

EXPERIMENTAL RESEARCHES OF IMPACT PROCESS AT FLEXIBLE AND STIFF OBSTACLE

Grzegorz Kozłowski, Leszek Orłowski, Maciej Zajac

Military Institute of Armoured and Automotive Technology
Okuniewska 1 str., 05-070 Sulejówek
tel.: +48 22 68 11 046, fax: +48 22 68 11 073
e-mail: sekretariat@witpis.mil.pl

Abstract

Military terrain vehicles (ex. armoured vehicles with mass 6000 kg, station wagons, light logistic vehicles) during exploitation in heavy terrain and on roads, can perform ramming some obstacles (fencings, entry gates, lights barricades). These vehicles can drive on public roads and participate in road collisions. The crew of these military vehicles is more exposure to the risk of body injury than other civilian cars. Cross-country vehicles have stiff construction of the bumper-underframe unit, have no controlled crush zone, which in passenger cars absorbs some part of energy of frontal impact. The problem of protection of the military vehicles' crew against frontal impact has not been undertaken until now. Scientific literature includes information concerning cars equipped with special stiffening which represents "crush zone". Certification regulations (ex. Regulation 94) include tests methods of civilian passenger cars. Moreover, making full use of Hybrid 3 mannequin is very expensive. The mass of soldier equipped with helmet and bulletproof jacket is much higher than mass of the testing mannequin. Taking into account mentioned above facts, experimental tests have been performed in real conditions, hitting the car at obstacles at the speed limited up to 8 km/h. Some measurements of accelerations have been performed during frontal impact of the vehicle at flexible and stiff obstacles. Obtained results will be basis for simulational tests and to work out safety device package in order to protect the crew and other sensitive unit and elements.

Keywords: military vehicles, impact at an obstacle, crew expose

EKSPERYMENTALNE BADANIA PROCESU UDERZENIA SAMOCHODU W PODATNĄ ORAZ SZTYWNĄ PRZESZKODĘ

Streszczenie

Wojskowe samochody terenowe (np. pojazdy opancerzone o masie 6 000 kg, samochody osobowo-towarowe, lekkie samochody logistyczne), w trakcie użytkowania na poligonach i drogach, mogą także wykonywać zadania taranowania określonych przeszkód (takich jak: ogrodzenia, bramy wjazdowe, nawet lekkie barykady). Mogą poruszać się po drogach publicznych i uczestniczyć w kolizjach drogowych. Załoga omawianych samochodów wojskowych jest w wyższym stopniu narażona na uszkodzenie ciała, w porównaniu z cywilnymi samochodami osobowymi. Samochody terenowe mają sztywną konstrukcję zespołu zderzak-podłużnice ramy, nie mają więc strefy kontrolowanego zgniotu, która w samochodach osobowych pochłania część energii czołowego uderzenia. Dotychczas, nie podejmowano problemu ochrony załogi wojskowego samochodu terenowego, przed skutkami uderzenia w przeszkodę. Jedną literaturę zawiera tylko informacje dotyczące samochodów konstrukcyjnie wyposażonych w specjalne usztywnienia stanowiące „strefę zgniotu”. Także regulaminy homologacyjne (np. Regulamin EKG ONZ nr 94: Uniform provisions concerning the approval of vehicles with regard to the protection of the occupants in the event of a frontal collision), zawierają metodyki badawcze cywilnych samochodów osobowych. Ponadto, bardzo kosztowne jest ewentualne wykorzystanie manekinów typu Hybrid 3. Także masa żołnierza w hełmie oraz kamizelce kulochronnej jest znacznie wyższa od masy manekina pomiarowego. Z powyższych względów, przeprowadzono badania eksperymentalne w warunkach rzeczywistych, uderzając samochodem wojskowym w przeszkody z prędkością ograniczoną do 8 km/h. Pomierzono wartości przyspieszeń wzdłużnych na fotelu kierowcy, a także inne wielkości, w trakcie czołowego uderzenia w sztywną oraz podatną przeszkodę. Wyniki pomiarów będą materiałem wyjściowym do badań symulacyjnych oraz opracowania pakietu urządzeń zabezpieczających załogę oraz wrażliwe zespoły i urządzenia.

Słowa kluczowe: samochody wojskowe, uderzenie w przeszkodę, narażenie załogi

1. Geneza oraz cel badań

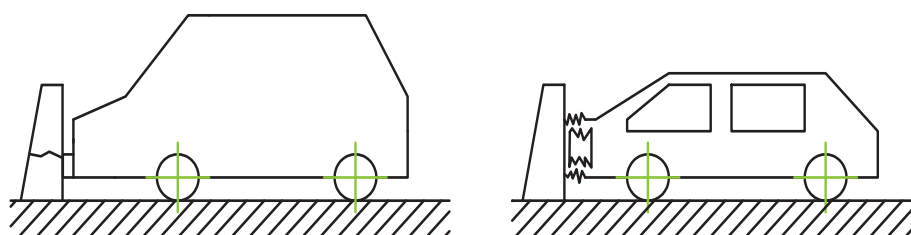
Zagadnienie uderzenia samochodu w przeszkodę, jest od wielu lat, przedmiotem badań eksperymentalnych i symulacyjnych – szczególnie ze względu na ochronę przewożonych osób. Badania oraz rozwój technicznych urządzeń zabezpieczających najczęściej prowadzą wyspecjalizowane firmy związane z producentami samochodów. W państwach europejskich obligatoryjne jest uzyskanie świadectwa homologacji, której metodyczną podstawą są regulaminy Europejskiej Komisji Gospodarczej ONZ.

Należy podkreślić, że zagadnieniami badawczymi, głównie ukierunkowanymi na ochronę osób zajmuje się w naszym państwie kilka instytutów uczelni wyższych oraz niektóre jbr-y. Koncentracja ich działalności obejmuje, między innymi, zabezpieczenie osób w przypadkach zderzeń (uderzeń samochodów), konstruowanie elementów pochłaniających energię uderzenia, a także ogólne zagadnienia bezpieczeństwa i organizacji ruchu drogowego.

Mimo, że dostępna jest obszerna literatura naukowa i techniczna dotycząca wspomnianych zagadnień, to szczegółowe raporty z badań eksperymentalnych nie są publikowane, choćby ze względów konkurencji pomiędzy producentami.

Kompendium wiedzy o procesie uderzenia samochodu zawarte jest w dwóch pozycjach książkowych o charakterze monograficznym [1, 2].

Dokonując przeglądu literaturowego, nie napotkano na relacje z badań procesu uderzenia w przeszkodę takiego samochodu, który posiada zderzak osadzony na podłużnicach ramy, łącznie stanowiących zespół o stosunkowo małej odkształcalności. Rezultaty badań, urządzenia zabezpieczające osoby, rozwiązania konstrukcyjne zespołów samochodowych itd., dotyczą samochodów, w których wyodrębnione elementy i zespoły są podatne na zgniatanie przy uderzeniu, a więc absorbują określoną część energii kinetycznej (rys1). Należy podkreślić, że samochody wojskowe są samochodami terenowymi, w których nadwozie jest osadzone na stosunkowo sztywnej, podłużnej ramie, do której jest zamocowany odpowiednio sztywny zderzak. W przypadku uderzenia czołowego, zderzak oraz podłużnice ramy samochodu ulegają niewielkim odkształceniom i współczynnik restytucji jest bliski wartości 1. Na osoby znajdujące się w takim samochodzie będzie działać siła bezwładności, tym większa, im większa jest prędkość zderzenia i sztywność konstrukcji pojazdu. Wartości siły bezwładności będą znacznie mniejsze (wg danych literaturowych 30...40 %), w przypadku czołowego uderzenia w przeszkodę samochodu, który posiada tzw. strefę kontrolowanego zgniotu. Oczywiście jest, że osoby w samochodzie terenowym (wojskowym) są znacznie bardziej narażone, w porównaniu z samochodem osobowym. Jest to istotny argument uzasadniający przeprowadzenie badań procesu uderzenia w sztywną przeszkodę przez samochód wojskowy i opracowanie odnośnych urządzeń zabezpieczających. Należy podkreślić, że oprócz przypadków uderzeń lub zderzeń związanych z ruchem drogowym lub jazdą po drogach poligonowych, niektóre samochody wojskowe mogą w sposób zamierzony taranować określone przeszkody (np. bramy, ogrodzenia, lekkie barykady lub inne samochody) lub spychać z drogi inne pojazdy. Potrzebne jest więc określenie warunków krytycznych - ze względu na bezpieczeństwo osób – wykonywania manewru taranowania oraz opracowanie urządzeń zabezpieczających załogę samochodu oraz jego wrażliwe zespoły (np. reflektory, chłodnice, radiostacje).



Rys1. Ilustracja różnicy w procesie uderzenia samochodu terenowego i osobowego
Fig 1. Difference at personal and terrain vehicle's impact

Celem podjętych prac badawczych jest:

- przeprowadzenie wstępnych pomiarów wartości przyspieszeń działających na kierowcę samochodu terenowego oraz siły uderzenia w sztywną oraz podatną przeszkodę;
- przeprowadzenie badań symulacyjnych procesu uderzenia ze względu na narażenie osób (załogi);
- wstępne określenie krytycznych warunków wykonywania określonych manewrów taranowania itp.;
- określenie kierunku dalszych prac, w tym dotyczących pakietu zabezpieczenia załogi, zmian konstrukcyjnych wrażliwych zespołów i elementów samochodu i wyposażenia bojowego oraz eksploatacyjnego.

Niniejsze badania są prowadzone w ramach projektu badawczego nr 0 T00B 025 29, realizowanego przez zespół pracowników Instytutu Techniki Lotniczej i Mechaniki Stosowanej Politechniki Warszawskiej oraz Wojskowego Instytutu Techniki Pancernej i Samochodowej.

2. Metodyka badawcza oraz relacja z pomiarów

Niniejsze badania mają charakter wstępny i będą prowadzone w warunkach rzeczywistych, z udziałem kierowcy doświadczalnego, przy wykorzystaniu typowego samochodu terenowego. Nie będzie stosowana metodyka taka jak w Regulaminach EKG ONZ nr 33 i 94 („Zachowanie się konstrukcji podczas zderzenia czołowego” i „Zabezpieczenie użytkowników pojazdu w razie czołowego zderzenia”). Regulaminy te przewidują przeprowadzenie badań niszczących samochód oraz wykorzystanie specjalnych manekinów wyposażonych w szereg sensorów pomiarowych. Badania takie są kosztowne i mają sens w przypadku kontroli konstrukcji samochodu wraz z urządzeniami zabezpieczającymi osoby przed odnośnymi narażeniami. Oczywiście przeprowadzenie testów wg wspomnianych regulaminów będzie potrzebne, w celu oceny efektywności zmian konstrukcyjnych samochodu i wyposażenia go w urządzenia ochrony załogi i wrażliwych zespołów.

W obecnym etapie badawczym przyjęto następujące założenia:

- obiektem badań będzie samochód terenowy Star 944 o masie 5800 kg;
- sztywną przeszkodą będzie (2 częściowy) blok betonowy o łącznej masie 6 000 kg;
- podatną przeszkodą będzie specjalnie opracowana bramka o umownym współczynniku sztywności 180 000 N/m;
- prędkość uderzenia będzie stopniowana w zakresie 4...10 km/h (ograniczeniem jest bezpieczeństwo kierowcy);
- uderzenia w przeszkodę będą czołowe, wykonywane poprzez typowy zderzak samochodu;
- rejestrowane będą wartości:
 - 1/ przyspieszenia wzdłużnego działającego na fotel kierowcy w funkcji czasu,
 - 2/ siły uderzenia (czujniki zamontowane na zderzaku samochodu);
 - 3/ prędkość jazdy w chwili uderzenia;
 - 4/ inne wielkości, jak np. przemieszczenia chłodnicy, drgania wymuszone przez pracę silnika itd.

Przebiegi, zarejestrowane w trakcie badań, przetworzono na postać cyfrową. Korzystając z ustalonych wcześniej poziomów wzmocnień i skalowania torów pomiarowych mikrokomputer sterujący dokonał przetworzenia odnośnych danych.

Zastosowany układ pomiarowo-rejestrujący, zapewniał możliwość zapisu sygnałów w paśmie częstotliwości 0÷1000 Hz.

Układ pomiarowy składał się z następujących elementów:

- 2 szt. przetworników drgań PCB M325B01 o czułości 100mV/g, zakresie pomiarowym $\pm 50g$ i paśmie przenoszenia 0,1÷6500 Hz,
- 1 szt. przetwornika drgań PCB M350A13 o czułości 0,1mV/g, zakresie pomiarowym $\pm 10000g$ i paśmie przenoszenia 0,1÷7000 Hz,
- 2 sztuk czujników siły CL-18 o czułości 2,17 mV/V, zakresie pomiarowym 200 kN,
- 1 szt. czujnika przemieszczeń W50 K o zakresie pomiarowym ± 50 mm,
- czujnika DV1 Correvit oraz nadajnika impulsów TTL typu PFI 60,
- modułu rozszerzającego DEWE RACK-48 wraz ze wzmacniaczami sygnału,
- rejestratora wielokanałowego DEWETRON 2000 z kartą pomiarową A/D AT-MIO-64E3.

Czujniki siły zamontowane były na zderzaku przednim na przedłużeniu ramy pojazdu. W tym samym miejscu zamontowane były czujniki określające przyspieszenia ramy. Na fotelu kierowcy zamontowano czujnik przyspieszeń.



Rys 2. Widok zamontowanych czujników przyspieszeń do ramy pojazdu (czujniki o zakresach ± 50 g i ± 10000 g)
Fig. 2. Accelerations sensors (range $\pm 50g$ and $\pm 10000g$)



Rys. 3. Widok czujnika na fotelu kierowcy (zakres $\pm 50g$)
Fig. 3. Acceleration sensors at the driver's seat (range ± 50 g)



Rys 3. Czujnik przemieszczeń poziomych chłodnicy samochodu
Fig 3. Sensor of car's radiator translation

Charakterystyka przeszkody „sztywnej” jest następująca:

Przeszkodę sztywną stanowiły 2 bloki betonu o masie 3000 kg każdy, umieszczone i zakotwione na płytach betonowych, w sposób uniemożliwiający ich poziome przemieszczenie.



Rys. 4. Najazd na sztywną przeszkodę
Fig. 4. Impact at stiff obstacle

Charakterystyka przeszkody „podatnej” jest następująca:

Przeszkodę podatną stanowiła konstrukcja wykonana z profili stalowych o przekroju kwadratowym 60x60x3 mm, w postaci podwójnej ramy (dwóch segmentów). Określony doświadczalnie umowny współczynnik sztywności (stosunek siła-ugięcie) w zakresie odkształceń sprężystych wynosił: $180000 \left[\frac{N}{m} \right]$.



Rys. 5. Określanie sztywności przeszkody podatnej jednoramowej
Fig. 5. Determination of stiffness characteristic of flexible obstacle

3. Wyniki pomiarów

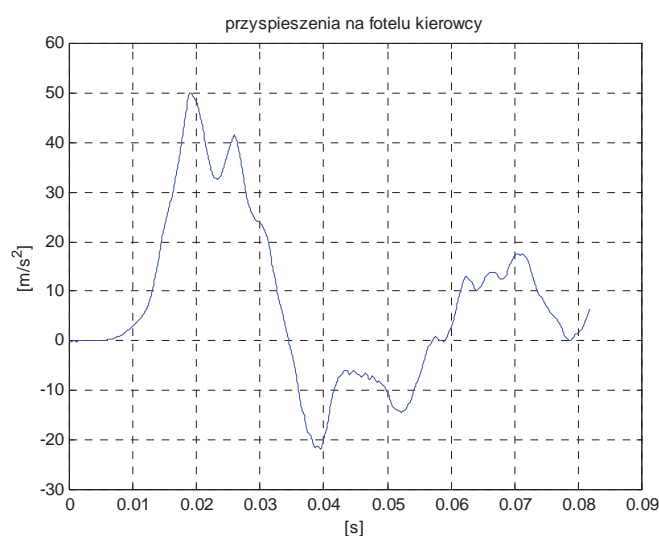
Pomiary przeprowadzono latem 2006 r. w odpowiednio dobrych warunkach meteorologicznych, na suchej nawierzchni i przy temperaturze otoczenia ok. 20 °C. Wyniki pomiarów zostały zarejestrowane i odpowiednio przetworzone do postaci graficznej i odnośnych wartości liczbowych. Zbiór wyników pomiarów przedstawiono w tabeli 1.

Wartości impulsowej siły bezwładności (odpowiednio oddziałującej przez czas trwania impulsu przyspieszenia) obliczono wg zależności $F = m \cdot a$, gdzie $m = 100$ kg i reprezentuje masę kierowcy wyposażonego w kamizelkę kuloodporną i hełm. Poszczególne wartości przyspieszeń a [m/s^2] zostały zmierzone przez czujniki zamontowane na fotelu, lecz dla zobrazowania stopnia narażenia załogi samochodu, przyjęto że działają one na ciało kierowcy (oczywiście odnośne wartości można obliczyć; sprowadzone do środka masy kierowcy będą nieco większe).

Na odnośnych rysunkach przedstawiono graficzne przykłady wyników poszczególnych pomiarów.

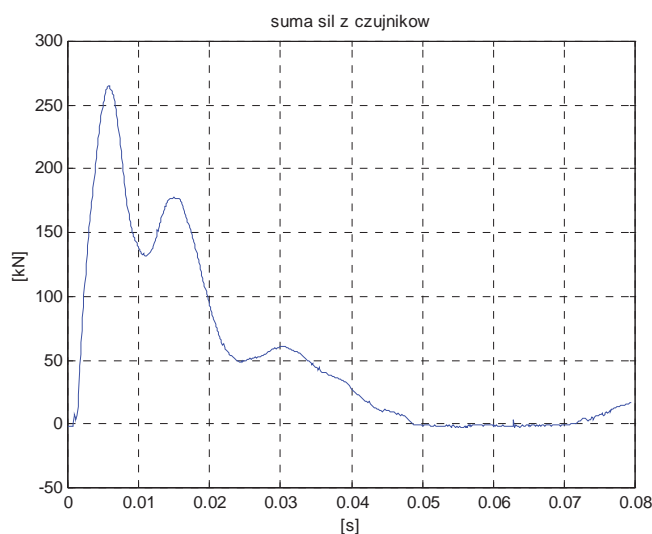
Tab. 1: Syntetyczne wyniki pomiarów
 Tab. 1: Results of measurements

Charakterystyka przeszkody	Prędkość najazdu	Max wartość przyspieszenia na fotelu w kierunku jazdy	Czas trwania impulsu	Max wartość przysp. na fotelu w kierunku przeciwnym do jazdy	Wartość obliczonej impulsowej siły bezwładności	Max siła na czujnikach na zderzaku
Sztywna	4 km/h	26 m/s ²	33 ms	8 m/s ²	2,6 kN	98 kN
Sztywna	5 km/h	35 m/s ²	30 ms	14 m/s ²	3,5 kN	122 kN
Sztywna	6 km/h	50 m/s ²	28ms	20 m/s ²	5,0 kN	260 kN
Sztywna	8 km/h	71 m/s ²	16 ms	46 m/s ²	7,1 kN	250 kN
Podatna	8 km/h	20 m/s ²	40 ms	16 m/s ²	2,0 kN	-



Rys 6. Przebieg wartości przyspieszeń wzdłużnych na fotelu kierowcy podczas uderzenia w sztywną przeszkodę z prędkością 6 km/h

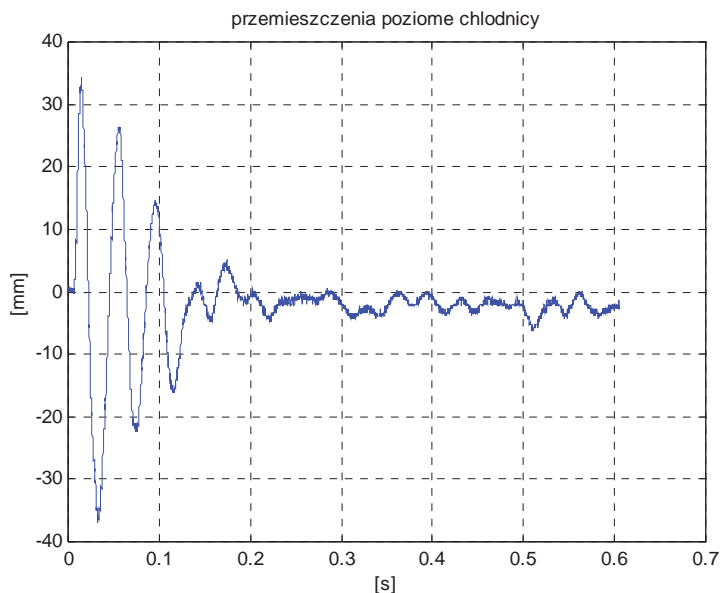
Fig 6. Horizontal accelerations at the driver's seat during impact at the speed 6 km/h



Rys 7. Przebieg wartości siły na zderzaku samochodu podczas uderzenia w sztywną przeszkodę z prędkością $V=6$ km/h (suma wartości siły z 2 czujników)

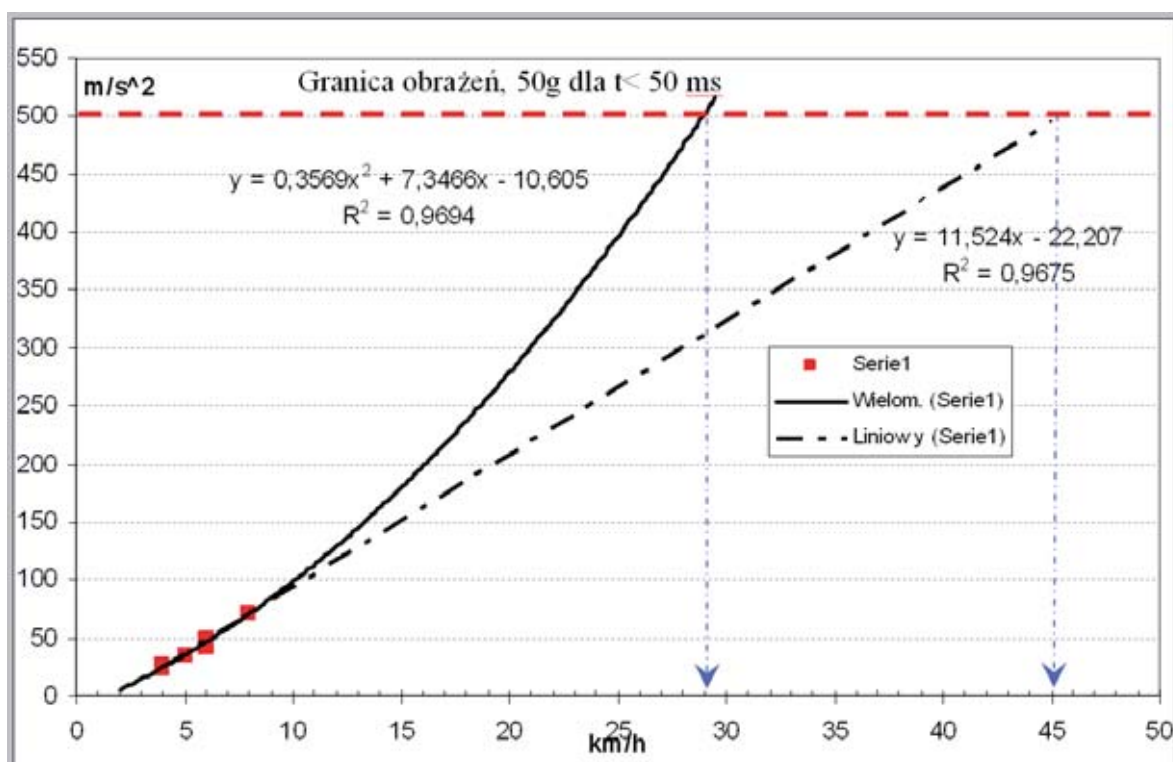
Fig 7. Force at car's bumper during impact at the speed 6 km/h.

Pomiary były powtarzane i uzyskane wyniki charakteryzują się różnicą jedynie kilkuprocentową. Podatna przeszkoda uległa uszkodzeniu (znaczące odkształcenia) i nie powtarzano pomiarów, ponieważ prostowane kształtowniki mogą mieć inną sztywność, a uzyskany, obecny wynik pomiaru odpowiada oczekiwanemu. Podczas badań nastąpiło odkształcenie zderzaka samochodu i jego wsporników oraz wyrwanie reflektora z zamocowania.



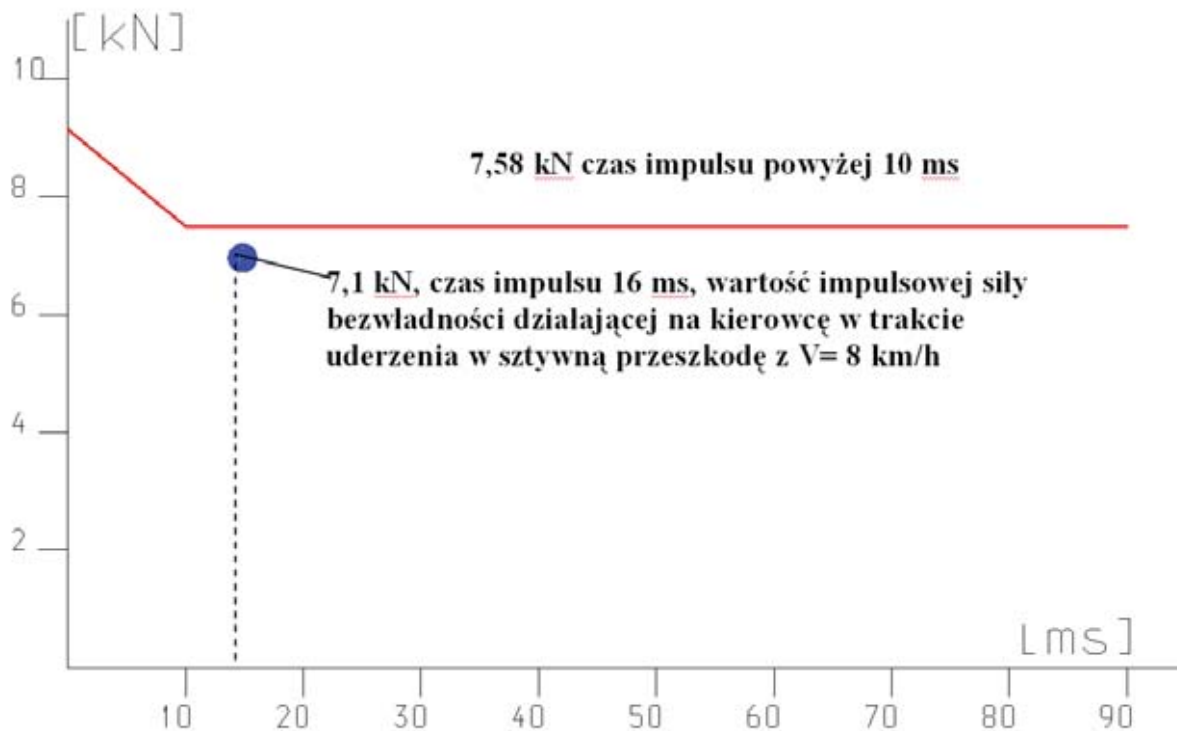
Rys 8. Przebieg wartości przemieszczeń poziomych chłodnicy podczas uderzenia w sztywną przeszkodę z prędkością $V = 6 \text{ km/h}$

Fig 8. Horizontal translation of car's radiator during impact at the speed 6 km/h.



Rys 9. Próba ekstrapolacji wyników pomiarów maksymalnych wartości przyspieszeń w funkcji prędkości samochodu

Fig 9 Extrapolation results of maximum acceleration measurements in function of car's speed.



Rys. 10. Graficzne przedstawienie poziomu narażenia kierowcy, oszacowanego wg wyników pomiarów – w odniesieniu do kryterium siły działającej na manekina (FFC) określonego w Regulaminie 94, Addendum 93, Amendment 2, str. 5

Fig. 10. Graphic results of driver's exposure estimated on obtained results – with reference to force criteria acting on mannequin described at Regulation 94, Addendum 93, Amendment 2, page 5

4. Omówienie wyników i kierunek dalszych badań

1. Wyniki pomiarów są powtarzalne i uznano je za wiarygodne;
2. Wartości pomiarowe mogą być podstawą do badań symulacyjnych, które zostały podjęte i są w trakcie realizacji;
3. Pomierzone wartości przyspieszeń oraz obliczone wartości siły bezwładności są podstawą do stwierdzenia o stosunkowo wysokich narażeniach załogi samochodu;
4. Wykorzystując ekstrapolację pomierzonych wartości przyspieszeń (rys 9), na wykresie, dla porównania, zaznaczono wartości krytyczne przytoczone w pracy [1 s. 86]. Stanowi to informację o stopniu narażenia załogi samochodu terenowego oraz wskazuje na znaczącą różnicę w poziomach narażenia, w stosunku do samochodu posiadającego konstrukcyjną strefę zgniotu.
5. Dalsze badania powinny obejmować: budowę i weryfikację modelu symulacyjnego, opracowanego z uwzględnieniem wyników niniejszych badań, a także opracowanie „pakietu urządzeń zabezpieczających” dla załogi oraz wrażliwych zespołów samochodu. Należy podkreślić, że żołnierze lub funkcjonariusze policji lub żandarmerii - w opancerzonych samochodach są większym stopniu narażeni, z uwagi na stosowanie kamizelek kulochronnych (dodatkowa masa) oraz hełmów (dodatkowa masa zwiększająca impulsowe obciążenie kręgosłupa szyjnego). Istotnym zagrożeniem w wozach bojowych, w przypadku nie stosowania zabezpieczających pasów, może być uderzenie w szybę pancerną oraz elementy sterowania pojazdem.

6. Postuluje się, aby wojskowe samochody terenowe - w których załoga (osoby) są narażone w trakcie eksploatacji, po ich wyposażeniu w pakiet urządzeń zabezpieczających - zostały poddane badaniom, takim jak homologacyjne wg regulaminów nr 33 i 94.

W artykule przedstawiono wyniki uzyskane w trakcie realizacji pracy naukowej finansowanej ze środków na naukę w latach 2005-2007 jako projekt badawczy 0 T00B 025 29

Literatura

- [1] Wicher, J., *Bezpieczeństwo samochodów i ruchu drogowego*, wyd. II WKiŁ Warszawa 2004r.
- [2] Prochowski, L., *Mechanika ruchu*, wyd. WKiŁ Warszawa 2005.
- [3] Regulamin EKG ONZ nr 33, *Zachowanie się konstrukcji podczas zderzenia czołowego*.
- [4] Regulamin EKG ONZ nr 94, *Zabezpieczenie użytkowników pojazdu w razie czołowego zderzenia*.
- [5] Materiały robocze (protokoły pomiarów) projektu badawczego finansowanego ze środków na naukę w latach 2005-2007 nr 0 T00B 025 29.

