

XVI Konferencja Naukowo-Techniczna

TKI2022

TECHNIKI KOMPUTEROWE W INŻYNIERII

18–21 października 2022

Badania eksperymentalno-numeryczne dodatkowej osłony przeciwko miną narzutowym typu MN-123

Dariusz Pyka¹, Adam Kurzawa², Mirosław Bocian¹, Marcin Bajkowski³, Martyna Zemlik⁴, Krzysztof Jamroziak¹

¹Katedra Mechaniki, Inżynierii Materiałowej i Biomedycznej, Politechnika Wrocławska

²Katedra Konstrukcji Lekkich, Politechnika Wrocławska

³Instytut Mechaniki i Poligrafii, Politechnika Warszawska

⁴Katedra Pojazdów, Politechnika Wrocławska

email: dariusz.pyka@pwr.edu.pl, adam.kurzawa@pwr.edu.pl, miroslaw.bocian@pwr.edu.pl, marcin.bajkowski@pwr.edu.pl, martyna.zemlik@pwr.edu.pl, krzysztof.jamroziak@pwr.edu.pl

STRESZCZENIE: W artykule zaprezentowano wyniki eksperymentalno-numeryczne dodatkowej osłony montowanej na pojazdach stosowanych do obniżenia efektywności min narzutowych na przykładzie miny MN-123. W tym celu przeanalizowano formowanie się ładunku kumulacyjnego dla klasycznego układu miny narzutowej obustronnego działania tego ładunku. Następnie po zwalidowaniu wyników numerycznych z wynikami eksperymentalnymi autorzy wykonali analizę numeryczną dla osłony wykonanej z elastomeru, która w pozycji roboczej przesuwana jest po powierzchni gruntu tak, aby cała płaszczyzna zakrywała minę. W przeprowadzonej analizie numerycznej przeanalizowano 3 warianty grubości elementu gumowego od 10 do 30 mm w celu ustalenia wpływu na formowanie się strumienia kumulacyjnego. W końcowej fazie wytypowany układ przetestowano eksperymentalnie na poligonie. Uzyskano poprawne wyniki.

SŁOWA KLUCZOWE: kompozyty hybrydowe, laminaty, ładunek kumulacyjny, eksplozja, metoda FEM/SPH

1. Wprowadzenie

Kluczowym elementem ładunków kumulacyjnych (high-explosive anti-tank – HEAT) jest zdolność przebicia pancerza [1]. W klasycznych ładunkach kumulacyjnych (shaped charge) kształt wkładki przyjmuje postać wycinka sfery i jest projektowana z materiałem wybuchowym w takim sposób, aby cała masa wkładki uformowała pocisk posiadając jak największą energię kinetyczną [2].

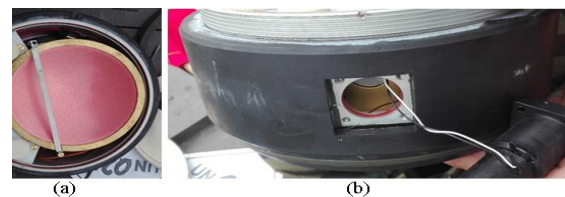
W ostatnich latach ładunki kumulacyjne EFP stały się wyjątkowo groźnym narzędziem niszczenia pojazdów i coraz częściej wykorzystywanych w minach w postaci min przeciwburtowych czy narzutowych [3, 4]. Systemy minowania narzutowego stają się bardzo popularne. Jednym z takich systemów został opracowany przez krajowy ośrodek badawczy. Między innymi w skład tego systemu wchodzi mina MN-123. Jest to przeciwpancerna mina kumulacyjna wyposażona w ładunek o działaniu dwustronnym.

Celem pracy jest sprawdzenie skuteczności miny na jednorodnej płycie pancernej z wykorzystaniem metody eksperymentalnej wspomaganej hybrydową metodą symulacji numerycznych.

2. Przedmiot i zakres pracy

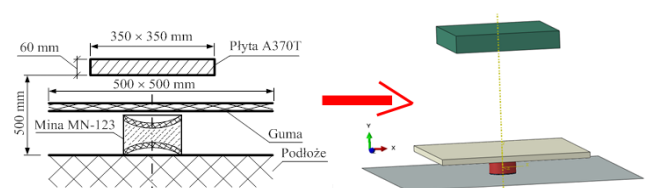
W badaniach odporności udarowej dodatkowej osłony balistycznej wykorzystano minę MN-123 produkcji BELMA S.A. Polska (rys. 1). Mina ta wyposażona jest w ładunek kumulacyjny dwustronnego działania oraz zapalnik niekontaktowy z samolikwidacją. Zadziałanie

miny następuje pod obrysem przejeżdżającego nad nią wozu bojowego. Ostrzałowi poddano standardowo stosowaną w produkcji osłon balistycznych jednorodną płytę pancerną ze stali ARMOX 370T Class 1 [4].



Rys. 1. Widok miny MN-123: (a) wewnątrz miny, część bojowa, (b) gniazdo wraz z zapalnikiem miny

W celu sprawdzenia skuteczności miny zostało wykonane odpowiednie stanowisko badawcze (rys. 2), które zostało odwzorowane numerycznie. Następnie przed płytą pancerną zastosowano dodatkową osłonę wykonaną z materiału gumowego o grubościach 10 mm, 20 mm i 30 mm.



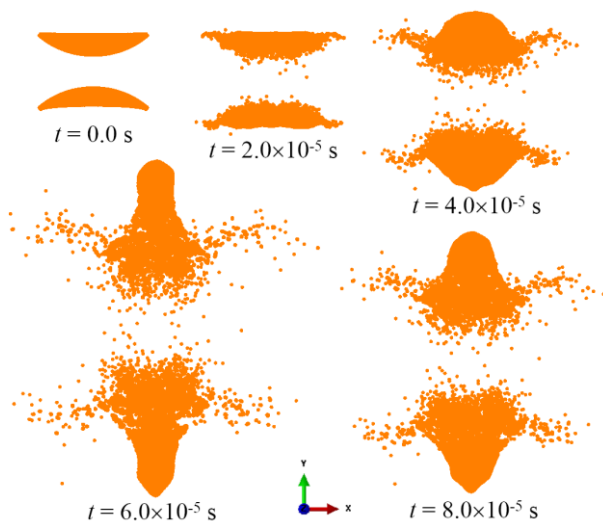
Rys. 2. Schemat stanowiska badawczego wraz z odwzorowaniem modelu geometrycznego

Na podstawie eksplozji przy różnych grubościach dodatkowej osłony testowano wpływ strumienia kumulacyjnego na płytę pancerną. Badania te posłużyły do opracowania symulacji numerycznych w różnych konfiguracjach materiałowych.

3. Modele numeryczne i symulacja

Analizę numeryczną przeprowadzono w programie Abaqus wykorzystując metodę Explicit. Wszystkie rozpatrywane elementy zamodelowano objętościowo. Przyjęto elementy typu Tetra o następujących wielkościach: wkładka 1,0 mm, materiał wybuchowy 2,0 mm, osłona gumowa 2,0 mm, płyta pancerna 2,0 mm. Na potrzeby odzwierciedlenia nieciągłości struktury spowodowanej rozerwaniem materiału wprowadzono odkształcenie graniczne (ε_{gr}) jako parametr mechaniki pęknięcia. Wstępnie taką wartość wyznaczono w próbie quasi-statycznego rozciągania materiału (rozciąganie, jako typ obciążenia najbardziej powinno odzwierciedlać warunki rozrywania materiału falą wybuchową), a następnie parametr ten dostosowano i zwalidowano numerycznie. Podstawą zastosowania przegrody wykonanej z elastomeru (gumy) jest zaburzenie prawidłowego uformowania się strumienia kumulacyjnego wkładki. Związku, z czym wybrano materiał o jak najmniejszej wartości rozchodzenia się dźwięku w materiale, a przynajmniej wartości mniejszej niż prędkość detonacji materiału wybuchowego zastosowanego w minie MN-123. Modele numeryczne osłony pancernej i dodatkowej osłony z gumy wykonano zgodnie ze schematem (rys. 2). Jedynie grubość osłony gumowej była w poszczególnych modelach numerycznych zmieniana. Formowanie się strumienia kumulacyjnego modelowano metodą SPH. Przyjęto metodykę opisaną w pracach [5, 6].

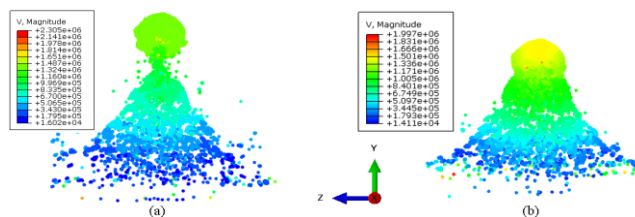
Wstępne symulacje polegały na wyskalowaniu modeli formowania się rdzenia kumulacyjnego z pominięciem gruntu. Jak pokazano na rysunku 3 w zależności od kroku czasowego następowało formowanie się rdzenia kumulacyjnego.



Rys. 3. Wstępne symulacje formowania rdzenia kumulacyjnego dla poszczególnych kroków czasowych

Po wyskalowaniu formowania się strugi kumulacyjnej przeprowadzono serię symulacji numerycznych, gdzie elementem parametrycznym była grubość stosowanej

dodatkowej osłony z gumy. Przykład takich symulacji zaprezentowano na rys. 4.



Rys. 4. Postać strumienia kumulacyjnego dla czasu 1.0×10^{-4} s: (a) z osłoną gumy 20 mm, (b) z osłoną gumy 30 mm

4. Dyskusja i podsumowanie

W wyniku przeprowadzonych symulacji numerycznych, a następnie zweryfikowanych w testach poligonowych zauważono, że zastosowana 30 mm dodatkowa wkładka z gumy znacznie poprawia skuteczność rozpraszania tworzenia się strugi kumulacyjnej. Uwidacznia to rezultat, jaki został przedstawiony na powyższym rysunku. Dla dodatkowej osłony z gumy o grubości 20 mm prędkość odkształcenia zarejestrowano na poziomie $1,651 \times 10^6 \text{ s}^{-1}$, a już dla osłony o grubości 30 mm ta prędkość znacznie spadła bo wynosiła jedynie $1,336 \times 10^6 \text{ s}^{-1}$. Przy tej grubości osłony płyta bazowa ze stali pancernej A370T o grubości 60 mm nie została perforowana. Według producenta mina MN-123 jest zdolna przebić płytę pancerną o grubości do 60 mm.

Dodatkowy element opancerzenia w postaci płyty elastomerowej znacząco zmniejsza penetrację min o działaniu kumulacyjnym/EFP. Na podstawie szacowania otrzymanych wyników redukcja przebiccia płyty pancernej kształtowała się na poziomie 24% względem wartości bazowej.

Zastosowanie metody SPH do opisu formowania się strumienia kumulacyjnego pozwoliło uwzględnić hydrodynamiczny charakter zjawiska. O poprawności przyjętej metodyki analiz numerycznych świadczą wyniki z prób balistycznych.

Obliczenia przeprowadzono przy wsparciu Wrocławskiego Centrum Sieciowo-Superkomputerowym, grant nr 452, (<http://www.wcss.pl>).

Literatura

- [1] Shu Y., Shao P., Li Z., Dong C., Yi X., Cao Z., *Linear Hypercummulation Formation Mechanism for π -Type Shaped Charge*, Propellants Explosives Pyrotechnics, Vol. 47, No. e202100162, 2022. <https://doi.org/10.1002/prep.202100162>.
- [2] Wiśniewski A., *Technological Problems Encountered During the Elaboration of a Warhead Component with a Diaphragm*, Central European Journal of Energetic Materials, Vol. 10, No. 2, pp. 439-452, 2013.
- [3] Ahmed M., Malik A.Q., *A Review of Works on Shaped Charges*, Eng. Technol. Appl. Sci. Res., vol. 7, no. 5, pp. 2098-2103, 2017.
- [4] Kurzawa A., Pyka D., Bocian M., Jamrozak K., Sliwinski J., *Metallographic analysis of piercing armor plate by explosively formed projectiles*, Archives of Civil and Mechanical Engineering, Vol. 18, No. 4, pp. 1686-1697, 2018.
- [5] Pyka D., et al, *Numerical and Experimental Studies of the LK Type Shaped Charge*, Applied Science, Vol. 10. No. e6742, 2020, <https://doi.org/10.3390/app10196742>.
- [6] Baranowski P., Kuczewicz M., Pytlík M., Małachowski J., *Study of rock fracture under blast loading*, Bulletin of the Polish Academy of Sciences, 2022, DOI: 10.24425/bpasts.2022.141723.