

Leszek Orłowski  
Wojskowy Instytut Techniki Pancernej i Samochodowej

Marek Matyjewski  
Politechnika Warszawska, Instytut Techniki Lotniczej i Mechaniki Stosowanej

## **REALIZACJA BEZPIECZEŃTWA BIERNEGO W SAMOCHODACH OSOBOWO-TERENOWYCH**

**Streszczenie:** Samochody osobowo-terenowe są użytkowane w szczególnych warunkach i podobnie jak samochody osobowe powinny być wyposażone w urządzenia bezpieczeństwa biernego. Wyniki badań eksperymentalnych wskazują na znaczące zagrożenie osób, w tych pojazdach. Potrzebne jest opracowanie specjalnych elementów bezpieczeństwa biernego oraz odnośnych metodyk badań i oceny. Omówiono cechy budowy i użytkowania wojskowego samochodu osobowo-terenowego. Przedstawiono definicje i systematykę cech bezpieczeństwa oraz odnośny proces badania i oceny samochodu osobowego, a także przeprowadzone własne badania samochodu Honker. Określono potrzeby i możliwości wyposażenia wojskowego samochodu w urządzenia bezpieczeństwa biernego.

**Słowa kluczowe:** samochód, terenowość, bezpieczeństwo.

### **1. CECHY BUDOWY I UŻYTKOWANIA WOJSKOWEGO SAMOCHODU OSOBOWO-TERENOWEGO**

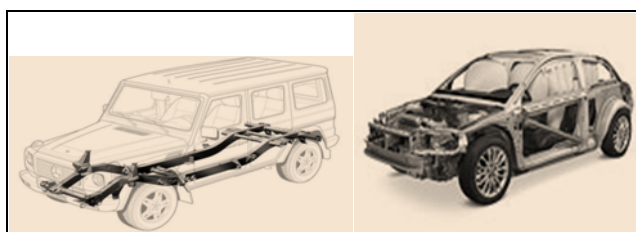
W kategorii samochodów osobowo-terenowych można wyróżnić samochody wojskowe, które odbiegają własnościami konstrukcyjnymi od cywilnych. Charakterystyczna jest sztywna rama, na której posadowiono nadwozie, przy czym stosowane są ramy o prostych podłużnicach (np.: Honker, Land-Rover) albo ramy specjalnie ukształtowane (np.: Mercedes Gelendevagen) (rys.2). W ostatnich latach wojskowe samochody wyposaża się w nadwozia typu zamkniętego. Pancerne nadwozia stosowane są w samochodach przeznaczonych dla strefy taktycznej, jako wozy bojowe (np.: Dzik) (rys 1). Wyposażenie jest ograniczone do urządzeń niezbędnych do sterowania pojazdem oraz zapewnienia funkcjonalności, wg wojskowego przeznaczenia. Masa całkowita omawianej kategorii samochodów wynosi ok. 3 000 kg (pojazdy logistyczne) i ok. 8 000 kg (pojazdy pancerne). Prędkości ruchu wynoszą odpowiednio: po szosie ok. 100 km/h, w terenie ok. 30 km/h. Liczba przewożonych osób wynosi: 6...10, z reguły na fotelach typu samochodowego,

wyposażonych w nienapinane pirotechniczne pasy 3-punktowe. Główne cechy użytkowania obejmują: jazdę po szosach: ok. 70 %, po drogach gruntowych: ok. 25 % oraz po bezdrożach (wraz z pokonywaniem przeszkód): ok. 5 %. Pojazdy są eksploatowane w procesie szkolenia, a w przypadku działań zbrojnych w bardziej intensywnym zakresie. Istotne jest przystosowanie pojazdów do użytkowania, praktycznie w każdych warunkach meteorologicznych, latem i zimą. Dla ochrony wrażliwych elementów, w tym silnika, przedniej osi, pojazdy zostały wyposażone w sztywne zderzaki przednie i tylne, a także specjalne ochrony przedniej części wozu. Umożliwia to, między innymi, taranowanie lekkich przeszkód (np.: ogrodzeń) oraz spychanie uszkodzonych pojazdów. Krajowe pojazdy nie posiadają specjalnego wyposażenia zabezpieczającego osoby, w przypadku uderzenia. Należy podkreślić, że oferowane, pancerne samochody niemieckie (np.: Dingo 2) oraz włoskie (IVECO) wyposażono w pakiety ochrony osób (w tym: specjalne fotele, pasy 4-punktowe, pałaki bezpieczeństwa, miękkie osłony).



Rys. 1. Wojskowe samochody osobowo-terenowe: z lewej Honker, w środku Land-Rover, z prawej pancerny Dzik

„Strefa zgniotu” przedniej części nowoczesnego samochodu osobowego absorbuje 60..90% energii kinetycznej uderzenia czołowego – a takiej własności nie ma układ: zderzak – podłużnice ramy, charakterystyczny małą podatnością na odkształcenie. Wspomniane różnice konstrukcyjne ilustruje rys 2. Wyniki badań [1] jednoznacznie wskazują na niebezpieczne zagrożenie osób w samochodzie terenowym, przy prędkości uderzenia większej niż 25 km/h.



Rys. 2. Porównanie samochodu osobowo-terenowego Mercedes Gelendevagen (z lewej), wyposażonego w ramę, z samochodem osobowym Volvo C30 (z prawej), posiadającym konstrukcję samonośną, w tym „strefę zgniotu” oraz wzmocniony specjalnymi elementami, przedział osobowy

Samochody osobowe – oprócz specjalnej konstrukcji wzmocnień nadwozia i strefy zgniatanej są wyposażone w szereg urządzeń zabezpieczających osoby elementami bezpieczeństwa biernego (EBB), takich jak: pasy bezpieczeństwa wraz ze specjalnymi fotelami, poduszki i kurtyny gazowe. W ostatnich latach nastąpił szybki rozwój urządzeń bezpieczeństwa w samochodach osobowych, co przedstawiono na wykresie rys. 4. Niezmiernie niski poziom bezpieczeństwa omawianych samochodów terenowych ilustruje

krzywa przerywana, na poziomie ok. 5%, spełnienia wymagań EuroNCAP. Wydaje się, że brak zabezpieczenia osób w wojskowych samochodach ma związek z niskim poziomem wiedzy i świadomości zagrożeń u osób decydujących o zakupach i użytkowaniu samochodów, mimo przesłania do MON sprawozdania końcowego z realizacji odnośnego projektu badawczego [1]. W celu opracowania konkretnych rozwiązań konstrukcyjnych – odpowiednich dla omawianych samochodów – w trakcie realizacji jest odnośny projekt badawczy [2].

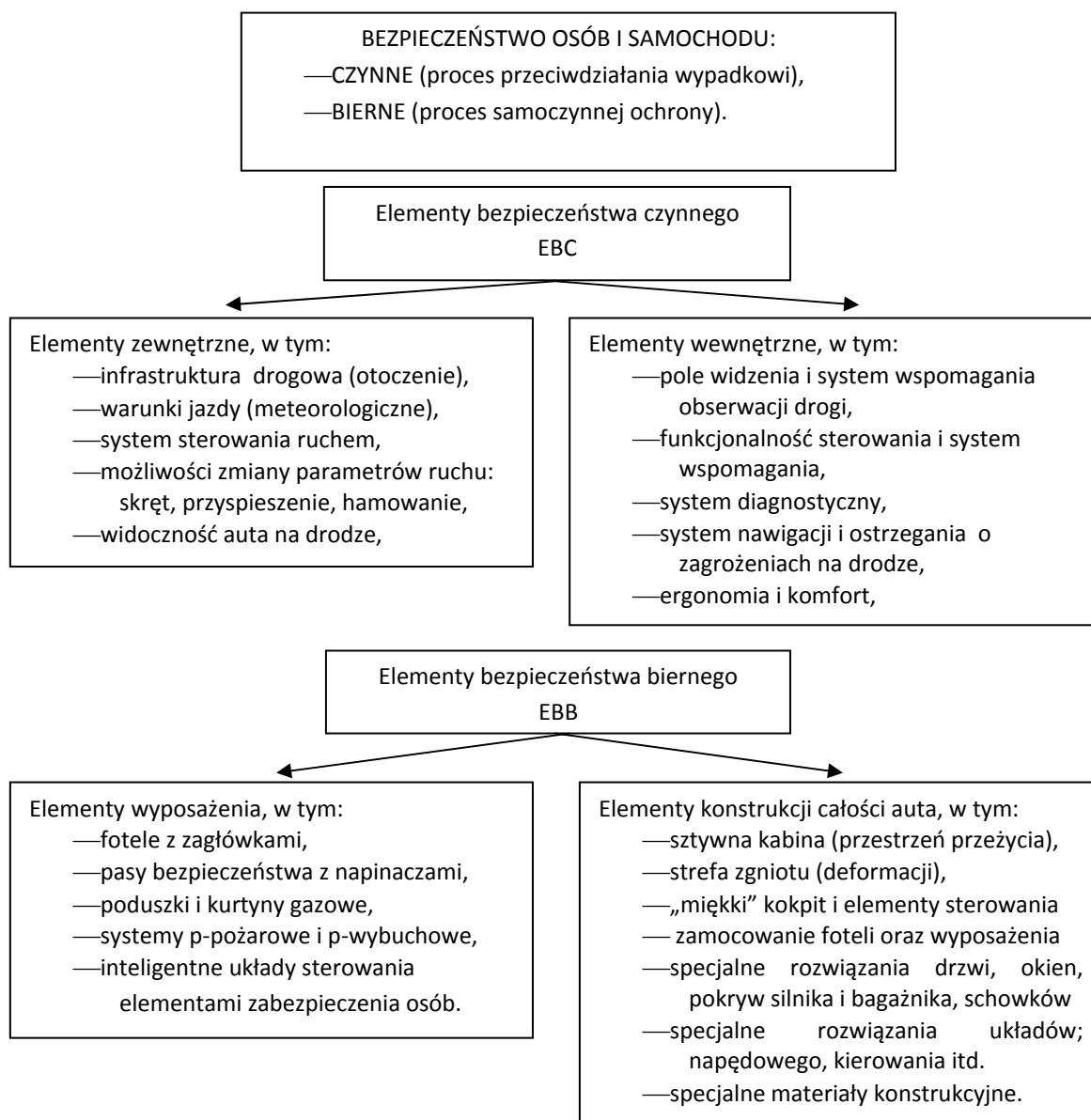
## **2. DEFINICJA I SYSTEMATYKA CECH BEZPIECZEŃSTWA SAMOCHODU**

Cechy bezpieczeństwa samochodu - w rozumieniu przewożonych osób i ładunków - są przedmiotem badań i rozwoju ze względu na potrzebę ograniczenia ryzyka jazdy. Zagadnieniami ryzyka oraz bezpieczeństwa osób w ruchu drogowym zajmuje się wielu specjalistów, w różnych aspektach, np.: projektowania drogi, organizacji ruchu drogowego, konstrukcji i wyposażenia samochodu, biomechaniki uszkodzeń osoby. Istotne dla rozważanych problemów są publikacje [3],..[10]. Stosowane są różne definicje, zależnie od wspomnianych aspektów. Dla celów istotnych w realizowanym projekcie badawczym, przyjęto, niżej omówione, definicje. Ryzyko związane z ruchem drogowym [6], [9], jest to możliwość odniesienia obrażeń przez osoby znajdujące się wewnątrz samochodu. Poziom ryzyka może być określony jako prawdopodobieństwo odniesienia obrażeń, przy czym potrzebne jest określenie konkretnego, pojedynczego zdarzenia (np. uderzenie w przeszkodę lub inny samochód) albo potraktowanie statystyczne (np. odnosząc do jednostki czasu, określonego terytorium).

Cechy bezpieczeństwa samochodu są zbiorem elementów bezpieczeństwa czynnego oraz elementów bezpieczeństwa biernego. Elementami bezpieczeństwa czynnego (EBC) są wszystkie urządzenia, które mogą być wykorzystane przez człowieka w procesie przeciwdziałania wypadkowi. Realizacja bezpieczeństwa czynnego odbywa się poprzez proces wykonywany przez człowieka z wykorzystaniem EBC: spostrzeżenie zagrożenia – przemyślenie – przeciwdziałanie wystąpienia wypadku. Szczegółowymi zagadnieniami teoretycznymi oraz eksperymentalnymi, na ogół zajmują się specjaliści badający relację: „człowiek – pojazd – otoczenie„ [14]. Należy wspomnieć, że ilościowa ocena EBC jest w przypadkach niektórych zdarzeń drogowych niemożliwa, głównie z uwagi na dużą liczbę zmiennych danych. Mimo tego, znaczące są osiągnięcia metodyczne procesu rekonstrukcji wypadków drogowych [7], [8]. Istotne znaczenie ma obecnie realizowany program badawczy Komisji Europejskiej „European Road Assessment Programme (EuroRAP) [10], [11]. Zasadniczą część programu obejmuje analiza i ocena obecnego ryzyka w ruchu po drogach. Cele szczegółowe dotyczą monitorowania zagrożeń na drogach oraz opracowanie do roku 2020 nowej strategii bezpieczeństwa ruchu drogowego, pozwalającej znacznie zmniejszyć liczbę śmiertelnych wypadków.

Elementami bezpieczeństwa biernego (EBB) są urządzenia chroniące – przed odniesieniem obrażeń - osoby przewożone wewnątrz samochodu oraz osoby znajdujące się na zewnątrz. Realizacja bezpieczeństwa biernego odbywa się poprzez proces wykonywany samoczynnie, przez określone urządzenia: wystąpienie zagrożenia lub wypadku –

informacja od sensorów – samoczynne zadziałanie EBB, w celu ochrony osób. Badanie i ocena EBB i procedur ich funkcjonowania jest realizowana poprzez testy (stanowiskowe, drogowe, mieszane) oraz symulacje komputerowe. Systematykę elementów bezpieczeństwa, opracowaną dla omawianych projektów badawczych, zawarto na rys. 3.



Rys. 3. Systematyka elementów bezpieczeństwa samochodu

### 3. BADANIE BEZPIECZEŃSTWA BIERNEGO AUT OSOBOWYCH

W 1997 r. w Unii Europejskiej powołano niezależną organizację „European New Car Assessment Programme” (EuroNCAP), której zadaniem jest testowanie nowych samochodów w zakresie bezpieczeństwa. Testy dotyczą tylko samochodów osobowych, nie są obligatoryjne (w odróżnieniu od homologacji EKG ONZ), lecz mają znaczenie komercyjne, przy wyborze samochodu przez kupującego, ze względu na ocenę bezpieczeństwa użytkownika. Obecnie testy wg metodyki EuroNCAP wykonuje 7 laboratoriów: we Francji: UTAC, w RFN: ADAC oraz BAC, w Belgii: NCAP, w Holandii: TNO, w Hiszpanii: IRIADA, w Wielkiej Brytanii: TRL (skrótów są adresem internetowym danego laboratorium).

Oceny samochodu są dokonywane na podstawie wyników badań eksperymentalnych (crash- testy z wykorzystaniem manekina Hybrid 4) oraz analizy wyposażenia w urządzenia wspomagające sterowanie i bezpieczeństwo. Od 2009 r. testy obejmują [12]:

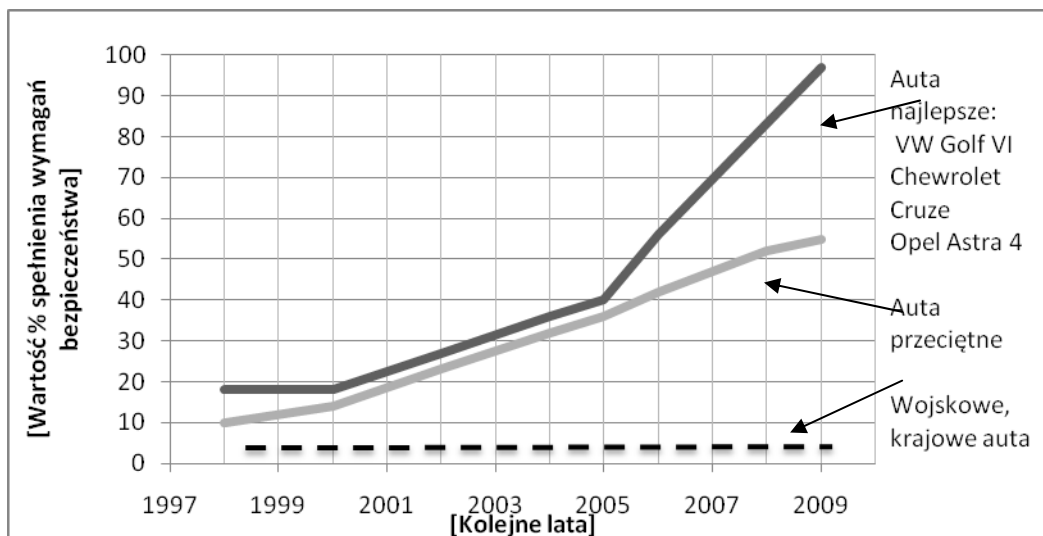
- uderzenie czołowe, offsetowe w deformowalną przeszkodę, z prędkością 64 km/h,
- uderzenie (specjalnym bijakiem) boczne, od strony kierowcy, z prędkością 50 km/h,
- uderzenie (odnośnym bijakiem) także boczne, w słup, z prędkością 29 km/h,
- uderzenie pieszego z prędkością 40 km/h, przednią częścią samochodu,.

Stosowana jest ocena punktowa oraz sumaryczny wskaźnik procentowy (za spełnienie określonych wymagań), a także nadawane symboliczne gwiazdki (maksymalnie 5 za dobrą ochronę...1 za bardzo słabą). Wyniki badań podawane są w odniesieniu do: ochrony dorosłego, dziecka (na foteliku), uderzonego pieszego oraz wyposażenia w urządzenia wspomagające funkcje sterowania oraz działające na rzecz bezpieczeństwa osób. W badaniach przeprowadzonych do 2009 r. najwyższą ocenę uzyskał samochód VW Golf VI, a mianowicie: ochrona dorosłego 97%, dziecka 84%, pieszego 61% oraz wyposażenie w systemy wsparcia sterowania i bezpieczeństwa 71%. W 2009 r. najniższa ocena to 55% , natomiast w latach 1998...2000 oceny zawierały się w przedziale 9...14%, co świadczy o postępie w zakresie bezpieczeństwa. Wykres na rys. 4 pozwala prześledzić proces podwyższania bezpieczeństwa biernego w samochodach w ostatnich latach [12].

Takiej ważnej roli społecznej, jak oceny EuroNCAP, nie spełnia procedura homologacji EKG ONZ, gdzie wymagania dotyczące bezpieczeństwa są znacząco niższe i dopiero planowane są regulaminy dotyczące wyposażenia samochodu w systemy wspomagania sterowaniem i bezpieczeństwem samochodu.

W badaniach [1] i [2] w określonym zakresie wykorzystano metodykę zawartą w regulaminie nr 94 pt. „Zabezpieczenie użytkowników pojazdów w czasie zderzenia czołowego”[13], a szczególnie:

- „Annex 3: Test procedure” (w tym: definicje mierzonych wielkości, warunki badań, aparatura pomiarowa (manekin Hybrid 3), sposób przygotowania testu zderzeniowego i proces przeprowadzenia testu oraz forma opracowania wyników),
- „Annex 4: Determination of performance criteria”, tzn. biomechaniczne kryteria obrażeń osoby.



Rys.4. Ilustracja tendencji podwyższenia bezpieczeństwa samochodu, na podstawie wyników badań prowadzonych przez NCAP. W badaniach przeprowadzonych w 2009 r, najmniejsza wartość spełnienia wymagań dotyczących ochrony dorosłych wynosiła 55% (Suzuki Alto), a największa 97% (Golf VI)

W badaniach wykonanych na rzecz wymienionych projektów [1] i [2], ze względów technicznych przeprowadzono crash-test, z prędkością 44 km/h. Odnośny test wg regulaminu 94 jest przeprowadzony z prędkością 56 km/h (mniejszą niż w testach NCAP: 64 km/h). Ilościowe wyniki pomiarów są przetwarzane wg algorytmów, na wartości wskaźników biomechanicznych i porównywane z wartościami kryterialnymi. Należy podkreślić, że łącznie jest 32 wskaźników kryterialnych, których obliczenie dokonywane jest przy wykorzystaniu programu MADYMO (MATHematical DYnamic MOdel), na podstawie wyników pomiarów uzyskanych w trakcie testu zderzeniowego [1].

Należy wspomnieć, że producenci samochodów prowadzą własne prace badawczo-rozwojowe, także w zakresie problematyki bezpieczeństwa, obejmujące wyposażenie pojazdów w urządzenia i systemy EBC oraz EBB. Obserwuje się specjalizację i standaryzację w nowoczesnych rozwiązaniach oraz produkcji zespołów mających wpływ na bezpieczeństwo.

#### **4. BADANIA BEZPIECZEŃSTWA BIERNEGO POJAZDU WOJSKOWEGO**

Do badań w ramach projektów badawczych [1] i [2] wybrano samochód Honker (rys 1), którego konstrukcja podwozia i nadwozia jest typowa dla omawianej kategorii pojazdów. W ramach projektu badawczego [1], podczas pomiarów wstępnych uderzano w sztywną przeszkodę kolejno, z prędkościami: 4, 6 i 8 km/h, natomiast crash-test przeprowadzono z prędkością 44 km/h. Masa testowanego egzemplarza, wraz z manekinem Hybrid 3, zamocowanym na fotelu kierowcy 3-punktowym pasem, wynosiła ok. 1800 kg. Wyniki pomiarów były podstawą do oceny bezpieczeństwa osób oraz zakresu uszkodzeń samochodu, a także do opracowania własnego programu symulacyjnego,

z wykorzystaniem wspomnianego standardu MADYMO. Szczegółowe rezultaty symulacji komputerowej, w tym: wykresy przyspieszeń wzdłużnych oraz zobrazowanie przemieszczenia manekina kierowcy, przedstawiono w publikacji [1]. W tabeli 1 wyszczególniono wskaźniki regulaminu nr 94, których wartości zostały przekroczone.

Tabela 1.

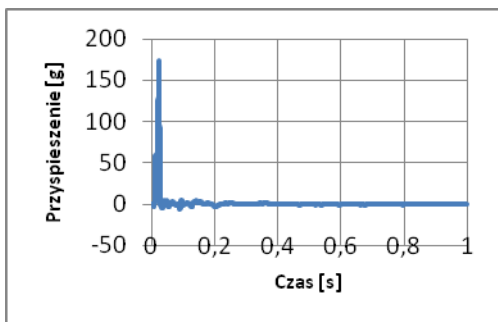
**Zbiór przekroczonych wartości krytycznych w symulacji komputerowej, wykonanej przy wykorzystaniu wyników crash-testu samochodu Honker, przeprowadzonego w ramach projektu badawczego [1]**

Nr i nazwa wskaźnika	Wartość krytyczna	Wartość wskaźnika przy 30 km/h	Wartość wskaźnika przy 48 km/h
5.Siła rozciągania kręgów szyjnych	$FNIC_T = 4170 \text{ N}$ .	1088 N	<b>4568 N</b>
8.Moment zginający kręgi szyjne	$FNIC_{B-} = 57 \text{ Nm}$ .	43,4 Nm.	<b>57,33 Nm.</b>
9.Moment zginający kręgi szyjne	$FNIC_{B+} = 57 \text{ Nm}$ .	<b>106,7 Nm.</b>	<b>166,7 Nm.</b>
18.Wskaźnik przeżycia	1	0,51	0,75 Hybrid <b>1,13 Human</b>
31.Siła rozciągająca pas ramienny	4 000 N	<b>4881 N</b>	<b>6499 N</b>
32.Siła rozciągająca pas biodrowy	4 000 N	<b>4231 N</b>	<b>7117 N</b>

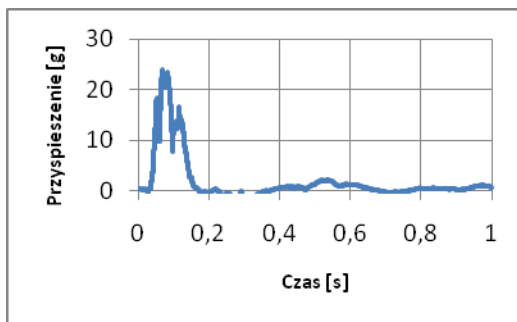
Natomiast w projekcie badawczym [2] przeprowadzono wstępne pomiary uderzenia w sztywną przeszkodę, innym egzemplarzem Honkera, z prędkościami 5,4 km/h, 9,9 km/h oraz crash-test z prędkością 44 km/h. Oprócz wielkości mierzonych przez system manekina Hybrid 3, zarejestrowano przebieg przyspieszeń wzdłużnych na ramie samochodu, na fotelu kierowcy, na silniku oraz siłę na zderzaku. Rezultaty pomiarów zostaną wykorzystane w kolejno realizowanych zadaniach, w tym: zastosowania pasów 4-punktowych, specjalnych foteli oraz opracowanie elementów amortyzujących w zderzaku samochodu. Przeprowadzone będą także badania symulacji komputerowej określonych rozwiązań EBB. Na rys. 5 przedstawiono proces crash-testu, a przykłady wyników pomiarów na rys.6 - 11.



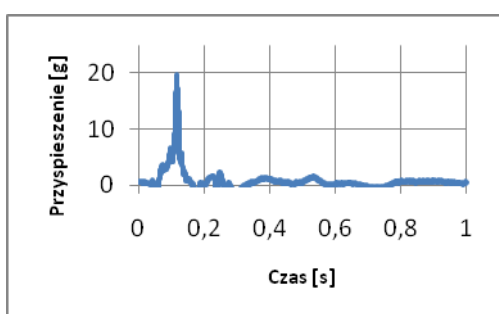
Rys. 5. Kolejne fazy uderzenia w sztywną przeszkodę z prędkością 44 km/h



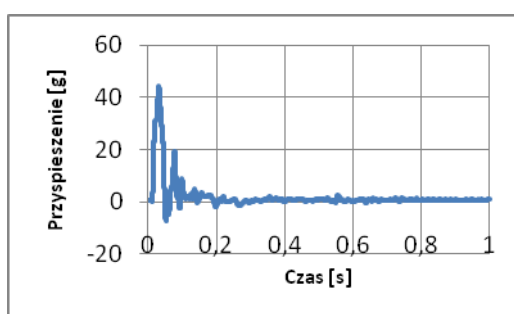
Rys. 6. Przyspieszenie wzdłużne na podłżnicy ramy. Prędkość 44 km/h



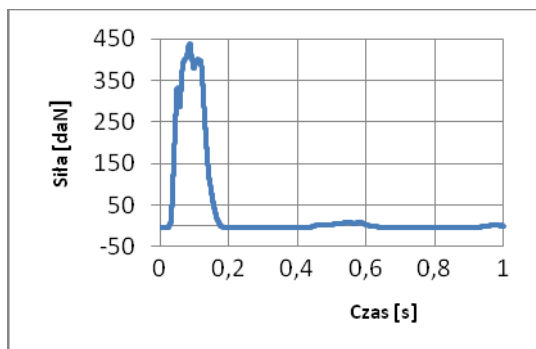
Rys. 7. Przyspieszenie wzdłużne działające na tors. Prędkość 44 km/h



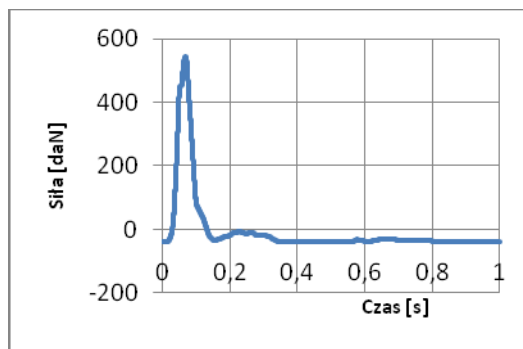
Rys.8. Przyspieszenie wzdłużne działające na głowę Prędkość uderzenia 44 km/h.



Rys.9. Przyspieszenie działające na fotel Prędkość uderzenia 44 km/h.



Rys.10. Siła rozciągania ramieniowego pasa. Prędkość uderzenia 44 km/h



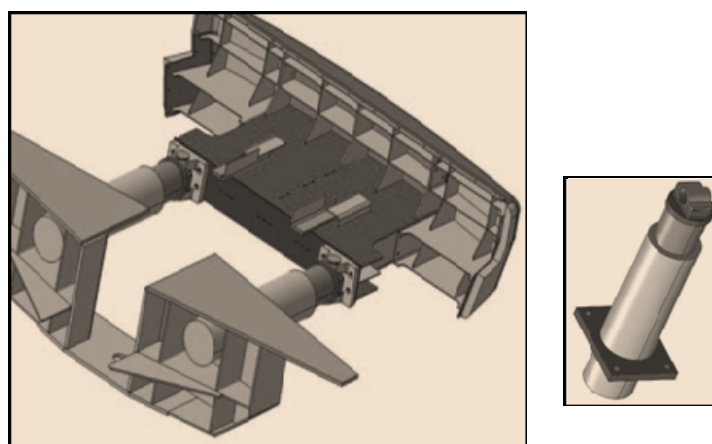
Rys. 11. Siła rozciągania biodrowego pasa. Prędkość uderzenia 44 km/h

## 5. POTRZEBY I MOŻLIWOŚCI WYPOSAŻENIA WOJSKOWEGO SAMOCHODU W URZĄDZENIA BEZPIECZEŃSTWA

Podwyższenie poziomu bezpieczeństwa osób w wojskowych samochodach osobowo-terenowych można uzyskać poprzez wyposażenie w elementy bezpieczeństwa czynnego oraz biernego, takiego typu, jak stosowane w samochodach cywilnych. Biorąc pod uwagę,



że ok. 70% przebiegu samochodu wykonują po szosie (drogach publicznych), celowe jest zastosowanie systemów wspomaganie sterowaniem, takich jak: ABS, ESC. W trakcie jazdy po drogach gruntowych i bezdrożach działanie systemów może być wyłączane. Określone korzyści może dać system diagnostyczny pojazdu oraz nawigacyjny (także wyłączany). W zakresie bezpieczeństwa biernego, uważa się za celowe i możliwe technicznie wyposażenie, takie jak: usztywnienie kabiny pałakami (szczególnie dla Honkera i Land-Rovera), pasy bezpieczeństwa 4-punktowe z napinaczami oraz specjalne fotele z zagłówkami (przystosowane do pasów 4-punktowych), poduszki i kurtyny gazowe (dla przednich foteli) oraz specjalny zderzak przedni z amortyzatorami. Ponieważ pojazdy wojskowe są użytkowane w warunkach wyższego poziomu drgań (ewentualnych uderzeń), niż samochody cywilne, konieczna jest regulacja wartości przyspieszenia wyzwającego układ napełniania gazem poduszkę (a także napinania pasów) do ustalonego eksperymentalnie poziomu. Inteligentny układ sterowania powinien, w trakcie wyzwolenia poduszek, jednocześnie odłączyć zasilanie w energię elektryczną oraz w paliwo. Na przypadek pożaru, samochód powinien być wyposażony w automatyczny system gaśniczy. Specjalny, przedni zderzak powinien pochłaniać energię uderzenia, podobnie jak „strefa zgniotu”. Rozważa się zastosowanie takich elementów tłumiących jak: amortyzator hydrauliczny, układ sprężyn pierścieniowych albo amortyzator elastomerowy (rys 12). Efektywność konkretnego rozwiązania można będzie ocenić eksperymentalnie, przy wsparciu symulacji komputerowej.



Rys. 12. Zespół amortyzujący dla tramwaju firmy Kamax SA. Z prawej amortyzator elastomerowy [15]

## Bibliografia

1. Rzymkowski C. i zespół.: Badania eksperymentalne i symulacyjne oraz określenie możliwości zwiększenia bezpieczeństwa załogi i odporności samochodu patrolowo-interwencyjnego, w warunkach taranowania przeszkód. Projekt badawczy nr.: 0 T00B 025 29. Politechnika Warszawska. 2008 r.
2. Matyjewski M. i zespół.: Opracowanie metodyk badań i oceny skuteczności urządzeń bezpieczeństwa biernego w samochodach posiadających sztywną ramę, przy wykorzystaniu symulacji komputerowej. Projekt badawczy nr.: NN509 403 436, w trakcie realizacji.
3. Orłowski L.: Problemy bezpieczeństwa kierowcy oraz pasażerów w wojskowych samochodach terenowych. Międzynarodowa Konferencja Naukowa Transport XXI w. Stare Jabłonki. 2007 r.
4. Orłowski L. Pędzisz M. Rzymkowski C.: Wyniki wstępnych badań eksperymentalnych oraz komputerowej symulacji zagrożenia osób w trakcie uderzenia w przeszkodę wojskowego samochodu terenowego. Journal of KONES. Powertrain and Transport. Vol. 14. No. 3 2007 r.
5. Orłowski L. Pędzisz M. Rzymkowski C.: Search for countermeasures to reduce injury risk of occupants of Police/military off-road vehicle. Konferencja ICRASH. Kioto. 2008 r.
6. Matyjewski M. Orłowski L.: Badanie i ocena ryzyka jazdy samochodem. XXXVIII Zimowa Szkoła Niezawodności. Materiały. Szczyrk. 2010 r.
7. Wicher J.: Bezpieczeństwo samochodów i ruchu drogowego. WKŁ Warszawa, 2002.
8. Prochowski L.: Mechanika ruchu. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności. Warszawa 2005.
9. Matyjewski M.: Analiza i ocena technicznych sposobów zmniejszania skutków wypadków drogowych. Politechnika Warszawska. Prace Naukowe Mechanika. 2009 r.
10. Jamroz K. Kustra W. Michalski L.: Ocena ryzyka na sieci dróg w Europie. XXXVIII Zimowa Szkoła Niezawodności. Materiały. Szczyrk. 2010 r.
11. www: euroncap.com.
12. www: euroncap.com.
13. Regulation N0 94. Uniform Provisions Concerning the Approval of Vehicles with Regard to the Protection of the Occupants in the Event of a Frontal Collision. EKG ONZ. Wersja 2003 r.
14. Szczepaniak C. Podstawy modelowania systemu człowiek-pojazd-otoczenie. PWN, Warszawa 1999.
15. Materiały firmy Kamax SA.

## IMPLEMENTATION OF PASSIVE SAFETY IN ALL-TERRAIN VEHICLES

**Abstract:** All-terrain vehicles are used in special conditions and like passenger cars need to be equipped with passive safety devices. The results of experimental tests prove an important risk for persons in these cars. It is necessary to conceive special passive safety elements and adequate methodologies of testing and evaluating. The characteristics of construction and exploitation of a military all-terrain vehicle have been discussed. Definitions and systematics of safety characteristics have been presented as well as the adequate process of testing and evaluating a passenger vehicle and own tests of the Honker vehicle. The needs and possibilities of equipping the military vehicle with passive safety devices have been identified.

**Keywords:** vehicle, all-terrain, safety