

## Analiza czynników wpływających na bezpieczeństwo kończyn dolnych żołnierzy w transporterze opancerzonym podczas ataku z wykorzystaniem IED

Sławomir Suchoń<sup>1</sup>, Michał Burkacki<sup>1</sup>, Kamil Jozzko<sup>1</sup>, Wojciech Wolański<sup>1</sup>,  
Bożena Gzik-Zroska<sup>2</sup>, Marcin Wojtkowski<sup>3</sup>, Marek Gzik<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Katedra Biomechatroniki, Politechnika Śląska,

<sup>2</sup>Katedra Biomateriałów i Inżynierii Wyrobów Medycznych, Politechnika Śląska

<sup>3</sup>Wojskowy Instytut Medyczny

email: SSuchon@polsl.pl, MBurkacki@polsl.pl, KJozzko@polsl.pl, WWolanski@polsl.pl,  
BGzik-Zroska@polsl.pl, MWojtkowski@wim.mil.pl, MGzik@polsl.pl,

**STRESZCZENIE:** Improvizowane urządzenia wybuchowe (IED) stanowią poważne zagrożenia dla żołnierzy, nawet gdy znajdują się oni w transporterze opancerzonym. W sytuacji wybuchu pod pojazdem najbardziej zagrożoną partią ciała są kończyny dolne, dlatego ważne jest poznanie czynników zwiększających ryzyko wystąpienia urazu. W tym celu autorzy przygotowali trzy scenariusze badań modelowych w celu określenia wpływu czynników: stosowania podnóżka, skutków odkształcenia płyty podłogowej i związanych z ograniczoną przestrzenią przedziału desantu. W analizie posłużono się znormalizowanymi kryteriami urazowości kończyny dolnej. Wyniki badań wykazały, że podnóżek pozwala istotnie zmniejszyć ryzyko wystąpienia urazu redukując siłę ściskającą w kości piszczelowej do akceptowalnego poziomu. Jednak z drugiej strony zwiększa narażenie stawu skokowego na działanie zwiększonego momentu zginającego. Autorzy również zbadali jak ważnym zjawiskiem jest efekt odkształcenia podłogi, który nie powinien być pomijany w analizie urazowości nóg.

**SŁOWA KLUCZOWE:** analiza urazowości, transporter opancerzony, IED, bezpieczeństwo żołnierza, Madymo

### 1. Wprowadzenie

Stosowanie tzw. min pułapek jest charakterystyczne dla asymetrycznych konfliktów zbrojnych. Jak pokazują statystyki, IED (z ang. Improvised Explosive Device) są dość skuteczne i stanowią główną przyczynę strat wojsk koalicji oraz polskiego kontyngentu na misjach w Afganistanie i Iraku [1]. Badania wskazują na kończyny dolne jako najczęściej ulegające urazom w wyniku ataku IED. Nawet w przypadku braku zagrożenia życia, małe urazy w obrębie kończyn dolnych upośledzają zdolności bojowe żołnierza, utrudniają ewakuację z miejsca występowania zagrożenia oraz mogą mieć dalsze skutki po zakończeniu służby.

Kończyny dolne są szczególnie zagrożone w sytuacji wybuch ładunku pod pojazdem, ponieważ są częścią ciała, która znajduje się najbliżej epicentrum eksplozji. Zdarza się, że stopy żołnierza dotykają bezpośrednio elementów konstrukcji, które ulegają deformacji sprężystej i plastycznej. Deformacja płyty podłogowej w pierwszej fazie wybuchu stanowi część zjawiska tzw. efektów lokalnych, które są wskazywane jako mające największy wpływ na powstawanie obrażeń nóg.



Rys. 1. Przykład obrażeń w obrębie stawu skokowego oraz metalowy grzebień pokazujący zakres odkształcenia płyty podłogowej

Kryteria urazowości (czyli wartości parametrów, które określają wysokość ryzyka danego urazu) dla kończyny dolnej, to siła ściskająca w kości piszczelowej oraz siła

ściskająca w kości udowej. Jednak dostrzeżono potrzebę uzupełnienia tego zestawu o kryterium opisujące urazowość stawu skokowego. Dlatego autorzy poddadzą analizie również moment w stawie skokowym. Wartości poszczególnych kryteriów zostały opisane w tab. 1.

Tabela 1. Kryteria urazowości – 10% ryzyka wystąpienia urazu na poziomie co najmniej AIS 2 [2]

partia ciała	kryterium	wartość dop.
kość udowa	siła ściskająca	6,9 kN
kość piszczelowa	siła ściskająca	2,6 kN
staw skokowy	moment zginający	40 Nm

### 2. Cel pracy

Celem pracy było określenie wpływu czynników na ryzyko powstania urazów nóg u żołnierzy w transporterze opancerzonym podczas wybuchu IED. W tym celu przygotowano analizę wybuchu ładunku centralnie pod pojazdem w programie Madymo z wykorzystaniem metody multibody. Przygotowano trzy scenariusze aby, określić czynniki i ich wpływ na bezpieczeństwo żołnierzy:

- żołnierz ze stopami umieszczonymi na podnóżku oraz na nieodkształcalnej podłodze;
- żołnierz ze stopami umieszczonymi na podłodze, która ulega odkształceniom plastycznym i sprężystym;
- kontakt i wzajemne oddziaływanie żołnierzy w pełnym przedziale desantu.

### 3. Model numeryczny

Na potrzeby przeprowadzenia analiz opisanych w rozdziale 2 autorzy wykorzystali model numeryczny opracowany w środowisku Madymo z wykorzystaniem metody multibody.

Model składa się z bryły pojazdu i przedziału desantu stworzonych na podstawie pomiarów rzeczywistego pojazdu jako bryły sztywne. Model obejmuje również sześć manekinów Hybrid III (HIII) z hełmem wraz z wyposa-

zeniem czyli siedziskami z podnóżkiem i pasami bezpieczeństwa. Do analizy autorzy wykorzystali zmodyfikowany moduł podudzia Mil-LX, ponieważ jego odpowiedź na duże osiowe obciążenia jest bardziej zbliżona do rzeczywistej [3].

W modelu zostało zdefiniowanych ponad 200 kontaktów, które można podzielić na 3 grupy: kontakty w obrębie pojedynczego manekina, kontakty pomiędzy manekinami oraz kontakty między manekinem a otoczeniem. Jako wymuszenie użyto impuls przyśpieszenia o wartości maksymalnej ok. 300 g, który odpowiada wybuchowi 10 kg TNT (IED) [4]. W celu symulacji odkształcenia podłogi posłużono się algorytmem CONWEP, a zarejestrowaną mapę odkształceń wprowadzono do modelu w programie Madymo (scenariusz b).



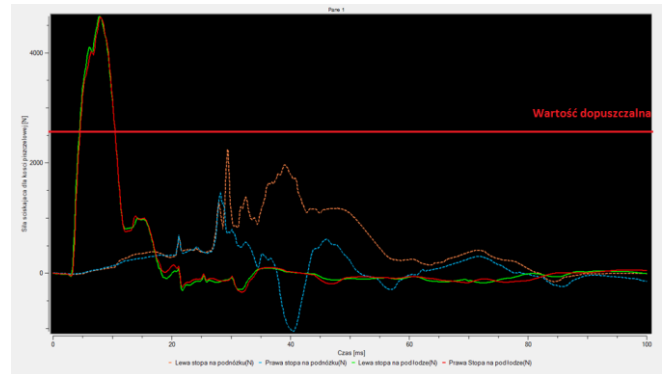
Rys. 2. Model numeryczny przedziału z sześcioma żołnierzami

#### 4. Wyniki

Dzięki eksperymentom numerycznym możliwe było poznanie wartości kryteriów urazowości i porównanie ich z limitami przedstawionymi w tab. 1.

Symulacja wariantu A wskazuje, że podnóżek pozwala zredukować siłę ściskającą w kości piszczelowej z poziomu 4,48 kN do akceptowalnego poziomu 2,49 kN. Jednakże w przypadku stosowania podnóżka moment w stawie skokowym zwiększa się o 300% względem sytuacji trzymania stóp na podłodze i wyniósł 195 Nm. Symulacja B pokazała jak ważne w procesie modelowania wybuchów jest uwzględnianie efektów lokalnych. Odkształcenie podłogi zwiększa siłę ściskającą w kości piszczelowej do 9,11 kN, co znacznie przekracza wartość dopuszczalną. W wariantcie C uzyskano sytuację kolizji nóg żołnierza z otoczeniem, z żołnierzem siedzącym naprzeciw i jego siedzeniem oraz z podnóżkiem. Jednakże siły generowane w takiej sytuacji stanowią ułamek maksymalnego obciążenia.

Na rys. 3 przedstawiono przykładowy wykres siły ściskającej w kości piszczelowej dla stóp na podnóżku oraz dla stóp na podłodze.



Rys. 3. Wyniki symulacji wariantu A: siła ściskająca w kości piszczelowej dla stóp na podnóżku oraz dla stóp na podłodze

#### 5. Podsumowanie

Przedstawiona praca pozwoliła przeanalizować wpływ wybranych czynników na bezpieczeństwo i ryzyko wystąpienia urazów kończyn dolnych żołnierzy znajdujących się w pojeździe opancerzonym w czasie ataku IED. Najważniejsze wyciągnięte wnioski to:

- 1) Podnóżek stanowi skuteczny element systemu bezpieczeństwa w pojeździe wojskowym, jednakże niesie ze sobą ryzyko zwiększania momentu zginającego w stawie skokowym.
- 2) Odkształcenie podłogi zwiększa obciążenie kończyny dolnej, dlatego nie może być pominięte w analizie urazowości kończyn dolnych.
- 3) Symulacja z użyciem kompletnej załogi (sześciu żołnierzy) pozwala uzyskać pełen obraz sytuacji zagrożeń wynikających z kontaktów wewnątrz pojazdu i wzajemnych oddziaływań, które mogą stanowić potencjalne źródło zagrożenia.

*Praca została wykonana w ramach projektu DOBR-BIO4/022/131449/2013 „Poprawa bezpieczeństwa i ochrona żołnierzy na misjach poprzez działanie w obszarach wojskowo-medycznych i technicznych” współfinansowanego przez NCBiR.*

#### Literatura

- [1] Wojtkowski, M., Płomiński, J., Waliński, T.,: Analiza powybuchowych obrażeń narządu ruchu u żołnierzy polskich kontyngentów wojskowych - doniesienia wstępne, w Bezpieczeństwo wojsk aspekcie zagrożeń wynikających z użycia improwizowanych urządzeń wybuchowych (IED), 103-112, Warszawa, (2014), ISBN 978-83-7523-376-6
- [2] RTO Technical Report HFM-148, Test Methodology for Protection of Vehicle Occupants Against Anti-Vehicular Landmine and/or IED Effects, (2012)
- [3] Bailey A, Christopher J, Henderson K, Brozoski F, Salzar R. Comparison of Hybrid-III and PMHS response to simulated underbody blast loading conditions. Proceedings of IRCOBI Conference on the Biomechanics of Impact, Gothenburg, Sweden, (2013)
- [4] Sławiński, G., Niezgoda, T., Barnat, W., Wojtkowski, M., Numerical analysis of the influence of blast wave on human body, Journal of KONES Powertrain and Transport, Vol. 20, No. 3, (2013)