

# **RESULTS OF PRELIMINARY EXPERIMENTAL RESEARCH AND COMPUTER SIMULATION CONCERNING ASSESSMENT OF INJURY RISK OF OCCUPANTS OF MILITARY OFF-ROAD VEHICLE IMPACTING AN OBSTACLE**

**Leszek Orłowski**

*Wojskowy Instytut Techniki Panczernej i Samochodowej  
Okuniewska 1, 05-070 Sulejówek, Poland  
tel.: +48 22 6811012, fax: +48 22 6811073  
e-mail: orlowski@witpis.mil.pl*

**Michał Pędzisz, Cezary Rzymkowski**

*Politechnika Warszawska  
Instytut Techniki Lotniczej i Mechaniki Stosowanej  
Nowowiejska 24, 00-665 Warszawa, Poland  
e-mail: mpedzisz@meil.pw.edu.pl, czarek@meil.pw.edu.pl*

## **Abstract**

*A survey was made on the available designs of guard rails, gates and other structures of the type, the “Dzik”-type vehicle might have to ram into during some operations. Basing on the conducted analyses, two typical models of those barriers were constructed. The first, rigid barrier had a form of concrete block of 6000 kg, while the flexible one was made of steel sections. Since no “Dzik” vehicle was available, a series of preliminary experiments were made on a “STAR” truck which had a similar frame and a bumper located at the same level. The vehicle was subjected to a proper load and during the experiment it impacted the constructed barriers. In the course of crash the values of most important parameters (forces, accelerations) were registered. The results obtained allowed for parametrical identification of a numerical model developed using the MADYMO software. Numerical simulations were performed for different crash speed with the numerical models of human and dummies adapted accordingly to take into consideration that the crew is supplied with bullet-proof jackets and helmets. Both the “sled-test” type numerical simulations, in which the accelerations measured in experiment were employed (after proper adjustment, for higher velocities), and simulations of the complete barrier-vehicle-occupant system were performed.*

*Basing on the numerical simulation results the level of risk the crew is exposed to have been estimated, proving the necessity for developing a proper crew protection system. The scope of further experimental and numerical investigations, to achieve the goal, has been determined.*

**Keywords:** *off-road vehicle, impact, passive safety, computer simulation, injury risk*

# **WYNIKI WSTĘPNYCH BADAŃ EKSPERYMENTALNYCH ORAZ KOMPUTEROWEJ SYMULACJI ZAGROŻENIA OSÓB W TRAKCIE UDERZENIA W PRZESZKODĘ WOJSKOWEGO SAMOCHODU TERENOWEGO**

## **Streszczenie**

*Przeprowadzono przegląd stosowanych rozwiązań w zakresie budowy ogrodzeń, bram i podobnych konstrukcji, dla których może pojawić się konieczność taranowania w trakcie akcji z wykorzystaniem pojazdu typu „Dzik”. Na podstawie przeprowadzonych analiz opracowano dwie typowe przeszkody modelowe. Przeszkodę sztywną zrealizowaną w postaci betonowego bloku o masie 6000 kg na betonowym podłożu i przeszkodę podatną w postaci*

stalowych kształtowników. Dla tak zbudowanych modeli przeszkód przeprowadzono serie badań doświadczalnych (dla bezpiecznych zakresów prędkości zderzenia) wykorzystując, wobec okresowego braku możliwości użycia pojazdu „Dzik”, odpowiednio obciążony samochód STAR o zbliżonej konstrukcji ramy i takim samym poziomie zderzaka. Przeprowadzone badania eksperymentalne, w których rejestrowano przebiegi istotnych wielkości (sił, przyspieszeń) w trakcie zderzeń, pozwoliły na identyfikację parametrów modelu symulacyjnego opracowanego w środowisku systemu MADYMO. Przeprowadzono szereg symulacji komputerowych (dla różnych prędkości zderzenia) z wykorzystaniem komputerowych modeli człowieka i manekinów z bazy MADYMO. Oryginalne modele, opracowane dla zastosowań „cywilnych”, zostały odpowiednio zmodyfikowane — uwzględniono fakt wyposażenia załogi pojazdu w czasie interwencji w kamizelki kuloodporne i helmy. Przeprowadzono zarówno badania typu „sled-test”, w których jako wymuszenie wykorzystano bezpośrednio przyspieszenia rejestrowane w czasie badań eksperymentalnych (odpowiednio przeskalowane dla większych prędkości), jak też badania pełnego modelu przeszkoda-pojazd-załoga.

Wykorzystując wyniki symulacji komputerowych określono poziom zagrożeń dla załogi pojazdu uzasadniający potrzebę opracowania odpowiedniego systemu zabezpieczenia załogi. Określono również kierunki oraz zakres niezbędnych dalszych prac eksperymentalnych i symulacyjnych.

**Słowa kluczowe:** samochód terenowy, uderzenie, bezpieczeństwo bierne, symulacja komputerowa, ryzyko obrażeń

## 1. Sformułowanie problemu

Dotychczas nie podejmowano problemu badawczego ochrony kierowcy i pasażerów wojskowego samochodu terenowego przed skutkami uderzenia w przeszkodę. W odróżnieniu od aut osobowych, które celowo zostały wyposażone w „strefę kontrolowanego zgniotu przedniej części nadwozia”, wojskowe samochody terenowe charakteryzuje sztywna konstrukcja układu: zderzak – podłużnice ramy.

W przypadku uderzenia samochodu osobowego, „strefa kontrolowanego zgniotu” pochłania 30...40 % energii udaru [7]. Należy podkreślić, że problematyka uderzenia, w odniesieniu do samochodów wojskowych nabrała znaczenia po wprowadzeniu do użytkowania samochodów patrolowo-interwencyjnych „Dzik” 1 (dla policji), „Dzik” 2 (dla żandarmerii). Samochody „Dzik”, zgodnie z wymaganiami użytkowników, zostały konstrukcyjnie przystosowane do taranowania lekkich przeszkód, takich jak: płoty metalowe, bramy ogrodzeniowe, wrota itp. Mogą także spychać inne samochody, a także lekkie barykady. Fotografie samochodów „Dzik” 1 i 2, wyposażonych w mocne zderzaki przednie, przedstawiono na rys 1. W trakcie badań funkcjonalnych stwierdzono, że ograniczeniem możliwości taranowania, jest zagrożenie dla załogi, wynikające z wysokiego poziomu obciążenia siłą bezwładności przy uderzeniu w przeszkodę i brakiem urządzeń zabezpieczających kierowcę i inne przewożone osoby.

(1a)(1b)



Rys. 1. Samochody „Dzik”: policyjny „Dzik 1” (1a) i przeznaczony dla żandarmerii „Dzik 2” (1b)  
Fig. 1. „Dzik” vehicles: “Dzik 1” for police (1a) and “Dzik 2” for military police (1b)

Należy podkreślić, że wszystkie wojskowe samochody terenowe, mają podobne rozwiązanie konstrukcyjne sztywnej ramy pojazdu połączonej ze sztywnym zderzakiem. W trakcie

przypadkowego uderzenia w przeszkodę lub inny pojazd, zagrożenie załogi samochodu wojskowego będzie znaczne (samochody wojskowe poruszają się nie tylko po drogach gruntowych i poligonach, lecz są także uczestnikami ruchu na drogach publicznych i mogą uczestniczyć w kolizjach lub wypadkach drogowych).

Analogiczne problemy stosunkowo wysokiego poziomu zagrożenia dotyczą także cywilnych samochodów, które mają sztywną konstrukcję ramową. Należy zwrócić uwagę na niedostatek uregulowania prawnego, w tym pozostawienia do decyzji wytwórcy przeprowadzenia badań homologacyjnych wg regulaminu nr 94 (szczegółowy zapis brzmi: „*Niniejszy regulamin dotyczy pojazdów samochodowych kategorii M<sub>1</sub> o całkowitej dopuszczalnej masie nieprzekraczającej 2,5 t: pojazdy o większej masie mogą być homologowane na życzenie wytwórcy*” [6]).

Samochody wojskowe są zwolnione z obligatoryjnych badań homologacyjnych, prowadzonych — dla samochodów cywilnych — wg odpowiednich Regulaminów EKG ONZ [5, 6]. Jest to jedna z przyczyn powodujących, że dotychczas nie podejmowano prac badawczych dotyczących zabezpieczenia załogi takich pojazdów, w przypadku uderzenia.

Narażenie załogi wojskowego samochodu jest więc znacznie wyższe, niż w aucie osobowym. Syntetyczne zestawienie cech samochodu osobowego oraz wojskowego, terenowego przedstawiono w tabeli 1.

Tab. 1. Zestawienie czynników wpływających na bezpieczeństwo bierne samochodów osobowych i wojskowych pojazdów terenowych

Tab. 1. Comparison of passive safety aspects in case of passenger cars and military, off-road vehicles

	Samochody cywilne	Samochody wojskowe
Warunki użytkowania	– drogi publiczne	– bezdroża, drogi gruntowe – pokonywanie przeszkód – drogi publiczne (często jako pojazdy uprzywilejowane)
Cechy konstrukcyjne	– podatna „strefa kontrolowanego zgniotu” – sztywna „klatka bezpieczeństwa” dla osób	– mocny zderzak osadzony sztywno na podłużnicach ramy
Urządzenia bezpieczeństwa biernego	– pasy 3-punktowe z napinaczami – poduszki i kurtyny powietrzne – zagłówki, miękki „kokpit” – „łamana” kierownica	– pasy 3-punktowe
Poziom narażenia użytkowników	– znacząco zmniejszony poprzez cechy konstrukcyjne	– bardzo wysoki
Ochrona użytkowników	– wysoki poziom ochrony dzięki urządzeniom bezpieczeństwa biernego	– bardzo niski poziom ochrony

## 2. Wyniki wstępnych badań eksperymentalnych

Badania przeprowadzono w ramach projektu badawczego MNiSW nr 0 T00B 025 29, realizowanego przez zespół pracowników Pracowni Metod Komputerowych Biomechaniki i Inżynierii Bezpieczeństwa ViSEB (Politechnika Warszawska, Wydział MEL) oraz Wojskowego Instytutu Techniki Pancerniej i Samochodowej [3, 4]. Wobec okresowego braku możliwości użycia pojazdu „Dzik”, wykorzystano odpowiednio obciążony (łączna masa 5800 kg) samochód STAR 944 o zbliżonej konstrukcji ramy i takim samym poziomie zderzaka (rys 2a).

(2a)



(2b)



Rys. 2. Stanowisko pomiarowe – uderzenie samochodu Star 944 w blok betonowy o masie 6000 kg (2a) i przykład wyników – przyspieszenie wzdłużne w funkcji czasu, dla prędkości uderzenia 8 km/h (2b)

Fig. 2. Experimental stand – impact of the STAR 944 truck into concrete 6000 kg block (2a) and an example of experimental results – acceleration vs. time for impact speed equals 8 km/h (2b)

Podczas prac nad metodyką badawcza wykorzystano procedurę zawartą w Regulaminie nr 94, który dotyczy zabezpieczenia użytkowników pojazdów w razie zderzenia czołowego [6]. Ze względu na brak możliwości, w przedstawianych badaniach wstępnych nie wykorzystano typowego rozwiązania z manekinem typu Hybrid III. Prędkość uderzenia ograniczono do 8 km/h, co nie stanowiło zagrożenia dla kierowcy. Przebiegi impulsu przyspieszenia wzdłużnego rejestrowano za pomocą czujników przymocowanych do ramy fotela. Typowy przebieg przyspieszenia w funkcji czasu pokazano na rysunku 2b. Przykłady wartości maksymalnych uzyskanych dla różnych testów zostały przedstawiono w tabeli 2.

Tab. 2. Wartości maksymalne przyspieszeń, mierzonych na fotelu, dla różnych prędkości uderzenia  
Tab. 2. Maximal values of acceleration measured on the driver's seat for varying speed of impact

Charakterystyka przeszkody	Prędkość najazdu	Maksymalna wartość przyspieszenia na fotelu w kierunku jazdy	Maksymalna wartość przyspieszenia na fotelu w kierunku przeciwnym do jazdy
Sztywna	4 km/h	26 m/s <sup>2</sup>	8 m/s <sup>2</sup>
Sztywna	5 km/h	35 m/s <sup>2</sup>	14 m/s <sup>2</sup>
Sztywna	6 km/h	50 m/s <sup>2</sup>	20 m/s <sup>2</sup>
Sztywna	8 km/h	71 m/s <sup>2</sup>	46 m/s <sup>2</sup>

### 3. Badania symulacyjne

Na podstawie wyników badań eksperymentalnych opracowano zestaw parametrów do modeli symulacyjnych, których zadaniem było określenie stopnia zagrożenia dla człowieka w warunkach taranowania przeszkód dla prędkości większych niż badane doświadczalnie; a w dalszej kolejności sformułowanie granicznych bezpiecznych prędkości taranowania dla różnych przeszkód i różnego wyposażenia (z zakresu systemów bezpieczeństwa biernego) używanego pojazdu.

Zidentyfikowano i opracowano również inne parametry, niezbędne do stworzenia prawidłowego modelu symulacyjnego – elementów wyposażenia osobistego (hełmy, kamizelki



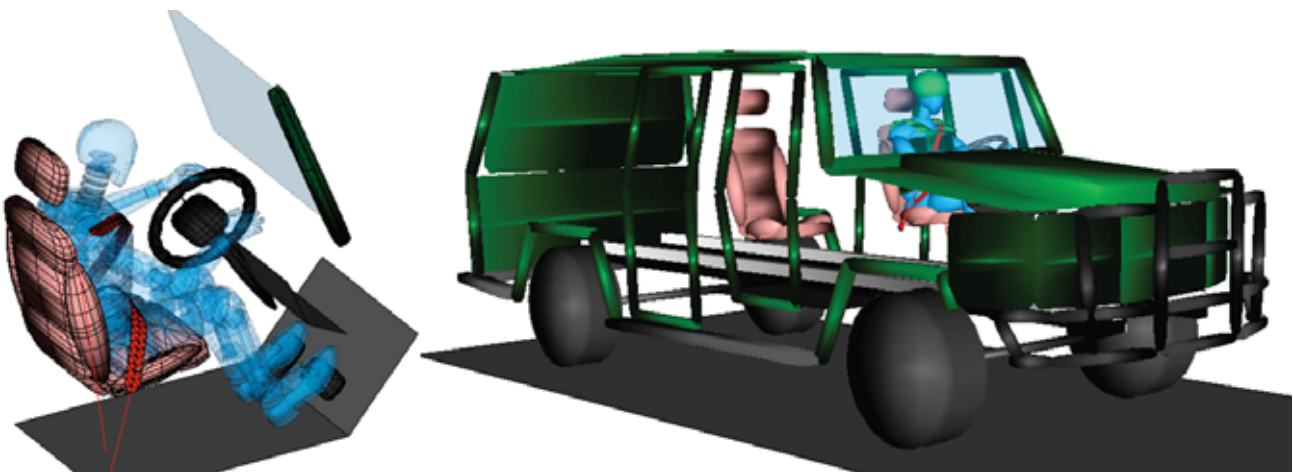
kuloodporne, elementy systemów łączności, uzbrojenia itp.) typowych użytkowników rozważanego pojazdu patrolowego-interwencyjnego „Dzik”.

Badania symulacyjne prowadzono przy wykorzystaniu pakietu do obliczeń dynamicznego zachowania się układów mechanicznych, MADYMO (MATHematical DYnamic MOdel) [1]. Służy on, w szczególności, do analizy wypadków drogowych oraz oszacowania ryzyka wystąpienia obrażeń pasażerów biorących w nich udział. Posiada najbardziej rozbudowaną bazę danych manekinów zderzeniowych wśród dostępnych programów do analizy zagadnień dynamicznych. Z tego właśnie powodu jest on używany przez największe koncerny samochodowe z całego świata. W ramach projektu zastosowano dwa podejścia do modelowania pojazdu patrolowo-interwencyjnego „Dzik”:

- wykonano tzw. „test na sankach” („sled test”) wykorzystując jako wymuszenie zewnętrzne przebiegi przyspieszenia zarejestrowane podczas przeprowadzonych badań eksperymentalnych,
- wykonano pełny test — zbudowano „jeżdżący” model samochodu oraz odwzorowano sztywny rodzaj bariery; model samochodu wykonano na podstawie dostępnych rysunków technicznych z wykorzystaniem elementów zbudowanej w pierwszym etapie kabiny, masa została dobrana w taki sposób, aby po uwzględnieniu elementów ruchomych pojazdu, całkowity ciężar odpowiadał danym katalogowym.

Na rysunkach poniżej przedstawiono opracowane i wykorzystywane w dalszych badaniach symulacyjnych, modele komputerowe.

(3a)(3b)



Rys. 3. Model kabiny pojazdu użyty w pierwszej części badań typu „sled-test” (3a) oraz całego pojazdu „Dzik” (3b)  
Fig. 3. Computer model of a cabin of the vehicle used for sled-test type simulations (3a) and the complete vehicle model (3b)

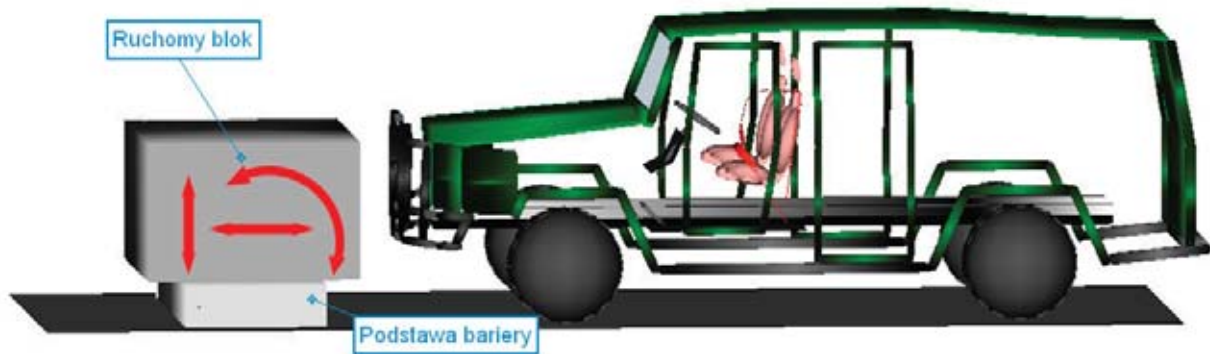
Przy budowie modelu kompletnego stanowiska testowego ważną sprawą było fizyczne odwzorowanie zachowania się uderzanej bariery. Składała się ona z dwóch spiętych ze sobą betonowych bloków o masie ok. 3 ton każdy ułożonych na betonowych płytach. Analizując nagrane podczas testów filmy stwierdzono, że tylko najniżej położona płyta pozostawała nieruchoma. Dlatego model przeszkody (rys. 4) zamodelowano jako jedno ciało sztywne o masie odpowiadającej sumarycznej masie ruchomych bloków, poruszające się ruchem płaskim.

W pierwszym etapie projektu z szerokiej bazy dostępnych w systemie MADYMO modeli człowieka wybrano 3:

- 2 manekiny Hybrid III odpowiadające 50-centyłowemu mężczyźnie – oba wykonane były jako układy wielocłonowe z reprezentacją geometryczną w postaci elipsoid (w przypadku

pierwszym), oraz opartą na elementach skończonych, tzw. „facet surface” (w przypadku drugim),

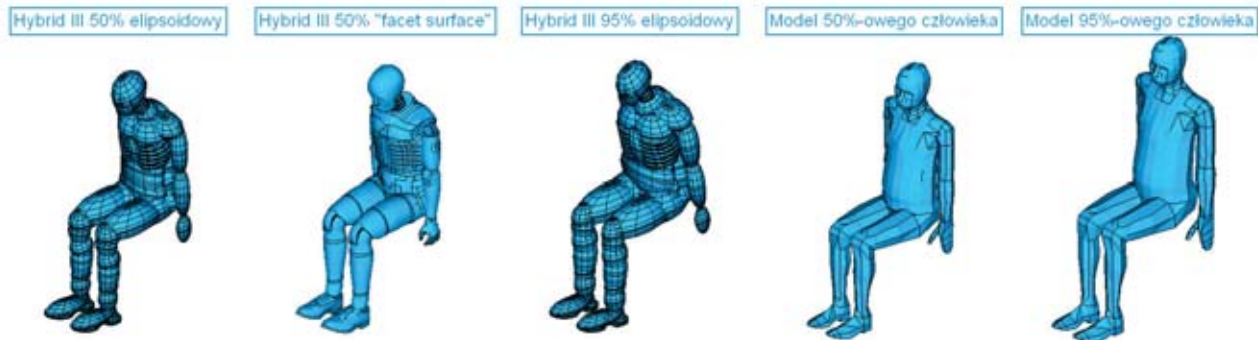
- model człowieka (50-centylowego mężczyzny) oparty o rozbudowaną strukturę członów sztywnych spiętych ze sobą za pomocą odpowiednio dobranych połączeń kinematycznych i geometrii odwzorowanej przy użyciu „facet surface“.



Rys. 4. Konfiguracja początkowa dla przyjętego scenariusza zderzenia z zaznaczeniem stopni swobody bloku w modelu bariery

Fig. 4. Initial configuration of the tested impact scenario with possible d.o.f. of the barrier model marked with arrows

Po analizie pierwszych wyników i ustaleniu dodatkowych założeń rozszerzono bazę zastosowanych odpowiedników człowieka o dwie dodatkowe pozycje — model manekina z rodziny Hybrid III 95-% oraz model człowieka reprezentujące 95-centylowego mężczyznę. Uwzględniają one budowę fizyczną typowego funkcjonariusza Żandarmerii Wojskowej, Policji oraz innych oddziałów specjalnych, dla których rozpatrywany pojazd jest dedykowany.



Rys. 5. Rodzina wykorzystanych modeli numerycznych człowieka.  
Fig. 5. Family of occupants' models used for the reported research

Zwrócono uwagę na fakt, że podczas akcji bojowej pasażerowie poruszają się w osprzęcie bojowym. W jego skład wchodzi zazwyczaj: kamizelka kuloodporna, hełm, broń.

Z tego powodu zdecydowano się uzupełnić modele o elementy posiadające największą masę (kamizelka kuloodporna i hełm), które z dużym przybliżeniem można traktować jako nieruchome względem ciała człowieka. Wprowadzają one dodatkową bezwładność do odpowiednich części ciała człowieka. W wyniku przeprowadzonych symulacji porównano odpowiedź modelu człowieka z osprzętem oraz bez jego zastosowania, zarówno pod względem możliwości wystąpienia obrażeń, jak i obciążenia przenoszonego przez elementy bezpieczeństwa biernego pojazdu.



Rys. 6. Modele 95-cyntylowego manekina/człowieka uzupełnione o kamizelkę kuloodporną i hełm  
Fig. 6. Models of the 95-% dummy/human supplied with bullet-proof jackets and helmets

Badanie zachowania się kierowcy podczas taranowania przeszkody pojazdem patrolowo-interwencyjnym „Dzik” przeprowadzono w trzech etapach.

W etapie pierwszym wykonano symulacje odwzorowujące wykonane testy eksperymentalne. W tym celu posłużono się przygotowanymi modelami „testu na saniach”. Za oddziaływanie zewnętrzne rozpatrywanego układu posłużyły przebiegi przyspieszenia zebrane z czujnika zamontowanego na fotelu kierowcy w czasie badań doświadczalnych. Przebadano 8 przypadków: 7 odpowiadających prędkości zbliżania do sztywnej przeszkody w zakresie od 4 km/h do 8 km/h oraz jeden dla zderzenia z podatną barierą przy prędkością 8 km/h.

Dla każdego typu wymuszenia wyniki symulacji zbierano za pomocą 4 typów modeli kierowcy pojazdu: dwóch manekinów Hybrid III odpowiadających 50 centylowemu mężczyźnie w wersji elipsoidowej i opartej o siatkę elementów skończonych („facet surface“), modelu człowieka 50 centylowego oraz modelu manekina z rodziny Hybrid III odpowiadającego 95 centylowemu mężczyźnie.

W następnym etapie zbadano wpływ dodatkowej masy, noszonej przez członków służb interwencyjnych w postaci elementów ochrony osobistej, na kinematykę ruchu ich ciała oraz na wybrane kryteria urazów. Użyto dwóch modeli, które reprezentowały dużego 95 centylowego mężczyznę — manekina Hybrid III oraz człowieka — dostępnych w pakiecie MADYMO, rozbudowanych o kamizelkę kuloodporną i hełm.

Przeprowadzono następujące symulacje numeryczne:

- dla wszystkich przypadków „testu na saniach” — w celu porównania uzyskiwanych wyników w zakresie dostępnych danych eksperymentalnych,
- testów z całym samochodem dla trzech wybranych prędkości uderzenia w nieodkształcalną przeszkodę: 4, 6 i 8 km/h — posłużyły one od skalibrowania działania tego modelu oraz uzyskiwanych za jego pomocą wyników.

Po zapoznaniu się z odpowiedziami układu przy prędkościach „bezpiecznych”, postanowiono rozszerzyć zakres symulowanych szybkości uderzenia. Miało to na celu podjęcie próby oszacowania granicy, do której można przystąpić do taranowania obiektów bez wyraźnego zagrożenia zdrowia poruszającej się pojazdem załogi. W tym celu sprawdzono możliwość wystąpienia obrażeń u kierowcy za pomocą przeprowadzonych symulacji numerycznych. Wykorzystano, podobnie jak w etapie drugim, tylko modele reprezentujące dużego 95 centylowego mężczyznę „ubrane” w osprzęt bojowy. Zwiększono zakres prędkości zderzenia do 30 km/h i 48 km/h (30 mph). Wykonano obliczenia z użyciem modelu całego pojazdu oraz testu z odseparowaną kabiną.

W przypadku „testu na sankach” należało wyznaczyć opóźnienie kabiny dla nowych wartości prędkości, które miało posłużyć jako oddziaływanie zewnętrzne zadawane na model. Za wyjściowy sygnał przyjęto zarejestrowany eksperymentalnie przebieg przyspieszenia dla uderzenia przy 8km/h. Został on odpowiednio przeskalowany do prędkości 48 km/h.

Wykorzystano w tym celu metodę zaproponowaną przez autoró pracy [5], w której opisano wykonany test zderzeniowy autobusu szkolnego o sztywnej konstrukcji ramy w nieodkształcalną przeszkodę, przy rozpatrywanej prędkości zbliżania. Następnie wykorzystując uzyskany trend skalowania, wykonano interpolację przebiegu przyspieszenia dla prędkości 30km/h. Dla wyznaczonych w ten sposób warunków obciążenia, przeprowadzono ostatnią serię obliczeń.

Uzyskane wyniki badań symulacyjnych — przekroczenie kilku tzw. „wskaźników obrażeń” (sił rozciągających i momentów zginających w obrębie szyi, złożonego wskaźnika obrażeń klatki piersiowej CTI–*Combined Thoracic Index*, sił w pasie ramiennym i biodrowym), określających granice tolerancji organizmu człowieka, wskazują na duże prawdopodobieństwo wystąpienia niebezpiecznych obciążeń dla prób taranowania z prędkościami 30 i 48 km/h.

#### 4. Zakres dalszych badań

Wyniki wstępnych badań eksperymentalnych oraz obliczenia symulacyjne wskazują, że istnieje zagrożenie dla załogi wojskowego samochodu terenowego, w przypadku uderzenia. Uszkodzeń ciała, szczególnie kręgów szyjnych można się spodziewać po przekroczeniu prędkości ok. 30 km/h, przy prędkości 48 km/h ryzyko bardzo poważnych obrażeń jest bardzo duże.

Potrzebne jest podjęcie dalszych prac, a w szczególności:

1. Opracowanie metodyki przeprowadzenia eksperymentalnych pomiarów uderzenia dla pojazdów typu „Dzik”, przy wykorzystaniu procedury regulaminu 94 oraz 33 [3]. Ważną kwestią jest pozyskanie manekina pomiarowego oraz zbudowanie stanowiska badawczego.
2. Przeprowadzenie zasadniczych pomiarów (z badaniami niszczącymi dla samochodu przy dużych prędkościach), umożliwiających również (oprócz wiarygodnej oceny ryzyka dla załogi) określenie, które zespoły samochodu są wrażliwe na uderzenia i wprowadzenie odpowiednich ograniczeń eksploatacyjnych samochodów wojskowych.
3. Opracowanie programu symulacyjnego, który będzie mógł być wykorzystany do oceny różnych samochodów (ze sztywnym układem rama-zderzak), aby ograniczyć liczbę badań eksperymentalnych.
4. Opracowanie pakietu „urządzeń bezpieczeństwa biernego dla załogi”, zawierającego przykładowo: pasy bezpieczeństwa 4-punktowe, specjalne kołnierze dla ograniczenia przemieszczeń kręgów szyjnych, specjalne fotele oraz zagłówki, a także zderzak wyposażony w amortyzację uderzenia (funkcja strefy zgniotu).

Przedstawione wyniki uzyskano w czasie realizacji projektu finansowanego przez MNiSW nr : 0 T00B 025 29.

#### Literatura

- [1] Dokumentacja oprogramowania MADYMO, v.6.3, TNO MADYMO BV, Holandia, 2005.
- [2] Elias, J. C., Sullivan, L. K., McCray, L. B., *Large school bus safety restraint evaluation*, 17th International Technical Conference on the ESV, Paper No. 345, 2001.
- [3] Kozłowski, G., Orłowski, L., Zając, M., *Eksperymentalne Badania procesu uderzenia samochodu w podatną oraz sztywną przeszkodę*, Journal of KONES Powertrain and Transport, Vol. 14, No. 1, pp. 235–243, 2007.
- [4] Materiały robocze projektu badawczego MNiSW nr 0 T00B 025 29 - raport wewnętrzny, 2006.
- [5] Regulamin EKG ONZ nr 33 *Jednolite przepisy dotyczące homologacji pojazdów w zakresie zachowania się konstrukcji pojazdu podczas zderzenia czołowego*.
- [6] Regulamin EKG ONZ nr 94 *Jednolite przepisy dotyczące homologacji pojazdów w zakresie zabezpieczenia ich użytkowników w przypadku czołowego zderzenia*.
- [7] Wicher, J., *Bezpieczeństwo samochodów i ruchu drogowego*. WKiŁ, Warszawa, 2004.