

Badanie oddziaływania fali wybuchowej na konstrukcję pojazdu bojowego

Grzegorz Sławiński¹, Piotr Malesa¹, Paweł Dziewulski¹

¹Katedra Mechaniki i Informatyki Stosowanej, Wojskowa Akademia Techniczna
e-mail: grzegorz.slawinski@wat.edu.pl, piotr.malesa@wat.edu.pl, pawel.dziewulski@wat.edu.pl

STRESZCZENIE: Pojazdy wojskowe, które są wykorzystywane w obecnych konfliktach zbrojnych powinny zapewniać odpowiednio wysoką ochronę balistyczną odporną na nowe zagrożenia. Ich głównym zadaniem jest zapewnienie odpowiedniej ochrony przeciw minom i IED co w dobie licznych konfliktów staje się jednym z podstawowych wymagań stawianych nowoczesnym konstrukcjom pojazdów wojskowych. Odporność pojazdów bojowych na działanie IED zależy od szeregu czynników. Konstrukcje nowoprojektowanych pojazdów bojowych dają spore możliwości wzmocnienia ochrony przeciwminowej.

Jak wiadomo, kadłub pojazdu stanowi bazę rozmieszczenia całego wyposażenia wewnętrznego: silnika, przekładni, uzbrojenia, osprzętu. Fala uderzeniowa nawet nieznacznej wielkości ładunku materiału wybuchowego może spowodować trwałe deformacje dna prowadzące do unieruchomienia pojazdu, nierzadko wykluczając opłacalność jego remontu. W tym celu stosowany jest szereg nowoczesnych rozwiązań mających na celu rozproszyć czy też osłabić falę ciśnienia pochodzącą od wybuchu. Badania numeryczne mają na celu umożliwienie zbadania oddziaływania fali wybuchowej a co za tym idzie wyprowadzenie ulepszeń w konstrukcji pojazdów wojskowych.

1. Przedmiot i zakres pracy

Celem niniejszej pracy było zbadanie oddziaływania fali ciśnienia pochodzącej od wybuchu na konstrukcję pojazdu bojowego o nazwie KORPUS 1.

Prace przeprowadzone w Katedrze Mechaniki i Informatyki Stosowanej WAT polegały na przygotowaniu odpowiedniego modelu numerycznego w oparciu o rzeczywisty obiekt badań. W tym celu wykorzystano model geometryczny dostarczony przez firmę AMZ Kutno. Dyskretyzację przeprowadzono z wykorzystaniem programu Hypermesh natomiast pre i post-processing realizowano przy użyciu oprogramowania LS-Dyna i LS-Prepost [1].

Wykorzystanie metod numerycznych MES miało na celu umożliwienie właściwego zbadania zjawiska jakim jest wybuch. Przeprowadzone analizy numeryczne umożliwiły poznanie skutków jego wpływu na elementy kadłuba a także wytypowanie słabych punktów w konstrukcji i zaproponowanie ewentualnych modyfikacji.

2. Opis badanego układu i metodologia badań

Jako bazę do analiz numerycznych obrano przypadek, w którym kadłub lekkiego pojazdu wojskowego poddano oddziaływaniu fali uderzeniowej pochodzącej od wybuchu ładunku TNT o masie 6 kg umieszczonego kolejno pod jego prawym i lewym przednim kołem zgodnie z wymaganiami dokumentu STANAG 4569.

W celu obniżenia kosztów badań eksperymentalnych rzeczywista konstrukcja pojazdu została uproszczona poprzez pominięcie wyposażenia wnętrza i zastosowania masy zastępczej a także zastąpienie właściwego zawieszania belkami z profili cienkościennych. Warunki te zostały odwzorowane w modelu numerycznym.

Geometrię pojazdu otrzymaną do analiz poddano dyskretyzacji a następnie opisano przy pomocy odpowiednich modeli materiałowych zadając przy tym odpowiednią grubość poszczególnym elementom konstrukcji analogicznie jak w obiekcie rzeczywistym.

3. Modelowanie numeryczne i symulacja

W analizach wykorzystano następujące modele materiałów: MAT_ELASTIC – do opisu materiału,

z którego wykonano opony, MAT_PIECEWISE_LINEAR_PLASTICITY – do opisu materiału kadłuba oraz podwozia, MAT_RIGID – do opisu elementów połączenia kół z podwoziem oraz felg. W celu zwiększenia masy pojazdu do rzeczywistych 14 ton zwiększona została gęstość materiału z którego wykonano podłogę.

W drugim etapie prac zbadany został wpływ zastosowania dodatkowego panelu ochronnego mocowanego w nadkolu. W analizowanym problemie jako materiał, z którego wykonano panel wybrano elastomer Asmaprene Q55. Parametry wytrzymałościowe niezbędne do opisu modelu numerycznego zostały zbadane na drodze eksperymentu a następnie przypisane przy pomocy modelu MAT_SIMPLIFIED_RUBBER/FOAM_WITH_FAILURE [2]. Dodatkowo zachowanie materiału opisuje charakterystyka naprężenia w funkcji odkształcenia, której również użyto w modelu.

W początkowej fazie pracy zdecydowano się na użycie algorytmu CONWEP, którego działanie opiera się na opisie zależności wartości ciśnienia fali uderzeniowej padającej na powierzchnię od masy ładunku i odległości jego epicentrum od tej powierzchni.

W metodzie tej brak jest możliwości badania oddziaływania na przeszkody napotkane na drodze fali wybuchowej a jedynie na wcześniej zdefiniowane powierzchnie. Z tego powodu zdecydowano się na użycie bardziej czasochłonnego lecz dokładniejszego podejścia jakim jest sprzężenie ALE (ang. Arbitrary Lagrangian Eulerian). Podejście to polega na modelowaniu ośrodka Eulera przy pomocy siatki elementów skończonych a następnie umieszczenia w niej badanej struktury/konstrukcji.

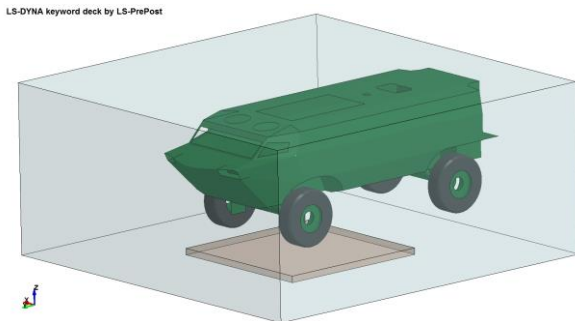
Do opisu materiału ładunku wybuchowego w systemie obliczeniowym LS-Dyna wykorzystano model materiału MAT_HIGH_EXPLOSIVE_BURN, do którego charakterystyki dodatkowo niezbędne jest równanie stanu opisywane przy pomocy karty EOS_JWL. Stałe materiałowe niezbędne do poprawnego przedstawienia zjawiska zaczerpnięto z literatury [3].

Do opisu materiału powietrza wykorzystano model MAT_NULL uzupełniony równaniem stanu EOS_LINEAR_POLYNOMIAL, do opisu których potrzebne dane zaczerpnięto z literatury [4].

Materiał podłoża gruntowego zamodelowano z wykorzystaniem karty MAT_SOIL_AND_FOAM_FAILURE przy użyciu stałych materiałowych przyjętych ze źródeł literaturowych [5].

W celu wiernego odzwierciedlenia kształtów ładunków, w modelu odwzorowano je przy użyciu funkcji INITIAL_VOLUME_FRACTION. Do analiz zdefiniowano ładunek w kształcie walca o promieniu 121 mm i wysokości 81 mm co przy zadanej gęstości pozwoliło na uzyskanie masy 6 kg zgodnie z dokumentem STANAG 4569. Jako punkt detonacji wybrano środek ładunku.

W celu odwzorowania metalowej płyty umieszczonej pod ładunkiem wybuchowym wykorzystano uproszczenie poprzez zamodelowanie sztywnej płaszczyzny RIGIDWALL, od której zostanie odbita fala ciśnienia pochodząca od wybuchu. Widok modelu numerycznego pojazdu KORPUS 1 wraz z obszarem objętym domeną Eulera przedstawia poniższy rysunek.



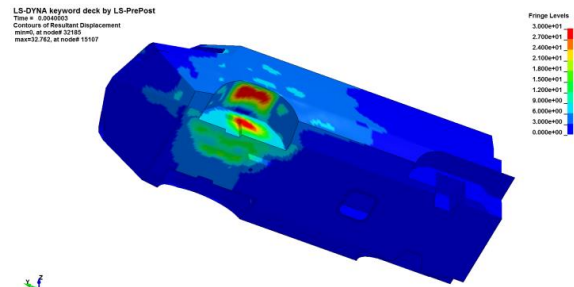
Rys. 1. Widok modelu numerycznego pojazdu bojowego objętego domeną Eulerą

4. Wyniki symulacji

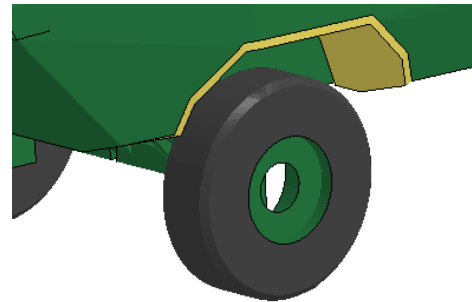
W analizach numerycznych badano następujące czynniki:

- sposób propagacji fali wybuchowej oraz jej oddziaływanie na poszczególne elementy konstrukcji
- poziom deformacji w miejscach szczególnie narażonych na działanie fali ciśnienia
- wpływ zastosowania dodatkowej maty ochronnej w nadkolu na redukcję energii kinetycznej kadłuba oraz jego przemieszczeń w kierunku osi „z”.

Najbardziej narażonymi na działanie fali ciśnienia pochodzącej od wybuchu elementami kadłuba pojazdu KORPUS 1 były podwozie, koła oraz nadkole. Koła i podwozie ulegają bardzo dużym deformacjom jednak w ten sposób pochłonięta jest znaczna część energii pochodzącej od wybuchu. Ważnym czynnikiem jest odporność kadłuba, który musi zapewnić brak perforacji a co za tym idzie nie może ulec rozszczelnieniu. Analizy numeryczne pozwoliły zaobserwować miejsca w kadłubie, w których dochodzi do największych deformacji. Miejsca najbardziej dotknięte działaniem fali ciśnienia pochodzącej od wybuchu zostały następnie dodatkowo wzmocnione poprzez zastosowanie dodatkowego panelu ochronnego wykonanego z elastomeru Asmaprene.



Rys. 2. Deformacje w modelu numerycznym



Rys. 3. Widok panelu ochronnego zamocowanego w nadkolu pojazdu

Efekty zastosowania dodatkowej ochrony zostaną przedstawione w pełnej wersji referatu.

5. Podsumowanie

Przeprowadzone analizy numeryczne pozwoliły zbadać zjawisko oddziaływania fali ciśnienia pochodzącej od wybuchu 6 kg TNT na kadłub pojazdu bojowego KORPUS 1. Zbadany został poziom deformacji najbardziej narażonych na zniszczenie elementów kadłuba a także wpływ paneli ochronnych zastosowanych w tych miejscach.

Praca została wykonana w ramach projektu nr DOBR-BIO/22/13149/2013 pt. „Poprawa bezpieczeństwa i ochrona żołnierzy na misjach poprzez działanie w obszarach wojskowo-medycznym i technicznym”, realizowanego w latach 2013-2018

6. Literatura

- [1]. LS-Dyna V971, Livermore Software Technology Corporation, Livermore 2006.
- [2]. S. Kolling, P. A. Du Bois, D.J. Benson, A simplified Rubber Model with Damage, LS-DYNA, Bamberg 2005
- [3]. Edward Włodarczyk: Wstęp do mechaniki wybuchu. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN, 1994. ISBN 8301115947
- [4]. R. Lesuer, G. J. Kay, M. M. LeBlanc D Modeling Large-Strain, High-Rate Deformation in Metals Third Biennial Tri-Laboratory Engineering Conference Modeling and Simulation, Pleasanton, CA, November 3-5, 1999
- [5]. Baranowski P., Małachowski J., Numerical study of selected military vehicle chassis subjected to blast loading in terms of tire strength improving, Bulletin of the polish academy of sciences, Technical sciences · December 2015