

XVI Konferencja Naukowo-Techniczna

TKI2022

TECHNIKI KOMPUTEROWE W INŻYNIERII

18–21 października 2022

Projekt i badania numeryczne modułowego ładunku kumulacyjnego o regulowanej przebijalności, elaborowanego plastycznym materiałem wybuchowym

Piotr Malesa¹, Grzegorz Sławiński¹, Karolina Pęcherzewska²

¹Instytut Mechaniki i Inżynierii Obliczeniowej, Wojskowa Akademia Techniczna

²Ministerstwo Obrony Narodowej

email: piotr.malesa@wat.edu.pl, grzegorz.slawinski@wat.edu.pl, kpecherzewska@ron.mil.pl

STRESZCZENIE: Ładunki kumulacyjne znajdują szerokie zastosowanie w wielu dziedzinach nauki i przemysłu, a także jako podstawowe narzędzie w procesie neutralizacji niewybuchów i niszczenia konstrukcji. Ponadto są stosowane również w głowicach bojowych pocisków do dział artyleryjskich oraz środków wyspecjalizowanych broni strzeleckiej, np. granatników przeciwpancernych. Analiza istniejących rozwiązań ładunków kumulacyjnych do zastosowań specjalnych, wykazała brak uniwersalnych konstrukcji, które w odpowiedniej konfiguracji mogłyby pełnić swoją rolę w szerokim zakresie zastosowań, tj. służyć jednocześnie do neutralizacji niewybuchów i improwizowanych urządzeń wybuchowych (IED), wykonywania przejść wybuchowych oraz niszczenia konstrukcji i różnych rodzajów sprzętu wojskowego (SpW). Przedmiotem niniejszego artykułu jest prezentacja nowej konstrukcji ładunku kumulacyjnego, charakteryzującego się modułową budową, możliwością zastosowania w nim szerokiej gamy wymiennych wkładek kumulacyjnych oraz EFP, relatywnie dużą przebijalnością przy zminimalizowanej masie i wymiarach oraz krótkim czasem przygotowania do użycia. W artykule przedstawiono wyniki analiz numerycznych omawianego ładunku w konfiguracji z miedzianą, stożkową wkładką kumulacyjną (o średnicy podstawy równej 30 mm i kącie rozwarcia stożka wynoszącym 106 stopni) oraz tuleją dystansującą. Ponadto omawiany ładunek może być umieszczony również w specjalnie zaprojektowanym stojaku, umożliwiającym neutralizację niebezpiecznych urządzeń wybuchowych bez konieczności ustawiania ładunku na ich powierzchni oraz szeroki zakres regulacji położenia ładunku w przestrzeni.

SŁOWA KLUCZOWE: ładunek kumulacyjny, analiza numeryczna, MES, LS-DYNA

1. Wprowadzenie

Ładunki kumulacyjne są od wielu lat szeroko stosowane w przemyśle, technice wojskowej [1, 2] i górnictwie [3]. Charakter zjawiska kumulacji pozwala na jego wykorzystanie również w procesie opracowywania nowych rozwiązań konstrukcyjnych, przeznaczonych do zastosowań specjalnych [4]. Aby ładunek spełniał wymagania, stawiane przed nim przez wojska specjalne, powinien charakteryzować się jak najmniejszą masą i wymiarami, a także krótkim czasem przygotowania do użycia oraz możliwością zainicjowania detonacji za pomocą zapalnika czasowego. Opracowany projekt konstrukcyjny zakłada osiągnięcie wymaganej, maksymalnej przebijalności ładunku poprzez zastosowanie stożkowej, miedzianej wkładki kumulacyjnej oraz osiągnięcie innych wymaganych efektów rażenia za pomocą szerokiej gamy wymiennych wkładek kumulacyjnych (m.in. aluminiowych i magnezowych) o kształcie sferycznym i eliptycznym, a także wkładek EFP. Widok zoptymalizowanej konstrukcji ładunku przedstawia rys. 1.

Regulacja wysokości ładunku oraz odległości od podstawy wkładki kumulacyjnej do niszczonej powierzchni jest możliwa poprzez umieszczenie obudowy ładunku w specjalnej tulei, umożliwiającej dokonanie szybkiej zmiany położenia obu elementów względem siebie. Ponadto skokową regulację masy plastycznego materiału wybuchowego, którym elaborowany jest ładunek, umożliwia modułowa obudowa. W kolejnym etapie prac

przeprowadzono optymalizację konstrukcji, polegającą na zmniejszeniu masy i wymiarów ładunku przy zachowaniu wymaganej, maksymalnej przebijalności. Pozwoliło to także na uproszczenie konstrukcji poprzez zmniejszenie liczby jej elementów składowych.



Rys. 1. Model CAD obudowy modułowego ładunku kumulacyjnego wraz z tuleją dystansującą

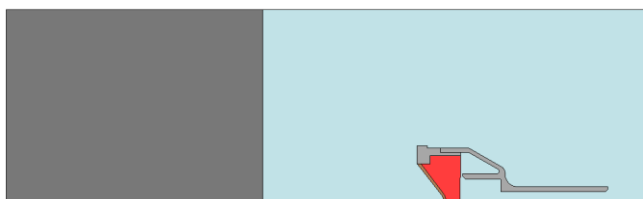
2. Modelowanie numeryczne

W modelu numerycznym stanowiska do badań penetracyjnych, jako niszczoną powierzchnię przyjęto stalowy blok, na który oddziaływał umieszczony w obudowie ładunek kumulacyjny z miedzianą wkładką stożkową, elaborowany plastycznym materiałem wybuchowym. Odsunięcie ładunku od niszczonej powierzchni na wymaganą odległość zapewniono poprzez zastosowanie wspomnianej wcześniej tulei dystansującej. W przypadku prowadzenia analiz numerycznych formowania i oddziaływania ładunków kumulacyjnych

najczęściej wykorzystywanym modelem materiału do opisu metalowych komponentów jest model materiału Johnsona-Cooka [5,6]. Odształcenie plastyczne w materiale jest zamodelowane przy użyciu izotropowego utwardzenia materiału. Wykorzystano zaczerpnięte z literatury dane materiałowe dla miedzi wraz z równaniem stanu oraz model materiału stali, z którego wykonano niszczonej powierzchnię w postaci stalowego bloku razem z równaniem stanu [7]. Do modelowania materiału wybuchowego wykorzystano model materiału MAT_HIGH_EXPLOSIVE_BURN, a do modelowania obudowy, wykonanej techniką druku 3D z filamentu ABS – model MAT_PIECEWISE_LINEAR_PLASTICITY [8]. Wszystkie symulacje numeryczne przeprowadzono przy użyciu kodu LS-DYNA z implementacją procedury sprzężenia ciało stałe – gaz metodą Lagrange’a – Eulera (MM-ALE – Multi-Material Arbitrary Lagrangian Eulerian).

3. Cel pracy

Celem pracy było przeprowadzenie modelowania numerycznego ładunków kumulacyjnych, w których wykorzystano plastyczny materiał wybuchowy o masie 15 g, 30 g, oraz 50 g. Dla każdego wariantu przyjęto 5 wartości odległości podstawy ładunku od powierzchni stalowego bloku, równe: 0 mm (obudowa przylega do stalowego bloku), 15 mm, 30 mm, 45 mm, 60 mm. Na podstawie modelu bryłowego opracowano osiowo symetryczny model powłokowy, składający się z bloku stalowego oraz obudowy, zawierającej wkładkę kumulacyjną i materiał wybuchowy, umieszczonych w przestrzeni wypełnionej powietrzem. Model osiowosymetryczny obejmował połowę całego układu, ze względu na zastosowaną symetrię osiową. Przykładowy widok modelu dla wariantu z ładunkiem o masie 15 g oraz dystansem pomiędzy podstawą ładunku a przeszkodą równym 60 mm, przedstawia rys. 2.



Rys. 2. Widok siatki modelu osiowosymetrycznego ładunku kumulacyjnego z materiałem wybuchowym o masie 15 g dla dystansu 60 mm

4. Wyniki analiz numerycznych

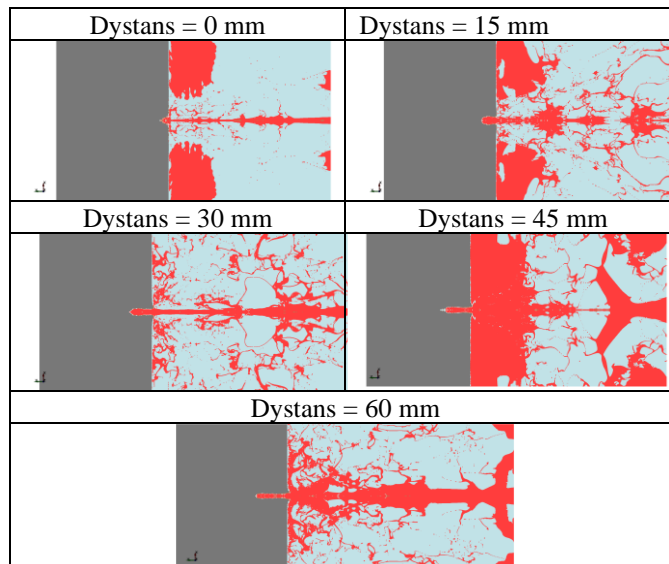
Na drodze analiz numerycznych uzyskano wyniki w postaci głębokości penetracji dla poszczególnych wariantów modelu. Wybrane rezultaty dla ładunku zawierającego 15 g plastycznego materiału wybuchowego zestawiono w tab. 1.

Tabela 1. Głębokość penetracji strumienia kumulacyjnego ładunku elaborowanego masą 15 g plastycznego MW

Dystans	0 mm	15 mm	30 mm	45 mm	60 mm
Głębokość penetracji	8 mm	14,9 mm	20,25 mm	29,25 mm	29 mm

Dla analizowanych wariantów odsunięcia ładunku kumulacyjnego od stalowego bloku uzyskano przebijalność na poziomie od 8 mm do ponad 29 mm. Na podstawie analiz numerycznych przygotowano zestawienie graficzne wyników symulacji, przedstawione w tab. 2.

Tabela 2. Prezentacja graficzna uzyskanej głębokości penetracji ładunku dla czasu $t = 1$ ms



5. Podsumowanie

Przeprowadzone analizy numeryczne wykazały skuteczność oraz celowość stosowania stożkowych ładunków kumulacyjnych w procesie penetracji litych bloków stalowych. Na podstawie uzyskanych wyników możliwy jest dobór odpowiedniej masy ładunku oraz dystansu pomiędzy podstawą ładunku i niszczonej powierzchnią, w zależności od pożądanych efektów jego oddziaływania na cel.

Artykuł powstał w ramach realizacji uczelnianego grantu badawczego wspartego przez Wojskową Akademię Techniczną (nr UGB 22-766/2022).

Literatura

- [1]. Cui, P.; Wang, D.; Shi, D.; Gao, X.; Xu, J.; Zhen, J. *Investigation of Penetration Performance of Zr-based Amorphous Alloy Liner Compared with Copper*. Materials 2020, 13, 912.
- [2]. Wu, H.; Hu, F.; Fang, Q. *A comparative study for the impact performance of shaped charge JET on UHPC targets*. Defence Technology, 2019, 15, 4.
- [3]. Wilk, Z.; Zygmunt, B. *Zastosowanie ładunków kumulacyjnych do perforacji odwiertów geologicznych*. Biuletyn WAT, 2007, Vol. LVI, Nr 1.
- [4]. Dostępne online: <http://cama.pl/realizacje/wybuchowe-ciecie-stalowej-konstrukcji-zwalowarki-turow>.
- [5]. Huang, J.; Wang, W.; Zhang, W.; Huang, K. *The 3D Numerical Simulation of the Shaped Charge Jet Penetration through the Steel Target*. The 2nd International Conference on Computer Application and System Modeling, 2012.
- [6]. Costa, E.; Ferrante, E.; Trevisi, A.; Bozzolo, A. *Shaped charge: a comparative study of jet penetration into a multi-layered target*. International CAE Conference And Exhibition, 2018.
- [7]. Malesa, P.; Sławiński, G.; Pęcherzewska, K. *Numerical Analysis and Experimental Test for the Development of a Small Shaped Charge*. Appl. Sci. 2021, 11, 2578.
- [8]. Kuczewicz, M.; Baranowski, P.; Małachowski, J.; Popławski, A.; Płatek, P. *Modelling, and characterization of 3D printed cellular structures*. Materials & design. 2018, 142.