

NUMERYCZNO - DOŚWIADCZALNE BADANIE WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNYCH MATERIAŁÓW TYPU ARAMIDOWY PŁASTER MIODU

ROBERT PANOWICZ, WIESŁAW BARNAT, TADEUSZ NIEZGODA, PAWEŁ DYBCIO

*Katedra Mechaniki i Informatyki Stosowanej, Wojskowa Akademia Techniczna
e-mail: rpanowicz@wat.edu.pl, wbarnat@wat.edu.pl, tniezgoda@wat.edu.pl, pdybcio@wat.edu.pl*

Streszczenie. W artykule przedstawiono wyniki badań płyty z panelem energochłonnym w postaci rdzenia z materiału typu plaster miodu (honeycomb). Panel został obciążony ładunkiem 2 kg TNT. Analizy numerycznej dokonano poprzez zamodelowanie ośrodka, w jakim rozchodzi się fala ciśnienia (Eulera) i płyty z panelem opisanymi elementami Lagrange'a. Wyniki przedstawionych doświadczeń posłużyły do walidacji modeli numerycznych struktur obciążonych impulsowo.

1. WSTĘP

W modelowaniu propagacji fali ciśnienia pochodzącej od wybuchu niejednokrotnie pomijalny jest efekt skali związany z wielkością ładunku i jego odległością od wybranego punktu w przestrzeni.

Celem niniejszej pracy jest zbadanie możliwości modelowania fali ciśnienia wywołanej wybuchem dużego ładunku kulistego i skutków jej oddziaływania na wybrany obiekt z warstwą ochronną wykonaną z aramidowego plastra miodu. Wyniki przedstawionych doświadczeń posłużyły do walidacji modeli numerycznych struktur tego typu obciążonych impulsowo. W niniejszej pracy wybuch był modelowany za pomocą modelu detonacji punktowej.

Do numerycznych badań symulacyjnych przyjęto bazowy model obiektu w postaci płyty kwadratowej o długości boku 0,75 m i grubości 0,06 m. Płyta została położona na ramie składającej się z kształtowników o profilu kwadratowym o wymiarach 0,12x0,12 m i grubości ścianki 0,06 m. Połączenie pomiędzy ramą a krawędzią płyty uzyskano poprzez elementy symulujące połączenie spawane typu PWELD. Parametry połączeń dobrano na podstawie dostępnej literatury. Wszystkie składowe elementy panelu (płyta uderzana, rdzeń i płyta chroniona) zostały połączone kontaktem. Wartości stałych materiałowych dobrano na podstawie eksperymentów wykonanych w KMiS WAT.

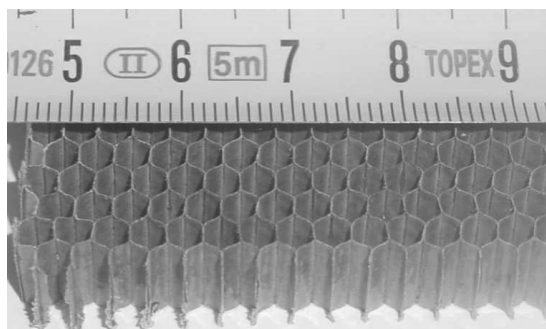
2. OPIS BADANEGO OBIEKTU

Do modelowania numerycznego przyjęto założenie, że źródłem fali uderzeniowej jest ładunek TNT o masie 2 kg, umieszczony w odległości 0,4 m od badanego obiektu. Do analizy przyjęto gęstość materiału wybuchowego $\gamma = 1520 \text{ kg/m}^3$ oraz energię wewnętrzną

$Q = 1520 \text{ J/kg}$ [5]. Na podstawie masy obliczono parametry geometryczne dla ładunku kulistego o kształtach i wymiarach takich samych jak w badaniach eksperymentalnych.

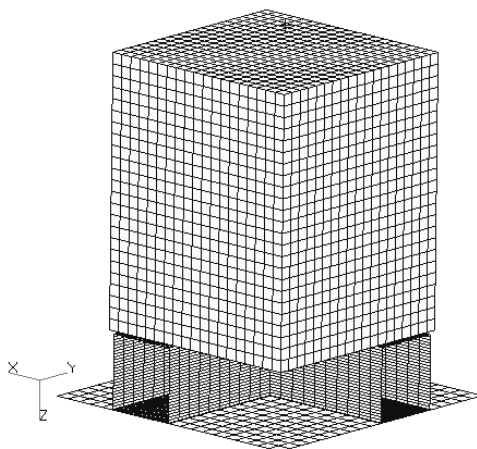
W celu uzyskania rozkładu ciśnienia fali uderzeniowej generowanej wybuchem zdefiniowano siatkę elementów typu Eulerian Solid. Przyjęto najprostsze równanie stanu gazu doskonałego, zarówno do opisu ośrodka gazowego (powietrza), jak również produktów detonacji.

Badany panel składał się z dwóch warstw licząc od stanowiska bazowego: warstwa kompozytu szklanego oraz honeycombu aramidowego. Warstwę honeycomb (z uwzględnieniem wielkości cel) przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Rdzeń badanego układu

Ogólny widok modelu numerycznego badanego układu przedstawiono na rys. 2. Istotnym faktem podczas modelowania było zastosowanie sprzężenia ALE (tak zwanego połączenia węzeł w węzeł domen Eulera i Lagrange'a). Takie sprzężenie pozwala na ograniczenia wpływów gazów i pozwala na pełne przeniesienie energii wybuchu na badany obiekt.



Rys. 2. Ogólny schemat modelu numerycznego stanowiska

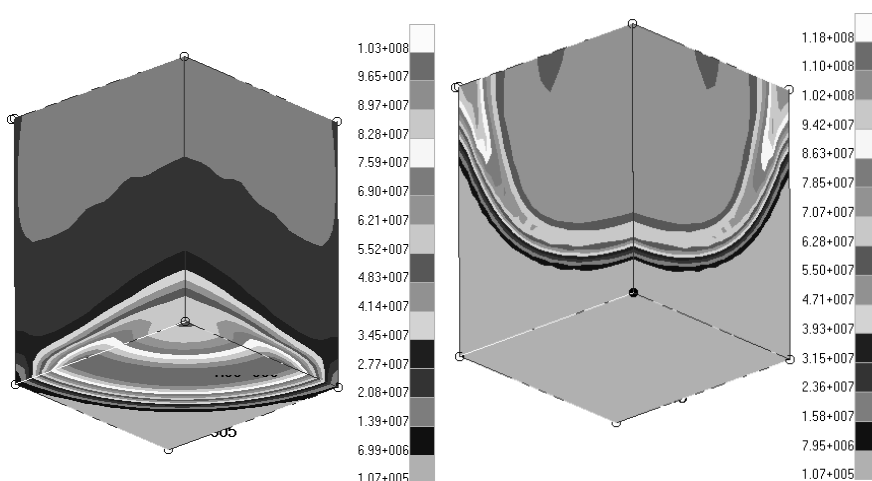
Na rys. 3 przedstawiono dwa przykłady rozkładów fali ciśnienia w powietrzu dla ładunku 2 kg.

Do modelowania przestrzeni Eulera sprzężonej ze strukturą Lagrange'a zastosowano elementy sześciennie. Taki wybór kształtu elementów wynika z konieczności dopasowania

elementów siatki Eulera do siatki elementów skończonych definiujących badany obiekt. Fala ciśnienia rozchodząca się w siatce elementów sześciennych ulega tylko niewielkiemu zniekształceniu.

Przy dużych zmianach (gradientach) ciśnienia wielkość siatki elementów ma duży wpływ na obliczane wartości ciśnienia, dlatego elementy Eulera są bardzo wrażliwe na zmiany parametrów siatki. Z drugiej strony zagęszczanie siatki elementów wymaga (na etapie obliczeń) coraz większej pamięci zewnętrznej i operacyjnej. Wielkość elementów siatki ustala się na podstawie porównania wartości ciśnień uzyskanych numerycznie i oszacowanych analitycznie lub eksperymentalnie. Na podstawie porównania wyników numerycznych i analitycznych stwierdzono, że parametry siatki należy dostosować do każdej zmiany wielkości ładunku.

Do oceny wyników posłużono się oceną przemieszczenia środkowego węzła płyty (znajdującego się na przecięciu się płaszczyzn symetrii).



Rys. 3. Kolejne fazy fali ciśnienia swobodnie rozchodzącej się w powietrzu [Pa]

3. STANOWISKO DO BADAŃ EKSPERYMENTALNYCH

Badania doświadczalne wykonano w warunkach poligonowych. Przedstawione poniżej stanowisko wykonano na podstawie symulacji numerycznych i analizy dostępnej literatury. Przy opracowywaniu i wykonywaniu stanowiska uwzględniono możliwość zmiany niektórych parametrów wejściowych doświadczenia tak, by można było wykonywać badania dla różnych wielkości ładunku wybuchowego. Ogólny widok stanowiska przedstawiono na rys. 4.

Źródłem impulsu ciśnienia był duży ładunek TNT (2 kg) umieszczony w odległości 0,4 m od badanego obiektu. Materiał wybuchowy w kształcie kuli umieszczono swobodnie nad panelem. Wywołane detonacją obciążenie impulsowe charakteryzuje się krótkim czasem trwania i dużą amplitudą. Czas trwania takiego impulsu ciśnienia jest o rząd, a nawet dwa rzędy wielkości, krótszy od czasu uderzenia i wynosi kilka dziesiątych milisekundy. Deformację układu po oddziaływaniu impulsu ciśnienia przedstawiono na rys. 5.



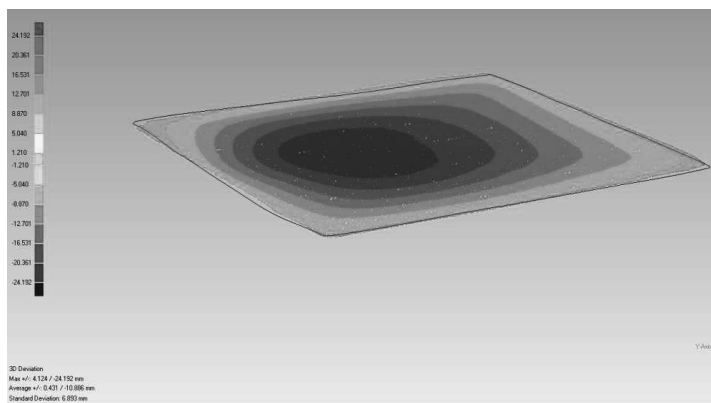
Rys. 4. Ogólny widok stanowiska do testowania paneli obciążonych dużymi ładunkami wybuchowymi



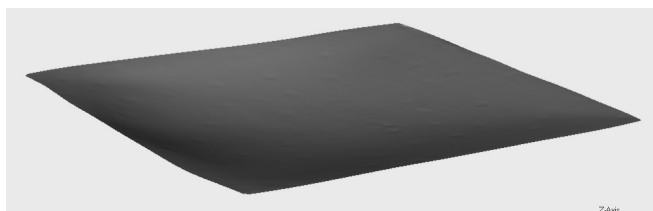
Rys. 5. Panel energochłonny ze strukturą w postaci aramidowego plastra miodu po obciążeniu falą ciśnienia pochodzącą z detonacji materiału wybuchowego

W wyniku oddziaływania na płytę ładunku o wielkości 2 kg uzyskano trwałe odkształcenie płyty chronionej o 22 mm. Zastosowanie warstwy ochronnej w postaci aramidowego plastra miodu niewątpliwie poprawiło poziom ochrony badanego obiektu. Podczas oględzin stwierdzono lokalne uszkodzenie elementów warstwy ochronnej plastra miodu. W wyniku oddziaływania 2 kg ładunku TNT na badany obiekt uzyskano niesymetryczną postać deformacji płyty chronionej przedstawionej na rysunkach 6 i 7.

Asymetria deformacji może być spowodowana dwoma przyczynami. Pierwszą przyczyną może być niesymetryczność ładunku. Ze względu na nieznormalizowany kształt IED (improwowanych ładunków wybuchowych) jest to parametr posiadający niewielki wpływ na rozpatrywany układ. Drugą przyczyną może być niesymetryczność połączenia (klejenia) poszczególnych warstw układu. W dalszych pracach planuje się przebadać wpływ imperfekcji ładunku i wykonania panelu.



Rys. 6. Odształcenia płyty chronionej powstałe na skutek oddziaływania fali ciśnienia pochodzącej z detonacji materiału wybuchowego



Rys. 7. Kształt płyty świadka po oddziaływaniu fali ciśnienia pochodzącej z detonacji materiału wybuchowego

4. WNIOSKI

Prezentowane badania stanowią etap pracy nad koncepcją struktur ochronnych obiektów obciążonych falą uderzeniową. Coraz większą rolę w analizie zjawisk towarzyszących zderzeniom oraz wybuchom odgrywają komputerowe techniki symulacyjne. Umożliwiają one znaczne obniżenie kosztów i podniesienie efektywności badań poprzez dostarczenie danych, których nie można zmierzyć eksperymentalnie. Istotna jest kalibracja i weryfikacja modeli obliczeniowych na podstawie danych eksperymentalnych oraz badań analitycznych. Modele numeryczne sprawdzone dla wybranych stanów konstrukcji potwierdziły prawidłowość przyjętej metodologii umożliwiającej prowadzenie analizy dla innych stanów. Podczas badań potwierdzono poprawność sposobu modelowania wybuchu dużych ładunków.

LITERATURA

1. MSC Dytran. Theory manual. Wyd. MSC, 2002.
2. Sedov L. I.: Propagation of intense blast waves. "Prikladnaja Matematika i Mechanika" 1946, 10, 241.
3. Stanjukowicz F.: Fizyka wżrywa. Moskwa: Izd. Nauka, 1975.
4. Jach K. i in.: Komputerowe modelowanie dynamicznych oddziaływań metodą punktów swobodnych. Warszawa: PWN, 2001.
5. Włodarczyk E.: Wstęp do mechaniki wybuchu. Warszawa: PWN, 1994.
6. Barnat W.: Wybrane problemy energochłonności nowych typów paneli ochronnych obciążonych falą wybuchu. Warszawa: BEL Studio, 2010.

NUMERICAL AND EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF HONEYCOMB PROTECTIVE PANEL

Summary. The paper presents the analysis of a plate combined with layer made of honeycomb structure. The load applied to the panel was 2 kg of TNT. Numerical analysis was done by modelling both the plate with Lagrange elements and surrounding air with Euler elements. Presented results are a part of protection structure design process, and were used for model validation of structures loaded with an impulse. Pressure wave was modelled using Euler continuum mechanics whereas structure using Lagrange conservation laws.