

WPŁYW RODZAJU URZĄDZENIA OCHRONNEGO NA KINEMATYKĘ I OBCIĄŻENIA DZIECKA W SAMOCHODZIE PODCZAS ZDERZENIA CZOŁOWEGO

ANDRZEJ ŻUCHOWSKI¹

Wojskowa Akademia Techniczna

Streszczenie

Z analizy wypadków drogowych oraz badań sondażowych wynika, że dzieci w wieku 8-12 lat są często nieprawidłowo przewożone w samochodach. Wbrew obowiązującym przepisom część rodziców zabezpiecza dzieci wyłącznie pasem bezpieczeństwa, który przeznaczony jest dla osób dorosłych. W pracy została przedstawiona analiza wyników badań eksperymentalnych, których celem była ocena wpływu rodzaju zastosowanego urządzenia ochronnego dla dziecka na skuteczność działania pasa bezpieczeństwa podczas zderzenia czołowego. Uwagę skupiono na sposobie ułożenia taśmy pasa względem dziecka w skojarzeniu z jego obciążeniami dynamicznymi i kinematyką. W badaniach wykorzystano manekin P10, reprezentujący dziecko w wieku około 10 lat. Rozważono trzy warianty zabezpieczenia manekina podczas zderzenia: manekin siedział bezpośrednio na fotelu samochodu, na podstawce podwyższającej bez oparcia oraz na podstawce z oparciem. Manekin zapięty był za pomocą standardowego pasa bezpieczeństwa. Badania przeprowadzono na stanowisku zderzeniowym w Przemysłowym Instytucie Motoryzacji w Warszawie.

Uzyskane wyniki pokazują ważne relacje pomiędzy rodzajem zastosowanego urządzenia ochronnego a obserwowanymi obciążeniami głowy i torsu manekina. Potwierdzają, że dzieci nie powinny być zabezpieczane wyłącznie pasem dla dorosłych, bowiem ułożenie pasa względem ciała dziecka nie tylko niekorzystnie wpływa na skuteczność jego działania, ale może także powodować obrażenia brzucha i szyi dziecka.

Słowa kluczowe: transport drogowy, bezpieczeństwo pojazdów, pasy bezpieczeństwa, bezpieczeństwo dziecka, podstawka podwyższająca

1. Wprowadzenie

W Polsce w latach 2000-2012 zginęło w wypadkach drogowych 2296 dzieci w wieku 0-14 lat. Ich liczba systematycznie maleje, od 265 w 2000 roku do 89 w 2012 roku (31 w wieku

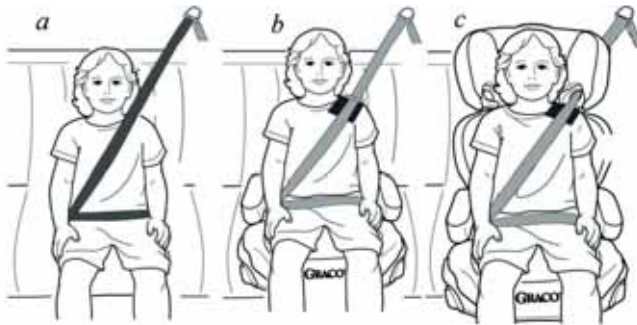
¹ Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Mechaniczny, ul. Gen.S.Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa, e-mail: azuchowski@wat.edu.pl, tel. 22 683 74 54

do 6 lat, 58 w wieku 7-14 lat) [6, 17]. Liczba zabitych dzieci w wieku 0-14 lat w przeliczeniu na 1 mln populacji (w tym samym wieku) zmalała z 36,3 w roku 2000 do 15,3 w roku 2012, co potwierdza istotną poprawę bezpieczeństwa dzieci w ruchu drogowym. Inne dane ukazują, że wartość tego wskaźnika w Polsce jest wyraźnie większa niż średnia w UE:

- w roku 2006 w Polsce 24,7 (populacja 6,1 mln), w UE 18,8 [17];
- w roku 2009 w Polsce 22 (populacja 5,7 mln), w UE 12,0 [6].

Dzieci w wieku 0-14 lat giną w wypadkach drogowych głównie jako pasażerowie samochodów osobowych.

W pracy [19] oceniono wpływ zastosowanego urządzenia ochronnego dla dziecka w wieku około 10 lat na obciążenia dynamiczne oraz ryzyko jego obrażeń podczas zderzenia czołowego. Rozważane trzy warianty zabezpieczenia dziecka zostały zilustrowane na rysunku 1.



**Rys. 1. Warianty zabezpieczenia dziecka w samochodzie (rysunek na podstawie [11]);
a) bezpośrednio na kanapie ; b) podstawa podwyższająca; c) podstawa z oparciem**

Wskazano na bardzo duże obciążenia dynamiczne manekina P10, reprezentującego dziecko w wieku około 10 lat, który podczas zderzenia czołowego siedział bezpośrednio na tylnej kanapie. Mimo zapiętego pasa bezpieczeństwa ryzyko ciężkich obrażeń głowy (AIS4+) wynosiło aż 70%. Gdy manekin siedział na podstawie (bez oparcia lub z oparciem), to ryzyko obrażeń głowy wynosiło tylko 3÷5%. Uwagę zwrócono także na niepokojąco duże przyspieszenie torsu manekina siedzącego na podstawie z oparciem [19].

Celem tej pracy jest pokazanie, w jaki sposób wymienione wyżej warianty zabezpieczenia dziecka wpływają na działanie pasów bezpieczeństwa, a tym samym na obciążenia dynamiczne i kinematykę dziecka. Opis wyników testów zderzeniowych został poprzedzony analizą literatury o sposobie przewożenia dzieci w samochodach.

2. W jaki sposób dzieci są przewożone w samochodach?

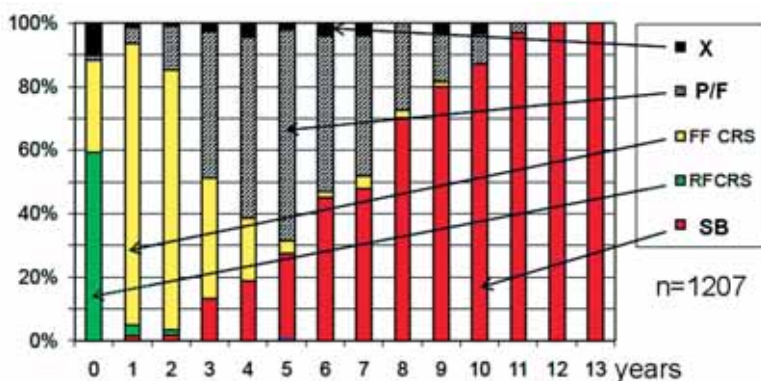
Dzieci przewożone są zwykle na tylnych siedzeniach. Zasady przewożenia dzieci w samochodach są określone w ustawie „Prawo o ruchu drogowym”. Wymaga się m.in., by dziecko w wieku do 12 lat, nieprzekraczające 150 cm wzrostu, przewozić w foteliku ochronnym, odpowiadającym wadze i wzrostowi dziecka. Przepisy zabraniają przewożenia, w foteliku

ochronnym, dziecka siedzącego tyłem do kierunku jazdy na przednim siedzeniu pojazdu, wyposażonego w poduszkę gazową. Jednocześnie zezwalają na przewożenie starszych dzieci na fotelu obok kierowcy.

Źródłem danych o sposobie przewożenia dzieci samochodami są zwykle raporty z wypadków drogowych lub badania ankietowe. W pracy [1] oceniono relacje pomiędzy ryzykiem obrażeń dzieci przewożonych na przednich i tylnych siedzeniach samochodu. W analizie uwzględniono dane z około 11 tysięcy wypadków drogowych, z udziałem prawie 17 tysięcy dzieci w wieku do 15 lat. Badane wypadki stanowiły około 5% wszystkich wypadków z udziałem dzieci w latach 1998-2007, w 16 stanach USA. Potwierdzono tu zalecenie, by dzieci w wieku do 12 lat przewożone były na tylnych siedzeniach, nawet w samochodach wyposażonych w najnowsze systemy bezpieczeństwa dla dorosłych pasażerów siedzących z przodu. Dzieci siedzące w tylnym rzędzie (rzędach) foteli prawie dwa razy rzadziej doznawały obrażeń ciała (AIS2+) niż dzieci siedzące z przodu, niezależnie od rodzaju zderzenia. Podobne rezultaty uzyskano w badaniach opisanych w pracy [3], dla dzieci w wieku 9-15 lat. Tendencje zmian w stanie bezpieczeństwa pasażerów, w tym także dzieci, na przednich i tylnych siedzeniach samochodów osobowych podczas wypadków drogowych zostały opisane wcześniej w pracy [20].

Szacuje się, że w Europie tylko co trzecie dziecko jest właściwie zabezpieczone w samochodzie [7]. Szczegółowe dane o wypadkach drogowych w Polsce z udziałem dzieci nie są dostępne (m.in. miejsce zajmowane w samochodzie, rodzaj zderzenia, sposób zabezpieczenia dziecka). Badania sondażowe wskazują na to, że ponad 90% rodziców prawidłowo przewozi swoje dzieci w wieku 0-1 lat. Natomiast w przedziale wiekowym 4÷12 lat jest to tylko 52% [2].

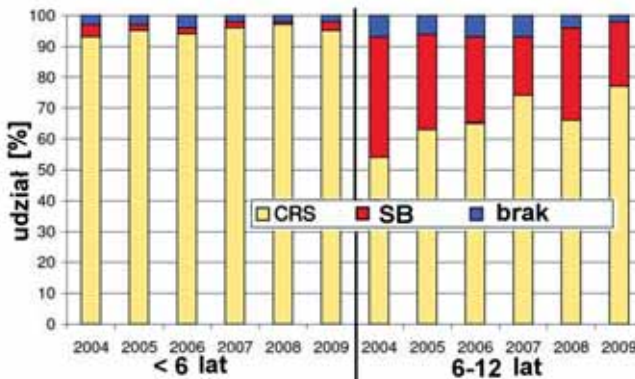
Na podstawie europejskiej bazy danych o wypadkach drogowych *CREST Accident data base (Child Restraint Systems for Cars)*, na rysunku 2 pokazano strukturę urządzeń ochronnych stosowanych dla dzieci, w zależności od ich wieku [8]. Z danych tych wynika, że rodzice często zapinają pasami (SB) nawet bardzo małe dzieci.



Rys. 2. Stosowanie urządzeń ochronnych dla dzieci w zależności od ich wieku [8]; SB - tylko pas bezpieczeństwa, RF CRS/FF CRS - fotelik ustawiony tyłem/przodem do kierunku jazdy, P/F - podstawka podwyższająca bez oparcia/z oparciem, X - inne urządzenie zabezpieczające

W badaniach przeprowadzonych w USA w latach 2000-2001 oceniono, w jaki sposób przewożone są dzieci w wieku 4-8 lat, które były odbierane ze szkół i przedszkoli. Okazało się, że 80 % najmłodszych dzieci przewożono w dostosowanych do wieku dziecka fotelikach. Wśród starszych dzieci tylko 55 % z nich było właściwie zabezpieczonych pasem dla osób dorosłych, czyli dziecko siedziało na podstawce [5]. W badaniach ankietowych w USA w roku 2012 wszyscy rodzice deklarowali (1612 rodziców), że przewożą dzieci w wieku 4-5 lat w fotelikach, ale w wieku 7-8 lat tylko 37% [9]. Z badań ankietowych opisanych w pracy [4] wynika, że tylko 24% dzieci w wieku od 4 do 11 lat rodzice przewożą w foteliku lub na podstawce podwyższającej, a pozostałe 76% korzysta wyłącznie z pasów bezpieczeństwa. Dzieci korzystające z podstawek były znacznie młodsze (5,8 lat vs. 8,2 lat), lżejsze (21,9 kg vs. 30,3 kg) i niższe (115 cm vs. 131 cm) w porównaniu do dzieci przewożonych bezpośrednio na fotelu i zapiętych pasem bezpieczeństwa.

Wyniki badań przeprowadzonych w ruchu miejskim w Niemczech potwierdzają, że starsze dzieci (6-12 lat) są bardzo często zabezpieczone w samochodzie tylko pasem bezpieczeństwa dla dorosłych (rys. 3). W roku 2004 odsetek ten wynosił około 40% a w 2009 roku już tylko 20%. Kilka procent dzieci podróżuje bez jakiegokolwiek zabezpieczenia.



Rys. 3. Stosowanie urządzeń zabezpieczających na tylnych siedzeniach w ruchu miejskim w Niemczech, w zależności od wieku dzieci [7]; CRS - fotelik, urządzenie zabezpieczające (Child Restraint Systems), SB - pas bezpieczeństwa

Opisane wyżej dane wskazują na to, że im starsze dziecko, tym rodzice zwracają mniejszą uwagę na jego bezpieczeństwo w samochodzie. Częstym błędem rodziców jest zapinanie zbyt małych dzieci pasem bezpieczeństwa, który jest przeznaczony dla osób dorosłych. Sytuację pogarsza jeszcze fakt, że większość dzieci w wieku powyżej 8 lat zapina pas samodzielnie. Czynność tę wykonuje zawsze lub czasami aż 40% młodszych dzieci, w wieku 6-8 lat [12].

Działania na rzecz bezpieczeństwa dzieci w samochodach są koordynowane w Unii Europejskiej w ramach programu COVER (*Coordination of Vehicle and Road Safety Initiatives*). Są one skupione m.in. w projektach: *Child Advanced Safety Project for European Roads* (CASPER) oraz *Enable Protection for Older Children* (EPOCH) [14, 15].

3. Zakres badań eksperymentalnych

W badaniach eksperymentalnych uwagę skupiono na obciążeniach głowy i torsu manekina P10, reprezentującego dziecko w wieku około 10 lat. Badania przeprowadzono na stanowisku do badań zderzeniowych AB-554 w Przemysłowym Instytucie Motoryzacji w Warszawie [13, 18]. Nadwozie samochodu osobowego było rozpędzane do prędkości około 48 km/h, a następnie gwałtownie zatrzymane, w czasie około 100 ms. Przebieg opóźnienia nadwozia był zgodny z wymaganiami określonymi w Regulaminie ECE R44, który dotyczy badań urządzeń przytrzymujących dla dzieci. Maksymalne opóźnienie nadwozia wynosiło około 22 g. W kolejnych próbach zderzeniowych uzyskiwano dużą powtarzalność opóźnienia nadwozia, co jest kluczowe dla dalej prowadzonej analizy.

Manekin P10 siedział po lewej stronie tylnej kanapy i był zapięty za pomocą standardowych pasów bezpieczeństwa, które wymieniano na nowe po każdej próbie zderzeniowej. Podczas badań manekin siedział:

- bezpośrednio na kanapie samochodu (test B),
- na podstawce bez oparcia (test P),
- na foteliku, którym była podstawka z oparciem (test F).

Podstawkę (test P) i fotelik (test F) pokazano na rysunku 4. Podłokietniki były ustawione w górnym położeniu (około 15 cm od płaszczyzny siedziska). Oparcie fotelika było w górnym skrajnym położeniu (wysokość 81 cm), a taśmę pasa umieszczono w prowadnicy w zagłówku oparcia.



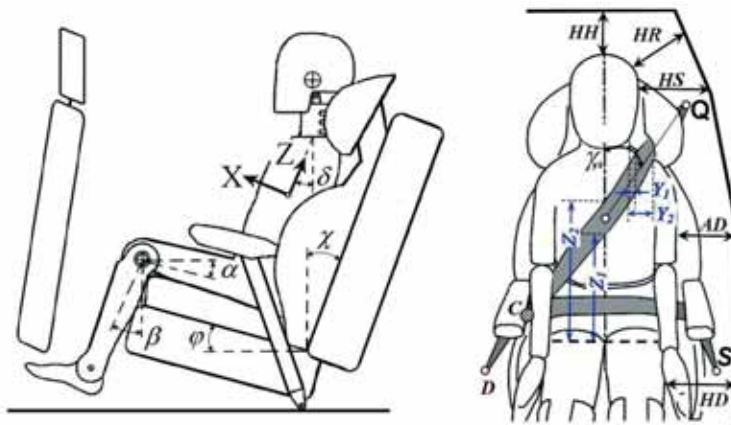
Rys. 4. Podstawka Graco Booster i fotelik Graco Junior Plus Maxi [10]

Zastosowanie różnych urządzeń ochronnych w testach B, P i F wpływa na sposób ułożenia manekina, ułożenie pasów względem manekina oraz długość taśmy pasa biodrowego i barkowego (rys. 5). Na rysunku 6 oraz w tabeli 1 podano niektóre wymiary opisujące położenie manekina w samochodzie oraz taśmy pasa bezpieczeństwa względem manekina.

Najbardziej istotne różnice w położeniu manekina w testach B, P i F dotyczą wysokości manekina względem kanapy, pochylenia torsu, ud i podudzi manekina, położenia barku względem górnego punktu mocowania pasa (punkty R i Q na rys. 5) oraz długości taśmy pasa na odcinku biodrowym i barkowym.



Rys. 5. Manekin P10 przed testami B, P i F (w kolejności od lewej)



Rys. 6. Wymiary opisujące położenie manekina i pasa bezpieczeństwa przed testami zderzeniowymi (rysunek na podstawie [16])

Tabela 1. Wymiary opisujące położenie manekina oraz pasa bezpieczeństwa

Wymiar	Test B	Test P	Test F
Kąty pochylenia oparcia i siedziska kanapy χ / φ [deg]	26 / 20		
Kąt pochylenia torsu δ [deg]	42	35	23
Kąt pochylenia uda (lewe/prawe) α [deg]	25/25	20/20	21/21
Kąt pochylenia podudzia (lewe/prawe) β [deg]	40/43	33/33	35/35
Kąt nachylenia pasa barkowego γ_{yz} (wg rys.5) [deg]	31	39	36
Odległości m / n (wg rys.5) [cm]	19/12	11/9	11/8
Odległości HH / HR / HS [cm]	23/20/22	12/13/16	11/11/12
Odległości AD / HD [cm]	16/24	14/22	13/20
Odległość taśmy pasa od uzl/Z1/Z2 [cm]	30/22	29/21	28/21
Odległość taśmy pasa od szyi Y1/Y2 [cm]	3/9	5/11	4/9
Długość taśmy pasa - odcinki CD/CQ/CS [cm]	22/77/63	22/79/74	22/85/76

4. Obciążenia dynamiczne manekina

Podczas testów zderzeniowych były mierzone:

- przyspieszenie głowy i torsu manekina w trzech wzajemnie prostopadłych kierunkach,
- siły rozciągające taśmę pasa bezpieczeństwa w jej części biodrowej i barkowej,
- przyspieszenie podstawki w trzech wzajemnie prostopadłych kierunkach

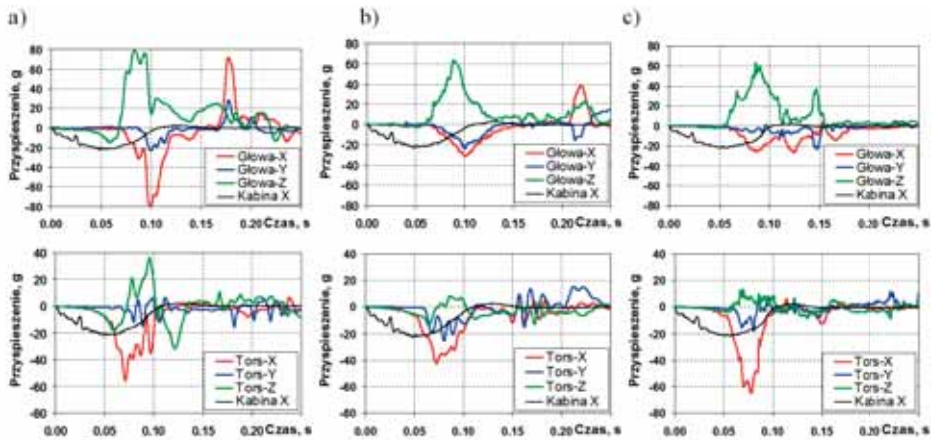
oraz filmowano manekin za pomocą kamer do zdjęć szybkich (1000 klatek/s). Wyniki pomiarów przyspieszenia głowy i torsu manekina podano na rysunku 7. Poszczególne linie na wykresach dotyczą składowych przyspieszenia, mierzonych w trzech wzajemnie prostopadłych kierunkach. Ze względu na początkowe pochylenie manekina w płaszczyźnie strzałkowej (XZ) kierunek X osi czujników przyspieszenia w głowie i torsie nie jest poziomy, a kierunek Z nie jest pionowy (por. rys. 6). Podczas zderzenia położenie osi czujników względem podłogi nadwozia zmienia się wraz ze zmianą pochylenia torsu i głowy.

Uwagę zwracają wyraźne różnice w przebiegach poszczególnych składowych przyspieszenia X, Y, Z w testach B, P i F. Największe wartości przyspieszenia głowy i torsu występują podczas ruchu manekina do przodu, w czasie do około 120 ms. W początkowej fazie zderzenia (do 30÷40 ms), zanim na manekin zaczął działać siła od pasa bezpieczeństwa, przesuwa się on wzdłuż siedziska, prawie równoległe do podłogi kabiny. Ponieważ siła tarcia manekina o fotel jest niewielka, to kierunek i wartość prędkości manekina nie zmieniają się, czyli przyspieszenie jest prawie równe zero. W miarę jak napinany jest pas bezpieczeństwa, zwiększa się przyspieszenie działające na manekin. We wszystkich testach B, P i F dominuje składowa X przyspieszenia torsu oraz składowa Z przyspieszenia głowy, która uległa znacznemu pochyleniu względem torsu.

W testach P i F, w czasie do około 110 ms, przebiegi przyspieszenia głowy (składowe X i Z) są jakościowo podobne. Wyraźnie inne są one w teście B. Analiza poklatkowa filmu ukazuje, że manekin w teście B jest unoszony z siedziska (dodatknie wartości składowej Tors-Z w czasie 70-100 ms na rysunku 7a), tors jest gwałtownie zatrzymany i wówczas głowa ulega znacznemu pochyleniu. W czasie 95-120 ms manekin opada na fotel (ujemne wartości składowej Tors-Z).

We wszystkich testach na składowych przyspieszenia głowy występują dwie dominanty. Pierwsza, w czasie 70-110 ms, dotyczy ruchu manekina do przodu. Druga dominanta w testach B i P, w czasie odpowiednio 180 ms i 220 ms, jest skutkiem uderzenia głową o oparcie kanapy podczas odchylenia manekina do tyłu. Natomiast w teście F dominanta w czasie 140 ms jest skutkiem uderzenia głową o lewe udo, a do uderzenia głową w oparciu kanapy nie dochodzi.

Na wyniki pomiarów przyspieszenia torsu (rys. 7) wpływa jego wstępne pochylenie (tabela 1). W teście B tors manekina był pochylony względem pionu o kąt 42°. Ponieważ siła bezwładności działająca na tors manekina jest skierowana poziomo (zgodnie z kierunkiem ruchu samochodu), to do czasu, kiedy kąt pochylenia torsu nie zmienia się (do około 60 ms) mamy prawie takie same wartości przyspieszenia w kierunku osi X i Z. W tym samym czasie składowa Z w testach P i F jest znacznie mniejsza niż w teście B, ze względu na mniejsze pochylenie torsu. Składowa Y wynika głównie z rotacji manekina wokół osi Z, która dobrze jest widoczna na filmie z testu P.



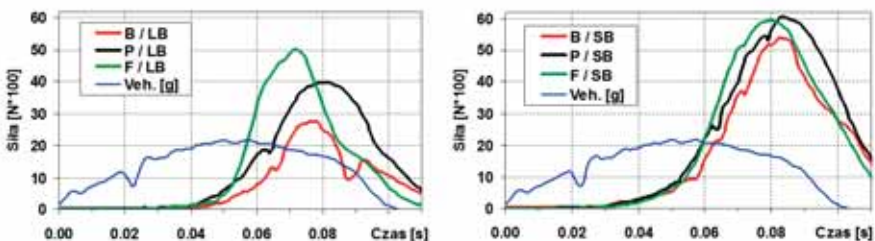
Rys. 7. Przyspieszenie głowy i torsu manekina P10 w testach B, P i F (w kolejności od lewej)

5. Obciążenie pasa bezpieczeństwa

Podczas opóźnionego ruchu samochodu siła bezwładności działająca na manekina ma kierunek wzdłużny (kierunek jazdy samochodu). Równoważona jest ona głównie przez siły w pasie bezpieczeństwa (mniejsze znaczenie mają siły reakcji działające na nogi oraz tarcie manekina o siedzisko).

Realizacje sił rozciągających taśmę pasa bezpieczeństwa podano na rysunku 8. Czujniki siły rozciągającej taśmę pasa były zamontowane na odcinkach QR i ST (por. rys. 10). Oddzielnie zestawiono realizacje siły w pasie biodrowym (LB) i barkowym (SB). W testach B, P i F jest różne tempo narastania siły w pasie barkowym, natomiast wartości maksymalne tej siły oraz czas, w jakim wystąpiła, są podobne. W przypadku siły w pasie biodrowym przebiegi są wyraźnie różne: różne są wartości maksymalne i czas ich wystąpienia.

Interpretację różnic w obciążeniu pasa bezpieczeństwa w testach B, P i F opracowano

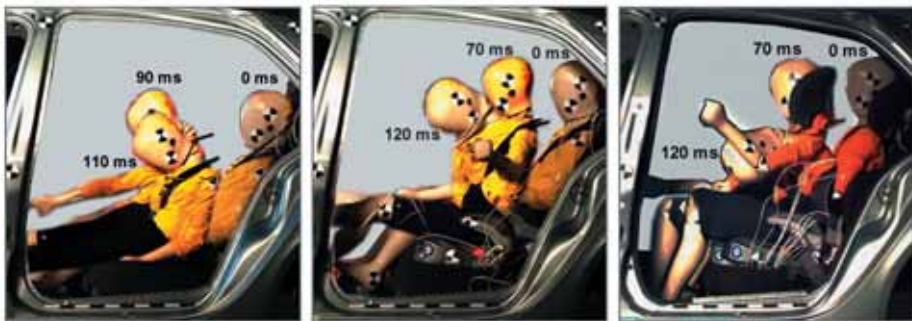


Rys. 8 Siły rozciągające taśmę pasa bezpieczeństwa (LB – część biodrowa, SB – część barkowa, Veh. – opóźnienie samochodu); wartości maksymalne na wykresach są 6000 N

na podstawie analizy ruchu manekina (poklatkowa analiza filmów). Położenie manekina w kilku chwilach czasu ilustruje rysunek 9. Ruch głowy manekina do tyłu rozpoczyna się w testach B i P po około 110 ms, natomiast w teście F dopiero po 160 ms.

W teście B, gdy manekin jest bezpośrednio na siedzisku kanapy, taśma pasa biodrowego ułożona jest zbyt wysoko nad udami. Na filmie widać, że podczas zderzenia przemieszczenie bioder względem siedziska kanapy jest znaczne. Pas biodrowy zsuwa się z ud i bioder na brzuch manekina i dalej pod żebra (rys. 9). Efekt ten widoczny jest jako chwilowe zmniejszenie siły w pasie biodrowym, w czasie 85-95 ms (rys. 8). W teście F manekin ma za plecami oparcie fotelika i jest bardziej wysunięty do przodu względem oparcia kanapy, niż w testach B i P. Takie usytuowanie manekina spowodowało szybkie narastanie siły w pasie biodrowym.

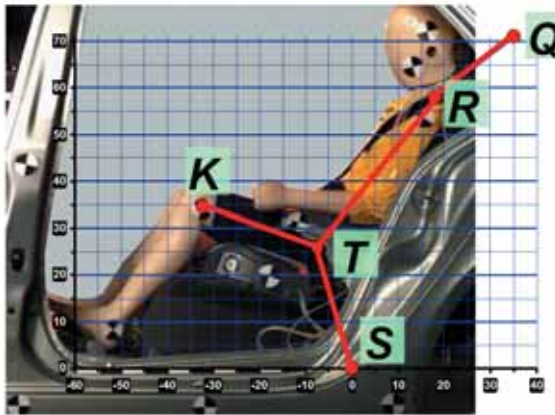
W teście B tors podczas zderzenia nie osiąga pozycji pionowej, bowiem biodra przemieszczają się znacznie do przodu (95-115 ms). W teście P, gdy położenie torsu jest prawie pionowe, następuje jego rotacja w lewą stronę, a pas niemal zsuwa się z barku na ramię. W teście F tors ulega największemu pochyleniu do przodu, aż do uderzenia głową o lewe udo. Jest to efekt ograniczonego ruchu bioder przez pas biodrowy, którego maksymalne napięcie wystąpiło najwcześniej (rys. 8). Interesujący jest także ruch bioder manekina w testach P i F. W czasie 85-110 ms, podczas gdy głowa przemieszcza się nadal do przodu, biodra przemieszczają się do tyłu.



Rys. 9. Położenie manekina w kilku chwilach czasu w testach B, P i F (w kolejności od lewej)

Na podstawie pomiarów rozmieszczenia punktów mocowania pasów oraz poklatkowej analizy filmów określono położenie pasa względem manekina. W tym celu wykorzystano siatkę wymiarową naniesioną na sylwetkę manekina w sposób pokazany na rysunku 10. Zaznaczono tu charakterystyczne punkty położenia manekina i pasa bezpieczeństwa. Początek układu współrzędnych jest w punkcie mocowania lewej części pasa biodrowego do nadwozia (pkt. S).

Zmiana urządzenia ochronnego powoduje zmianę położenia manekina względem kanapy, co wpływa na kierunek ułożenia taśmy pasa bezpieczeństwa na odcinkach QR i ST (rys. 10). Pomierzone siły rozciągające taśmę pasa barkowego F_S i biodrowego F_L mają inny



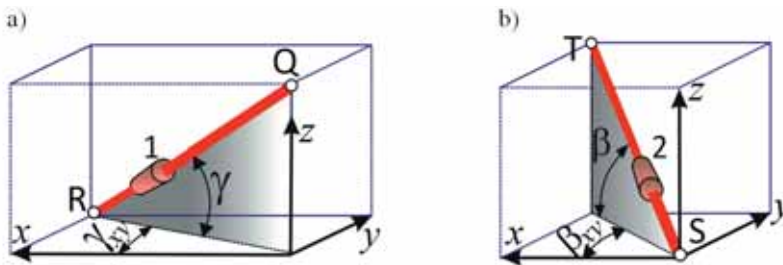
Rys. 10. Sposób określania przemieszczeń manekina

kierunek niż siła bezwładności działająca na manekina. Wartości składowych sił F_{Sx} i F_{Lx} zależą od położenia taśmy pasa względem manekina (rys. 11):

$$F_{Sx} = F_S \cdot \cos \gamma \cdot \cos \gamma_{xy} \quad (1)$$

$$F_{Lx} = F_L \cdot \cos \beta \cdot \cos \beta_{xy} \quad (2)$$

gdzie: $\gamma, \gamma_{xy}, \beta, \beta_{xy}$ – kąty opisujące położenie taśmy pasa barkowego i biodrowego.



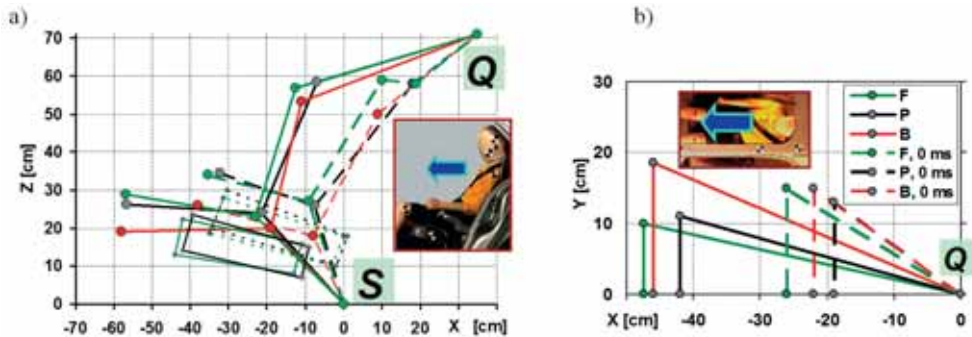
Rys. 11. Ułożenie taśmy pasa barkowego (a) i biodrowego (b) względem manekina;
Q, S - punkty mocowania pasa barkowego i biodrowego do nadwozia; R, T - punkty styku pasa barkowego i biodrowego z manekinem (por. rys. 10); 1, 2 - czujniki siły na taśmie pasa barkowego i biodrowego

Na rysunkach 12 i 13 pokazano położenie charakterystycznych punktów z rysunku 10 w dwóch chwilach czasu:

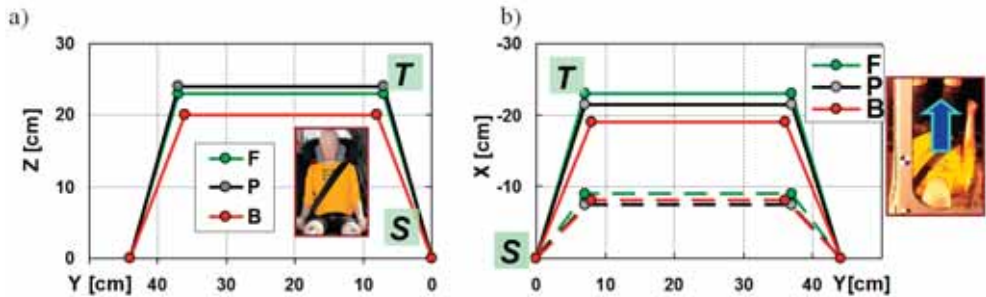
t_o – położenie początkowe manekina (linie przerywane),

t_{LB} – czas wystąpienia maksymalnej wartości siły w pasie biodrowym (linie ciągłe).

W tabeli 2 podano wartości kątów opisujących położenie taśmy pasa w czasie t_{LB} . Największe różnice w ułożeniu pasa względem manekina, po zastosowaniu różnych urządzeń ochronnych, dotyczą pasa barkowego, zwłaszcza wartości kąta γ_{xy} (rys. 12b). Położenie pasa na barku manekina (punkt R) podczas przemieszczania torsu nie jest stałe. W teście B wystąpiło przemieszczenie taśmy w kierunku szyi, a w testach P i F w kierunku ramienia (rys. 12b). Obie te sytuacje (widoczne także na filmach) nie są korzystne: w teście B pas może spowodować obrażenia szyi, a w testach P i F może zsunąć się z barku.



Rys. 12. Położenie manekina i podstawki względem pasa bezpieczeństwa w płaszczyznach XZ (a) i XY (b); linie przerywane - przed testem, linie ciągłe - podczas zderzenia



Rys. 13. Położenie pasa biodrowego w płaszczyznach YZ (a) i XY (b); linie przerywane - przed testem, linie ciągłe - podczas zderzenia

Zależności (1) i (2) można wykorzystać do określenia, jaka część zmierzonych w pasach sił F_S i F_L równoważy siłę bezwładności manekina. W tym celu obliczono współczynniki $k_S = F_{Sx}/F_S$ oraz $k_L = F_{Lx}/F_L$ (tab. 2). Ich najmniejsze wartości są w teście B, gdzie pas barkowy napięty jest dużą siłą, jednak jego skuteczność działania na manekina jest ograniczona. Duże wartości współczynników k_S i k_L w testach P i F potwierdzają korzyści wynikające ze stosowania podstawki podwyższającej. Ułożenie pasa względem wyżej siedzącego dziecka jest wówczas bardziej zbliżone do ułożenia pasa barkowego względem dorosłego pasażera. W efekcie pas wcześniej oddziałuje na manekina z większą siłą (por. rys. 8).

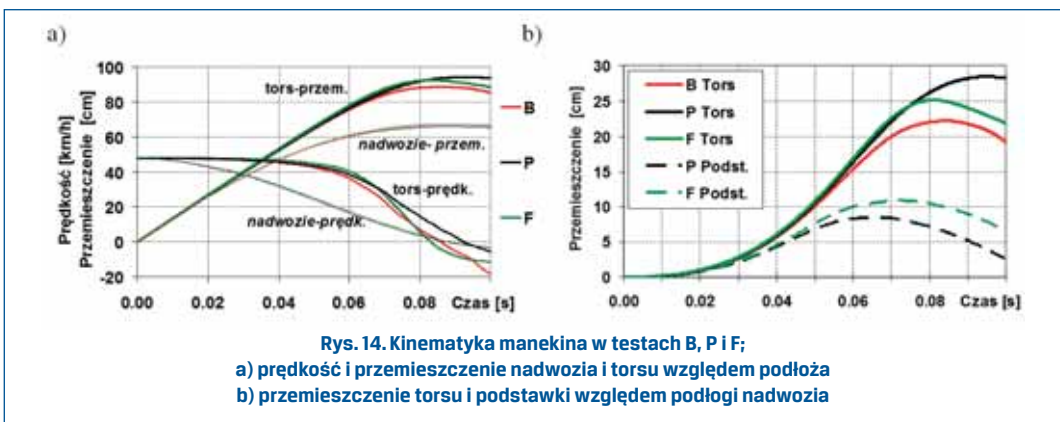
Tabela 2. Kąty opisujące położenie pasa w czasie t_{LB}

Kąt [°]		Test B	Test P	Test F
Pas barkowy	γ	20	16	16
	γ_{xy}	22	15	12
Pas biodrowy	β	44	47	44
	β_{xy}	23	18	17
$k_S = F_{Sx}/F_S = \cos \gamma \cdot \cos \gamma_{xy}$		0,87	0,93	0,94
$k_L = F_{Lx}/F_L = \cos \beta \cdot \cos \beta_{xy}$		0,66	0,65	0,69

Położenie pasów względem manekina podczas zderzenia wynika także z oddziaływania siedziska i podstawki. Początkowe położenie podstawki w testach P i F pokazano na rysunku 12 a za pomocą linii przerywanych. Oparcie fotelika nie wpływa na odległość jego siedziska (podstawki) od oparcia kanapy, natomiast spowodowało przesunięcie manekina do przodu (o około 6-8 cm), a tym samym większe zagłębienie podstawki w siedzisko kanapy. Podczas zderzenia podstawa przemieszcza się wzdłuż siedziska kanapy, uginając je. Największe ugięcie, około 6 cm, obserwuje się w czasie, gdy biodra manekina są najbardziej wysunięte do przodu, co ilustrują linie ciągłe na rysunku 12 a.

6. Kinematyka manekina

Dalej uwagę skupiono na przemieszczeniach manekina względem kanapy, w zależności od rodzaju urządzenia ochronnego. Obliczono je, całkując realizację przyspieszenia nadwozia, podstawki i torsu w testach B, P i F. Obliczone w ten sposób maksymalne przemieszczenie nadwozia wynosi tu 65-67 cm, co odpowiada drodze hamowania zmierzonej bezpośrednio na hamulcu stanowiska. Głównym ruchem manekina względem siedziska w pierwszej fazie zderzenia jest przemieszczenie wzdłużne, czyli w kierunku jazdy samochodu. Ponieważ tors i podstawa są pochylone, więc w obliczeniach uwzględniono przyspieszenie wypadkowe ze składowych X, Y i Z, zakładając, że kierunek jego działania jest zgodny



Rys. 14. Kinematyka manekina w testach B, P i F;

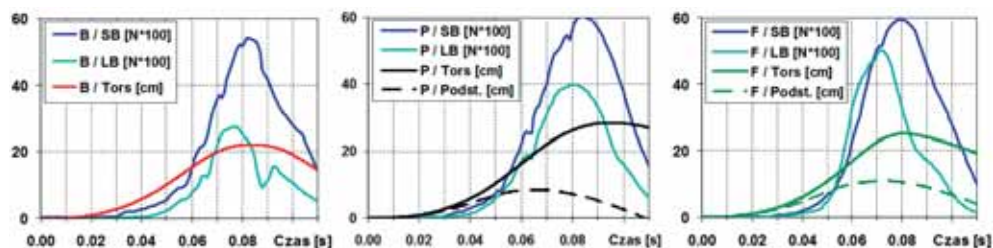
a) prędkość i przemieszczenie nadwozia i torsu względem podłoża
 b) przemieszczenie torsu i podstawki względem podłogi nadwozia

z kierunkiem jazdy samochodu. Wyniki obliczeń podano na rysunku 14a. Przeszczenie torsu i podstawki (punktów, gdzie umieszczone były czujniki przyspieszenia) względem podłogi nadwozia podano na rysunku 14b. Wyniki obliczeń z rysunku 14b zweryfikowano podczas poklatkowej analizy filmów, uzyskując porównywalne wyniki (tabela 3).

Tabela 3. Zestawienie wyników obliczeń i pomiarów przemieszczenia manekina i podstawki

Maksymalne przemieszczenie wzdłużne	Test	Wyniki obliczeń (rys.14)	Wyniki z analizy filmów
- torsu względem siedziska	B	22 cm / 84 ms	22 cm / 84 ms
	P	28 cm / 92 ms	28 cm / 90-94 ms
	F	25 cm / 80 ms	25 cm / 80-82 ms
- podstawki względem siedziska	P	8 cm / 65 ms	9 cm /68 ms
	F	11cm / 72 ms	11 cm /74 ms
- bioder względem siedziska	B	-	28 cm / 110 ms
	P	-	24 cm / 80 ms
	F	-	21 cm / 72 ms
- bioder względem podstawki	P	-	15 cm
	F	-	10 cm

Na rysunku 15 skojarzono realizację przemieszczenia torsu i podstawki z realizacjami sił w biodrowej i barkowej części pasa bezpieczeństwa. Maksymalna wartość siły w pasie biodrowym w testach B, P i F występuje w czasie 76 ms, 80 ms i 72 ms, a w pasie barkowym w czasie 84 ms, 84 ms i 80 ms.



Rys. 15. Skojarzenie sił w pasach z przemieszczeniem torsu manekina i podstawki

Na podstawie podanej wyżej analizy ustalono następujące zależności pomiędzy obciążeniem pasa bezpieczeństwa a ruchem manekina w testach B, P i F:

- Przeszczenie torsu jest największe w teście P. Występuje ono o około 10 ms później niż maksymalna siła w pasie barkowym. Taki rezultat wynika z opisanej wcześniej

rotacji torsu, spowodowanej działaniem pasa na lewy bark manekina. W testach B i F maksymalne przemieszczenie torsu występuje w chwili wystąpienia maksymalnej wartości siły w pasie barkowym. Tors manekina najszybciej wyhamowany jest w teście F, co skutkuje największym jego przyspieszeniem (rys. 7).

- Przemieszczenie bioder jest największe w teście B. Jest to skutek przesunięcia się taśmy pasa biodrowego z ud i bioder na brzuch manekina, w czasie 85÷95 ms, czego skutkiem było chwilowe zmniejszenie siły w pasie biodrowym (rys. 15). W testach P i F największe przemieszczenie bioder występuje w chwili wystąpienia maksymalnej wartości siły w pasie biodrowym. Najszybciej wyhamowane są biodra w teście F, bowiem obecność podstawki z oparciem korzystnie wpłynęła na ułożenie taśmy pasa względem manekina. W testach P i F występuje znaczna różnica w przemieszczeniu bioder manekina względem podstawki, odpowiednio 15 cm i 10 cm, przy czym różnice w przemieszczeniu podstawki po siedzisku kanapy są niewielkie (2-3 cm).

7. Podsumowanie

Pomimo ciągłego doskonalenia urządzeń bezpieczeństwa biernego w samochodach starsze dzieci, wieku 8-12 lat, są nadal narażone na poważne obrażenia podczas wypadków drogowych. Są one zwykle zbyt duże, by przewozić je w fotelikach ze zintegrowanymi z nimi pasami i zbyt małe, by zapinać je pasami bezpieczeństwa dla osób dorosłych. Powszechnie stosowane dla tej grupy wiekowej dzieci podstawki podwyższające, z oparciem lub bez oparcia, poprawiają skuteczność działania pasa bezpieczeństwa, a przy tym są dość łatwe w użyciu. Mimo to wielu rodziców zbyt wcześnie rezygnuje z takiego zabezpieczenia dziecka.

Przedstawione w pracy wyniki badań pokazują ważne relacje pomiędzy rodzajem zastosowanego urządzenia ochronnego a obserwowanymi obciążeniami głowy i torsu manekina. Potwierdzają, że dzieci nie powinny być zabezpieczane wyłącznie pasem dla dorosłych, bowiem ułożenie taśmy pasa względem ciała dziecka jest wówczas bardzo niekorzystne. W takich warunkach pas może powodować obrażenia brzucha i szyi dziecka. Ryzyko obrażeń dziecka w testach B, P i F oceniono w pracy [19]. Uwzględniając obciążenia głowy i klatki piersiowej manekina P10, w testach B, P i F uzyskano wartości ryzyka obrażeń odpowiednio 74%, 12% i 26%."

Ryzyko obrażeń dziecka w testach B, P i F oceniono w pracy [19]. Uwzględniając obciążenia głowy i klatki piersiowej manekina P10, w testach B, P i F uzyskano wartości ryzyka obrażeń odpowiednio 74%, 12% i 26%.

Praca została wykonana w ramach projektu N N509 559640, finansowanego ze środków Narodowego Centrum Nauki

Literatura

- [1] ARBOGAST, K.B., KALLAN, M.J. and DURBIN, D.R.: *Front versus Rear Seat Injury Risk for Child Passengers: Evaluation of Newer Model Year Vehicles*, Traffic Injury Prevention, No.10, 2009, pp.297-301.
- [2] *Badanie postawy Polaków wobec stosowania fotelików oraz podwyższeń podczas podróży dzieci do 12 roku życia samochodem*. Badanie sondażowe przeprowadzone w Polsce przez TNS OBOP (2005) oraz firmę badawczą Public Profit (2006) na zlecenie Instytutu Transportu Samochodowego (<http://www.klubpancernika.pl/>).
- [3] BILSTON, L.E., DUD W. and BROWN J.: *A matched-cohort analysis of belted front and rear seat occupants in newer and older model vehicles shows that gains in front occupant safety have outpaced gains for rear seat occupants*, Accident Analysis and Prevention No. 42, 2010, pp.1974-1977.
- [4] CHARLTON, J., KOPPEL, S., FITZHARRIS, M., CONGIU, M. and FILDES B.: *Factors that Influence Children's Booster Seat Use*. Monash University Accident Research Centre, Report No. 250, Australia, 2006.
- [5] EBEL, B.E., KOEPESELL, T.D., BENNETT, E.E. and RIVARA F.: *Use of Child Booster Seats in Motor Following a Community Campaign*. Journal of American Medical Association. Vol. 289, 2003, pp.879-884.
- [6] *European Road Safety Observatory*, Traffic Safety Basic Facts 2011: Children (Aged < 15), 2011, (http://ec.europa.eu/transport/road_safety/specialist/index_en.htm).
- [7] JOHANNSEN, H., SCHIPPER, M. and SCHINDLER, V.: *Is it possible to optimise the rear seats for children (6 YO and above) and adults?*, 8 International Conference Protection of Children in Cars, Munich, Germany, 2010, pp.1-18.
- [8] KIRK, A.: *CASPER - Child Advanced Safety Project for European Roads*, COVER Workshop November 29th/30th, Munich, Germany, 2010.
- [9] MACY, M.L., CLARK, S.J., FREED, G.L., BUTCHART, A.T., SINGER, D.C., SASSON, C., MEURER, W.J. and DAVIS, M.: *Carpooling and Booster Seats: A National Survey of Parents*. PEDIATRICS, Vol. 129, No.2, 2012, pp.290-298.
- [10] Materiały informacyjne firmy Graco, (<http://www.gracobaby.pl>).
- [11] Materiały informacyjne firmy Graco, Booster Seat - Owner's Manual, 2011.
- [12] OSVALDER, A.L. and BOHMAN, K.: *Misuse of Booster Cushions – An Observation Study of Children's Performance during Buckling Up*, 52nd AAAM Annual Conference Annals of Advances in Automotive Medicine, 2008.
- [13] PROCHOWSKI, L., ZIELONKA, K., TRZASKA, P.: *Analiza właściwości ochronnych fotelika i podstawki podwyższającej na podstawie ruchu ciała dziecka w czasie uderzenia samochodu w przeszkodę*, Logistyka 3/2012, pp.1849-1856
- [14] VISVIKIS, C., PITCHER, M., GIRARD, B., LONGTON, A. and HYND, M.: *Literature review, accident analysis and injury mechanisms*, Final Project Report 218744, EPOCH Consortium, 2009.
- [15] www.epochfp7.org.
- [16] www.nhtsa.gov. (*Final Report of a Left 40 % Offset Deformable Barrier Impact of a 2008 Saturn Outlook FWD XE*, NHTSA No.: R80176, USA, 2008).
- [17] *Wypadki drogowe – Raporty roczne* (<http://dlakierowcow.policja.pl>).
- [18] ŻUCHOWSKI, A., WICHER, J.: *Wpływ wstępnego napięcia pasów bezpieczeństwa na obciążenia pasażerów na tylnych siedzeniach podczas zderzenia czołowego*, Archiwum Motoryzacji, 2/2013, str.209-226 (eng. pp.93-110)
- [19] ŻUCHOWSKI, A.: *Child Safety in a Car During a Frontal Collision*, Journal of KONES Powertrain and Transport, Vol. 20, No. 1, 2013, pp.395-404
- [20] ŻUCHOWSKI, A.: *Risk of Injury for the Front and Rear Seat Passengers of the Passenger Cars in Frontal Impact*. Journal of KONES Powertrain and Transport, Vol.19, No.3, 2012, pp.507-518.