

MICHAŁ GMITRZUK*
LECH STARCZEWSKI*

BADANIA LABORATORYJNE ODDZIAŁYWANIA UDARU NA UŻYTKOWNIKA SIEDZISK ANTYWYBUCHOWYCH

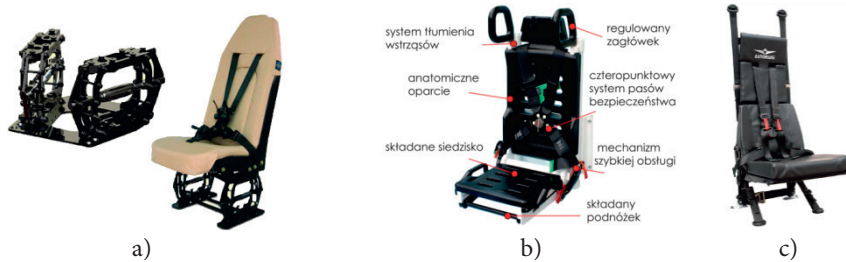
W wyniku detonacji ładunków wybuchowych typu IED (Improvised Explosive Device) pojazdy wykorzystywane w konfliktach asymetrycznych poddawane są ogromnym obciążeniom dynamicznym. Na skutek zagrożeń płynących z tego rodzaju ataków terrorystycznych wykonano szereg badań mających na celu opracowanie wymagań w zakresie ochrony balistycznej i przeciwminowej samochodów typu LAV (Light Armoured Vehicle). Coraz częstsze wykorzystywanie przez przeciwnika improvisowanych ładunków wybuchowych oraz min, zmusiło do uruchomienia w 2007 roku specjalnego programu o nazwie MRAP (z ang. Mine Resistant Ambush Protected) mającego na celu wzmocnienie ochrony żołnierzy walczących w Iraku i Afganistanie [1, 2]. Program zakładał skonstruowanie od podstaw pojazdu, który mógłby dorównać mobilnością a za razem przewyższyć w odporności na wybuch min i IED przestarzałe już pojazdy HMMWV [1]. Zastosowanie odpowiednio ukształtowanego podwozia w kształcie litery V, zwiększenie prześwitu pojazdu oraz zamocowanie specjalnych siedzisk zwiększyło przeżywalność członków załogi [1].

Do ochrony osobistej członków załogi pojazdu, poza kamizelkami kulo- i odłamko-odpornymi, można zaliczyć systemy siedzeń zmniejszających skutki działania zjawisk lokalnych i globalnych wynikających z następstw wybuchów pod pojazdem lub w jego sąsiedztwie. W celach zminimalizowania oddziaływania drgań na załogę, siedzenia mocuje się do podłogi (ryc. 1a), ścian korpusu pojazdu (ryc. 1b) lub stosuje się tak zwane siedzenia podwieszane (ryc. 1c).

Dzięki zastosowaniu amortyzatorów drgań, w przypadku siedzeń mocowanych do podłóg i ścian pojazdów, pochłanianie energii pochodzących z detonacji ładunku pod pojazdem wynika z zamiany energii drgań sprężystych na oddziaływania lepko-sprężyste wewnątrz tłumików oraz na energię cieplną. Mocowania tego typu jednak słabo rozwiązują problem fali o wysokiej częstotliwości i niskiej amplitudzie. W przypadku siedzeń podwieszanych, żołnierz przebywający na siedzisku nie ma bezpośredniego

* Wojskowy Instytut Techniki Panczernej i Samochodowej

szywnego połączenia pomiędzy fotelem a kadłubem pojazdu. Pasy utrzymujące fotel w zawieszaniu posiadają systemy bloczków spowalniających, które tłumią drgania fal o dużych amplitudach i niskich częstotliwościach. Fale o wysokiej częstotliwości i niskiej amplitudzie przemieszczające się z prędkością fali dźwięku wewnątrz danego ośrodka zakłócają się poprzez przejścia międzyfazowe np. stal – pas tekstylny (mocujący siedzenie załogi). Ponadto fotele podwieszane zapewniają większą ochronę podczas detonacji IED w pobliżu pojazdu.



Ryc. 1. Przykłady rozwiązań systemów siedzisk: a – mocowane do podłoża; b – mocowane do ściany pojazdu; c – mocowane za pomocą systemów pasów i bloczków

Ważną częścią systemu siedzisk są również podnóżki, na których, podczas przemieszczania się w rejonach zagrożenia atakiem, żołnierze powinni trzymać stopy. Ta pozycja zapobiega urazom kończyn dolnych podczas ataku.

Metoda badań

Jednym z celów badań było opracowanie procedury badania siedzisk antywybuchowych bez wykonywania skomplikowanych i kosztownych eksperymentów poligonowych. Wysoki impuls ciśnienia generowany przez detonację MW (materiału wybuchowego) powoduje zniszczenie konstrukcji pojazdu oraz wywołuje niskoczęstotliwościowe impulsy fali dźwiękowej w ośrodku stałym niszczące aparaturę pomiarową. Metoda zakłada odwzorowanie oddziaływania detonacji MW na pojazd na stanowisku badawczym przez mechaniczny system wywoływania udaru. Powinno to skutkować wysoką powtarzalnością warunków badań oraz obniżeniem kosztów.

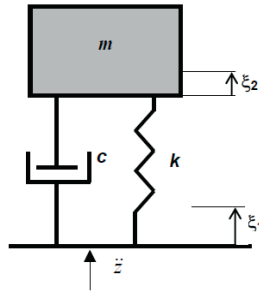
Detonacja to proces propagacji fali uderzeniowej w wyniku egzotermicznej reakcji chemicznej, która wyzwala energię poprzez proces przemiany fazowej. Fala detonacyjna uwalnia mnóstwo przegrzanego gazu o wysokim ciśnieniu – produktu detonacji. Ciśnienie początkowe może osiągać nawet do 20 GPa, temperatura gazów osiąga nawet do 6000°C. Produkty detonacji nie są w termicznej i mechanicznej równowadze z otoczeniem. Następuje ich propagacja w postaci fali detonacyjnej, która oddziałuje na otoczenie głównie nadciśnieniem. W literaturze [1, 3] spotyka się podział na 4 fazy wpływu oddziaływania wybuchu na pojazdy oraz załogę (tabela 1).

Tabela 1. Wpływ oddziaływania fali uderzeniowej na załogę oraz pojazd

Fazy wybuchu	Mechanizm	Uszkodzenia pojazdów	Urazy załogi	Zmiana konstrukcji pojazdu
1	Podmucha fali uderzeniowej	zniszczenie kół i zawieszenia, odkształcenie konstrukcji pojazdu, zniszczenie dna kadłuba	uszkodzenia układu pokarmowego, płuc i deformacja tkanki miękkiej	zastosowanie materiałów pochłaniających energię fali uderzeniowej, zwiększenie odstępów
2	Odłamki z miny, pojazdu oraz części ziemi	przenikanie odłamków do wnętrza pojazdu, przemieszczanie urządzeń wewnątrz pojazdu	uszkodzenia twarzy przez fragmenty szkła, rany penetrujące, urazy kończyn dolnych	ulepszenie pancerza i podłogi pojazdu, ulepszenie ochrony osobistej załogi
3	Efekt globalny	defragmentacja pojazdu, wyrzut pojazdu w górę, opadanie grawitacyjne	uszkodzenia kręgosłupa, kończyn dolnych i miednicy	zwiększenie prześwitu pojazdu, podwozie w kształcie V, zastosowanie siedzisk z absorberami energii
	Efekt lokalny	deformacja podłoża, przyspieszenie siedziska	uszkodzenia głowy podczas uderzenia o sufit pojazdu	
4	Oddziaływanie termiczne	wypalanie materiałów łatwopalnych	poparzenia	zastosowanie materiałów niepalnych w pojeździe i na ubrania

Podczas oddziaływania fali nadciśnienia na załogę, najważniejsze jest opanowanie fazy 3 wybuchu.

W przypadku członków załogi pojazdów (użytkowników siedzisk) ważne jest nie przekroczenie wskaźnika DRIZ (z ang. *Dynamic Response Index axial direction z* – dynamiczny wskaźnik reakcji wzdłuż osi z). Określa wartość poziomu tolerancji dla piersiowo-lędźwiowego odcinka kręgosłupa. Na jego wartość mają wpływ czynniki związane z konstrukcją i właściwościami materiałowymi siedziska. Analizę wpływu czynników na parametr DRIZ przeprowadza się za pomocą dynamicznego modelu mechanicznego układu człowiek – siedzisko (ryc. 2).



Ryc. 2. Model mechaniczny układu człowiek – siedzisko

Równanie ruchu dla tego modelu przybiera postać:

$$\ddot{z}(t) = \ddot{\delta} + 2 \cdot \zeta \cdot \omega_n \cdot \dot{\delta} + \omega_n^2 \cdot \delta$$

gdzie:

$\ddot{z}(t)$ – przyspieszenie w kierunku pionowym mierzone od pozycji inicjacji

δ – przemieszczenie względne układu

ζ – współczynnik tłumienia $\zeta = \frac{c}{2 \cdot m \cdot \omega_n}$

ω_n – częstotliwość $\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}}$

Współczynnik $DRIZ$ wyliczany jest dla względnego przemieszczenie δ_{max} , ω_n i przyspieszenia grawitacyjnego g :

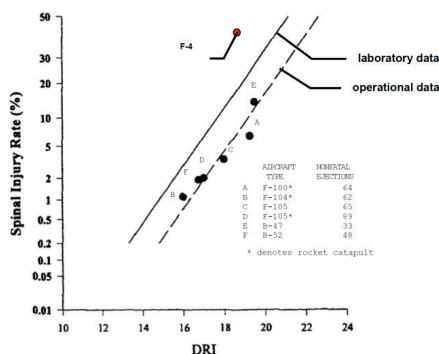
$$DRIZ = \frac{\omega_n^2 \cdot \delta_{max}}{g}$$

Z analizy przedstawionej w [4] wynika, że współczynnik $DRIZ$ jest najlepiej opisującym parametrem uszkodzenia odcinka piersiowo-lędźwiowego. W związku z relatywnie niewielkim prawdopodobieństwem uszkodzenia pasa lędźwiowo-piersiowego w kierunku działania sił wzdłuż osi x i y do analiz przyjmuje się jedynie kierunek z .

Parametr $DRIZ$ oblicza się na podstawie zarejestrowanych wartości z czujników przyspieszenia umieszczonych w miednicy antropomorficznego urządzenia (ATD – *anthropomorphic test device*).

Bazując na krzywych ryzyka (ryc. 3) powstałych na drodze badań laboratoryjnych i danych literaturowych przyjęto bardziej restrykcyjne wyniki pochodzące z badań

laboratoryjnych. Oszacowano, że wartość współczynnika DRI_z wynosi 17,5 przy założeniu wskaźnika ryzyka uszkodzenia kręgosłupa na poziomie 10%



Ryc. 3. Krzywe ryzyka uszkodzenia kręgosłupa w odniesieniu do współczynnika DRI dla badań eksperymentalnych [4]

Cel badań

Jednym z celów badań było przeprowadzenie analizy wyników detonacji 8 kg TNT pod pojazdem z zamocowanymi fotelami, a następnie, na jej podstawie, dobór parametrów wyjściowych oraz warunków brzegowych badań laboratoryjnych.

Kolejnym celem było porównanie wyników badań oddziaływania uderzenia na człowieka otrzymanych z eksperymentu poligonowego z wynikami badań laboratoryjnych, w których zastosowano dla stołu uderzeniowego wartości przyspieszeń jakie zarejestrowano podczas działania siły uderzenia w badaniach eksperymentalnych.

W ramach przeprowadzonych badań:

- opracowano sposób badania siedzisk w warunkach laboratoryjnych;
- porównano dwie metody analizy przyspieszenia w badaniach laboratoryjnych;
- porównano wartości przyspieszeń pomiędzy badaną konstrukcją fotela z usztywnioną ramą (brak elementu absorbującego) oraz z elementem absorbującym.

Obiekt badań

Obiektem badań była konstrukcja energochłonna wraz z fotelem desantu zamontowana w pojeździe oraz na stanowisku badawczym stołu uderzeniowego (ryc. 4).