

**Article citation info:**

Żuchowski A. Seatbelt impact on a child during a frontal collision. The Archives of Automotive Engineering – Archiwum Motoryzacji. 2017; 75(1): 106-124, <http://dx.doi.org/10.14669/AM.VOL.75.ART7>

# SEATBELT IMPACT ON A CHILD DURING A FRONTAL COLLISION

## ODDZIAŁYWANIE PASA BEZPIECZEŃSTWA NA DZIECKO PODCZAS ZDERZENIA CZOŁOWEGO

**Andrzej Żuchowski<sup>1</sup>**

**Wojskowa Akademia Techniczna**

### Summary

The loads on a Hybrid III test dummy representing a child aged about 10 years have been analysed, based on results of crash tests carried out on seven motorcars. During the tests, the dummies were sitting on high-back booster seats, backless booster seats (booster cushions), or directly on the rear car seats and they were fastened with the use of standard car seatbelts. The differences in the seatbelt impact on the child, depending on the child restraint system used, have been pointed out. The analysis was done with using the crash test results published on the Internet by the US National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) and covering the case where the test car moving with a speed of about 56 km/h frontally hit a rigid flat barrier. The relations between dummy's head, neck, thorax, and pelvis loads and the force exerted on the seatbelt have been shown. Attention has been directed to the fact that a child transported without a booster seat has a tendency to slide under the seatbelt, which in consequence may cause injuries to child's abdomen and neck. A question has been examined whether the thoracic deflection can be limited by partial transfer of the load exerted by the seatbelt from dummy's ribs to its shoulder.

### Streszczenie

Na podstawie wyników testów zderzeniowych siedmiu samochodów przeanalizowano obciążenia manekina Hybrid III, reprezentującego dziecko w wieku około 10 lat. Manekiny podczas badań zapięte były za pomocą standardowego pasa bezpieczeństwa, przy czym

---

<sup>1</sup> Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Mechaniczny, ul. Gen. S. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa, e-mail: [andrzej.zuchowski@wat.edu.pl](mailto:andrzej.zuchowski@wat.edu.pl)

siedziały na podstawce podwyższającej z oparciem lub bez oparcia oraz bezpośrednio na tylnej kanapie samochodu. Wskazano różnice, spowodowane rodzajem zastosowanego urządzenia ochronnego, w oddziaływaniu pasa bezpieczeństwa na dziecko. Wykorzystano wyniki testów zderzeniowych udostępnione w Internecie przez *National Highway Traffic Safety Administration* (USA), w których samochód jadący z prędkością około 56 km/h uderzał czołowo w sztywną, płaską barierę. Pokazano relacje pomiędzy obciążeniami głowy, szyi, klatki piersiowej i miednicy manekina a siłą działającą na pas bezpieczeństwa. Zwrócono uwagę, że dziecko bez podstawki podwyższającej wysuwa się spod pasa bezpieczeństwa, który może powodować obrażenia brzucha i szyi dziecka. Rozważono, czy ugięcie klatki piersiowej może być ograniczone przez częściowe przeniesienie obciążenia od pasa z żeber na bark manekina.

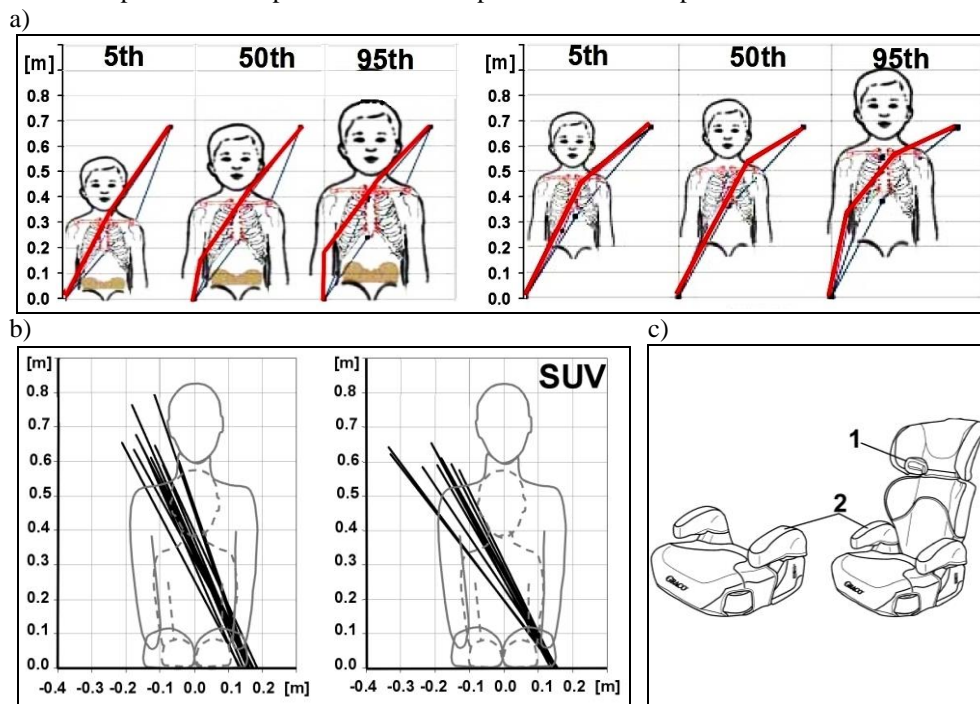
**Keywords:** road accidents, child safety, seat belt, booster seats (backless, highback)

**Słowa kluczowe:** wypadki drogowe, bezpieczeństwo dziecka, pas bezpieczeństwa, podstawki podwyższające (bez oparcia, z oparciem)

## 1. Wprowadzenie

Dzieci w wieku 6-10 lat są zbyt duże, by przewozić je w fotelikach ze zintegrowanymi z nimi pasami (szelkami) i zbyt małe, by przewozić je bezpośrednio na siedzisku fotela, zapięte pasem bezpieczeństwa dla osób dorosłych. Wymagania w zakresie urządzeń ochronnych dla dzieci określa Regulamin 44 ECE [13]. Klasyfikuje on pięć „grup masowych” urządzeń

ochronnych. Dla dzieci w grupach masowych II (15-25 kg) i III (22-36 kg) mogą być stosowane podstawki podwyższające (rys.1c), z oparciem lub bez oparcia (grupa III). Mimo że są one łatwe w użyciu, to wielu rodziców zbyt wcześnie rezygnuje z takiego zabezpieczenia dziecka. Wbrew obowiązującym przepisom około 50% dzieci w wieku 6 lat i prawie 90% dzieci w wieku 10 lat zabezpieczanych jest wyłącznie pasem bezpieczeństwa [7, 25]. Brak podstawki podwyższającej powoduje, że ułożenie pasa względem ciała dziecka nie jest korzystne (rys.1a, z lewej) i ogranicza skuteczność jego działania (zsuwanie się taśmy z barku), a nawet może powodować obrażenia brzucha i szyi dziecka [12, 17, 25]. Taśma pasa bezpieczeństwa powinna przebiegać przez trzon mostka i obojczyk (rys.1a, z prawej). W pracy [12] oceniono, że spośród 41 podstawek (26 z oparciem i 15 bez oparcia) prawie połowa nie zapewniała właściwego prowadzenia taśmy pasa bezpieczeństwa przez biodra, klatkę piersiową i bark 6-letniego dziecka. Pas biodrowy ułożony był na brzuchu zamiast na biodrach w 15 z 26 podstawek z oparciem i w 5 z 15 podstawkach bez oparcia.



**Rys.1. Położenie pasa ramieniowego względem torsu dziecka; a) w wieku 6 lat bez podstawki i z podstawką [2], b) dzieci w wieku 6 i 10 lat w małych samochodach osobowych oraz w samochodach SUV [3], c) podstawka podwyższająca (P) i podstawka z oparciem (PO) [8]; 1 – prowadnica taśmy pasa, 2 – podłokietniki**

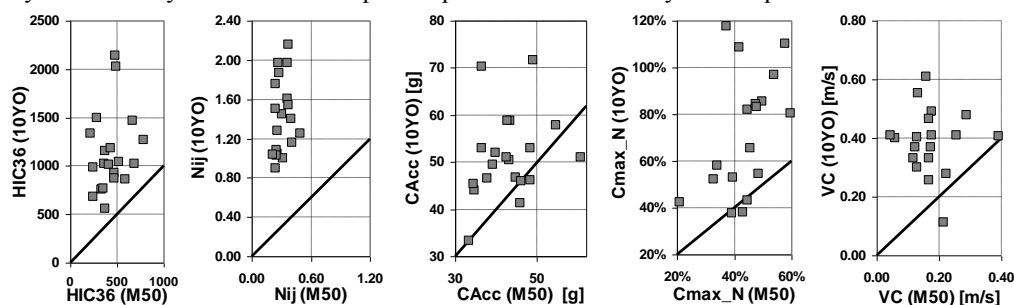
Na rysunku 1b pokazano ułożenie taśmy pasa względem sylwetki dziecka, siedzącego bezpośrednio na siedzisku tylnego fotela, w około 30 samochodach. Dotyczą one 95-centylowego chłopca w wieku 10 lat (linia ciągła) oraz 5-centylowej dziewczynki, w wieku 6 lat (linia przerywana). Widać tu, że jeżeli dziecko nie ma podstawki, to w wielu przypadkach taśma pasa przebiega zbyt blisko lub zbyt daleko szyi. Z rysunku 1b wynika, że zastosowanie podstawki może w niektórych samochodach poprawić ułożenie pasa względem mniejszego dziecka lub pogorszyć, w przypadku dużego dziecka, zwłaszcza w samochodach SUV.

Pasy bezpieczeństwa w samochodach przystosowane są do sylwetki osoby dorosłej, jednak podejmowane są próby dostosowania ich do sylwetki dzieci. Przykładowo w pracach [11, 22] rozważono wpływ zmiany położenia górnego punktu mocowania (kotwiczenia) taśmy pasa bezpieczeństwa na przemieszczenia i obciążenia dynamiczne manekina P10, reprezentującego dziecko w wieku około 10 lat (masa 32 kg). Ustalono, że obniżenie górnego punktu mocowania pasa prowadzi do zmniejszenia przyspieszenia głowy i torsu, jednak powoduje obrót torsu w kulminacyjnej fazie zderzenia. To wskazuje na niebezpieczeństwo wysunięcia się dziecka spod ramieniowego odcinka pasa. Ułożenie taśmy pasa bezpieczeństwa względem ciała dziecka zależy także od kąta pochylecia siedziska i oparcia. Na podstawie badań modelu manekina, reprezentującego dziecko w wieku około 6-lat, w pracy [9] podano, że zmniejszenie obciążeń głowy i szyi oraz ugięcia klatki piersiowej można uzyskać poprzez optymalizację kąta pochylecia oparcia oraz ułożenia taśmy pasa bezpieczeństwa względem torsu dziecka.

Dzieci są zwykle przewożone na tylnych siedzeniach samochodu. Obciążenia pasażerów, także dzieci, na tylnych siedzeniach podczas zderzenia czołowego są zwykle wielokrotnie większe, niż obciążenia kierowcy, który chroniony jest poduszką gazową, a także pasami z napinaczami i ogranicznikami napięcia [21, 26, 27]. Na rysunku 2 zestawiono wskaźniki obrażeń manekina M50 (Hybrid III), reprezentującego 50-centyowego mężczyznę na miejscu kierowcy oraz manekina 10YO (10-letnie dziecko, masa 35,2 kg, wzrost 1,3 m) na podstawce z oparciem na tylnym siedzeniu, za kierowcą. Uwzględniono tu wskaźniki (ich opis podano m.in. w [19, 20]):

- wskaźnik obrażenia głowy ( $HIC_{36}$  – *Head Injury Criterion*);
- wskaźnik obrażenia szyi ( $N_{ij}$  – *Neck Injury Criterion*);
- maksymalne wypadkowe przyspieszenie klatki piersiowej  $C_{Acc}$  (3 ms);
- maksymalne ugięcie klatki piersiowej  $C_{max}$ ;
- kryterium wiskotyczne klatki piersiowej ( $VC$  – *Viscous Criterion*).

Wyniki te dotyczą testów zderzeniowych [28] dwudziestu samochodów osobowych z lat 2005-2006, o masie 1600-2700 kg (sedan, minivan, van, SUV i pickup). Samochód jadący z prędkością około 56 km/h uderzał czołowo w sztywną barierę. We wszystkich samochodach była poduszka gazowa dla kierowcy. Oba manekiny były zapięte pasami bezpieczeństwa, przy czym w niektórych samochodach pas bezpieczeństwa kierowcy miał napinacz.



Rys.2. Skojarzenie wartości wskaźników obrażeń kierowcy (M50) i dziecka (10YO) na tylnym fotelu; linia określa relację 1:1 [27]

Dopuszczalne wartości wskaźników zestawiono w tabeli 1, gdzie podano także wartości krytyczne sił  $F_T$  i  $F_C$  oraz momentów  $M_F$  i  $M_E$ , do obliczeń wskaźnika  $N_{ij}$ . Dopuszczalne wartości wskaźników  $HIC_{36}$ ,  $N_{ij}$ ,  $C_{Acc}$  i  $VC$  dla manekinów M50 i 10YO są takie same, co umożliwia bezpośrednie porównywanie wartości wskaźników dla obu manekinów. Podany w tabeli 1 współczynnik  $\lambda$  określa, ile razy wartość wskaźnika dla manekina 10YO jest większa od wartości wskaźnika dla M50. Ponieważ dopuszczalne wartości ugięcia klatki

piersiowej  $C_{dop}$  zależą od rozmiaru manekina, to w ocenie porównawczej zastosowano wskaźnik

$$C_{max\_N} = \frac{C_{max}}{C_{dop}} \cdot 100\% \quad (1)$$

gdzie wartość maksymalnego ugięcia klatki piersiowej  $C_{max}$  odniesiono do wartości dopuszczalnej dla danego rozmiaru manekina.

**Tabela 1. Dopuszczalne wartości wskaźników obrażeń [6, 14]**

Manekin	$HIC_{36}$	$N_{ij}$	$F_T$ [N]	$F_C$ [N]	$M_F$ [Nm]	$M_E$ [Nm]	$C_{Acc}$ [g]	$C_{dop}$ [mm]	$VC$ [m/s]
M50	1000	1,0	6806	6160	310	135	60	63	1,0
10YO			3710	3390	125	54,8		44	
$\lambda$	1,5÷6,3	2,6÷7,3	-	-	-	-	0,8÷1,9	0,9÷3,2*	0,5÷9,3

\* - dotyczy wskaźnika  $C_{max\_N}$ , wg zależności (1)

W ocenie obrażeń poszkodowanych w wypadkach drogowych stosowana jest sześciostopniowa skala *AIS* (*Abbreviated Injury Scale*), w której określonym obrażeniom przypisano wyrażony cyfrą stopień. Wyższy stopień oznacza większe zagrożenie dla życia. Rozważając obrażenia obejmujące co najmniej dany stopień np. AIS3 i wyższe, stosuje się zapis AIS3+. Na podstawie testów zderzeniowych 12 samochodów w pracy [24] oceniono, że ryzyko poważnych obrażeń (AIS3) 10-letniego dziecka na podstawce z oparciem, podczas czołowego uderzenia samochodu w sztywną barierę z prędkością 56 km/h, było mniejsze o 5÷27% niż 3-letniego dziecka, umieszczonego w foteliku. Zwrócono jednak uwagę, że starsze dziecko może być narażone na nadmierne ugięcie klatki piersiowej, spowodowane oddziaływaniem pasa bezpieczeństwa. Natomiast w pracy [22] podano, że niewielkie zmiany w początkowym ułożeniu pasa bezpieczeństwa względem dziecka mogą wpływać na sposób jego przemieszczania się, a tym samym na ryzyko obrażeń.

Celem tej pracy jest ocena działania pasa bezpieczeństwa i obciążeń manekina Hybrid III, reprezentującego dziecko w wieku 10 lat (10YO), który siedzi na podstawce z oparciem lub bez oparcia (rys.1c) oraz bezpośrednio na siedzisku kanapy. Praca stanowi rozwinięcie analizy wyników pomiarów, przeprowadzonych w Przemysłowym Instytucie Motoryzacji w Warszawie [25]. Obecnie wykorzystano większy zakres pomiarów, w którym uwzględniono obciążenia głowy, szyi, barku, klatki piersiowej (w tym jej ugięcie), bioder i nóg manekina.

## 2. Obiekty badań i zakres analizy

Rozważono obciążenia dynamiczne manekinów Hybrid III 10YO na tylnych siedzeniach w siedmiu samochodach. Samochód jadąc z prędkością około 56 km/h uderzał w sztywną barierę, ustawioną prostopadle do kierunku ruchu samochodu (rys.3). Wykorzystano wyniki badań udostępnione w Internecie przez *National Highway Traffic Safety Administration* (USA) [28]. Dane o samochodach i rozmieszczeniu manekinów podano w tabeli 2. Niektóre wyniki z tych testów zderzeniowych przedstawione są w [6].

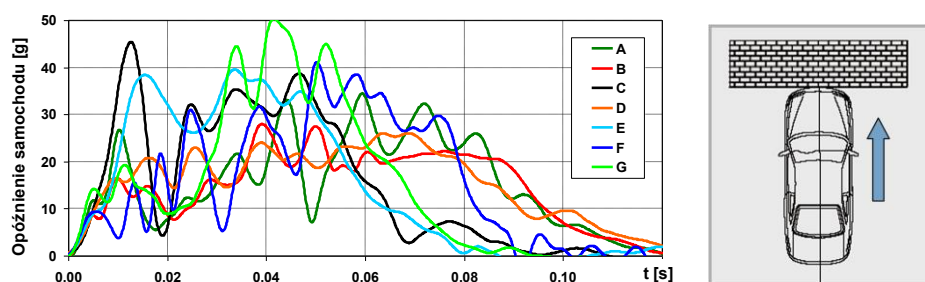
Wykorzystane w badaniach samochody różniły się masą, wymiarami oraz konstrukcją czołowej strefy zgniotu. Głębokość deformacji nadwozia po uderzeniu w barierę, mierzona na wysokości zderzaka w połowie jego szerokości, była od 0,42 m (Nissan Xterra) do 0,64 m

(Chevrolet Silverado). Konstrukcja czołowej strefy zgniotu samochodów decyduje o wartościach opóźnienia, jakie działa na samochód podczas zderzenia (rys.3).

**Tabela 2. Dane o samochodach oraz rozmieszczeniu manekinów 10YO [28]**

Oznaczenie testu	Marka model	Rocznik	Nadwozie	Masa [kg]	Głębokość deformacji [m]	Miejsce z prawej strony	Miejsce z lewej strony
A	Honda Ridgeline	2006	pickup	2301	0,56	PO*	PO
B	Pontiac Montana	2005	minivan	2234	0,55	P	
C	Nissan Titan	2005	pickup	2671	0,51		
D	Chevrolet Silverado	2005	pickup	2674	0,64		
E	Nissan Xterra	2005	SUV	2167	0,42	BP	-
F	Mercedes ML350	2006	SUV	2431	0,55		
G	Volkswagen Jetta	2005	sedan	1719	0,43		

\* - PO – podstawka z oparciem, P – podstawka bez oparcia, BP – bez podstawki



**Rys.3. Opóźnienie samochodów podczas uderzenia w barierę w testach A÷G (56 km/h)**

W testach A÷F po lewej stronie kanapy siedział manekin 10YO na podstawce z oparciem (PO). Po prawej stronie był taki sam manekin, ale na podstawce bez oparcia (P) lub bezpośrednio na kanapie (BP). W teście A oba manekiny były na podstawce z oparciem, a w teście G był tylko jeden manekin, siedzący bezpośrednio na kanapie (BP). Podłokietniki podstawki (elementy 2 na rys.1c) ustawione były w górnym położeniu.

Przykład rozmieszczenia manekinów w samochodach z testów C i F pokazano na rysunku 4. We wszystkich samochodach oba fotele przednie były w położeniu centralnym. Odległości manekina od fotela przedniego CB i KB oraz od drzwi (odległość głowy HW i bioder AD) zestawiono na rysunku 5. Pokazują one, że sposób zabezpieczenia manekina (P, PO, BP) wpływa na wymiary wolnej przestrzeni wokół manekina oraz ułożenie manekina względem punktów kotwiczenia pasów. Manekiny siedzące na podstawce z oparciem są bardziej wysunięte do przodu względem oparcia kanapy. W teście C odległość HW w wariantach P i PO różni się aż o 11 cm, bowiem w wariantach PO jest to odległość głowy od szyby a w wariantach P - od ramy drzwi (por. rys.4). Rodzaj urządzenia ochronnego nie wpływa istotnie na odległość AD, z wyjątkiem testu E, gdzie w wariantach BP i PO jest odpowiednio 18 i 26 cm. Stopy manekinów nie dotykały oparcia fotela przedniego, przy czym w testach B i F odległość ta była najmniejsza (poniżej 10 cm), a w testach A i C największa (25÷27 cm).

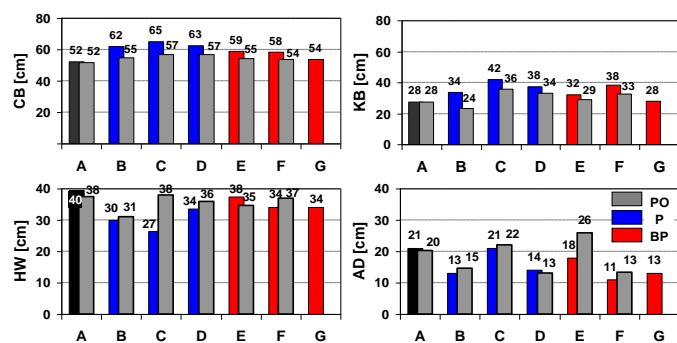
Przeanalizowano obciążenia głowy, szyi, barku, klatki piersiowej, bioder i nóg manekinów. W tym celu wykorzystano, pobrane w postaci cyfrowej z [28], wyniki pomiarów:

- przyspieszenie głowy, klatki piersiowej i bioder (miednicy),

- siły oraz momenty sił działających na szyję,
- siły działające na bark (obojczyk) i uda,
- ugięcie klatki piersiowej,
- siły rozciągające taśmę pasa bezpieczeństwa w jej części biodrowej i ramieniowej.



Rys.4. Manekiny 10YO w samochodach C (górne fotografie) i F (dolne fotografie) [28]



Rys.5. Odległości manekina od fotela przedniego (CB, KB) i od drzwi (HW, AD) w samochodach z testów A=G

Wykorzystane dalej wartości wypadkowe przyspieszenia  $a$  i siły  $F$  obliczono ze składowych mierzonych w trzech wzajemnie prostopadłych kierunkach (X, Y, Z):

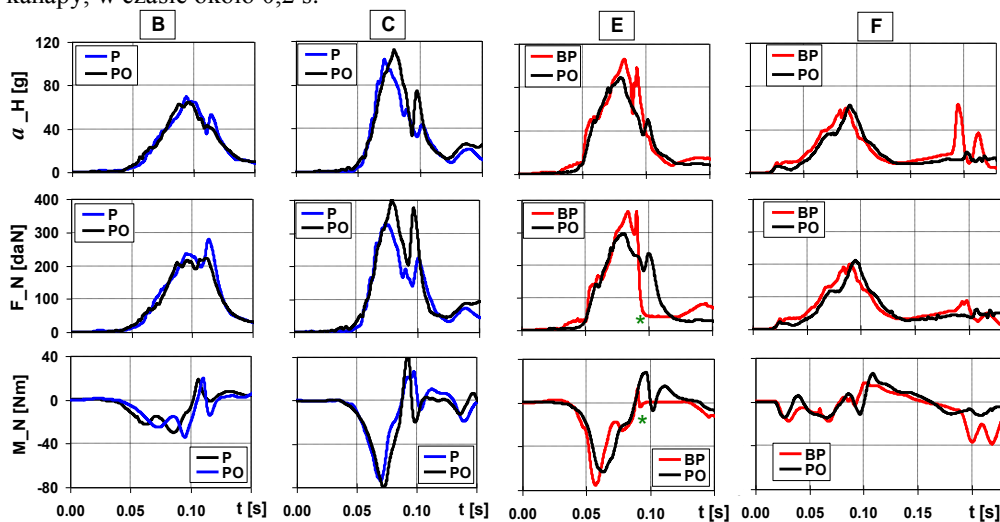
$$a(t) = \sqrt{a_x^2(t) + a_y^2(t) + a_z^2(t)} \quad , \quad F(t) = \sqrt{F_x^2(t) + F_y^2(t) + F_z^2(t)} \quad (2)$$

Do ilościowej oceny obciążeń dynamicznych osób jadących wykorzystano wskaźniki obrażeń, wymienione w punkcie 1. W analizie obciążeń manekinów wykorzystano także filmy, nagrane przez umieszczone w samochodach kamery do zdjęć szybkich oraz wyniki pomiarów przemieszczenia taśmy pasa, względem górnego punktu mocowania (por. rys.9).

### 3. Obciążenia głowy i szyi

Okolo 60% urazów (AIS2+) dzieci w wieku 8-12 lat to obrażenia głowy (wypadki drogowe w USA z lat 1998-2007) [5]. Urazy takie często są skutkiem uderzenia głowy o elementy wnętrza nadwozia. W testach zderzenia czołowego, gdy prędkość uderzenia samochodu osobowego w sztywną przeszkodę jest do 56 km/h, pas bezpieczeństwa ogranicza przemieszczenia dziecka na tylnym siedzeniu i nie uderza ono głową o oparcie fotela przedniego [22, 24, 25, 27]. W pracy [18] tylko w jednym z 77 testów zderzeniowych głowa uderzyła o oparcie fotela przedniego (48 km/h, manekin na podstawie bez oparcia). Jednak gwałtowne zatrzymanie torsu przez pas bezpieczeństwa i znaczne pochylenie głowy względem torsu (brak poduszki gazowej) sprzyjają narastaniu obciążeń szyi. W pracach [21, 27] podano, że wskaźniki obrażeń głowy ( $HIC_{30}$ ) i szyi pasażerów ( $N_{ij}$ ) na tylnych fotelach są wielokrotnie większe niż u pasażerów na fotelach przednich, którzy są chronieni poduszkami gazowymi (por. rys.2). Wynikające z tych obciążeń ryzyko ciężkich obrażeń (AIS4+) głowy dziecka w wieku około 10 lat, siedzącego na tylnej kanapie na podstawie z oparciem, osiągało 90% (w 15 z 20 samochodów było 10÷60%), podczas gdy takie ryzyko dla mężczyzny (M50) na fotelu kierowcy nie przekraczało 10% (w 13 z 20 samochodów było 2÷5%) [26].

Realizacje obciążeń głowy i szyi manekina 10YO w testach B, C, E, F podano na rysunku 6. W teście B realizacje obciążeń manekina w wariantach P i PO są bardzo podobne. W teście C obciążenia głowy i szyi manekina na podstawie z oparciem (PO) są większe niż manekina na podstawie bez oparcia (P). W teście E obciążenia manekina na podstawie z oparciem (PO) są mniejsze niż manekina siedzącego bezpośrednio na kanapie (BP). W teście F, gdzie pas bezpieczeństwa miał napinać, w wariantcie BP doszło do uderzenia tyłem głowy o oparcie kanapy, w czasie około 0,2 s.

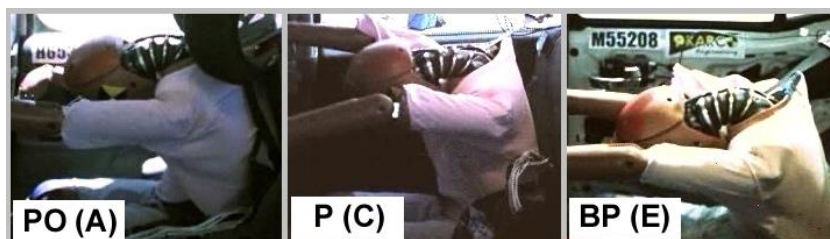


Rys.6. Wypadkowe przyspieszenie głowy ( $a_H$ ), wypadkowa siła działająca na szyję ( $F_N$ ) oraz moment siły ( $M_N$ ) działającej na szyję w płaszczyźnie strzałkowej (testy B, C, E i F); (\* - w teście E obciążenia szyi w czasie 0,09-0,13 s są wątpliwe, jednak ten fragment realizacji nie wpływa na wartość wskaźnika  $N_{ij}$ )

Obciążenie szyi wynika z działania siły bezwładności na głowę, dlatego realizacje przyspieszenia głowy i siły działającej na szyję są podobne jakościowo. Z analizy filmów wynika, że głowa manekinów we wszystkich wariantach (PO, P, BP) przechylana jest mocno

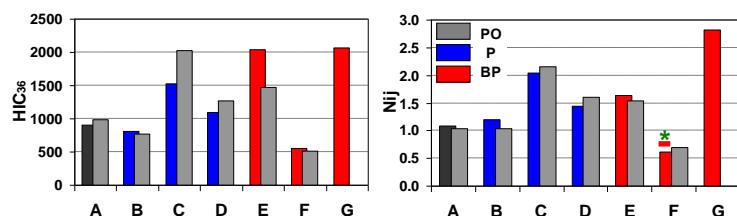


do przodu (rys.7) i w większości testów uderza podbródkiem o mostek, co widoczne jest na przebiegach  $a_H$  oraz  $F_N$ , jako dominanta w czasie  $0,10 \pm 0,11$  s (rys.6). W pracy [16], gdzie badano mniejszy manekin (6YO), zwrócono uwagę, że znaczne obciążenia szyi mogą wynikać ze zbyt sztywnego kręgosłupa manekina w porównaniu z kręgosłupem dziecka. W teście F, gdzie pasy miały napinacze, pochycenie głowy manekinów 10YO również jest duże, jednak głowa nie uderza o klatkę piersiową. Korzystne działanie napinaczy pasów, w zakresie redukcji obciążeń głowy i szyi, potwierdzono także podczas badań manekina 6YO [4].



Rys.7. Maksymalne pochycenie głowy manekina w wariantach PO, P i BP (testy A, C i E)

Wartości wskaźników obrażeń głowy i szyi podano na rysunku 8. Wartości  $HIC_{36}$  równe 500, 1000 i 2000 oznaczają ryzyko ciężkich obrażeń głowy AIS4 odpowiednio 4%, 18% i 88%. Wartości  $N_{ij}$  równe 1, 2 i 3 oznaczają ryzyko ciężkich obrażeń szyi AIS4 odpowiednio 18%, 43% i 70% [6, 20, 23].



Rys.8. Wartości wskaźników  $HIC_{36}$  i  $N_{ij}$  dla manekinów 10YO w testach A-G (\* - opis wartości wskaźnika  $N_{ij}$  w teście F podano poniżej)

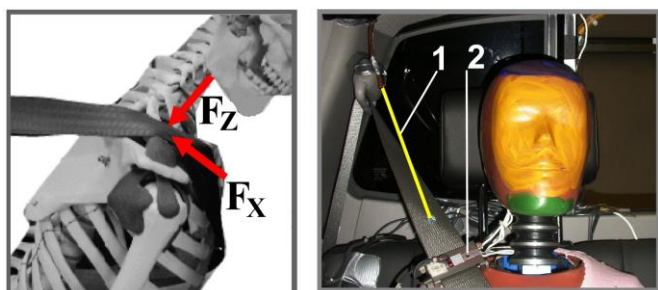
W teście A, gdzie oba manekiny były na podstawie z oparciem (PO), wartości wskaźników  $HIC_{36}$  i  $N_{ij}$  są podobne. Największe obciążenia głowy i szyi występują w wariantach BP (testy E i G) a najmniejsze w teście F (wpływ napinacza pasa bezpieczeństwa). W teście F w wariantach BP jest  $N_{ij}=0,62$  podczas pochyciania manekina do przodu oraz  $N_{ij}=0,81$  w chwili uderzenia tyłem głowy o oparcie kanapy (por.  $a_H$  i  $M_N$  w czasie 0,2 s na rys.6). Na podstawie  $HIC_{36}$  i  $N_{ij}$  z testów C i D można uznać, że zmiana ułożenia dziecka względem taśmy pasa, spowodowana oparciem podstawki podwyższającej, może niekorzystnie wpływać na zwiększenie obciążeń głowy i szyi. Obserwowane w wariantach P i PO wartości wskaźnika obrażeń głowy różnią się maksymalnie o 32% (test C) a szyi 12% (test D). Natomiast znacznie większe różnice występują pomiędzy wartościami tych wskaźników w poszczególnych samochodach, np. wskaźnik  $HIC_{36}$  w wariantach PO jest 2,6 razy większy w teście C niż w B.

Niebezpieczne obciążenia szyi dziecka występują także przy mniejszej prędkości uderzenia samochodu w barierę. Przykładowo w pracy [18], przy prędkości zderzenia 40 km/h, wskaźnik obrażeń szyi manekina 10YO wynosił  $N_{ij}=0,62 \pm 1,42$ , przy czym w 21 z 40 testów zderzeniowych było  $N_{ij} > 1$  (warianty BP i P).

#### 4. Oddziaływanie pasa bezpieczeństwa na bark i klatkę piersiową

Rozważono sposób przenoszenia siły z taśmy pasa na tors manekina 10YO w wariantach P, PO i BP. W tym celu przeanalizowano obciążenia barku (obojczyka) i klatki piersiowej manekina, w samochodach z testów B÷G. Siła bezwładności działająca podczas zderzenia na dziecko równoważona jest głównie przez siły działające na taśmę pasa bezpieczeństwa. W mniejszym stopniu przez tarcie manekina o siedzisko i nogi, uderzające o fotel przedni. Siła napinająca ramieniową część taśmy pasa przenoszona jest na ciało pasażera przez jego bark i klatkę piersiową. Znaczny nacisk pasa na klatkę piersiową nie jest korzystny, bowiem zwiększa jej ugięcie. Poniżej rozważono, czy ugięcie klatki piersiowej może być ograniczone przez częściowe przeniesienie obciążenia od pasa ramieniowego z żeber na bark manekina (siły  $F_x$  i  $F_z$  na rys.9).

Podstawka sprawia, że dziecko jest powyżej siedziska kanapy, a oparcie powoduje wysunięcie dziecka do przodu względem oparcia kanapy. Tak więc rodzaj urządzenia ochronnego oraz położenie górnego punktu mocowania pasa mają wpływ na ułożenie pasa bezpieczeństwa względem ciała dziecka [25], a tym samym na obciążenie barku i klatki piersiowej. Prawidłowe ułożenie taśmy pasa na barku powinna zapewnić prowadnica pasa, umieszczona w oparciu podstawki (por. rys.1c). Jednak na podstawie filmów z testów ustalono, że w testach B i C taśma wysuwa się z tej prowadnicy w czasie około 0,11 s, a w teście F w czasie 0,08 s (w testach D i E taśma pasa pozostawała w prowadnicy oparcia podstawki).

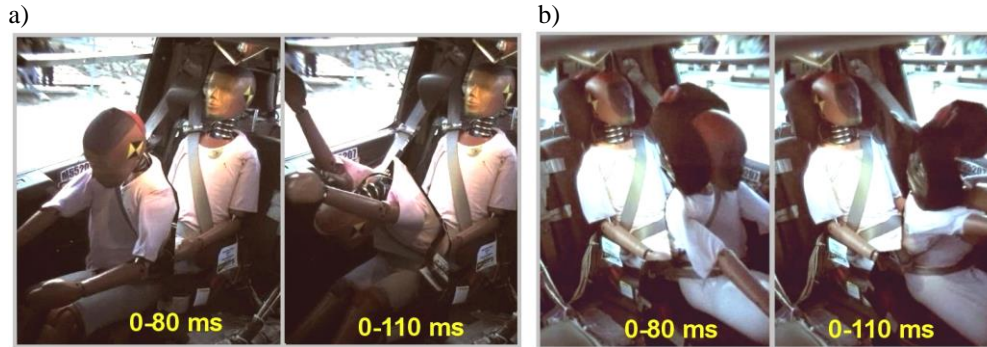


**Rys.9. Ułożenie taśmy pasa ramieniowego na barku i klatce piersiowej oraz sposób pomiaru przemieszczenia taśmy pasa; 1 – linka przetwornika przemieszczenia taśmy, 2 – przetwornik siły SB na taśmie pasa ramieniowego [15, 28]**

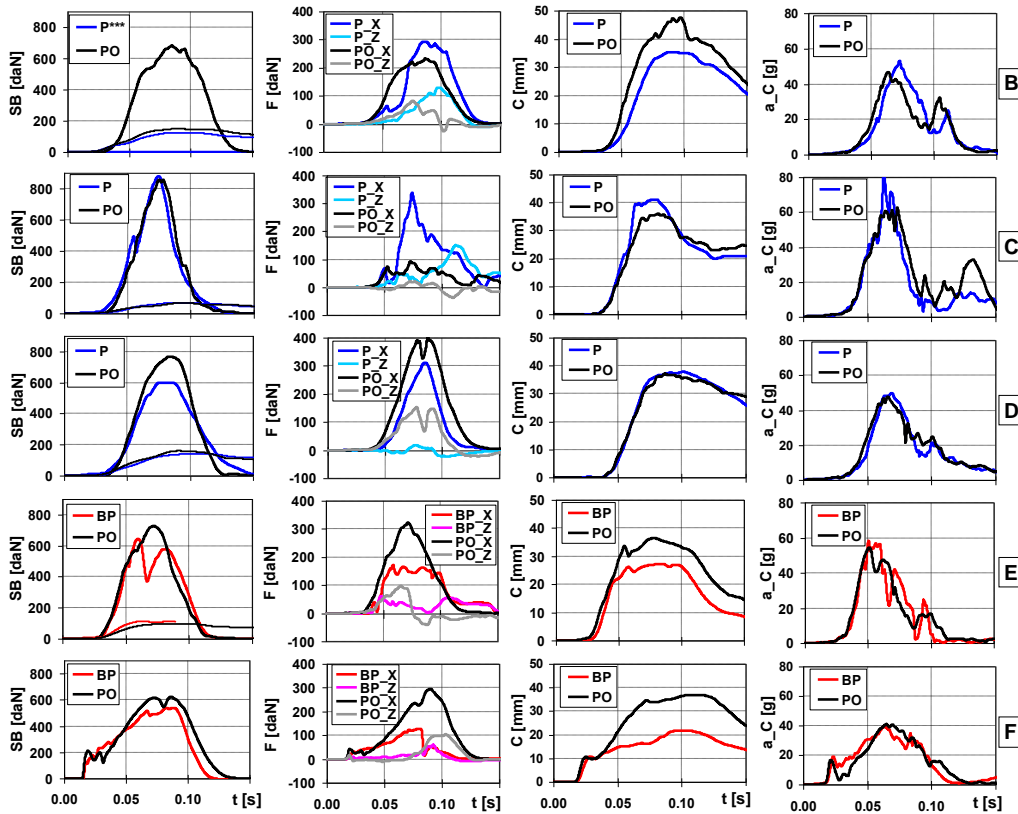
Na rysunku 10 pokazano przemieszczenia manekinów 10YO w wariantach P i PO. W czasie 0 ms mamy początkowe położenie manekina a w czasie 110 ms maksymalne przemieszczenie głowy. W obu wariantach widoczne są znaczne przesunięcia manekinów względem kanapy oraz pochylenie torsu i głowy.

Wyniki pomiarów obciążeń manekinów w testach B÷F zestawiono na rysunku 11. Uwzględniono tu siłę rozciągającą pas ramieniowy ( $SB$ ), siły  $F_x$  i  $F_z$  działające na bark (por. rys.9), ugięcie ( $C$ ) i przyspieszenie klatki piersiowej ( $a_C$ ). Cienkie linie na wykresach siły  $SB$  to przemieszczenie taśmy pasa względem górnego punktu mocowania (por. rys.9), podane w milimetrach. Przemieszczenie taśmy wynika z wysuwania się jej ze zwińca do chwili jego zablokowania oraz z elastyczności taśmy. W teście F pasy miały napinacze, dlatego przemieszczenie taśmy nie było mierzone. W testach B, D i E przemieszczenie taśmy jest 110÷160 mm, natomiast w teście C tylko 70 mm. Test C jest szczególny także z tego powodu,

że tylko w tym teście w obu podstawkach pas wyłamał podłokietniki (element 2 na rys.1c), po stronie zamka pasa bezpieczeństwa, w czasie około 0,07 s. Ponadto samochód z testu C (Nissan Titan) osiągnął największe przyspieszenie w początkowej fazie zderzenia (por. rys.3) a obciążenia głowy i szyi manekinów były tu największe, spośród wariantów P i PO (rys.8).



Rys.10. Przemieszczenia manekinów 10YO w teście C w czasie 0, 80 i 110 ms (na podstawie filmu z [28]); a) manekin na podstawie bez oparcia; b) manekin na podstawie z oparciem



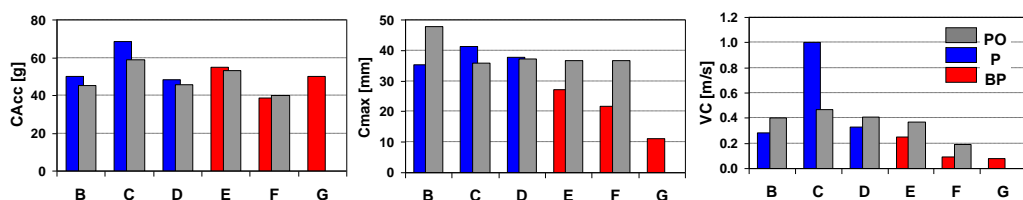
Rys.11. Obciążenia barku i klatki piersiowej manekinów 10YO w samochodach z testów B+F; P - podstawa bez oparcia, PO - podstawa z oparciem, BP - bez podstawki (\*\*\*) - w teście B, wariant P,

## nie zmierzono siły SB)

Rodzaj urządzenia ochronnego wpływa na obciążenie pasa bezpieczeństwa, barku i klatki piersiowej. W testach D, E i F siły SB w pasach bezpieczeństwa osiągają większe wartości w wariantach PO. W teście F napinacze napięły część ramieniową pasów siłą około 200 daN w czasie 15 ms. We wszystkich testach działająca na bark siła  $F_x$  jest 2-3 razy większa niż siła  $F_z$ . Narastaniu składowej  $F_z$  sprzyja pochycenie torsu oraz ruch ramion w górę (np. w teście C, wariant P na rys.10). Ograniczenie ugięcia klatki piersiowej przez częściowe przeniesienie obciążenia od taśmy pasa ramieniowego z żeber na bark manekina mamy tylko w teście B, wariant P (rys.11). W teście C siła  $F_x$  jest ponad 3-krotnie większa w wariantach P niż w PO, ale ugięcie klatki piersiowej także jest większe w wariantach P. Natomiast w teście D mamy większe obciążenie barku w wariantach PO, ale ugięcie klatki piersiowej jest prawie jednakowe w obu wariantach P i PO. Brak jednakowych relacji pomiędzy obciążeniem barku i żeber wskazuje na wpływ innych czynników, istotnych w kształtowaniu obciążeń manekina, np. położenie górnego punktu mocowania pasa, które nie jest opisane w [28].

Obciążenia klatki piersiowej oceniono za pomocą trzech wskaźników ( $C_{Acc}$ ,  $C_{max}$  i  $VC$ ), których wartości zestawiono na rysunku 12. Przyspieszenie klatki piersiowej ( $C_{Acc}$ ) w testach B, C, D jest mniejsze o 5÷14% w wariantach PO niż w wariantach P. W testach E i F przyspieszenie klatki piersiowej osiąga podobne wartości maksymalne w obu wariantach PO i BP, przy czym ugięcie klatki piersiowej jest znacznie większe w wariantach PO. Z wyjątkiem testu C, którego specyfikę opisano wcześniej, w pozostałych testach wartości wskaźnika  $VC$  są większe w wariantach PO niż w wariantach P i BP.

W wariantach PO wartości wskaźników  $C_{Acc}$  i  $C_{max}$  w poszczególnych samochodach różnią się maksymalnie o 30%, przy czym w testach C-F wskaźnik  $C_{max}$  jest prawie jednakowy (36÷37 mm).



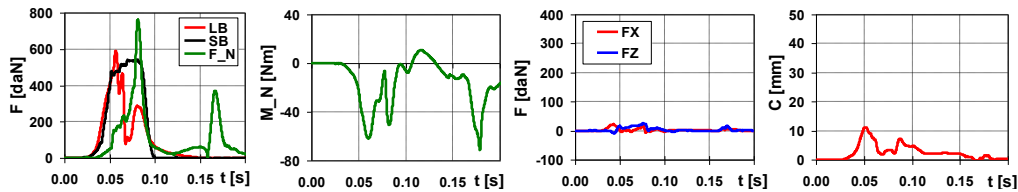
Rys.12. Wartości wskaźników obrażeń klatki piersiowej manekinów 10YO w testach B-G

Uwagę zwracają małe wartości wskaźników  $C_{max}$  i  $VC$  w wariantach BP (testy E, F i G). Także siły działające na bark manekina w wariantach BP są niewielkie (rys.11). Jest to efekt niekorzystnego zsunięcia się taśmy pasa z klatki piersiowej pod ramię manekina. Stan taki zilustrowano na rysunku 13 (pokazano manekin z testu G, ze względu na lepszą jakość filmu, niż w teście E).



Rys.13. Położenie pasa względem manekina 10YO w teście G (na podstawie [28])

Przemieszczenia manekina siedzącego bezpośrednio na siedzisku kanapy ukazują jak bardzo niekorzystne jest to zabezpieczenie. Nisko siedzący manekin wysuwa się spod pasa biodrowego (tzw. *nurkowanie*, ang. *submarining*), co powoduje chwilowe zmniejszenie siły rozciągającej biodrową część pasa *LB* (rys.14). Pas ramieniowy przesuwa się z barku na szyję, powodując poważne zagrożenie dla dziecka [1, 17]. W efekcie bark i klatka piersiowa tylko w niewielkim stopniu przenoszą siły z pasa ramieniowego na manekin - wartości sił  $F_x$  i  $F_z$  oraz ugięcie klatki piersiowej są bardzo małe (rys. 14). Natomiast wartości wskaźników  $HIC_{36}$  oraz  $N_{ij}$  w teście G są największe (rys.8). Występuje także mocne uderzenie tyłem głowy o oparcie kanapy, w czasie około 0,17 s ( $F_N$  i  $M_N$  na rys.14).



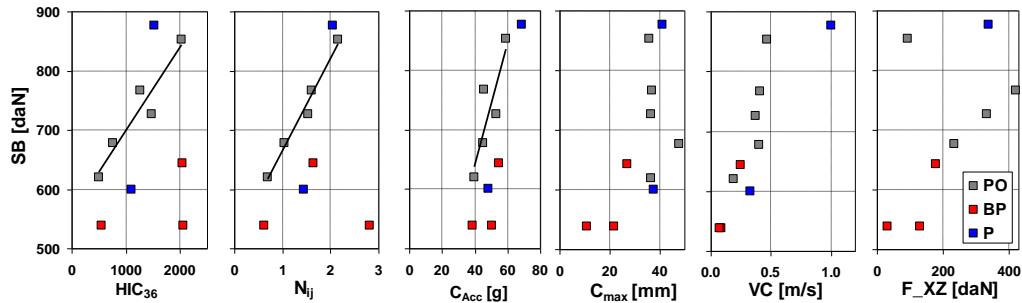
Rys.14. Obciążenia manekina 10YO w teście G (BP); *LB, SB* – siły w części biodrowej i ramieniowej pasa bezpieczeństwa, *F\_N* – wypadkowa siła działająca na szyję, *M\_N* – moment siły działający na szyję w płaszczyźnie strzałkowej;  $F_x, F_z$  – siły obciążające bark, *C* – ugięcie klatki piersiowej

Zagrożenia wynikające z przewożenia dzieci bezpośrednio na siedzisku kanapy potwierdzają wyniki badań podane w [18]. W testach zderzeniowych samochodów z lat 2005-2011 (prędkość zderzenia 40, 48 i 56 km/h) z manekinami 10YO siedzącymi bezpośrednio na siedzisku kanapy (wariant BP, 29 testów) oraz na podstawie bez oparcia (wariant P, 48 testów)

- pas ramieniowy zsunął się z barku na szyję w 86% testów BP oraz w 31% testów P;
- pas biodrowy zsunął się z bioder na brzuch w 59% testów BP oraz w 29% testów P.

Większa prędkość zderzenia sprzyjała niekorzystnemu zsuwaniu się pasa z barku i bioder.

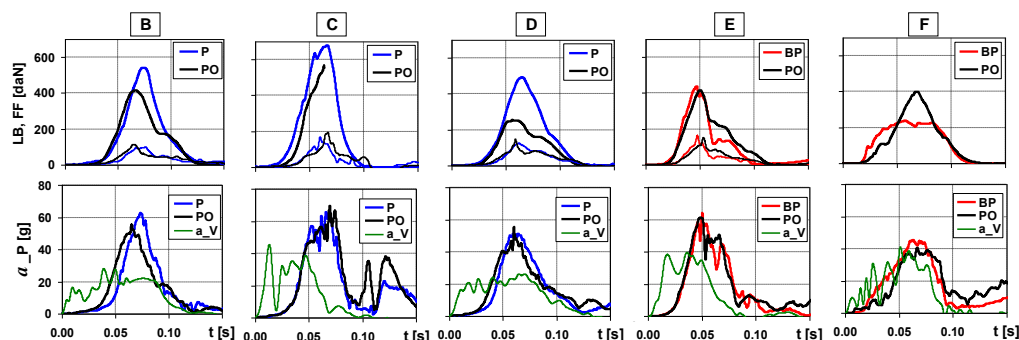
Wyniki pomiarów wykorzystano dalej, podobnie jak w [10], gdzie rozważono obciążenia klatki piersiowej manekina P3 (3-letnie dziecko, masa 15 kg), do oceny relacji pomiędzy obciążeniami pasa bezpieczeństwa i manekina. W tym celu na rysunku 15 skojarzono wartości siły rozciągającej taśmę pasa ramieniowego *SB* z wartościami wskaźników obrażeń z testów  $B \div G$ . W wariancie PO widoczna jest proporcjonalność pomiędzy siłą *SB* a wskaźnikami  $HIC_{36}$ ,  $N_{ij}$  i  $C_{Acc}$  (linie na wykresach). W przypadku wskaźników  $C_{max}$  i  $VC$  trend taki nie występuje. Dlatego informacja o obciążeniu pasów nie powinna być kryterium oceny urządzeń ochronnych.



Rys.15. Skojarzenie siły rozciągającej pas barkowy (*SB*) ze wskaźnikami obrażeń głowy, szyi i klatki piersiowej oraz maksymalną wartością wypadkowej siły działającej na bark  $F_{XZ}$

## 5. Oddziaływanie pasa bezpieczeństwa na biodra

Pas bezpieczeństwa przenosi siłę bezwładności działającą na manekin (35,2 kg) i podstawkę (2,0 kg siedzisko i 1,2 kg oparcie). W wariantach PO, P i BP mamy różne ułożenie części biodrowej pasa bezpieczeństwa (szczegółowe dane o ułożeniu pasów względem manekinów nie są dostępne w [28]). Wpływa to na wartość siły, jaką taśma pasa biodrowego jest rozciągana [25]. Realizacje siły rozciągającej pas biodrowy *LB* (rys.16), mierzonej na odcinku taśmy: dolny punkt mocowania – podstawka, osiągają mniejsze wartości w wariantach PO niż w wariantach P. W wariantach PO kolana są bliżej oparcia fotela przedniego (por. odległość KB na rys.5), jednak w żadnym z testów nie uderzają one o fotel przedni. Realizacje *FF* na rysunku 16 (średnia z sił działających na lewe i prawe udo) są skutkiem rozciągania nóg siłą bezwładności. Niezależnie od rodzaju urządzenia ochronnego, uderzenie stóp o oparcie fotela przedniego tylko nieznacznie ogranicza narastanie siły *FF*, a tym samym nieznacznie zmniejsza obciążenie pasa biodrowego.



Rys.16. Siły działające na pas biodrowy (*LB*) i uda (*FF*, cienkie linie), wypadkowe przyspieszenie miednicy (*a\_P*) oraz opóźnienie samochodu (*a\_V*) w testach B÷F (w teście C w wariantach PO doszło do uszkodzenia układu pomiarowego siły *LB* w czasie około 0,07 s)

Największe obciążenia pasa biodrowego i miednicy są w teście C, gdzie doszło do złamania podłokietników w obu podstawkach, po stronie zamka pasa (w czasie około 0,07 s). W wariantach PO najmniejsza wartość siły *LB* jest w teście D, przy czym wystąpiła tu największa reakcja pasa bezpieczeństwa na górną część tułowia (por. wartości sił *SB*,  $F_x$  i  $F_z$  na rys.11). W testach B i F wypadkowe przyspieszenie miednicy (bioder) manekina osiąga mniejsze wartości w wariantach PO. Realizacje przyspieszenia miednicy *a\_P* osiągają znacznie większe wartości niż opóźnienie samochodu (*a\_V* na rys.16). Ten niekorzystny stan wynika ze zwłoki w działaniu blokady związka pasa bezpieczeństwa oraz z elastyczności taśmy. W teście F, gdzie pasy miały napinacze, przyspieszenie miednicy jest najmniejsze i zbliżone do *a\_V*, co potwierdza skuteczne ograniczenie ruchu bioder manekina względem fotela.

W teście E pas biodrowy manekina siedzącego bezpośrednio na siedzisku kanapy (BP) zsunął się z ud i bioder na brzuch manekina, podobnie jak w teście G (rys.13 i 14). Efekt ten widoczny jest jako zmniejszenie siły w pasie biodrowym, w czasie około 0,06 s. W teście F napinacz, działający na część ramieniową pasa (por. *SB* na rys.11), spowodował napięcie także pasa biodrowego, jednak w wariantach PO siła *LB* narasta wolniej niż w wariantach BP. Może to być spowodowane tarcieniem taśmy o podstawkę, które ograniczyło napięcie pasa biodrowego przez napinacz. Pomimo tych różnic, w obu wariantach (PO i BP) testu F, pas biodrowy nie zsunął się na brzuch manekina, co potwierdza korzystne działanie napinacza.

## 6. Podsumowanie

Podobnie jak w pracy [25], gdzie przedstawiono wyniki badań przeprowadzonych w Przemysłowym Instytucie Motoryzacji w Warszawie, potwierdzono, że dzieci nie powinny być zabezpieczane wyłącznie pasem dla dorosłych, bowiem ułożenie taśmy pasa względem ciała dziecka nie jest właściwe. W takich warunkach pas może zsunąć się z barku i bioder na szyję i brzuch. Klatka piersiowa jest wówczas mniej obciążona, jednak zagrożona jest szyja i brzuch [17] oraz narastają obciążenia głowy (testy E i G).

Obciążenia dziecka na tylnej kanapie są wielokrotnie większe niż kierowcy (rys.2). Z przeprowadzonej analizy wynika, że mogą one bardziej zależeć od czynników związanych z samochodem (właściwości strefy zgniotu, kanapy, pasów bezpieczeństwa, w tym rozmieszczenie punktów mocowania pasów), niż od rodzaju urządzenia ochronnego.

Pas powinien oddziaływać na biodra, mostek i bark jednak wiele urządzeń ochronnych dla dzieci nie zapewnia prawidłowego ułożenia pasa względem bioder i torsu [3, 12]. Mocny nacisk pasa na mostek (żebrą) prowadzi do nadmiernego ugięcia żeber oraz niekorzystnego narastania prędkości deformacji organów w klatce piersiowej (wskaźnik VC). Dlatego podczas analizy wyników badań rozważono, czy ograniczenie ugięcia klatki piersiowej może być uzyskane przez częściowe przeniesienie obciążenia od pasa z żeber na bark manekina. Stan taki wystąpił tylko w jednym z siedmiu testów (test B). Ze względu na brak szczegółowych danych o położeniu pasa bezpieczeństwa względem manekina w pracy nie wskazano mechanizmu takiego oddziaływania pasa. Można jednak przyjąć, że przeniesienie nacisku pasa z klatki piersiowej na bark może sprzyjać takie działanie pasa, które ułatwi niewielkie pochylenie torsu, np. unieruchomienie bioder poprzez napięcie pasa biodrowego.

Na ułożenie taśmy pasa względem dziecka wpływa oparcie podstawki. Dziecko na podstawie z oparciem jest podczas jazdy wysunięte do przodu względem oparcia kanapy. Umożliwia to wygodniejsze ułożenie nóg (zgięcie w kolanach) i dosunięcie bioder do oparcia, co poprawia działanie pasa biodrowego. Właściwe ułożenie taśmy oraz łatwe jej przemieszczanie, w celu równomiernego i jak najszybszego napięcia taśmy, powinny zapewniać prowadnice pasa w podstawie podwyższającej i jej oparciu. Stwierdzono nieprawidłowe działanie tych elementów: wysunięcie się taśmy z prowadnicy oparcia oraz nadmierne tarcie taśmy o podstawkę, które ogranicza szybkie napięcie taśmy pasa biodrowego przez napinacz (test F).

Siła rozciągająca taśmę pasa zależy nie tylko od siły bezwładności działającej na dziecko, ale także od sposobu ułożenia pasa [25]. Dlatego obciążenie pasa nie zawsze jest proporcjonalne do obciążenia manekina (rys.15) i nie powinno być kryterium oceny urządzeń ochronnych.

## Literatura

- [1] Beillas P, Soni A, Chevalier M-Ch, Johannsen H, Müller G, Holtz J. Q6 dummy thoracic response and diagonal belt interactions: Observations based on dummy testing and human and dummy simulations. IRCOBI Conference; 2014; Berlin, pp.332-346.
- [2] Beillas P. Anthropometry and internal geometry. COVER Workshop on Child Safety; 2010; Munich, Germany.
- [3] Bilston L E, Sagar N. Geometry of rear seats and child restraints compared to child anthropometry. Stapp Car Crash Journal. 2007; Vol. 51: 275-298.
- [4] Bohman K, Boström O, Osvalder A-L, Eriksson M. Rear seat frontal impact protection for children seated on booster cushions – an attitude, handling and safety approach, The 20<sup>th</sup>

- International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV), Paper Number 07-0268, Lyon, France 2007.
- [5] Garcia-Espana J F, Durbin D R. Injuries to belted older children in motor vehicle crashes, Accident Analysis and Prevention No. 40, pp. 2024–2028, 2008.
- [6] Hong S, Park Ch, Morgan R, Kan C, Park S, Bae H. A study of the rear seat occupant safety using a 10-year-old child dummy in the new car assessment program. SAE Technical Paper Series 2008-01-0511; 2008.
- [7] Kirk A. Road Accident Data. COVER Workshop on Child Safety; 2010; Munich, Germany.
- [8] Materiały informacyjne firmy Graco, Booster Seat - Owner's Manual, 2011.
- [9] Menon R, Ghatai Y, Jain P. Madymo simulation study to optimize the seating angles and belt positioning of high back booster seats. The 20<sup>th</sup> International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV), Paper Number 07-0091, Lyon, France 2007.
- [10] Muszyński A, Trzaska P, Wicher J, Mazurkiewicz Ł. Analysis of the forces developing in the straps of the belts that restrain a child in a safety seat. The Archives of Automotive Engineering – Archiwum Motoryzacji. 2015; 67(1): 113–126.
- [11] Prochowski L, Fitas M, Zielonka K. Analysing the results of research on the influence of the position of a seat belt on the movements and dynamic loads of child's head and torso during a bus impact against an obstacle. The Archives of Automotive Engineering – Archiwum Motoryzacji. 2014; 66(4): 43-56.
- [12] Reed M P, Ebert S M, Sherwood Ch P, Klinich K D, Manary M A. Evaluation of the static belt fit provided by belt-positioning booster seats. Accident Analysis and Prevention 2009; 41: 598–607.
- [13] Regulation No. 44 Uniform provisions concerning the approval of restraining devices for child occupants of power-driven vehicles ("Child Restraint Systems"), Addendum 43, Revision 3, 2014.
- [14] SAE J1727: Calculation Guidelines for Impact Testing; 02-2010.
- [15] Shaw G, Parent D, Purtseov S, Lessley D, Crandall J, Törnvall F. Torso deformation in frontal sled tests: Comparison between THOR NT, THOR NT with the Chalmers SD-1 Shoulder and PMHS. International IRCOBI Conference; 2010; Hanover, Germany.
- [16] Sherwood C P, Shaw C G, Rooij L, Kent R W, Gupta P K, Crandall J R, Orzechowski K M, Eichelberger M R, Kallieris D. Prediction of cervical spine injury risk for the 6-year-old child in frontal crashes. 46<sup>th</sup> Annual Proceedings Association for the Advancement of Automotive Medicine; 2002; Barrington, USA.
- [17] Tarriere C. Children are not miniature adults. International IRCOBI Conference; 1995; Brunnen, Switzerland.
- [18] Tylko S, Bussièrès A. Responses of the Hybrid III 5<sup>th</sup> Female and 10-year-old ATD seated in the rear seats of passenger vehicles in frontal crash tests, International IRCOBI Conference; 2012; Dublin, Ireland.
- [19] Wicher J. Pojazdy samochodowe. Bezpieczeństwo samochodów i ruchu drogowego (Motor vehicles. The safety of motor vehicles and road traffic). Warszawa: WKŁ; 2012. 328.
- [20] Żuchowski A, Prochowski L, Muszyński A, Zielonka K. Obciążenia dynamiczne i ryzyko obrażeń głowy i szyi osób uczestniczących w wypadkach drogowych. Rozdział 9.2 w monografii: Inżynieria Biomedyczna - Podstawy i Zastosowania. Tom 3: Biomechanika



- i inżynieria rehabilitacyjna. Katowice: Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT; 2015. 831-848.
- [21] Żuchowski A, Prochowski L. The analysis of safety of rear seat occupants of a passenger car during the road accident. *The Archives of Automotive Engineering – Archiwum Motoryzacji*. 2011; 53(3): 83-98.
- [22] Żuchowski A. Analiza wpływu zmiany ułożenia taśmy pasa bezpieczeństwa na obciążenia pasażerów na tylnych siedzeniach podczas czołowego uderzenia samochodu w przeszkodę. *Logistyka* 4/2015: 7095-7105.
- [23] Żuchowski A. Child safety in a car during a frontal collision. *Journal of KONES Powertrain and Transport*. 2013; 20(1): 395-404.
- [24] Żuchowski A. Comparative assessment of the risk of injury to children aged 3 and 10 in a road accident. *The Archives of Automotive Engineering – Archiwum Motoryzacji*. 2016; 71(1): 133-152, <http://dx.doi.org/10.14669/AM.VOL71.ART9>
- [25] Żuchowski A. Influence of the type of a child restraint system used on the kinematics and loads of a child in a motorcar during a frontal impact. *The Archives of Automotive Engineering – Archiwum Motoryzacji*. 2013; 61(3): 65-79.
- [26] 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*. 2012; 19(3): 507-518.
- [27] Żuchowski A., Prochowski L., Analysis of the Influence of the Seat Taken in a Car on the Dynamic Load Affecting People During the Obstacle Impact by the Passenger Car. Chapter in monograph: *ed. Stańczyk LT. Automotive safety problems*. Kielce: Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej; 2012:113-126.
- [28] National Highway Traffic Safety Administration [cited 01 Mar 2016]. Available from [www.nhtsa.gov](http://www.nhtsa.gov).