

## Wpływ ekwipunku żołnierzy na ryzyko urazu podczas wybuchu pod lekkim pojazdem opancerzonym

Michał Burkacki<sup>1</sup>, Sławomir Suchoń<sup>1</sup>, Kamil Jozsko<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: michal.burkacki@polsl.pl, slawomir.suchon@polsl.pl, kamil.jozsko@polsl.pl, wojciech.wolanski@polsl.pl, bozena.gzik-zroska@polsl.pl, mwojtkowski@wim.mil.pl, marek.gzik@polsl.pl

**STRESZCZENIE:** Badania modelowe zajmujące się oceną bezpieczeństwa żołnierzy skupiają się głównie na badaniu konstrukcji oraz materiałów energochłonnych, które wpływają na zmniejszenie impulsu przyspieszenia działającego na żołnierza podczas wybuchu. Autorzy tej pracy skupiają się na czynnikach ergonomicznych, które mają znaczący wpływ na bezpieczeństwo żołnierzy podczas wybuchu improwizowanych ładunków wybuchowych pod pojazdem. W ramach badań zbadano wpływ przewożonego ekwipunku na urazowość żołnierzy. Badania przeprowadzone zostały w oprogramowaniu Madymo. Przeprowadzone symulacje wskazują na duże zagrożenie poważnych urazów głowy podczas od złego ustawienia broni podczas przewożenia..

**SŁOWA KLUCZOWE:** modelowanie żołnierza, analiza obrażeń, kryteria urazowości, Madymo

### 1. Wprowadzenie

Improwizowanych ładunki wybuchowe (ang. *Improvised Explosive Device* - IED) stanowiły główną przyczynę zgonów żołnierzy koalicji podczas misji w Afganistanie i Iraku [3]. Obecnie prowadzone badania modelowe zajmujące się tematyką bezpieczeństwa żołnierzy skupiają się głównie na badaniu pancerza wraz z materiałami energochłonnymi [4] oraz analizy urazowości kończyny dolnej [5]. Natomiast w niniejszej pracy podjęto próbę zbadania wpływu ekwipunku na urazowość w trakcie wybuchu pod lekkim pojazdem opancerzonym.

### 2. Metodyka

Do opracowania symulacji numerycznych posłużono się oprogramowaniem Madymo®, które dedykowane jest do modelowania wypadków samochodów, ale ostatnio również jest używane do analizy efektów wybuchów [2]. Oprogramowanie umożliwia analizę przy użyciu metody multibody z wykorzystaniem zarówno odkształcalnych jak i sztywnych elementów FE. Dzięki temu możliwe jest przeprowadzenie szeregu symulacji w krótkim czasie.

### 3. Modelowanie

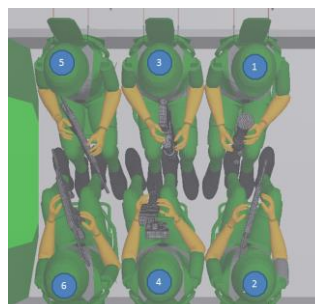
Opracowany model w oprogramowaniu Madymo® składał się z bryły lekkiego pojazdu opancerzonego wraz z uwzględnieniem przedziału desantu, którego skład obejmował 6 żołnierzy. Do przeprowadzenia symulacji uszczegółowiono model Hybrid III, który reprezentował żołnierza o kończynie MiL-LX oraz hełm wz.2005 [1]. Siedzisko zostało wyposażone w 4-punktowy pas bezpieczeństwa o szerokości 50 mm i grubości 1mm. W przedziale desantu uwzględniono również ekwipunek w postaci broni: beryl, PKM, RPG-7, karabin Sako. Sposób rozmieszczenia broni odpowiadał rzeczywistym warunkom jej przewożenia (rys.1). Kontakty zadane w modelu odzwierciedlały warunki panujące w pojeździe, które podzielono na następujące grupy:

- 1) Kontakty w obrębie manekina (np. głowa-ręka);
- 2) Kontakty pomiędzy żołnierzem a otoczeniem (np. nogi-podłoga, miednica-siedzisko, głowa-hełm);

- 3) Kontakty pomiędzy żołnierzami;
- 4) Kontakty pomiędzy bronią a żołnierzem.

Impuls przyspieszenia, który został zadany w modelu posiadał wartość 300g. Czas symulacji wynosił 200ms. Każdy z manekinów przed symulacją został presymulowany w celu ustabilizowania manekina względem zadanych kontaktów. W badaniach uwzględniono dwa scenariusze:

- A) broń trzymana w rękach jak na rys.1,
- B) broń zamocowana z boku siedziska.



Rys. 1. Model użyty w symulacji odzwierciedlający warunki panujące w pojeździe.

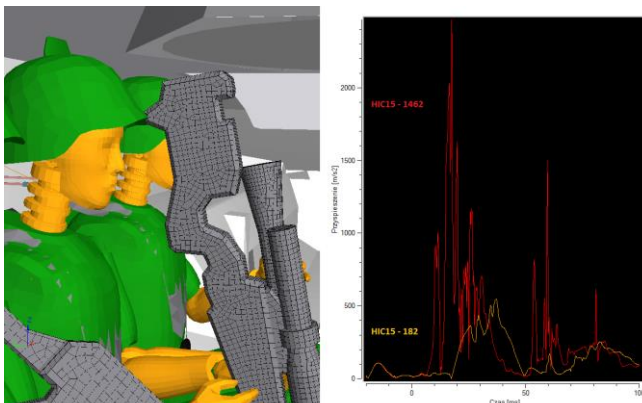
#### 4. Wyniki

Dla przeprowadzonych symulacji maksymalna wartość HIC15 wynosiła 1462 dla żołnierza nr.3 w przypadku scenariusza A, gdy broń jest trzymana w rękach (tab.1). U każdego żołnierza przekroczone zostały wartości dopuszczalne HIC15 wynoszące 250 jednostek według STANAG HFM-148. Na rys. 2 przedstawiono porównanie przebiegów przyspieszeń dla żołnierza 3 w przypadku kontaktu broni z głową (scenariusz A) oraz w przypadku gdy broń mocowana jest z boku siedziska (scenariusz B). Przekroczony limit w przypadku najwyższej wartości HIC15 - 1462 wskazuje według skali AIS na uraz poziomu 5, czyli wysokie prawdopodobieństwo złamania kości czaszki wraz z rozległym krwotokiem. Wartości dopuszczalne dla siły rozciągającej w odcinku szyjnym zostały przekroczone dla każdego z przypadków, która maksymalnie wyniosła 7661N dla żołnierza nr 3. Dopuszczalny moment siły został przekroczony przy wyproście dla żołnierzy 1, 3 i 5. Maksymalna wartość momentu wynosiła 361Nm, która została uzyskana dla żołnierza nr 3, co wskazuje na duże zagrożenie wystąpienia urazu szyi.

W przypadku scenariusza B limity kryteriów urazowości według STANAG HFM-148 nie zostały przekroczone u każdego z żołnierzy.

Tabela 1. Wyniki symulacji dla wariantu A (na czerwono zaznaczono przekroczony limit kryteriów).

Żołnierz	HIC15	Maksymalna siła rozciągająca w odcinku szyjnym	Maksymalny moment dla wyprostu w odcinku szyjnym
Limit [2]	250	3100N	98Nm
1	325	5100N	120Nm
2	313	4778N	33Nm
3	1462	7661N	361Nm
4	549	6580N	29Nm
5	411	4836N	135Nm
6	425	5748N	59Nm



Rys. 2. Po lewej stronie: moment uderzenia broni w głowę, po prawej przebieg przyspieszenia głowy żołnierza nr 3 (na czerwono oznaczono wariant A, na pomarańczowo wariant B).

#### 5. Podsumowanie

Badania modelowe pozwoliły określić szereg czynników, które mają wpływ na bezpieczeństwo żołnierzy podczas wybuchu. Do najważniejszych czynników ergonomicznych, które mogą stwarzać zagrożenie życia, należy m.in. sposób przewożenia broni i ekwipunku. Symulacje numeryczne pozwalają przeanalizować różne warianty, a dzięki temu ocenić wpływ tych czynników na ryzyko powstania urazu.

W pracy, analiza wpływu ekwipunku żołnierzy na ryzyko urazu podczas wybuchu pod lekkim pojazdem opancerzonym została przeprowadzona głównie w oparciu o kryteria urazowości głowy oraz odcinka szyjnego kręgosłupa. Analizując wyniki wielowariantowej symulacji można wyciągnąć następujące wnioski:

- trzymanie broni w rękach, niezależnie od jej pozycji zwiększa prawdopodobieństwo urazu głowy i szyi podczas wybuchu;
- stosowanie mocowań do broni zwiększa bezpieczeństwo żołnierzy podczas wybuchu.

*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] Gzik M., Wolański W., Gzik-Zroska B., Jozko K., Burkacki M., Suchoń S., „Modelowanie żołnierza na potrzeby analizy biomechanicznej wpływu obciążenia pochodzącego od fali uderzeniowej” [in] „Bezpieczeństwo Wojsk w aspekcie zagrożeń wynikających z użycia improwizowanych urządzeń wybuchowych (IED)”, s. 79-102, Akademia Obrony Narodowej, Warszawa 2014.
- [2] RTO Technical Report HFM-148, Test Methodology for Protection of Vehicle Occupants Against Anti-Vehicular Landmine and/or IED Effects, (2012)
- [3] Wojtkowski, M., Płomiński, J., Waliński, T.,: Analiza powybuchowych obrażeń narządu ruchu u żołnierzy polskich kontyngentów wojskowych - doniesienia wstępne, IN Bezpieczeństwo wojsk aspekcie zagrożeń wynikających z użycia improwizowanych urządzeń wybuchowych (IED), 103-112, Warszawa, (2014), ISBN 978-83-7523-376-6.
- [4] Sławiński G., Nizgoda T., Barnat W., “Numerical analysis of the influence of blast wave on human body”, Journal of KONES Powertrain and Transport, vol. 20, no. 3, s. 381-386, 2013.
- [5] Gzik M., Wolański W., Gzik-Zroska B., Jozko K., Burkacki M., Suchoń S., „ Risk Factors Influencing Lower Limbs Injuries During IED Blast”, Information Technologies in Medicine, Volume 472 of the series Advances in Intelligent Systems and Computing pp 299-305