

Wiesław **BARNAT**

DOBÓR PODSTAWOWYCH PARAMETRÓW WARSTWY DENNEJ LEKKIEGO POJAZDU WOJSK POWIETRZNO DESANTOWYCH

Streszczenie: W artykule przedstawiono wstępne rozwiązania struktur ochronnych i przeprowadzono analizę ich odporności na działanie obciążeń dynamicznych, ze szczególnym uwzględnieniem fali uderzeniowej wybuchu.

Opracowana koncepcja analizy będzie mogła być zastosowana do rozwiązywania problemów zwiększenia bezpieczeństwa pojazdów, a w szczególności pojazdów wojsk aeromobilnych, które (ze względu na wymóg transportu drogą powietrzną) muszą charakteryzować się małą masą.

Słowa kluczowe: pancerz kompozytowy, model numeryczny, środowisko Eulerowskie

1. WSTĘP

Obecnie dla kadłubów pojazdów wojskowych stawiane są wysokie wymagania ochrony balistycznej. Dotychczas stosowane samonośne konstrukcje spawane z płyt wysokostopowej stali o grubości 10-12 mm zapewniają II poziom ochrony wg STANAGU 4569. Pancerz podstawowy najczęściej posiada możliwość mocowania opancerzenia dodatkowego w postaci 4-5 mm płyt stalowych. W pojazdach, dla których istotna jest mała masa (np. gdy postawiono wymóg pływalności lub możliwości transportu drogą powietrzną), a jednocześnie wysoki poziom ochrony, stal zastępuje się dodatkowym pancerzem wykonanym z kompozytu, taki pancerz waży dwukrotnie mniej od adekwatnego stalowego. Pancerze kompozytowe pozwalają na zwiększenie do IV poziomu ochrony kadłuba pojazdu.

Siła działania wybuchu na kadłub (dno) pojazdu sprawia, że nie tylko ulega uszkodzeniu zewnętrzna warstwa konstrukcji, ale również załoga pojazdu narażona jest na okaleczenie lub utratę życia. Kadłub pojazdu stanowi bazę rozmieszczenia całego wyposażenia wewnętrznego: silnika, przekładni, uzbrojenia, osprzętu itp. Fala uderzeniowa nawet niezbyt dużego ładunku materiału wybuchowego powoduje trwałe deformacje dna, prowadzące do unieruchomienia pojazdu, nierzadko wykluczające opłacalność jego remontu. Ponadto duże przyspieszenia działające w czasie wybuchu zagrażają bezpieczeństwu załogi, transportowanych ludzi i ładunku.

Zastosowanie nowoczesnych materiałów i struktur energochłonnych w różnych konstrukcjach pozwoli na skuteczniejszą ochronę obiektów i ludzi. Wdrożenie nowych rozwiązań wymaga przeprowadzenia badań i oceny właściwości proponowanych struktur.

Obiekty (konstrukcje), mogące ulec zderzeniu lub narażone na działanie fali uderzeniowej, powinny mieć strukturę pochłaniającą energię uderzenia, aby skutki zderzenia były jak najmniejsze. Konstrukcje energochłonne najczęściej są budowane z kompozytów w postaci powłok przekładkowych typu sandwich, których rdzeniami są: układ rurek, stożków ściętych, kształtowników, cienkich powłok falistych, struktury w postaci plastra miodu lub tworzywa spienionego [1, 2, 3]. Na zdolność pochłaniania energii przez konstrukcje wpływa rodzaj materiału, np. stal, kompozyt.

Do obliczeń inżynierskich wykorzystuje się programy PATRAN, DYTRAN, NASTRAN, LS-DYNA. Opracowywanie i weryfikowanie metod modelowania numerycznego nowych materiałów i struktur energochłonnych, pozwala ograniczyć

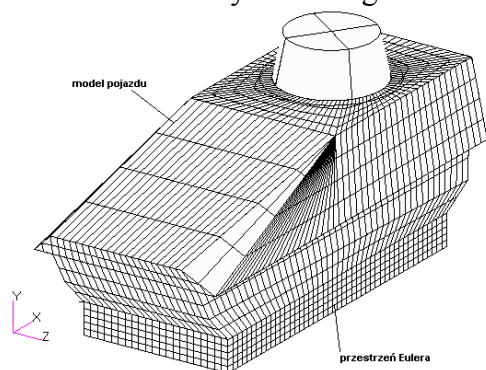
kosztowne testy fizyczne i jednocześnie w przyszłości umożliwi efektywne projektowanie konkretnych rozwiązań konstrukcyjnych. Opracowane metody modelowania i symulacji będą mogły być wykorzystane przy projektowaniu nowoczesnych konstrukcji ochronnych w sprzęcie wojskowym nowej generacji oraz do podnoszenia walorów bojowych sprzętu już eksploatowanego.

2. OGÓLNY OPIS MODELI NUMERYCZNYCH

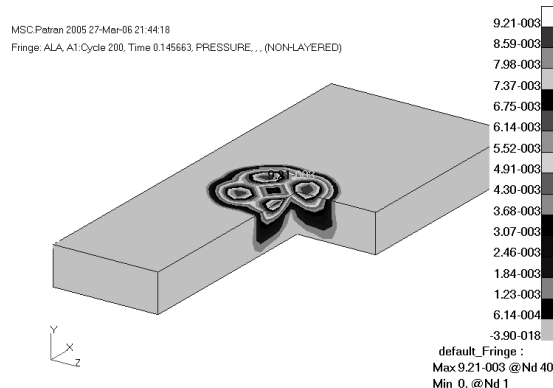
Analizę numeryczną przeprowadzono dla trzech modeli numerycznych:

- Model 1 model lekkiego pojazdu opancerzonego przedstawionego na rys. 1;
- Model 2 składał się z wycinka płyty stalowej dna o grubości 1 mm przedstawionego na rys. 2;
- Model 3 składał się z wycinka dna pojazdu w postaci dwóch płyt stalowych o grubości 1 mm, pomiędzy którymi znajdowały się elementy energochłonne w postaci tulejek o grubości ścianki 0.25 mm; - przedstawionego na rys. 5;
- Model 4 składał się podobnie jak poprzednie modele ze tulejek o grubości 2.5 mm ścianek wykonanych z kompozytu - przedstawionego na rys. 6.

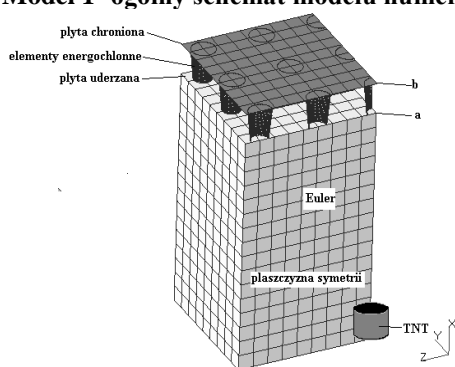
Warunki dla elementów Eulerowskich modelujących ładunek określały gęstość oraz energię właściwą, kształt i jego umieszczenie. Typowe wartości dla substancji wybuchowych to gęstość 1600 kg/m^3 i gęstości energii wewnętrznej 4.2 MJ/kg - odpowiadające 100 g ładunkowi materiału wybuchowego.



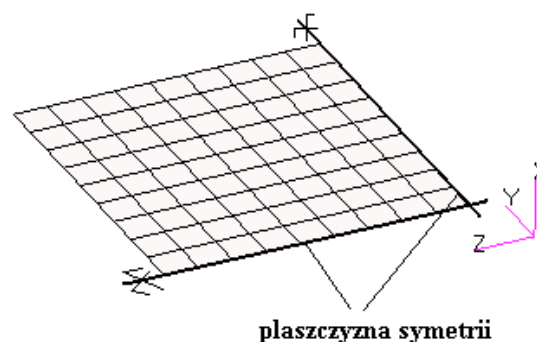
Rys. 1. Model 1- ogólny schemat modelu numerycznego



Rys. 2. Rozkład ciśnienia w obszarze Eulerowskim



Rys. 3. Ogólny schemat modeli numerycznych



Rys. 4. Model 1 - Model numeryczny płyty

Samo zjawisko modelowania spalania ładunku i generowania dużej ilości gazu (eksplozja MW) nie było modelowane, chociaż są udane prace autorów nad modelowaniem wybuchu z zamodelowaniem spalania materiału wybuchowego np. JWŁ. Dostępne publikacje porównujące ww. podejścia do zjawiska detonacji wskazują niewielki wpływ na jakość otrzymanych wyników. We wszystkich modelach użytych w niniejszej pracy węzły elementów strukturalnych (węzły domeny Lagrange'a) nie miały narzuconych żadnych

warunków początkowych. Oznacza to, że wszystkie prędkości i przemieszczenia dla czasu $t=0$ były zerowe.

Środowisko Eulerowskie zajmowało sześcian o wymiarach 0.46x0.46x0.38 m. Przyspieszenie czasu analizy uzyskano poprzez wprowadzenie dwóch płaszczyzn symetrii układu. Warstwa, w której rozprzestrzenił się wybuch została zamodelowana przy pomocy Eulerowskich elementów typu Hex 8 charakteryzującymi się własnościami gazu idealnego o $\gamma = 1.4$ i gęstości powietrza atmosferycznego 1.2829 kg/m³.

Płyty i stalowe elementy ochronne zostały zamodelowane przy pomocy elementów Lagrange'a typu Shell Quad 4. Elementy stalowe posiadały następujące wybrane własności mechaniczne, biliniowy model materiału elastoplastycznego DYMAT 24, dla stali konstrukcyjnej: $E=2.1E9$ MPa, $\nu=0.31$. Za kryterium zniszczenia określono maksymalne odkształcenie rzędu 16 %. Elementy kompozytowe zostały zamodelowane elementami typu solid Hex8 [11].

Element energochłonny zamodelowany elementami typu SOLID. Modele z zastosowanymi elementami typu SOLID posiadają lepsze własności i pozwalają na pełne pokazanie sposobu zachowania się konstrukcji.

Elementy energochłonne posiadały następujące wybrane własności mechaniczne dla kompozytu mata szklana – epoksyd (uzyskane z eksperymentu): $E_{1,2}=6.8$ GPa, $\nu_{1,2}=0.27$, $G_{1,2}=3.8$ GPa.

Prawo Hooke'a dla anizotropowego materiału ma następującą postać:

$$\sigma_i = C_{ij} * \varepsilon_j$$

gdzie:

σ_i - składowe stanu naprężenia;

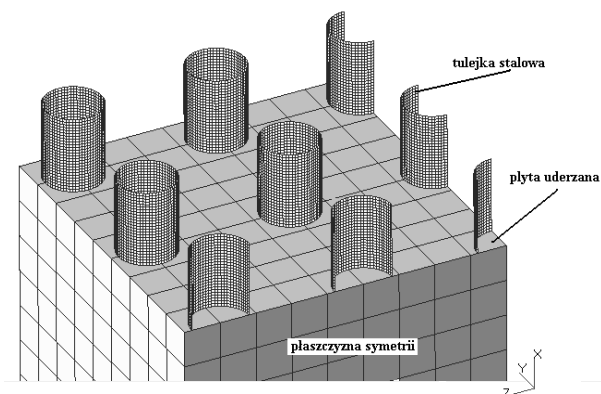
C_{ij} - współczynniki materiałowe wprowadzone w ortogonalnym układzie współrzędnych;

ε_j - składowe stanu odkształcenia.

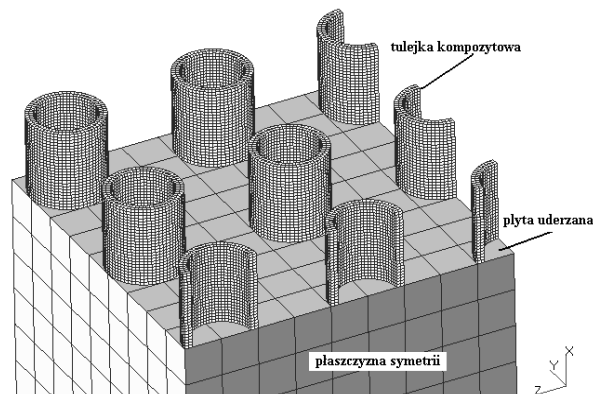
W celu dokładnego opisu materiału ortotropowego niezbędna jest znajomość następujących stałych materiałowych: $E_a, E_b, E_c, \nu_{ab}, \nu_{ca}, \nu_{cb}, G_{ab}, G_{bc}, G_{ca}$ do odpowiedniego zdefiniowania ogólnych właściwości mechanicznych materiału zgodnie z własnościami elementu niszczonego.

Przyjęto następujące założenia dla źródła fali uderzeniowej: ładunek o masie równoważnej 100g lub 125g TNT umieszczono w odległości 0,4 m od badanego obiektu. Analizę przeprowadzono dla ładunków o różnych parametrach. W pierwszym wariantcie przyjęto gęstość materiału wybuchowego $\rho_0 = 1520$ kg/m³ oraz energię wewnętrzną $Q = 1520$ J/kg (ładunek o masie rzeczywistej 100g jest równoważny około 125g TNT). Na podstawie masy obliczono parametry geometryczne dla ładunku kulistego W celu obliczenia 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. W tym modelu definiuje się gęstość ośrodka (dla powietrza $\rho_p = 1,29$ kg/m³), wykładnik izotropy ($\gamma = 1,4$) oraz energię wewnętrzną ($Q = 193800$ J/kg).

Na rysunku 2 przedstawiono rozkład ciśnienia dla modelu 1 (przedstawionego na rys 1). Dokładne wyniki uzyskane z analizy modelu 1 przedstawiono w publikacji [10]. Ze względu na poprzednie prace (weryfikowane eksperymentalnie) zdecydowano się na szersze przedstawienie wyników dla pozostałych modeli. Uwagę zwraca oznaczenie węzłów, leżących na płaszczyźnie symetrii, A (węzeł na płycie uderzanej) i B (węzeł na płycie ochranianej). Ponadto zaznaczono miejsce przyłożenia ładunku wybuchowego.



Rys. 5. Model warstwy ochronnej - widok na płytę uderzaną i elementy energochłonne w postaci stalowych powłok walcowych



Rys. 6. Model warstwy ochronnej - widok na płytę uderzaną i elementy energochłonne w postaci kompozytowych powłok walcowych

4. WYNIKI ANALIZY NUMERYCZNEJ DLA MODELU 2 - JEDNORODNEJ PŁYTY O GRUBOŚCI 1 mm

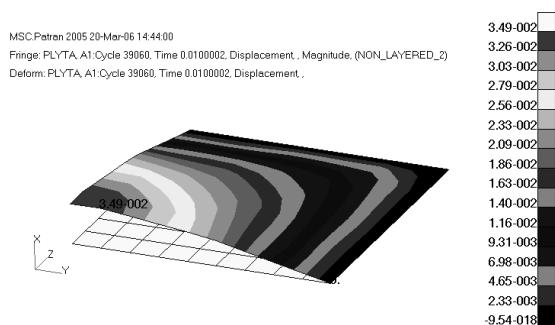
Jak już wspomniano model 2 był jednorodną płytą o grubości 1 mm.

Na skutek uderzenia falą detonacyjną płyt odkształciła się w charakterystyczny sposób przedstawiony na rys. 7 w postaci wybrzuszenia. Podobnie odkształca się płyta przebadana eksperymentalnie.

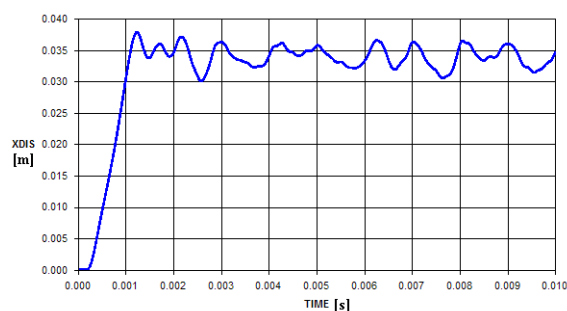
Sposób przemieszczenia się węzła umieszczonego na płycie (w zależności od czasu) przedstawiono na rys. 8. Maksymalne trwałe przemieszczenie węzła środkowego wyniosło $3.49 \cdot 10^{-2} \text{ m}$. Największe odkształcenie występowało dla środka płyty. Punktowo maksymalna wartość energii odkształcenia wyniosła 11.1 J. Podobnie jak odkształcenia przedstawił się charakter odkształceń plastycznych. Maksymalne odkształcenie plastyczne wyniosło 0.0372.

Wykres zmiany energii odkształcenia przedstawiono na rys. 9. Maksymalna energia odkształcenia płyty wynosi około 1250 J. Energia odkształcenia wzrastała w sposób liniowy wraz ze wzrostem impulsu obciążenia. Wraz z końcem procesu odkształcenia płyty wartość energii utrzymywała się na stałym poziomie. Interesująca jest duża prędkość liniowa (wykres prędkości został pokazany na rys. 10) odczytywana w kierunku rozchodzenia się fali uderzenia, która wyniosła 50/s. Wartość prędkości odkształcenia zmieniała się ze względu na drgania płyty.

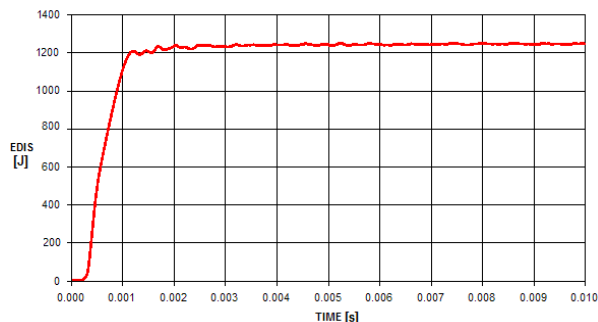
Maksymalne przyspieszenie, wykresy zostały przedstawione na rys. 11, odczytano dla węzła A i wyniosło ono $0.35 \cdot 10^6 \text{ m/s}^2$.



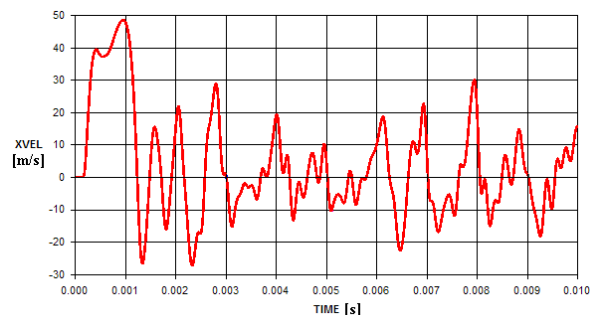
Rys. 7. Model 2 mapa przemieszczeń płyty obciążonej wybuchem



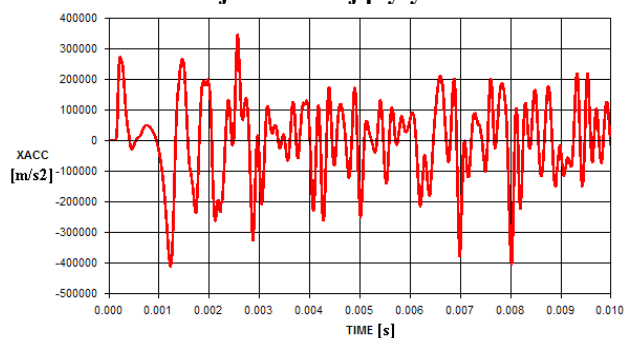
Rys. 8. Wykresy przemieszczeń węzła A



Rys. 9. Wykres zmiany energii odkształcenia jednorodnej płyty



Rys. 10. Wykres prędkości liniowej punktu A



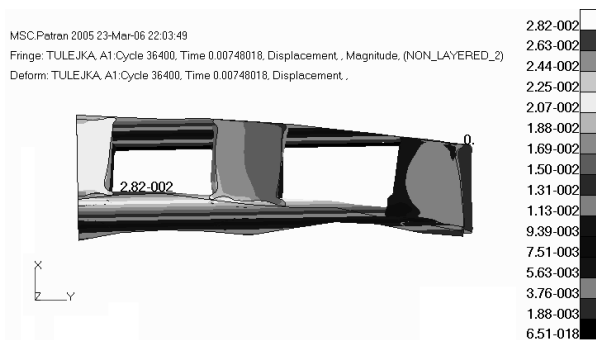
Rys. 11. Wykres przyśpieszenia węzła A

4. WYNIKI ANALIZY NUMERYCZNEJ DLA MODELU 3 – Z TULEJKAMI STAŁOWYMI

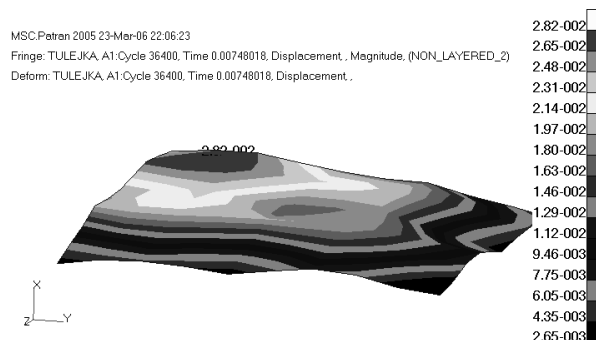
Model 3 składał się z dwóch jednorodnych płyt o grubości 1 mm, pomiędzy którymi umieszczono elementy energochłonne rozpraszające energię w postaci tulejek cienkościennych o grubości ścianek 0.25 mm.

Dla ułatwienia opisu wyników wyróżniono dwa węzły, przedstawione na rysunku 3, znajdujące się na płytach uderzanej A i chronionej B. Analizę numeryczną przeprowadzono dla czasu 0.01 s. Taki czas zapewnił propagację fali uderzeniowej do oddziaływania jej na przeszkodę i zanik ciśnienia w ośrodku Eulerowskim.

Na skutek uderzenia falą detonacyjną nastąpiło odkształcenie całego układu - charakter deformacji przedstawiono na rys 12.



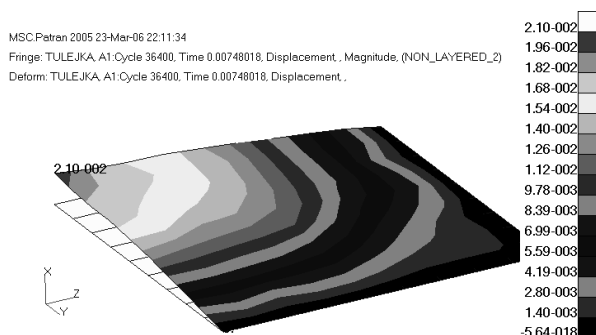
Rys.12, Sposób deformacji całego modelu 3. Dobrze widoczny charakter deformacji płyt i elementów energochłonnych



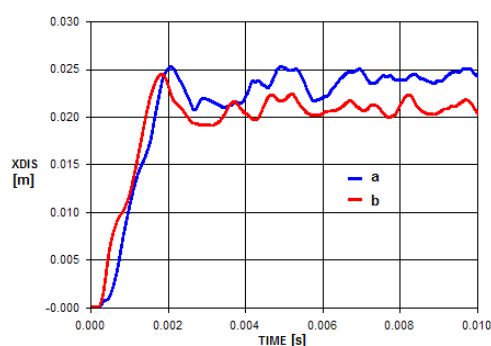
Rys. 13. Charakter deformacji płyty uderzanej

Interesujący jest charakter odkształcenia cienkościennych elementów energochłonnych w postaci lokalnej utraty stateczności. Płyty odkształciły się w charakterystyczny sposób przedstawiony na rys. 13 i 14 w postaci wybrzuszenia. Największe odkształcenie występowało dla środka płyty (rys 15). Węzeł płyty obciążonej przemieścił się trwale o 0.024 m a węzeł b płyty chronionej przemieścił się trwale o 0.021 m.

Istotą przeprowadzenia opisanych eksperymentów numerycznych jest ocena procentu pochłaniania energii poprzez poszczególne elementy składowe układu. Dla płyty uderzanej maksymalna wartość energii odkształcenia dla płyty chronionej wyniosła punktowo 3.44 J.

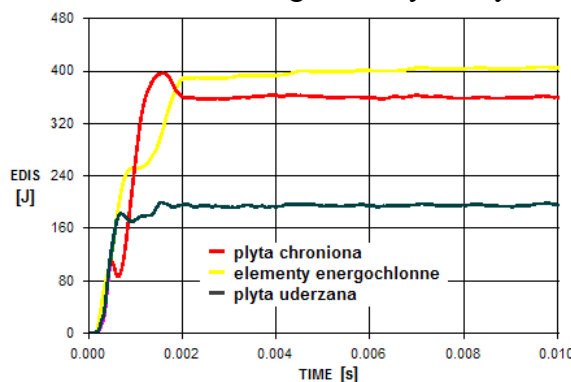


Rys. 14. Charakter deformacji płyty chronionej



Rys. 15. Wykres przemieszczeń węzłów dla modelu 4

Wykres zmiany energii odkształcenia przedstawiono na rys. 29. Maksymalną energię odkształcenia odnotowano dla elementów energochłonnych, wynosi ona około 400 J.



Rys. 16. Wykres zmiany energii odkształcenia poszczególnych elementów układu

Energia odkształcenia poszczególnych elementów układu wzrastała w sposób liniowy wraz ze wzrostem impulsu obciążenia. Wraz z końcem procesu odkształcenia płyty wartość energii utrzymywała się na stałym poziomie. Wartość energii odkształcenia dla płyty chronionej wyniosła 360 J. Wartość energii odkształcenia dla płyty uderzanej wyniosła 200 J.

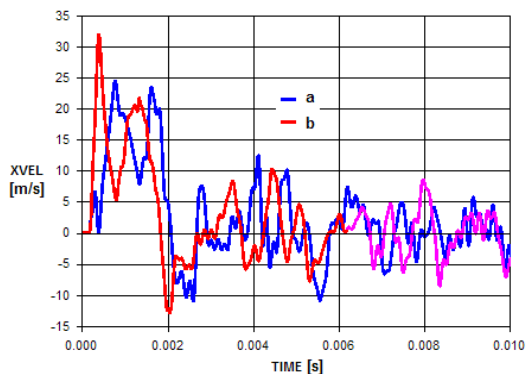
Wartość energii odkształcenia dla elementów podatnych wyniosła 400 J.

Oznacza to, iż gros energii wybuchu zostaje wytracone poprzez elementy energochłonne i pierwszą płytę uderzaną.

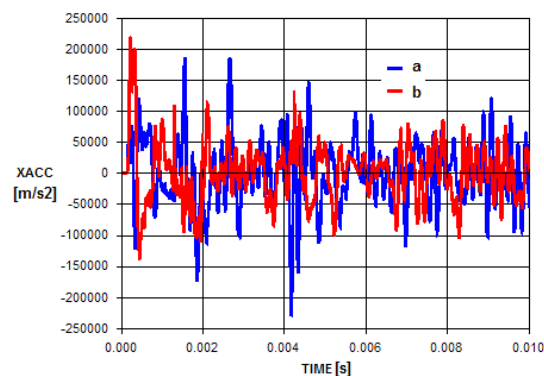
Podobnie jak odkształcenia przedstawił się charakter odkształceń plastycznych. Maksymalne odkształcenie plastyczne dla płyty uderzanej wyniosło 0.0306.

Maksymalne odkształcenie plastyczne dla płyty chronionej wyniosło 0.0152.

Interesująca jest duża prędkość liniowa (wykres prędkości został pokazany na rys. 17) odczytywana w kierunku rozchodzenia się fali uderzenia, która wyniosła dla punktu „a” (znajdującego się na płycie uderzanej) 25 m/s i dla punktu „b” (znajdującego się na płycie chronionej) 31 m/s. Wartość prędkości odkształcenia zmieniała się ze względu na drgania płyty.



Rys. 17. Wykres prędkości liniowej punktu a i b



Rys. 18. Wykres przyspieszenia węzła a i b

Maksymalne przyspieszenie, wykresy zostały przedstawione na rys. 18, odczytano dla węzła a i wyniosło ono $0.2 \cdot 10^6 \text{ m/s}^2$.

Ponadto maksymalna wartość siły kontaktu występuje dla płaszczyzny płyta dolna (uderzana) stożek i wynosi ona 54 000 N.

4. WYNIKI ANALIZY NUMERYCZNEJ DLA MODELU 4 – Z TULEJKAMI KOMPOZYTOWYMI

Model czwarty składał się z dwóch jednorodnych płyt o grubości 1 mm, pomiędzy którymi umieszczono elementy energochłonne, rozpraszające energię w postaci kompozytowych tulejek cienkościennych o grubości ścianek 25 mm.

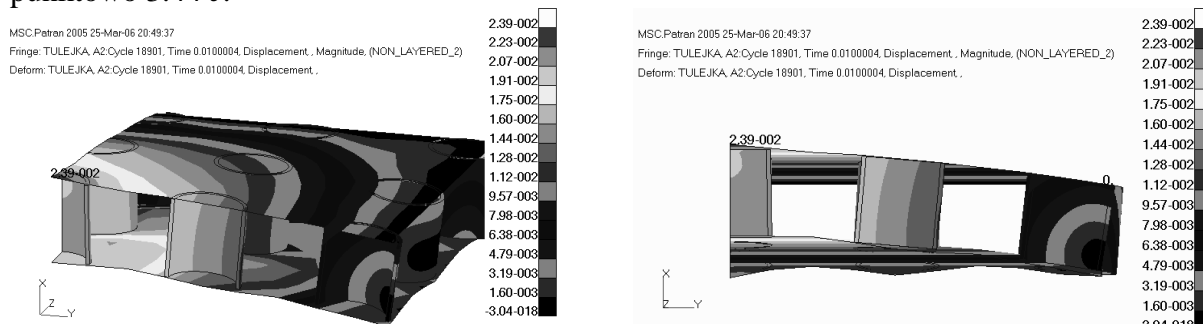
Dla ułatwienia opisu wyników wyróżniono dwa węzły, przedstawione na rysunku 3, znajdujące się na płytach uderzanej A i chronionej B. Analizę numeryczną przeprowadzono dla czasu 0.01 s. Taki czas zapewnił propagację fali uderzeniowej do oddziaływania jej na przeszkodę i zanik ciśnienia w ośrodku Eulerowskim.

Na skutek uderzenia falą detonacyjną nastąpiło odkształcenie całego, układu charakter deformacji przedstawiono na rys. 19. Płyty odkształciły się w charakterystyczny sposób przedstawiony na rys. 20 i 21 w postaci wybrzuszenia.

Największe odkształcenie występowało dla środka płyty. Węzeł płyty obciążonej przemieścił się trwale o 0.025 m a węzeł b płyty chronionej przemieścił się trwale o 0.02 m.

Istotą przeprowadzenia opisanych eksperymentów numerycznych jest ocena procentu pochłaniania energii poprzez poszczególne elementy składowe układu.

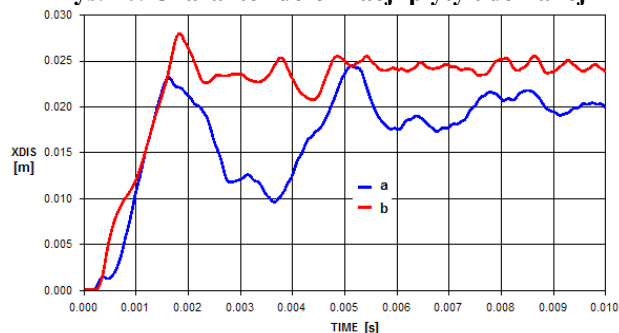
Dla płyty uderzanej maksymalna wartość energii odkształcenia dla płyty chronionej wyniosła punktowo 3.44 J.



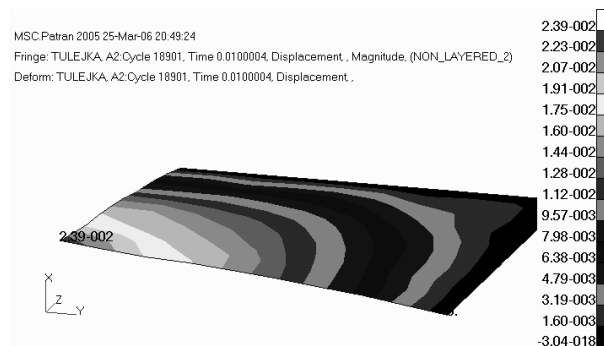
Rys 19. Deformacja modelu 4 - dobrze widoczny charakter deformacji płyt i elementów energochłonnych



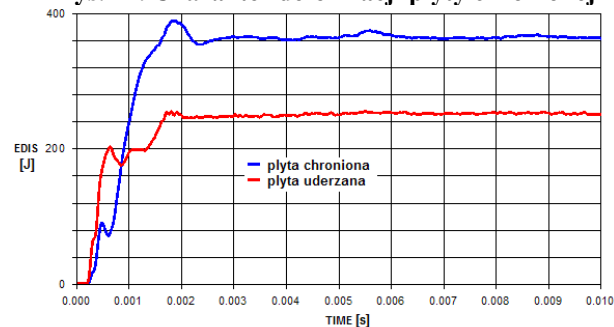
Rys. 20. Charakter deformacji płyty uderzanej



Rys 22 Wykres przemieszczeń węzłów dla modelu 4. a – węzeł znajdujący się na płycie uderzanej, b – węzeł znajdujący się na płycie chronionej



Rys. 21. Charakter deformacji płyty chronionej



Rys. 23. Wykres zmiany energii odkształcenia poszczególnych elementów układu

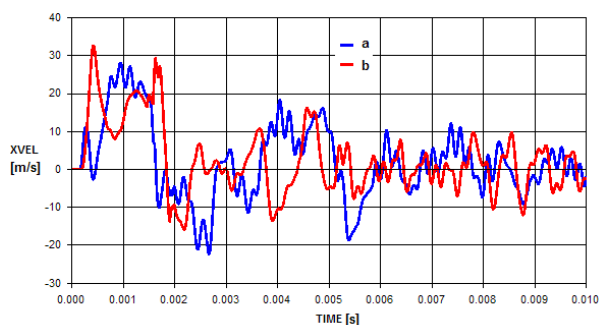
Energia odkształcenia poszczególnych elementów układu wzrastała w sposób liniowy wraz ze wzrostem impulsu obciążenia. Wraz z końcem procesu odkształcenia płyty wartość energii utrzymywała się na stałym poziomie. Wartość energii odkształcenia dla płyty chronionej wyniosła 360 J. Wartość energii odkształcenia dla płyty uderzanej wyniosła 250 J.

Oznacza to, iż gros energii wybuchu zostaje wytracone poprzez elementy energochłonne i pierwszą płytę uderzaną.

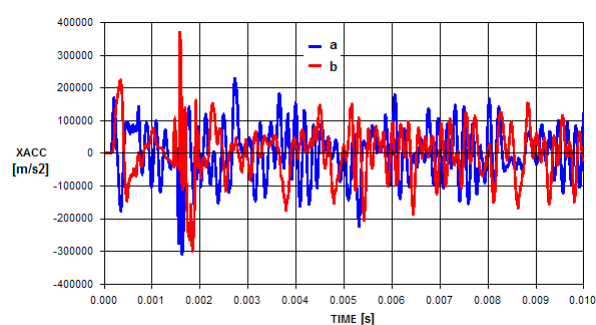
Podobnie jak odkształcenia przedstawił się charakter odkształceń plastycznych. Maksymalne odkształcenie plastyczne dla płyty uderzanej wyniosło 0.0382 przedstawiono na rysunku 44.

Maksymalne odkształcenie plastyczne dla płyty chronionej wyniosło 0.0194.

Interesująca jest duża prędkość liniowa (wykres prędkości został pokazany na rys. 24 odczytywana w kierunku rozchodzenia się fali uderzenia, która wyniosła dla punktu „a” (znajdującego się na płycie uderzanej) 25 m/s i dla punktu „b” (znajdującego się na płycie chronionej) 31 m/s. Wartość prędkości odkształcenia zmieniała się ze względu na drgania płyty.



Rys. 24. Wykres prędkości liniowej punktu a i b

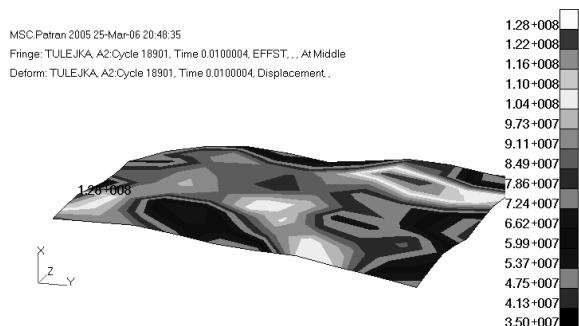


Rys. 25. Wykres przyspieszenia węzła a i b

Maksymalne przyśpieszenie, wykresy zostały przedstawione na rys. 25, odczytano dla węzła a i wyniosło ono 0.2 e6 m/s^2 .

Ponadto maksymalna wartość siły kontaktu występuje dla płaszczyzny płyta dolna (uderzana) stożek i wynosi ona $54\,000 \text{ N}$.

Na rys 26 przedstawiono mapę wyężenia płyty uderzanej, na której pokazano maksymalną wartość $1.89\text{e}8 \text{ Pa}$.



Rys. 26. Mapa wyężenia dla płyty obciążonej wybuchem



Rys. 27. Mapa wyężenia dla płyty chronionej

Na rys 27 przedstawiono mapę wyężenia płyty chronionej, na której pokazano maksymalną wartość $2.09\text{e}8 \text{ Pa}$.

5. ZAKOŃCZENIE

W artykule przedstawiono wyniki badań nad doborem warstwy ochronnej dna pojazdu wojskowego.

Współczesny charakter konfliktów powoduje, iż trudno jest oszacować ładunek, jaki zostanie podłożony pod pojazd. Doświadczenia w wojnie irackiej wskazują, iż pojazdy są atakowane przez złożone ładunki składające się z kilku min przeciwpancernych. Oznacza to, iż warstwy energochłonne powinny być konstruowane do ochrony przed dużymi ładunkami wybuchowymi. Celowym jest stworzenie takiej struktury, która wytrzymałaby, co najmniej dwie eksplozje (w różnym czasie) min przeciwpancernych.

Modelowanie obciążeń dynamicznych generowanych przez materiały wybuchowe przy użyciu interakcji płyn-struktura i sprzężenia ALE jest dużo prostsze niż w tradycyjnym podejściu. Niepotrzebna jest w takim przypadku generacja obciążeń w zewnętrznych programach i następnie przenoszenie ich do programów analizy strukturalnej. Zaprezentowane podejście wskazuje zgodność z teorią. Użycie sprzężenia ALE pozwala także na uniknięcie przeniesienia (często i przeliczania) obciążeń na zmodyfikowaną siatkę strukturalną. Również i odkształcalność struktury jest automatycznie uwzględniana w części obliczeń dotyczących Mechaniki Płynów. W podejściu tradycyjnym uwzględnienie wpływu zamienności kształtu kanału płynu jest bardzo czasochłonne i trudne do zrealizowania.

Spośród wszystkich przeanalizowanych struktur najbardziej optymalna jest struktura z zastosowanymi kompozytowymi elementami energochłonnymi. Elementy te charakteryzują się dość małą masą.

Dalsze prace powinny obejmować dobór ilości elementów energochłonnych ukierunkowany na optymalną ilość takich elementów. Ponadto konieczna jest zmiana (w celu zmniejszenia masy warstwy ochronnej) materiału o mniejszej gęstości. Przeprowadzona symulacja pozwoliła na sformułowanie założeń wyjściowych do przeprowadzenia eksperymentu, który pozwoliłby na weryfikację wykonanych modeli.

6. LITERATURA

- [1] Hsin Yu Low, Hong Hao,: Reliability analysis of reinforced concrete slabs under explosive loading, *Structural Safety*, 2001, 23, pp. 157-178.
- [2] Crawford J.E.: Modeling blast resistant protection systems composed of polymers and fabric, Karagozian & Case.
- [3] Skaggs R., Dooley R., Boyd K. and other: Development of mine blast protected vehicle structures for future combat systems.
- [4] Barnat W.: Transporter Opancerzony Adi Bushmaster, *Myśl Wojskowa* 5/2005.
- [5] Ochelski S.: Metody doświadczalne mechaniki kompozytów konstrukcyjnych WNT 2004.
- [6] Włodarczyk E.: Wstęp do mechaniki wybuchu, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1994.
- [7] Zukas J.: Impact dynamics, John Wiley& Sons 1982,
- [8] Krzewiński R., Rekucki R.: Roboty budowlane przy użyciu materiałów wybuchowych, Wydawnictwo Polcen, Warszawa 2005.
- [9] Krzewiński R.: Dynamika Wybuchu. Część I. Metody określania obciążeń, Wydawnictwo WAT Warszawa 1982.
- [10] Niezgoda T., Barnat W.: Numeryczna analiza wpływu kształtu warstwy ochronnej dna pojazdu bojowego na zdolność pochłaniania energii wybuchu *Górnictwo Odkrywkowe* 7-8/2006.
- [11] MSC Dytran Example Problem Manual, Version 3.0 MSC 1996.
- [12] Jones N.: Structures under impact VIII, Witt Press, Boston 2004.
- [13] Dobrociński S.: Stabilność rozwiązań zagadnień odporności udarowej konstrukcji, Wydawnictwo Akademii Marynarki Wojennej, Gdynia 2000.

CHOISE OF BASIC PARAAMETERS BOTTOM HULL OF AIRBORNE LIGHT VEHICLE

Abstract: This study represents the preliminary modification of the light armoured vehicle bottom. This modification aims at the crew security improvement, by bottom armour modification. The results of numeric calculations for carrying structure elements of the combat vehicle are presented, the structure being charged by the surge generated by the impact of an anti-bottom mine explosion.

Recenzent: mgr inż. Stanisław TOMASZEWSKI