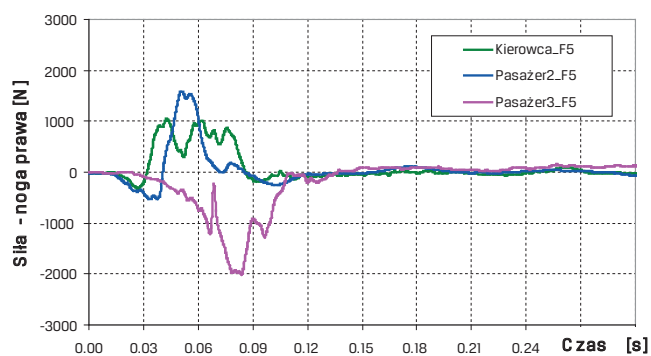
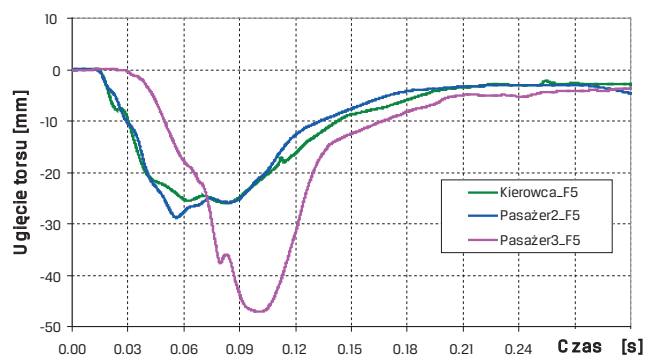
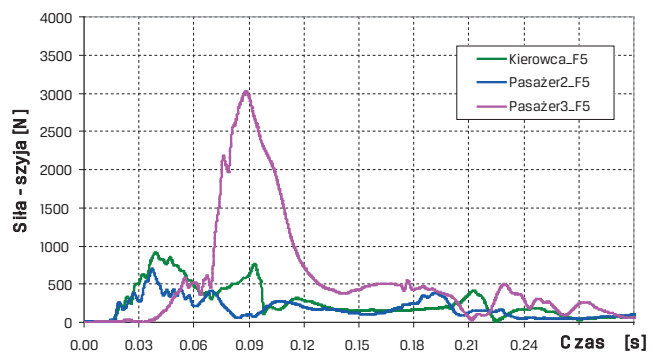
$$W1 = \frac{\text{Obciążenie pasażera P2}}{\text{Obciążenie kierowcy}} \quad ,$$

$$W2 = \frac{\text{Obciążenie pasażera P3 lub P4}}{\text{Obciążenie pasażera P2}} \quad .$$

Te wskaźniki będą stosowane do wyników eksperymentów, w których na poszczególnych fotelach umieszczono manekiny o porównywalnych cechach antropometrycznych. Warto zauważyć, że iloczyn wskaźników daje zawsze informację uzupełniającą, a jednocześnie zgodną z celami analizy.



Rys.5. Przebiegi obciążeń dynamicznych głowy, szyi, torsu, miednicy i nóg manekina F5, podczas uderzenia czołowego w sztywną przeszkodę (czterodrzwiowy sedan z 2004 roku, masa 1654 kg).



Rys.5. Przebiegi obciążeń dynamicznych głowy, szyi, torsu, miednicy i nóg manekina F5, podczas uderzenia czołowego w sztywną przeszkodę (czterodrzwiowy sedan z 2004 roku, masa 1654 kg) cd.



Podczas szczegółowej oceny obciążeń dynamicznych osób jadących na tylnych fotelach zostaną wykorzystane wskaźniki i wielkości odnoszące się do biomechanicznej odporności ciała człowieka na skutki obciążeń uderowych, a mianowicie:

- wskaźnik obrażenia głowy (HIC – *Head Injury Criterion*);
- wskaźnik obciążenia szyi (Nij – *Neck Injury Criterion*);
- maksymalna siła rozciągająca i ściskająca szyję;
- maksymalne opóźnienie torsu;
- maksymalne ugięcie klatki piersiowej (torsu);
- kryterium wiskotyczne obciążenia torsu (VC – *Viscous Criterion*);
- maksymalna siła działająca na kość udową;
- maksymalna siła rozciągająca taśmę pasa bezpieczeństwa.

#### 4. Analiza stanu wyposażenia kolejnych rzędów foteli w urządzenia ochrony jadących

Kierowca (K) i pasażer na fotelu obok kierowcy (P2) są chronieni (przed skutkami zderzeń czołowych) za pomocą pasów bezpieczeństwa z napinaczami i ogranicznikami oraz przez poduszki gazowe. Elementy te są ciągle doskonalone. Pasażerowie na tylnych fotelach (P3 i P4) zwykle mają tylko pasy bezpieczeństwa, najczęściej bez napinaczy i ograniczników. Poduszka gazowa znacznie ogranicza przemieszczenia człowieka względem fotela, łagodząc prowadzące do urazów obciążenia dynamiczne. Natomiast przemieszczenia pasażera na tylnych siedzeniach są znaczne, co w sposób przykładowy podano na rysunku 6.



**Rys.6. Przemieszczenie manekina F5 na siedzeniu P3 podczas czołowego uderzenia samochodu w sztywną płaską barierę przy prędkości 56 km/h [8].**

Brak napinaczy i ograniczników w pasach bezpieczeństwa na tylnych fotelach istotnie zmniejsza możliwość ochrony siedzących tam osób przed obrażeniami. Pokazują to wyniki pracy [9], w której podano rezultaty badań manekina Hybrid-III (50-centylowy mężczyzna) na tylnym siedzeniu samochodu przy zastosowaniu różnych środków jego ochrony indywidualnej (brak poduszki gazowej):

- A – pas bezpieczeństwa bez napinacza i bez ogranicznika;
- B – pas bezpieczeństwa z napinaczem i bez ogranicznika;
- C – pas bezpieczeństwa z napinaczem i z ogranicznikiem.

Zestawione w tabeli 3 wyniki pomiarów jednoznacznie potwierdzają możliwość zmniejszenia obciążeń działających na głowę, tors i szyję poprzez rozbudowę urządzeń ochrony indywidualnej.

**Tabela 3. Wartości ekstremalne obciążeń działających na pasażera (opis w tekście) [9].**

|                    | Wielkość                     | A    | B    | C    | A/C [%] | B/C [%] |
|--------------------|------------------------------|------|------|------|---------|---------|
| Głowa              | HIC36                        | 888  | 663  | 458  | 194     | 145     |
|                    | Opóźnienie [g]               | 73,0 | 67,3 | 57,3 | 127     | 117     |
| Szyja              | Siła Fx [kN]                 | 1,64 | 1,53 | 1,14 | 144     | 134     |
|                    | Siła Fz [kN]                 | 2,75 | 2,49 | 2,24 | 123     | 111     |
|                    | Rozpiętość momentu My [Nm]   | 218  | 181  | 174  | 125     | 104     |
| Tors               | Ugięcie [mm]                 | 61   | 50   | 37   | 165     | 135     |
|                    | Opóźnienie [g]               | 60,8 | 54,6 | 56,7 | 107     | 96      |
|                    | VC [m/s]                     | 0,95 | 0,55 | 0,28 | 339     | 196     |
| Pas bezpieczeństwa | Siła – część ramieniowa [kN] | 10,8 | 10,0 | 5,9  | 183     | 169     |
|                    | Siła – część biodrowa [kN]   | 11,4 | 11,1 | 10,4 | 110     | 107     |

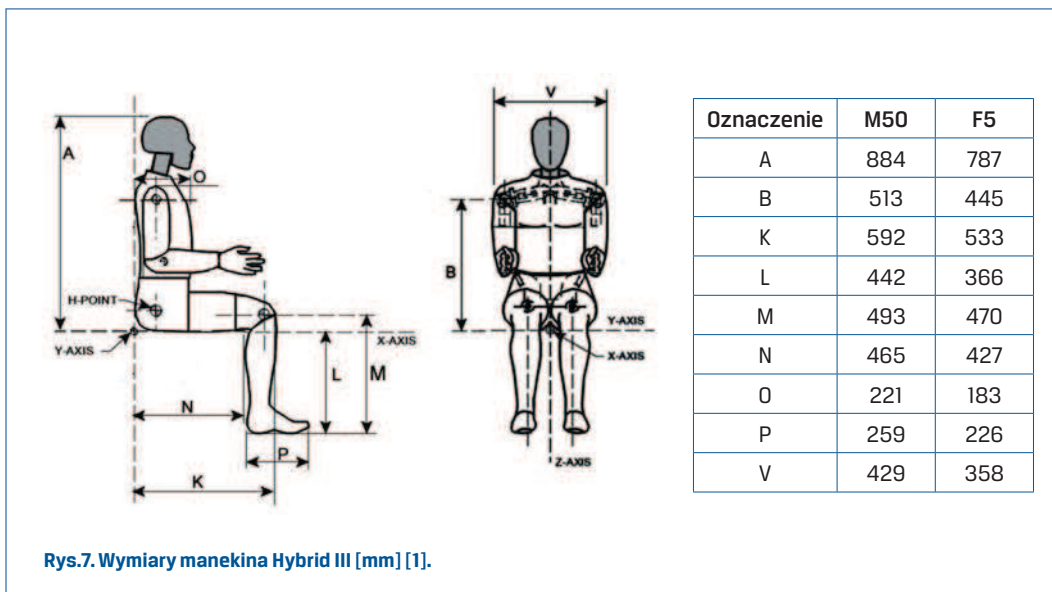
Napinacze i ograniczniki w pasach bezpieczeństwa skutecznie ograniczają ryzyko obrażeń osób jadących podczas wypadku drogowego. Dwie ostatnie kolumny w tabeli 3 dobrze wskazują możliwości poprawy stanu bezpieczeństwa osób na tylnych fotelach. W pracy [10] podano, że obciążenia dynamiczne głowy i torsu kierowcy są wyraźnie mniejsze w samochodach, w których zastosowano pasy z napinaczami i ogranicznikami: wskaźnik HIC o 20–40%, maksymalne przyspieszenie torsu o 10–20%.

## 5. Wymiary wnętrza samochodu i ich wpływ na bezpieczeństwo osób jadących

Ważnym czynnikiem wpływającym na obrażenia w samochodzie podczas wypadku drogowego jest pozycja ciała na fotelu oraz wynikające z tego odległości głowy, torsu i nóg od elementów samochodu. Czynniki te uwarunkowane są cechami antropometrycznymi człowieka oraz wymiarami wnętrza samochodu.

Kilka charakterystycznych wielkości, opisujących cechy antropometryczne człowieka umieszczono na rysunku 7, gdzie podano niektóre wymiary elementów manekinów Hybrid III: M50 (50-centylowy mężczyzna) i F5 (5-centylowa kobieta).

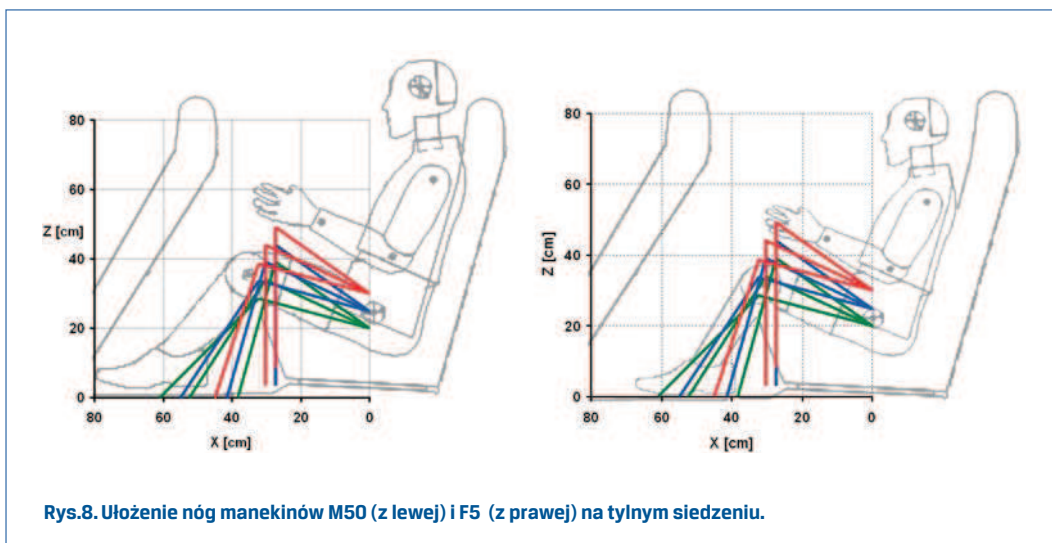
Wymiary wnętrza samochodu oraz możliwość zmiany położenia fotela (zwykle tylko przednich) oraz regulacji siedziska i oparcia daje wiele różnych możliwości ułożenia ciała na fotelu. Przykładowo, na rysunku 8 podano możliwe ułożenie nóg manekinów M50 i F5



Rys.7. Wymiary manekina Hybrid III [mm] [1].

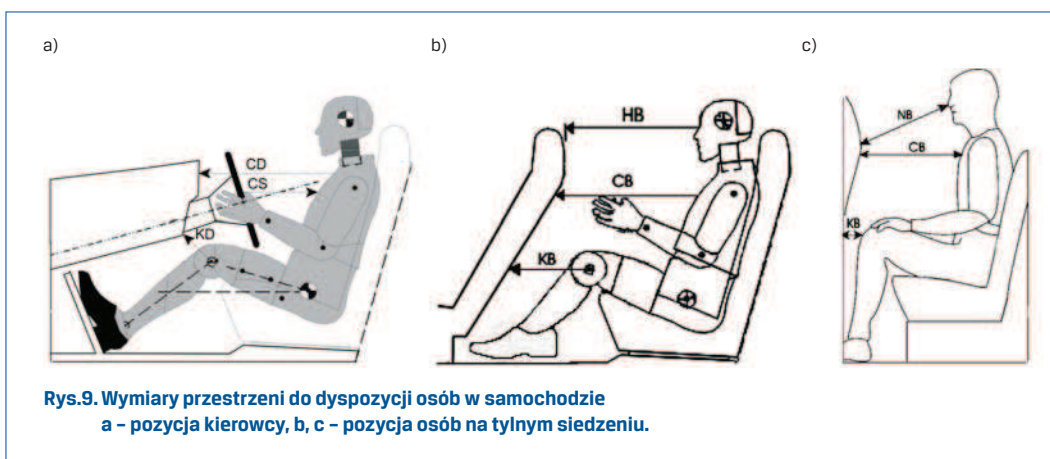
w samochodzie. Obliczenia wykonano dla  $h=20, 25$  i  $30$  cm ( $h$  – wysokość punktu H manekina nad podłogą) oraz kąta pochylenia siedziska  $\chi=15, 25$  i  $30$  stopni. Kąt ułożenia nóg i miejsce ich oparcia na podłodze wpływają na kinematykę ruchu ciała człowieka podczas wypadku drogowego, a przede wszystkim na przemieszczenie bioder i tułowia manekina zapiętego pasem bezpieczeństwa względem siedziska.

Na rysunku 9 zaznaczono charakterystyczne wymiary przestrzeni, która jest do dyspozycji osób w samochodzie (kierowca i pasażer na tylnym siedzeniu). Pozycja kierowcy

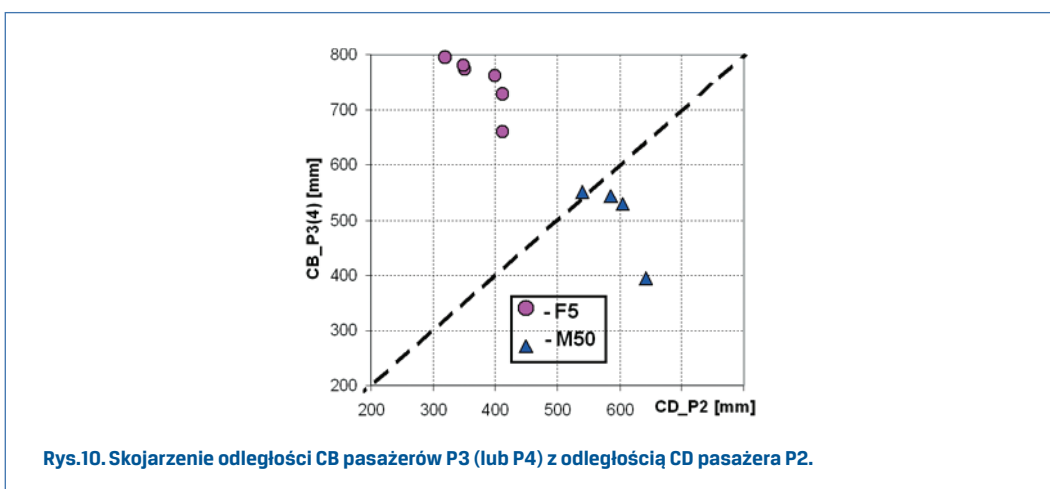


Rys.8. Ułożenie nóg manekinów M50 (z lewej) i F5 (z prawej) na tylnym siedzeniu.

w samochodzie wynika głównie z rozmieszczenia elementów sterowania (rys.9a). Natomiast pozycja pasażerów na tylnych siedzeniach ograniczona jest wymiarami siedziska i jego położeniem względem podłogi (wysokość i kąt nachylenia), kątem nachylenia oparcia oraz odległością do foteli przednich. W niektórych samochodach (np. SUV, pickup) przestrzeń dla pasażerów na tylnych fotelach jest mocno ograniczona, co wymusza przyjmowanie pozycji wyprostowanej. W rezultacie mamy wyżej położony środek masy ciała człowieka niż w typowej pozycji w samochodzie osobowym.



Na rysunku 10 skojarzono odległość CB pasażerów P3 (lub P4) z odległością CD pasażera P2. W zestawieniu uwzględniono sytuacje, w których na przednich i tylnych siedzeniach samochodu były manekiny o tym samym rozmiarze (M50 lub F5). Oczywiście większa przestrzeń dla pasażerów z tyłu jest wówczas, gdy w samochodzie są tylko manekiny F5. Uwzględniając wymiary manekinów (rys.7) oraz wymiary przestrzeni do dyspozycji pasażerów na tylnym siedzeniu (rys.9) można wnioskować o możliwości uderzenia głowy lub



kolan w oparciu foteli poprzedzających. Ważne znaczenie ma tu napięcie pasów bezpieczeństwa, które powinny skutecznie utrzymywać pasażera na siedzeniu.

## 6. Przykłady wyników badań porównawczych

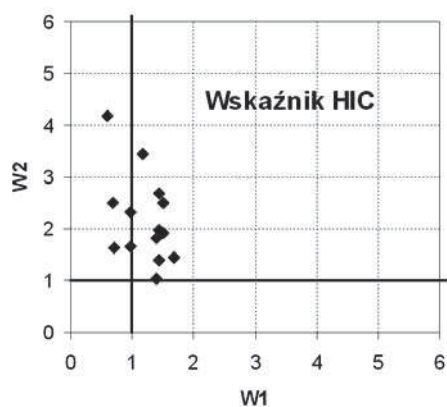
Porównano obciążenia działające na kierowcę oraz pasażerów P2, P3 i P4 na podstawie wyników dostępnych testów zderzeniowych (zderzenie czołowe) samochodów. Wybrano testy, w których manekin pasażera na i-tym siedzeniu był taki sam jak manekin kierowcy i zapięty pasami bezpieczeństwa. We wszystkich samochodach były poduszki gazowe dla kierowcy i pasażera P2. Wykorzystano badania samochodów z lat 2004-2006 o masie 1500-2700 kg.

Wyniki obliczeń wskaźników W1 i W2 zestawiono na rysunkach 11...15. W obliczeniach wskaźnika W2 uwzględniono pasażerów P3 i P4. Linie ciągłe W1=1 oraz W2=1 dzielą wyniki obliczeń na tych rysunkach na cztery obszary:

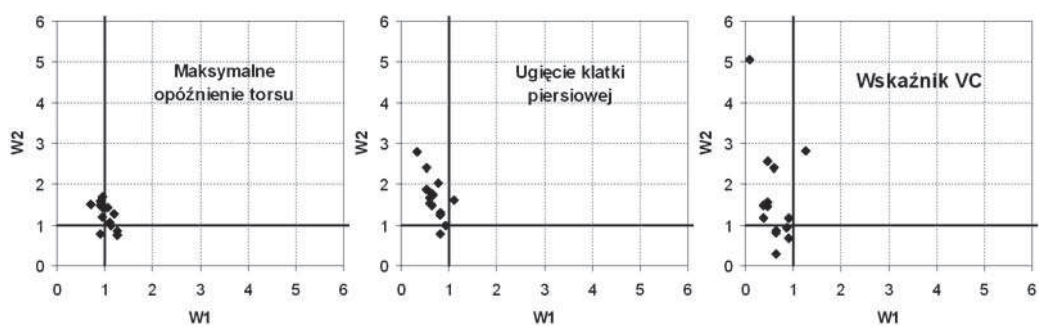
- G1: obciążenia pasażera P2 < niż kierowcy i P3(4) > P2;
- G2: obciążenia pasażera P2 > niż kierowcy i P3(4) > P2;
- G3: obciążenia pasażera P2 < niż kierowcy i P3(4) < P2;
- G4: obciążenia pasażera P2 > niż kierowcy i P3(4) < P2.

W większości samochodów przeważają wyniki z obszarów G1 i G2, niezależnie od wielkości użytej do obliczenia wskaźników W1 i W2. Zatem zgromadzone wyniki prowadzą do następujących wniosków:

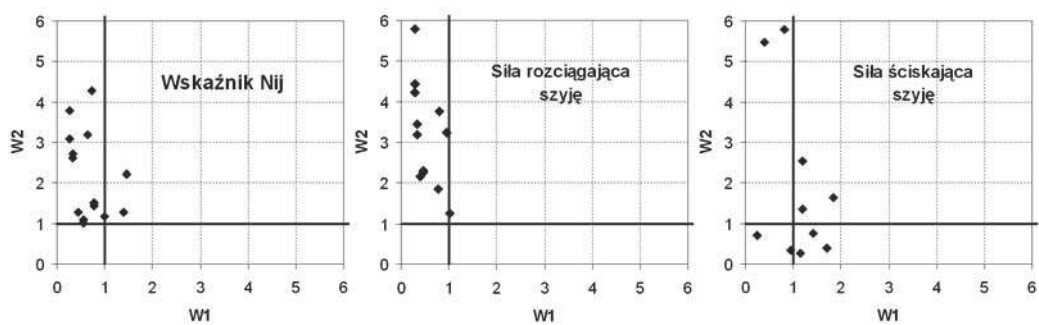
1. Stopień ochrony głowy jest wyraźnie najwyższy u kierowcy. Obciążenie działające na głowę pasażera P2 jest często 1,5 razy większe niż kierowcy a obciążenia głowy pasażerów P3 i P4 są 1,5-2,5 razy większe niż P2).
2. Obciążenia działające na klatkę piersiową są najmniejsze u pasażera P2. U pasażerów P3 i P4 obserwuje się 1,5-2,5 razy większe niż u P2 ugięcie klatki piersiowej, a tym samym większy wskaźnik VC.
3. Pasażerowie P3 i P4 są szczególnie narażeni na urazy szyi. Wartości wskaźnika Nij oraz siły rozciągającej szyję są wielokrotnie większe niż obciążenia kierowcy i pasażera P2. Jest to efekt braku urządzeń ograniczających przemieszczenia głowy (poduszek gazowych) pasażerów na kolejnych rzędach siedzeń.
4. Obciążenia działające na nogi pasażerów na tylnych siedzeniach są na ogół mniejsze niż na przednich. Nogi pasażerów P3 i P4, ze względu na sposób ich ułożenia (zwykle inny niż u kierowcy i P2) najczęściej nie opierają się o oparcia foteli przednich i ścisające siły osiowe w ich kościach udowych nie są duże. Jednak wówczas nogi nie wspomagają działania pasa bezpieczeństwa w utrzymaniu pasażera na siedzisku.
5. Siły działające w pasach bezpieczeństwa na tylnych siedzeniach są 1,5-2,5 razy większe niż na przednich. W przypadku części ramieniowej, wyposażonej w ogranicznik siły napięcia na fotelach przednich, mamy  $W2 \approx 5$ . Siły działające na pas bezpieczeństwa pasażera P2 nie są większe niż u kierowcy, a w części biodrowej są porównywalne.



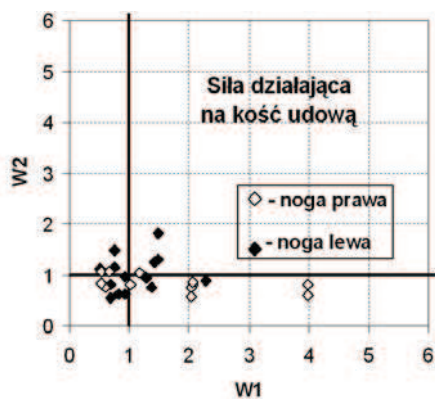
Rys.11. Skojarzenie wskaźników W1 i W2 – obciążenie głowy.



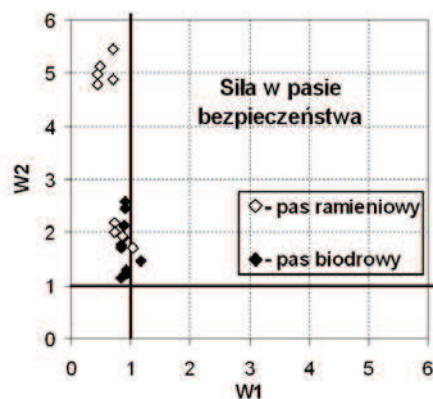
Rys.12. Skojarzenie wskaźników W1 i W2 – obciążenie klatki piersiowej.



Rys.13. Skojarzenie wskaźników W1 i W2 – obciążenie szyi.



Rys.14. Skojarzenie wskaźników W1 i W2 - obciążenie nóg.



Rys.15. Skojarzenie wskaźników W1 i W2 - siły rozciągające taśmę pasa bezpieczeństwa.

## Podsumowanie

Przeprowadzone analizy potwierdzają, że obrażenia odnoszone przez osoby jadące zależą także od miejsca zajmowanego w samochodzie. W celu ułatwienia takiej oceny wprowadzono wskaźniki W1 i W2, które ułatwiają porównanie stanu obciążeń dynamicznych osób zajmujących miejsca w kolejnych rzędach foteli. Ich bezwymiarowy charakter daje szerokie możliwości wykorzystania jako wskaźnika stanu bezpieczeństwa osób jadących samochodem.

Wartości wskaźnika W2 potwierdzają, że podczas zderzenia czołowego ze sztywną przeszkodą, obserwowane obciążenia dynamiczne działające na osoby jadące na tylnych siedzeniach w samochodzie są często kilkukrotnie większe niż na osoby siedzące z przodu. Szczególnie narażeni są oni na śmiertelne urazy głowy i szyi. Podane w pracy wyniki obliczeń potwierdzają dane statystyczne o ofiarach wypadków drogowych.

Oddzielne analizy wskazują na podstawowe działania prowadzące do poprawy sytuacji osób jadących na tylnych siedzeniach. Przykładowe wyniki zastawione w dwóch ostatnich kolumnach w tabeli 3 dobrze wskazują możliwości poprawy stanu bezpieczeństwa osób na tylnych fotelach poprzez rozwój układów bezpieczeństwa biernego.

## Literatura

- [1] *Final Report of New Car Assessment Program Testing*, Report Number: CAL-05-03, National Highway Traffic Safety Administration, USA, Washington, 2004 ([www-nrd.nhtsa.dot.gov](http://www-nrd.nhtsa.dot.gov)).
- [2] GACA, S., SUCHORZEWSKI, W., TRACZ, M.: *Inżynieria ruchu drogowego*. Teoria i praktyka, WKŁ, 2008.

- [3] KUPPA, S., SAUNDERS, J., FESSAHAIE, O.: *Rear Seat Occupant Protection in Frontal Crashes*. The 19<sup>th</sup> International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV), Washington 2005.
- [4] Materiały informacyjne Policji.
- [5] Materiały informacyjne GUS.
- [6] PARENTEAU, CH., VIANO, D.C.: *Field Data Analysis of Rear Occupant Injuries Part I: Adults and Teenagers*, SAE 2003-01-0153.
- [7] SHIMAMURA, M., YAMAZAKI, M., FUJITA, G.: *Method to Evaluate the Effect of Safety Belt Use by Rear Seat Passengers on the Injury Severity of Front Seat Occupants*. Accident Analysis & Prevention 37/2005.
- [8] [www.nhtsa.dot.gov](http://www.nhtsa.dot.gov).
- [9] ZELLMER, H., LÜHRS, S., BRÜGGEMANN, K.: *Optimized Restraint Systems for Rear Seat Passengers*. The 16<sup>th</sup> International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV), Kanada 1996.
- [10] ŻUCHOWSKI, A., JACKOWSKI, J.: *Analysis of Properties Operation of the Supporting Equipment for The Seat Belts*, Journal of KONES Powertrain and Transport, Vol.18, No.1, Warszawa 2011.

Praca została wykonana w ramach projektu nr 5596/B/T02/2011/40,  
finansowanego ze środków Narodowego Centrum Nauki.