

Warszawa 20.02.2019 r.

**Załącznik nr 2a**

do wniosku o przeprowadzenie  
postępowania habilitacyjnego

**AUTOREFERAT**

1. **Imię i Nazwisko:** Mirosław Świetlik
2. **Posiadane dyplomy, stopnie naukowe – z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej**
  - **Magister inżynier mechanik** o specjalności osprzęt i automatyka energetyczna i lotnicza – tytuł nadany 13 maja 1974 roku na Wydziale Mechanicznym Energetyki i Lotnictwa Politechniki Warszawskiej;
  - Świadectwo ukończenia **Studium Podyplomowego Metod Optymalizacji** na Wydziale Elektroniki Politechniki Warszawskiej – 15 marca 1982 roku;  
(Załącznik\_3\_III\_Q02)
  - **Doktor nauk technicznych w zakresie mechaniki** – stopień nadany uchwałą Rady Wydziału Mechanicznego Energetyki i Lotnictwa Politechniki Warszawskiej z dnia 12 października 1999 roku. (Załącznik\_1\_Dyplom\_doktora)  
Tytuł rozprawy: "**Analiza wybranych własności membranowego sprzęgła typu poprzeczno-szczelinowego**",  
Promotor: prof. dr hab. inż. Andrzej Olędzki, Politechnika Warszawska  
Recenzenci:  
prof. dr hab. inż. Eugeniusz Świtoński, Politechnika Śląska,  
prof. nzw. dr hab. inż. Tomasz Zagrajek, Politechnika Warszawska.  
Rozprawa została wyróżniona przez Radę Wydziału MEiL PW w dniu 13.10.1999 r.
3. **Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych**
  - 1974 – 1979, Politechnika Warszawska, Wydział MEiL, Instytut Techniki Lotniczej i Mechaniki Stosowanej, ul. Nowowiejska 24, 00-665 Warszawa, stanowisko inżyniersko - techniczne. Zatrudniony przy nadzorze nad modernizacją Państwowego Wzorca Siły do 500 kN, w Polskim Komitecie Normalizacji i Miar, ul. Elektoralna 2, 00-139 Warszawa.



- 1979 – 1999, Politechnika Warszawska, Wydział MEiL, Instytut Techniki Lotniczej i Mechaniki Stosowanej, Zakład Teorii Maszyn i Mechanizmów, stanowisko naukowo-techniczne, prowadzenie i organizacja zajęć dydaktycznych w laboratoriach:
  - Podstaw automatyki i sterowania PAS;
  - Miernictwa wielkości mechanicznych i cieplnych MWMiC;
  - Teorii maszyn i mechanizmów TMM.

- 1999 – 2018, Politechnika Warszawska, Wydział MEiL, Instytut Techniki Lotniczej i Mechaniki Stosowanej, Zakład Teorii Maszyn i Robotów, adiunkt.

Działalność dydaktyczna:

- Wykłady na studiach dziennych i zaocznych z przedmiotów: PAS, TMM, Miernictwo dynamiczne MD, Podstawy metod komputerowych w obliczeniach inżynierskich PMKwOI oraz Teoria sygnałów biologicznych TSB;
- Prowadzenie zajęć laboratoryjnych na studiach dziennych i zaocznych: Podstawy sterowania i automatyki II, Teoria maszyn i mechanizmów II, Miernictwo dynamiczne II;
- Promotorstwo 17 prac dyplomowych inżynierskich i magisterskich.

Działalność organizacyjna:

- Kierownik Zintegrowanego Laboratorium Dydaktycznego Zakładu TMiR,
- Kierownik Warsztatu Doświadczalnego Zakładu TMiR,
- Przewodniczący Instytutowej Komisji Inwentaryzacyjnej Księgozbioru,
- Przewodniczący Instytutowej Komisji Inwentaryzacyjnej.

- od 01.10.2018 – 31.01.2019, Politechnika Warszawska, ITLiMS, Zakład Teorii Maszyn i Robotów, zatrudnienie na umowę zlecenie do przygotowania i przeprowadzenia zajęć dydaktycznych jw.
- od 18.02.2019 – starszy wykładowca, Politechnika Warszawska, ITLiMS, Zakład Teorii Maszyn i Robotów.

**4. Wskazanie osiągnięcia wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. 2016 r. poz. 882 ze zm. w Dz. U. z 2016 r. poz. 1311.):**

Za osiągnięcie naukowe stanowiące podstawę wszczęcia postępowania habilitacyjnego uznaję moją monografię (pkt. 4.1, pkt. 4.2).

**4.1 Tytuł osiągnięcia naukowego:**

**"Analiza możliwości poprawy bezpieczeństwa dzieci przewożonych w samochodach osobowych w przypadku kolizji drogowych"**

**4.2 Autor, tytuł publikacji, rok wydania, nazwa wydawnictwa:**

**Mirosław Świetlik**, *Analiza możliwości poprawy bezpieczeństwa dzieci przewożonych w samochodach osobowych w przypadku kolizji drogowych*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2018, s.120. ISBN 978-83-7814-803-6.



#### 4.3 Recenzenci wydawniczy:

- prof. dr hab. inż. Danuta ROMAN-LIU, Centralny Instytut Ochrony Pracy- Państwowy Instytut Badawczy, ul. Czerniakowska 16, 00-701 Warszawa;
- dr hab. inż. Jan Gajewski, prof. AWF, Akademia Wychowania Fizycznego, ul. Marymoncka 34, 00-968 Warszawa.

#### 4.4 Omówienie celu naukowego pracy, osiągniętych wyników oraz dyskusja ich ewentualnego wykorzystania

Standardowe systemy bezpieczeństwa biernego pasażerów samochodów osobowych, takie jak pasy bezpieczeństwa, zagłówki, poduszki i kurtyny powietrzne, które dowiodły swojej skuteczności w przypadku dorosłych pasażerów, z różnych względów nie zostały praktycznie wykorzystane dla ochrony dzieci. Bezpieczeństwo bierne przewożonych dzieci zapewniają różnorakie systemy podparcia, (ang. CRS – *Child Restraint Systems*), wśród których podstawowym środkiem ochrony stały się właściwie dobrane, do masy i wysokości ciała, foteliki samochodowe. Odpowiednie systemy mocujące zapewniają sztywne połączenie fotelika z kabiną samochodu (np. system ISOFIX), natomiast uprząż (najczęściej 3-punktowe lub 5-punktowe szelki bezpieczeństwa) wiąże dziecko z fotelikiem.

Obok doskonalenia już sprawdzonych konstrukcji fotelików poszukuje się nowych rozwiązań zapewniających dodatkowe zmniejszenie ryzyka doznania obrażeń przez dziecko uczestniczące w kolizji drogowej. Jedną z tych koncepcji zakłada złagodzenie skutków zderzenia w efekcie zamierzonego przemieszczenia fotelika z dzieckiem względem kabiny pojazdu. Dokonany w pracy przegląd wybranych systemów podparcia (CRS) tego typu prowadzi do następujących wniosków:

- 1) Występuje znaczne zróżnicowanie nowych typów CRS mocowanych ruchliwie. Oprócz kilku wdrożonych i produkowanych seryjnie urządzeń przytrzymujących, inne pomysły nie wyszły poza fazę koncepcji, opatentowania, prototypu lub modelu komputerowego.
- 2) Brakuje naukowych analiz teoretycznych oraz wyników badań doświadczalnych, potwierdzających ilościową przewagę nowych rozwiązań CRS nad konstrukcjami klasycznymi. Może to świadczyć o tym, że prace w tym kierunku nie zostały podjęte lub ich wyniki nie zostały ujawnione z względów np. handlowych lub patentowych.
- 3) Istnieje uzasadnienie podjęcia głębszych badań teoretycznych i doświadczalnych w celu potwierdzenia skuteczności fotelika samochodowego mocowanego ruchliwie. Wyniki takiego studium mogą być przydatne dla przyszłych konstruktorów CRS mocowanych ruchliwie.

##### 4.4.1 Cel naukowy i zakres pracy

Celem pracy była kompleksowa ocena możliwości poprawy ochrony biernej 3-letniego dziecka podróżującego przodem do kierunku jazdy w foteliku samochodowym, mogącym realizować ściśle określone przemieszczenia względem kabiny, w przypadku czołowego zderzenia pojazdu ze sztywną przeszkodą z prędkością ok. 50 km/h.

Stosując metody biomechaniki udarowej zrealizowano obszerne badania teoretyczne oraz doświadczalne, które obejmowały:

- 1) opracowanie czterech komputerowych modeli symulacyjnych systemu dziecko-fotelik, w tym:
  - wariantu z fotelikiem sztywno połączonym z kabiną pojazdu – rozwiązanie podstawowe;



- trzech wariantów ruchomego systemu podparcia – umożliwiających kontrolowany ruch fotelika w płaszczyźnie symetrii pojazdu;
- 2) zdefiniowanie syntetycznego wskaźnika ryzyka obrażeń – bazującego na biomechanicznych kryteriach urazu wybranych części ciała dziecka;
- 3) wykonanie badań parametrycznych modeli symulacyjnych w celu:
  - określenia możliwości redukcji ryzyka doznania obrażeń dziecka dzięki zastosowaniu ruchomych systemów podparcia w porównaniu do rozwiązania podstawowego;
  - ustalenia najlepszych parametrów konstrukcyjnych modelu doświadczalnego;
- 4) zaprojektowanie i wykonanie modelu doświadczalnego fotelika oraz przeprowadzenie badań na specjalnym stanowisku do testów zderzeniowych typu *sled test* przy użyciu manekina Q3;
- 5) walidację modelu symulacyjnego.

#### 4.4.2 Metody i wyniki badań teoretycznych

##### Modele symulacyjne

Przyjętą metodą badań teoretycznych była symulacja komputerowa z wykorzystaniem pakietu oprogramowania MADYMO. Badania prowadzono przy użyciu dwóch wirtualnych manekinów 3-letniego dziecka typu *elipsoid* (model Hybrid III 3 i model Q3). W modelu symulacyjnym dziecko było przypięte do fotelika pięciopunktową uprzężą. Geometrię siedziska fotelika odtworzono na podstawie handlowej wersji fotelika, który był wykorzystany w badaniach doświadczalnych typu *sled test*.

Modele symulacyjne dziecko-fotelik zrealizowano w czterech wersjach różniących się sposobem połączenia fotelika z kabiną pojazdu oraz parametrami tych połączeń:

- 1) model fotelika zablokowanego FCSS – przypadek fotelika nominalnie nieruchomego względem kabiny samochodu. Uzyskane wyniki symulacji na tym modelu stanowiły odniesienie w analizie porównawczej skuteczności pozostałych modeli ruchomych systemów podparcia;
- 2) model fotelika obrotowego PCSS – ruch obrotowy zapewnia przegub będący parą kinematyczną obrotową V klasy, o osi prostopadłej do płaszczyzny symetrii samochodu. Parametry modelu: położenie osi przegubu względem środka masy dziecka oraz wartość momentu hamującego  $T_b$  w przegubie. Przyjęty model zakładał niezależność modułu  $T_b$  od kąta  $\alpha$  obrotu fotelika,  $T_b(\alpha)=const.$ ;
- 3) model fotelika przesuwne SCSS – ruch suwliwy zapewnia prowadnica będąca parą kinematyczną postępową V klasy, o osi równoległej do płaszczyzny symetrii samochodu. Parametry modelu: kąt  $\delta$  pochylenia osi prowadnicy oraz wartość siły hamującej  $F_b$  w prowadnicy. Analogicznie do PCSS przyjęto że, moduł  $F_b$  nie zależy od wartości i kierunku przemieszczenia fotelika  $x$  wzdłuż prowadnicy,  $F_b(x)=const.$ ;
- 4) model fotelika przesuwno-obrotowego S-PCSS – realizację płaskiego ruchu obrotowo-przesuwne zapewniło połączenie fotelika z podstawą za pośrednictwem dwóch sztywno związanych ze sobą par kinematycznych V klasy: przesuwnej i obrotowej, (występujących w modelach PCSS oraz SCSS).

Zjawisko zderzenia modelowano jako skutek oddziaływania na układ fotelik-manekin fikcyjnego pola przyspieszenia odpowiadającego zderzeniom czołowym typowych współczesnych samochodów osobowych ze sztywną przeszkodą z prędkością ok. 50 km/h. Przyjęty przebieg czasowy impulsu przyspieszenia spełniał określone wymogi homologacji urządzeń przytrzymujących dzieci.

### Syntetyczny wskaźnik ryzyka obrażeń

W badaniach symulacyjnych systemów bezpieczeństwa biernego miernikiem zagrożenia pasażerów są standaryzowane biomechaniczne kryteria obrażeń określonych części ciała. Na potrzeby pracy wybrano dwanaście kryteriów obrażeń (obliczanych przez program MADYMO), które dotyczyły najbardziej narażonych, w przypadku zderzenia czołowego, części ciała dziecka:

- kryterium obrażeń głowy (HIC15);
- sześć kryteriów obrażeń szyi: cztery składowe sił i dwie składowe momentów (NIC\_FORWARD);
- cztery biomechaniczne prognozyki obrażeń szyi zgodne z różnymi kombinacjami siły osiowej oraz momentu zginającego: (NTE, NTF, NCE, NCF);
- kryterium obrażeń klatki piersiowej (CUM\_3MS).

Wartości referencyjne poszczególnych kryteriów obrażeń przyjęto na podstawie danych literaturowych uznanych za graniczne dla 3-letniego dziecka. Uzyskane wyniki symulacji zderzenia, po unormowaniu względem wartości referencyjnych, uznano za pierwotne wskaźniki kryteriów obrażeń  $k_i$ . Na tej podstawie zdefiniowano:

- syntetyczny wskaźnik ryzyka obrażeń  $Snr(k_i)$  będący sumą elementów wektora  $\{k_i\}$ ;
- procentowy wskaźnik poprawy bezpieczeństwa  $WPB(Snr)$  będący miarą korzyści z zastosowania ruchomych systemów podparcia ( $Snr_M$ ), w porównaniu do fotelika zablokowanego ( $Snr_{FCSS}$ ).

W celu oceny potencjalnych ograniczeń zastosowania fotelików ruchomych wprowadzono pojęcie strefy ruchu PMR (*Plane Motion Range*) układu fotelik-dziecko. PMR zdefiniowano jako rzut śladu przemieszczeń fotelika z dzieckiem na płaszczyznę  $XZ$  symetrii podłużnej samochodu. Wspomniany ślad tworzą nałożone na siebie klatki animacji pojedynczej symulacji modelu. W praktyce istotne są również maksymalne wymiary strefy ruchu  $L_X$  i  $L_Z$ , oraz maksymalne przemieszczenia głowy dziecka  $L_{HX}$  i  $L_{HZ}$ .

### Wyniki badań symulacyjnych

Wynik symulacji zderzenia wykonanej za pomocą modelu FCSS wykazał istotne przekroczenie wartości granicznych czterech unormowanych biomechanicznych kryteriów urazu szyi. Oznacza to, że dla przyjętych wartości referencyjnych sztywne mocowanie fotelika może stanowić poważne zagrożenie. Spotykane w praktyce sposoby mocowania fotelików na tylnym siedzeniu samochodów osobowych zapewniają pewną „podatność podparcia”, co może łagodzić skutki obserwowane na modelu FCSS.

Obszerne badania parametryczne przeprowadzone za pomocą modelu PCSS pozwoliły ocenić wpływ lokalizacji przegubu obrotowego na przebiegi charakterystyk wskaźnika obrażeń w funkcji maksymalnego kąta obrotu fotelika  $Snr(\alpha_{max})$ . Miarą skuteczności modelu PCSS jest spełnienie warunku  $\min(Snr_{PCSS}, \alpha_{max})$ , dla dopuszczalnej wartości  $\alpha_{max} = \alpha_{maxDop}$  oraz określonej lokalizacji przegubu. Dla większości analizowanych położeń przegubu znaleziono dość szerokie zakresy momentów hamujących ruch obrotowy fotelika, dla których wszystkie biomechaniczne kryteria ryzyka obrażeń są spełnione, a wskaźnik syntetyczny  $Snr_{PCSS} = Snr(\alpha_{max})$  utrzymuje się na poziomie poniżej połowy wartości  $Snr_{FCSS}$ .

Analogiczne badania parametryczne wykonane za pomocą modelu SCSS dowiodły, że dla kąta pochylenia prowadnicy  $\delta \in (0, -30^\circ)$  znaleziono takie zakresy sił hamujących  $\{F_b\}$  przesuw fotelika, dla których wszystkie biomechaniczne kryteria ryzyka obrażeń są spełnione oraz  $Snr_{SCSS} = Snr(x_{max})$  utrzymuje się na poziomie poniżej połowy wartości  $Snr_{FCSS}$ . Dla kątów  $\delta \leq -30^\circ$  nie zaobserwowano poprawy charakterystyki  $Snr(x_{max})$ .



Wyniki symulacji uzyskane za pomocą modeli PCSS i SCSS wskazują na możliwości około 50 % redukcji wskaźników ryzyka obrażeń w porównaniu z modelem FCSS. Kosztem poprawy bezpieczeństwa jest wzrost stref ruchu PMR, które są funkcją maksymalnych dopuszczalnych wartości  $\alpha_{\max\text{Dop}}$  (model PCSS) oraz  $x_{\max\text{Dop}}$  (model SCSS). Należy zaznaczyć, że w praktyce rozmiary PMR zależą również od określonych wymiarów konstrukcyjnych fotelików, które nie były znane na etapie rozważań teoretycznych.

Wyniki badań parametrycznych uzyskane za pomocą modelu S-PCSS prowadzą do następujących wniosków:

- 1) wzajemne relacje wartości oporów ruchu w parach kinematycznych realizujących obrót i przesuw fotelika decydują o charakterze przemieszczeń fotelika oraz:
  - wartości współczynnika *WPB*;
  - długości  $L_X$  strefy ruchu;
  - wartości przemieszczenia głowy  $L_{HX}$ ;
- 2) wskaźnik *WPB* przekracza 60%, (dla małych oporów ruchu) jest więc większy od wskaźników uzyskanych dla modeli PCSS oraz SCSS. Niestety, wiąże się to z osiąganiem stosunkowo dużych wartości  $L_X$  i jednoczesnym przekroczeniem dopuszczalnego zakresu przemieszczenia głowy  $L_{HX}$ ;
- 3) uwzględnienie warunku  $L_{HX} < 0,5$  m (wynikającego z Regulaminu 44 EKG ONZ) redukuje potencjalne korzyści modelu S-PCSS do modelu PCSS;
- 4) dla granicznych przypadków oporów ruchu, gdy model S-PCSS zachowuje się jak SCSS lub PCSS, widoczna jest przewaga modelu PCSS nad SCSS w zakresie wszystkich przyjętych wskaźników oceny poszczególnych rozwiązań.

Powyższe wnioski skłoniły autora do wykorzystania wyników badań symulacyjnych, wykonanych za pomocą modelu PCSS, do doświadczalnej weryfikacji rozważanych koncepcji fotelika ruchomego.

#### 4.4.3 Metody i wyniki badań doświadczalnych

##### Model doświadczalny

Weryfikację poprawy bezpieczeństwa dziecka przewożonego w foteliku mocowanym obrotowo w porównaniu z fotelikiem sztywno połączonym z karoserią zrealizowano eksperymentalnie. Próby dynamiczne przeprowadzono na stanowisku do badań zderzeniowych typu *sled test* w Laboratorium Bezpieczeństwa Pojazdów Przemysłowego Instytutu Motoryzacji w Warszawie.

Badania wykonano na manekinie Q3 podpartym w foteliku doświadczalnym, przypiętym za pomocą uprząży 5-punktowej. Manekin był wyposażony w następujące dedykowane przetworniki pomiarowe:

- a) trzy sześciosiowe przetworniki do pomiaru sił i momentów w górnej i dolnej części szyi oraz w kręgosłupie;
- b) jeden dwuosiowy przetwornik ugięcia klatki piersiowej;
- c) trzy trójosiowe przetworniki do pomiaru opóźnienia głowy, klatki piersiowej i miednicy.

Doświadczalną wersję fotelika typu obrotowego (REVO) wykonano na bazie handlowego egzemplarza fotelika typu G0/1 ISOFIX, wyposażonego w specjalnie zaprojektowany i wykonany przegub obrotowy, połączony z oryginalnym hamulcem własnej konstrukcji. Odpowiednie położenie przegubu względem siedziska fotelika zostało wcześniej określone w badaniach symulacyjnych. Niezbędną do celów porównawczych realizację modelu fotelika nieruchomego (FIX) zapewniał dodatkowy wspornik blokady przegubu.

Na potrzeby walidacji modelu PCSS (pkt 4.4.4), wyznaczono eksperymentalnie dwa parametry ruchomych części fotelika REVO: położenie jego środka masy oraz składową momentu bezwładności względem tego punktu i osi równoległej do osi przegubu obrotowego.

Wykonano pięć testów zderzeniowych (2 testy na modelu FIX i 3 testy na modelu REVO). Wszystkie testy przeprowadzono na jednym egzemplarzu fotelika wyposażonego w specjalny przegub/hamulec obrotowy oraz dla jednej nominalnej prędkości zderzenia czołowego równej 27,6 km/h. Rejestracja wszystkich sygnałów obejmowała przedział czasowy (- 100 ÷ 3500) ms. Ze względów praktycznych ograniczono analizę wyników do zakresu  $t = (0 \div 500)$  ms, ponieważ dla  $t \geq 500$  ms ustają procesy przejściowe.

#### Wyniki testów zderzeniowych

W każdym z pięciu przeprowadzonych testów zderzeniowych rejestrowano:

- a) przebieg opóźnienia wózka jeźdźcy z przymocowanym do jego ramy badanym fotelikiem doświadczalnym (w wersji FIX lub REVO);
- b) 27 sygnałów przemieszczeń, przyspieszeń, sił i momentów sił pochodzących z czujników manekina;
- c) przebieg eksperymentu przy użyciu 2 szybkich kamer cyfrowych.

Analizę porównawczą skuteczności podparcia typu FIX oraz REVO przeprowadzono na podstawie:

- 1) przebiegów uśrednionych sygnałów z czujników manekina (oddzielnie dla wersji FIX i REVO);
- 2) unormowanych kryteriów obrażeń – unormowano (względem wartości referencyjnych) średnie wartości maksymalne odpowiednich sygnałów oraz ich odchylenia standardowe.

Uzyskane wyniki testów zderzeniowych prowadzą do następujących konkluzji:

- cechą wspólną większości zarejestrowanych sygnałów za pomocą modelu REVO jest ich podobieństwo do sygnałów modelu FIX oraz opóźnienie występowania charakterystycznych pików o wartości około (25 ÷ 75) ms;
- ekstremalne wartości sygnałów zarejestrowanych na foteliku REVO są przeważnie znacznie mniejsze od ich odpowiedników w modelu FIX. Jest to szczególnie istotne w przypadku tych kryteriów, których unormowane wartości FIX są największe;
- przyjęte kryteria zagrożeń głowy i szyi nie zostały przekroczone dla obu wersji podparcia. Fakt ten ma jednak ograniczone znaczenie z uwagi na stosunkowo małą prędkość zderzenia w porównaniu prędkością testów homologacyjnych (50 km/h);
- można uznać, że przewaga modelu REVO w porównaniu do modelu FIX została potwierdzona doświadczalnie.

#### **4.4.4 Walidacja modeli symulacyjnych PCSS i FCSS**

Ważnym etapem procesu modelowania jest walidacja modelu, określająca stopień zgodności wyników symulacji z wynikami eksperymentów. Porównanie wyników może mieć charakter zarówno jakościowy jak też ilościowy. W pracy zrealizowano oba typy walidacji, po uprzednim ustaleniu wartości liczbowych parametrów modeli komputerowych na podstawie modeli doświadczalnych FIX oraz REVO.

#### Walidacja jakościowa

W ramach walidacji jakościowej dokonano wizualnego porównania animacji komputerowych z zapisem filmowym testów zderzeniowych. Przedmiotem analizy była ocena czasowej zgodności położenia głowy i kończyn manekinów (dla modeli FCSS i FIX) oraz dodatkowo zgodności kątów obrotu fotelika w przypadku modeli PCSS i REVO.

Porównanie odpowiednich klitek wskazuje na ich duże podobieństwo, pozwalające uznać, że modele symulacyjne FCSS i PCSS są pod tym względem adekwatne do modeli doświadczalnych FIX i REVO. Nieznaczne różnice przemieszczeń manekina w porównaniu z animacją można wytłumaczyć:

- brakiem 100% symetrii usadzenia manekina w foteliku w kolejnych testach;
- obecnością luzów w paskach barkowych manekina, które nie występują w modelu symulacyjnym;
- zmianą kąta ustawienia kamery względem modelu doświadczalnego w trakcie rejestracji poszczególnych klitek.

#### Walidacja ilościowa

Przyjęta w pracy metoda walidacji ilościowej polegała zasadniczo na porównaniu procentowych współczynników redukcji zagrożenia  $WRZ$  obliczonych na podstawie wyników eksperymentów –  $WRZ_{Test}$  oraz wyników symulacji –  $WRZ_{Sym}$ . Przeprowadzono również walidację pod kątem zgodności przebiegów czasowych

Wyniki walidacji ilościowej prowadzą do następujących wniosków:

- dla większości kryteriów obrażeń współczynniki  $WRZ_{Test}$  i  $WRZ_{Sym}$  mają zadowalające wartości potwierdzające wysoką skuteczność podparcia REVO;
- przeważa dobra zgodność ilościowa między odpowiadającymi sobie współczynnikami  $WRZ_{Test}$  oraz  $WRZ_{Sym}$ , co świadczy o adekwatności modelu symulacyjnego do modelu doświadczalnego w zakresie przyjętego celu badań;
- zaobserwowano rozbieżność wartości współczynników  $WRZ_{Test}$  i  $WRZ_{Sym}$  dotyczących składowej siły  $F_x$  oraz składowej momentu gnącego  $M_y$  w górnym fragmencie szyi. Wyjaśnienie tego problemu wymaga ulepszenia modeli komputerowych i powtórzenia badań doświadczalnych;
- powodem występowania opóźnień zarejestrowanych sygnałów doświadczalnych względem wyników symulacji okazał się hamulec, który z założenia miał realizować stałe opory ruchu obrotowego fotelika. Należy uznać za zasadne prowadzenie badań wpływu charakterystyki hamulca na poprawę skuteczności modelu REVO.

#### **4.4.5 Perspektywy dalszych badań i możliwości ich wykorzystania**

Zdaniem autora istnieje uzasadnienie kontynuacji pogłębionych badań teoretycznych i doświadczalnych, których wyniki mogłyby być przydatne dla przyszłych konstruktorów CRS mocowanych ruchliwie.

W zakresie badań teoretycznych należy:

- udoskonalić walidację modeli symulacyjnych FCSS i PCSS;
- wyposażyć model PCSS w funkcyjną realizację momentu hamującego  $T_b(\alpha) \neq \text{const.}$ ;
- sprawdzić dodatkowo skuteczność modelu PCSS dla kierunków siły zderzenia z zakresu  $\pm 60^\circ$  względem kierunku osi wzdłużnej pojazdu, które wg obejmują około 54% wszystkich przypadków zderzeń.

W przypadku badań doświadczalnych należy:

- zastosować specjalny hamulec, umożliwiający płynną regulację wartości momentu hamującego, dodatkowo wyposażony w:
  - mechanizm progowego zadziałania, który blokuje obrót fotelika, gdy siły bezwładności nie przekraczają określonej wartości minimalnej będącej skutkiem np. gwałtownego hamowania lub zderzenia z małą prędkością;
  - elastyczny zderzak ograniczający maksymalny kąt obrotu fotelika.





- wykonać większą liczbę testów zderzeniowych na kilku egzemplarzach badanych typów podparcia (fotelików), przy różnych prędkościach zderzenia, w tym jednej zgodnej z warunkami homologacji fotelików dla dzieci.

#### **5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo - badawczych**

Do ważnych osiągnięć naukowo - badawczych zaliczam:

- Sprzęgło membranowe poprzeczno-szczelinowe (Patent – NR 201375), które było przedmiotem mojej rozprawy doktorskiej;
- Skuteczną realizację modernizacji Maszyny Obciążnikowej 500kN - Państwowego Wzorca Siły, w której miałem swój znaczny wkład zarówno naukowy jak też techniczny;
- Udział w pracach nad prototypami Parapodium PW, które niosą nadzieję poprawy jakości życia osób z porażeniem kończyn dolnych.

*M. Świetliś*