

Numeryczna analiza przekazu pędu na przykładzie struktur do ochrony przed skutkami wybuchu

Andrzej Morka^{1,a)}, Piotr Kędzierski¹, Grzegorz Sławiński¹

¹Wojskowa Akademia Techniczna im. Jarosława Dąbrowskiego,
ul. Gen. Witolda Urbanowicza 2, 00-908 Warszawa 46

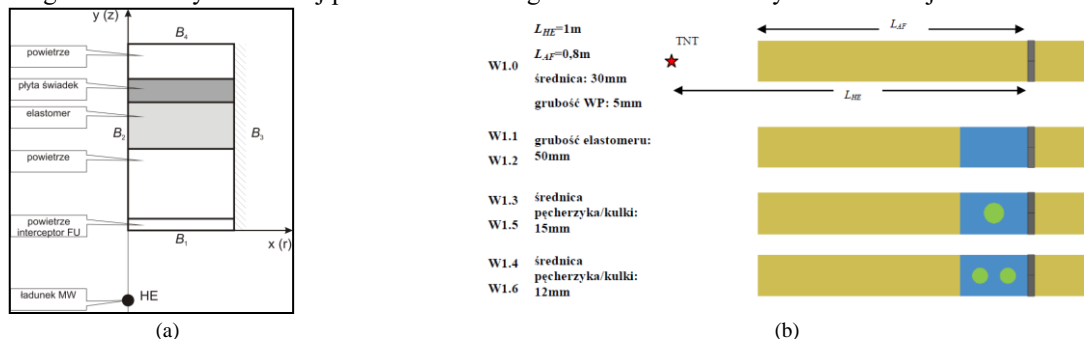
^{a)}andrzej.morka@wat.edu.pl

Streszczenie. Praca dotyczy numerycznej analizy zjawiska oddziaływania fali uderzeniowej wywołanej detonacją ładunku wybuchowego z elementami stanowiącymi strukturę ochronną. Badania realizowano z wykorzystaniem układu rury uderzeniowej oraz oprogramowania do analiz dynamicznych LS-Dyna. Uzyskane rezultaty wskazały na występowanie szeregu ciekawych efektów i zjawisk fizycznych w przypadku badania układów ochronnych zawierających niejednorodne elementy w postaci sferycznych wtrąceń.

WPROWADZENIE

Prezentowana praca dotyczy numerycznej analizy zjawiska oddziaływania fali uderzeniowej wywołanej detonacją ładunku wybuchowego z elementami stanowiącymi strukturę ochronną. Model numeryczny problemu, zbudowany na bazie odpowiednich modeli: fizycznego i matematycznego musi uwzględniać szereg zjawisk i mechanizmów fizycznych istotnych z punktu widzenia absorpcji energii powietrznej fali uderzeniowej generowanej podczas detonacji materiałów wybuchowych. Z tej przyczyny zdecydowano o wyborze konfiguracji układu badawczego z zastosowaniem rury uderzeniowej (ang. Shock Tube, ST) [1].

Efektywność pochłaniania energii fali uderzeniowej zostanie oceniona na podstawie analizy wybranych parametrów opisujących zachowanie się komponentu pełniącego rolę świadka, tzw. płyty świadek (ang. Witness Plate, WP). W celu uwzględnienia dwóch aspektów skutków oddziaływania fali uderzeniowej zaproponowano następujący wybór parametrów stanowiących miarę rezultatu: pęd przekazany do WP – MWP(t), przyspieszenie WP (siłą działającą na WP) – AWP(t). Do wstępnej analizy efektywności wybrano struktury o budowie niejednorodnej rys. 1(b). Schemat problemu przedstawiono na rys. 1(a). Źródłem fali uderzeniowej jest sferyczny ładunek TNT o masie 1kg zdetonowany w otwartej przestrzeni w odległości 1 m od czoła rury uderzeniowej.



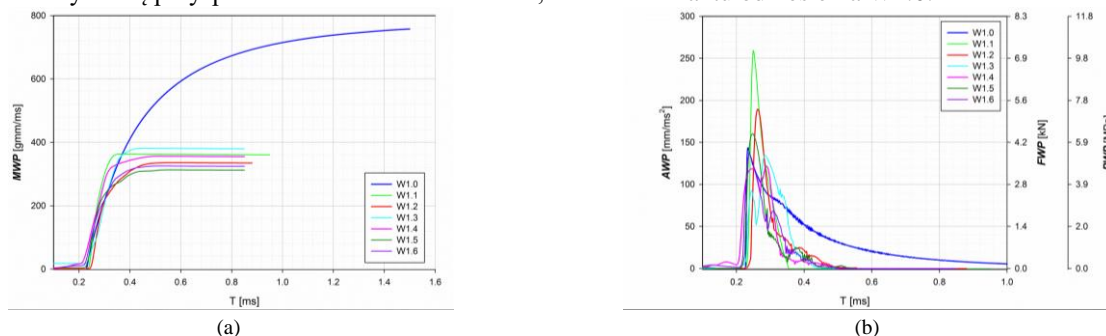
RYSUNEK 1. Schemat problemu (a), wybrane warianty budowy struktury ochronnej (b)

Do rozwiązania problemu wybrano metodę elementów skończonych (MES) z jawnym schematem (różnic centralnych) całkowania równania ruchu w formie macierzowej MES. Problem rozwiązano z wykorzystaniem opisu materialnego (Lagrange'a) dla płyty świadka oraz opisu przestrzennego (Eulera) w przypadku pozostałych komponentów układu fizycznego. Zachowanie elastomeru opisano przy pomocy modelu materiału hipersprężystego.

Obciążenie falą uderzeniową od wybuchu zostało zrealizowane z wykorzystaniem modelu CONWEP sprzężonego z warunkiem brzegowym typu trakcyjnego na brzegu oznaczonym jako B1 na rys. 1(a).

ANALIZA

Wyniki analiz numerycznych zostały zestawione ze sobą dla wszystkich badanych wariantów w podziale na ustalone parametry stanowiące miarę rezultatu, rys. 2(a)-(b). Analiza wykresów przyspieszenia płyty świadka (AWP), wykazuje zasadniczy wpływ zastosowania materialnej osłony przed czołem WP na postać impulsu przyspieszenia. Zmianie ulega jego wartość oraz czas trwania w stosunku do wariantu odniesienia W1.0. Zaznaczyć należy fakt, że generalnie obecność osłony istotnie skraca czas trwania impulsu przyspieszenia. Jednocześnie materiał pozbawiony cech pochłaniania energii zwiększa wartość tego impulsu niemal dwukrotnie (W1.1). Włączenie do modelu możliwości absorpcji energii FU przez elastomer (W1.2) obniża wartość maksymalną przyspieszenia, ale nieznacznie wydłuża czas trwania impulsu. Obecność pęcherzyków/kulek generalnie obniża wartość maksymalną przyspieszenia w stosunku do W1.2, a nawet wariantu odniesienia W1.0.



RYСУNEK 2. Przykładowe rezultaty analizy numerycznej: (a) przekaz pędu (MWP) do WP, (b) przyspieszenie (AWP) oraz siła (FWP) i ciśnienie (PWP) działające na płytę świadek (WP)

Zestawienie wartości końcowych/maksymalnych przyjętych miar rezultatu dla poszczególnych wariantów umieszczono w tabeli tab. 1. Kolorami czerwonym i zielonym zaznaczono wartości odpowiednio najbardziej niekorzystne i korzystne ze względu na założony cel analizy.

TABELA 1. Wartości końcowe/maksymalne przyjętych miar rezultatu dla poszczególnych wariantów

Miara rezultatu	Jednostka	W1.0	W1.1	W1.2	W1.3	W1.4	W1.5	W1.6
AWP	mm/ms ²	144	259	189	135	122	160	135
MWP	gmm/ms	758	363	336	381	356	313	326

WNIOSKI

Uzyskane rezultaty analiz numerycznych potwierdzają przyjęcie poprawnej metody wyodrębnienia założonych wyników analizy numerycznej. Z analizy zestawień danych dla badanych wariantów wynika, że zasadniczą rolę przy oddziaływaniu fali uderzeniowej z płytą świadek w założonej konfiguracji odgrywa bezwładność materiału osłony. W związku z tym w celu badań wpływu innych cech i właściwości potencjalnych osłon należy wyizolować udział bezwładności. Wprowadzenie dodatkowych cech jak: materiał z pętlą histerezy obciążenie/odciążenie, obecność pęcherzyków powietrza oraz kulek ceramicznych może pozytywnie wpływać na zachowanie się WP w wybranych aspektach np.: obecność pęcherzyków powietrza obniża ciśnienie działające na WP, kulki ceramiczne zmniejszają pęd przekazany do płyty świadek.

PODZIĘKOWANIA

Praca została wykonana w ramach projektu Nr DOBR-BIO4/022/13149/2013, finansowanego przez NCBiR.

LITERATURA

- Ousji H, Belkassam B, Louar MA, Kakogiannis D, Reymen B, Pyl L, et al. Parametric Study of an Explosive-Driven Shock Tube as Blast Loading Tool. *Exp Tech* 2016;40:1307–25. doi:10.1007/s40799-016-0128-3.
- Hallquist J. O., *LS-DYNA. Keyword User's Manual*, V971 R4 Beta, LSTC Co., CA, USA 2009.