



Modele częściowe w analizie obciążeń struktur nośnych wozów bojowych

WACŁAW BORKOWSKI, PIOTR RYBAK, ZDZISŁAW HRYCIÓW

Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Mechaniczny,
00-908 Warszawa, ul. S. Kaliskiego 2

Streszczenie. W pracy przedstawiono wyniki badań modelowych bojowego wozu piechoty. Model pojazdu oraz modele częściowe opracowano w oparciu o metodę elementów skończonych. Analizę wyęźnienia struktury pojazdu realizowano wykorzystując modele częściowe. Wykazano, że do analizy zagadnień dynamiki konstrukcji można dobrać taki model częściowy, który wystarczająco dokładnie odwzorowuje zachowanie modelu pełnego.

Słowa kluczowe: bojowy wóz piechoty, struktura, obciążenie, modele częściowe, wyęźnienie

Symbole UKD: 623.438

1. Wstęp

Wóz bojowy to głównie wielozadaniowy pojazd mechaniczny przeznaczony do wykonywania złożonych zadań w warunkach współczesnych konfliktów. Jednym z podstawowych tego typu pojazdów jest gąsienicowy wóz bojowy piechoty — uniwersalny środek walki wojsk lądowych. Może on doskonale działać zarówno w obronie, jak i w natarciu, w bezpośredniej styczności z przeciwnikiem, w warunkach użycia broni masowego rażenia, przy dobrej i złej widoczności. Pomimo różnych ocen wystawianych gąsienicowym bojowym wozom piechoty oraz prób umniejszania przez niektórych specjalistów ich roli, obecnie konflikty zbrojne i działania stabilizacyjne wskazują, że są to poglądy nieuzasadnione. Potwierdza to również fakt, iż w armiach krajów wysoko rozwiniętych nie wycofuje się bojowych wozów piechoty z uzbrojenia, a wręcz prowadzi prace badawczo-rozwojowe nad ich doskonaleniem, czemu służą programy kształtujące Future Combat Vehicles (FCS) lub tzw. platformy bojowe.

Przydatność na polu walki i w działaniach stabilizacyjnych bojowych wozów piechoty w ogólnym przypadku charakteryzują ich główne cechy, którymi są:

- ruchliwość,
- siła ognia,
- ochrona.

Wymienione cechy bojowe gwarantują uniwersalność bojowego wozu piechoty oraz jego poprawną współpracę z czołgami. Ruchliwość pojazdu bojowego jest to zdolność do przemieszczania w sensie taktycznym i operacyjnym i stanowi ważny element obrony czynnej. Jest pojęciem bardzo szerokim i w ogólnym przypadku określa zrywność i manewrowość pojazdu (w tym realizację skrętów z dużymi prędkościami), dynamikę jazdy, zdolność pokonywania terenu w każdych warunkach meteorologicznych i klimatycznych.

Siła ognia jest to zespół czynników określających ilość, jakość i efektywność uzbrojenia głównego i dodatkowego (armaty oraz związanych z nią układów i systemów, amunicji).

Ochronę załogi i wyposażenia wewnętrznego pojazdu przed środkami porażającymi broni przeciwnika stanowi zasadniczo opancerzenie oraz systemy antypociskowe, ochrony przeciwwybuchowej, przeciwpożarowej przed bronią masowego rażenia.

Rozwój armat, pocisków i środków przeciwpancernych oraz różnorodność działań bojowych, w tym zadania stabilizacyjne, wymuszają na producentach wozów bojowych i ośrodkach naukowo-badawczych prowadzenie niemalże w sposób ciągły modernizacji lub kształtowania nowych konstrukcji.

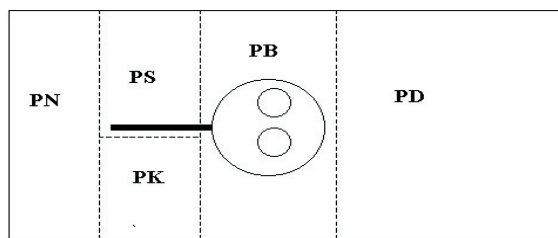
W pracy podjęto próbę oceny metody modeli częściowych, zastosowanej do analizy wytrzymałości elementów konstrukcji struktury nośnej bojowego wozu piechoty obciążonej strzałem z broni głównej lub trafieniem pocisku w wieżę (niepowodującym przebicia).

2. Model obiektu badań

2.1. Ogólna budowa bojowego wozu piechoty

Głównym węzłem konstrukcji wozu bojowego jest samonośny kadłub. Zazwyczaj jest on spawany ze stalowych blach pancernych. Na zewnątrz i wewnątrz kadłuba montowane są wszystkie układy, urządzenia i elementy. W wielu pojazdach na niektóre węzły konstrukcyjne stosuje się także płyty aluminiowe w połączeniu z materiałami kompozytowymi, co pozwala na zmniejszenie masy przy jednoczesnym uzyskaniu zadowalających parametrów ochrony pancernej. Kształty kadłubów wozów bojowych piechoty w większości przypadków są podobne do przyjętych w budowie czołgów. Przednia płyta pancerza jest pochylona pod znacznym kątem (60-80°). Zwiększa to grubość płyty na kierunku poziomego

lotu pocisku i zwiększa możliwość rykoszetu. Boczne płyty pojazdów w zależności od ich wielkości ustawiane są pod różnymi kątami. Przeważnie są one znacznie pochylone, choć niektórzy producenci stosują płyty prostopadłe do dna. Uzasadnione jest to koniecznością uzyskania przestrzeni dla niektórych układów, załogi oraz desantu. W górnej płycie pancernej znajdują się otwory służące do montażu wieży, pokryw nad przedziałami: silnikowym i napędowym oraz włazów nad przedziałami: kierowania i desantowym. Ze względu na dużą ilość otworów, płyta górna jest szczególnie wrażliwa na wszelkie zmiany konstrukcyjne. Kadłub wozu bojowego jest podzielony na przedziały: kierowania, bojowy, desantowy i silnikowo-transmisyjny. Najczęściej spotykany jest układ tzw. klasyczny, tj. przedział: kierowania i napędowy umieszczone są z przodu pojazdu, bojowy znajduje się w środku, a desantowy — z tyłu wozu (rys. 2.1). Pomiędzy przedziałami istnieje możliwość przejścia. Wynika to z konieczności zachowania bezpieczeństwa dla załogi w przypadku zagrożenia (np. uszkodzenie drzwi lub włazów desantowych) i ewentualnej zmiany osób obsługujących pojazd bez jego opuszczania.



Rys. 2.1. Ogólny układ konstrukcyjny bojowych wozów piechoty: PN — przedział napędowy; PS — przedział silnikowy; PK — przedział kierowania; PB — przedział bojowy; PD — przedział desantowy

2.2. Model podstawowy

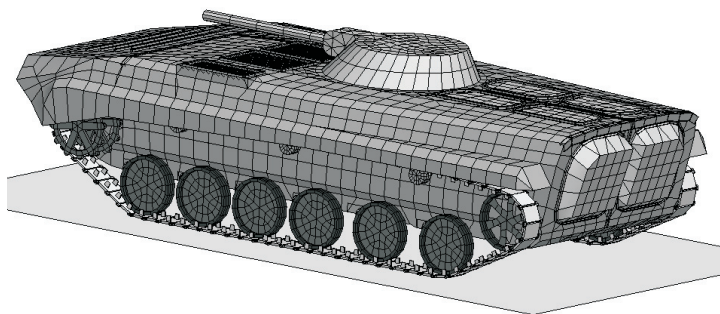
W pierwszym etapie pracy za celowe uznano odwzorowanie całej konstrukcji nośnej wozu bojowego (rys. 2.2). Umożliwiło to w dalszych pracach porównanie wyników otrzymanych dla zaproponowanych modeli częściowych.

Podczas opracowywania modelu dyskretnego pojazdu przyjęto następujący sposób postępowania:

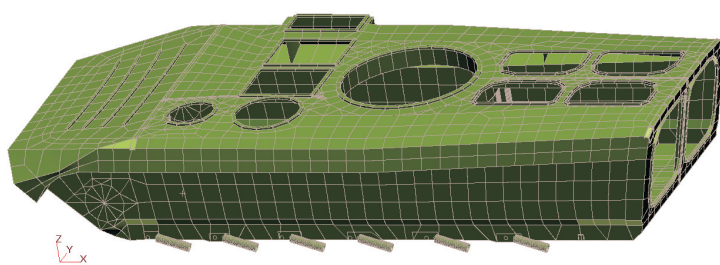
- wszystkie powierzchniowe elementy konstrukcyjne (płyty kadłuba, przegrody) modelowane są elementami powłokowymi,
- wszystkie wzmocnienia (uzebrowania, słupy, bieżnie łożyska) modelowane są elementami belkowymi o odpowiednio dobranych przekrojach i gęstości materiału, zapewniających odwzorowanie ich sztywności oraz masy,
- wieżę z armatą, zespoły układu napędowego oraz wyposażenie dodatkowe modeluje się bryłami sztywnymi o masie i masowych momentach bez-

właściwości odpowiadających rzeczywistym wartościom; do połączenia tych brył z elementami struktury nośnej wykorzystuje się elementy sztywne typu RIGID,

- zawieszenie pojazdu modeluje się elementami sprężystymi i tłumiącymi z uwzględnieniem geometrii zawieszenia (wahaczy); pomija się oddziaływanie gąsienic,
- przeniesienie sił oddziaływania wieży na płytę górną (podczas strzelania) realizuje się za pomocą elementów sztywnych; ich liczba jest równa liczbie kul w łożysku,
- siła odrzutu (podczas strzału) jest przykładana z uwzględnieniem kąta obrotu wieży i kąta podniesienia lufy (zastosowanie specjalnego elementu modelującego armatę i jej mocowanie w czopach wieży).



Rys. 2.2. Model kompletny pojazdu



Rys. 2.3. Model dyskretny wozu bojowego

Model struktury nośnej wozu bojowego opracowany według powyższych zasad przedstawiono na rysunku 2.3.

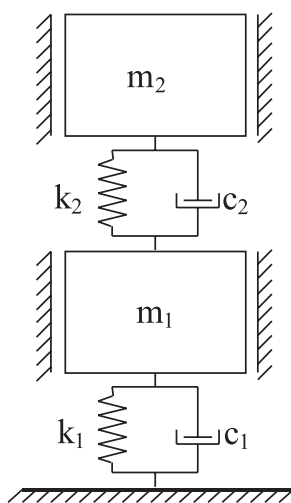
Kadłub wraz ze wzmocnieniami odwzorowano za pomocą około 3000 elementów powłokowych i 400 elementów belkowych. Łącznie model posiada około 12 000 stopni swobody. Do analizy wykorzystano oprogramowanie MSC NASTRAN/PATRAN.

Analizowaną konstrukcję obciążono impulsem siły, pochodzącym od odrzutu podczas strzału z armaty. Sposób przyłożenia obciążenia oraz wyznaczania jego wartości przedstawiono w pracach [1-3].

2.3. Model częściowy

W drugim etapie pracy do modelowania struktury nośnej wozu bojowego wykorzystano koncepcję podziału rozważanego obiektu na modele częściowe. Koncepcja ta została sformułowana przez Mandelsztama i uogólniona następnie przez Osieckiego i Stańczyka [4, 5]. W pracy [2] wykazano przydatność koncepcji podziału na modele częściowe do modelowania struktury nośnej czołgów. W przypadku bojowych wozów piechoty, w odróżnieniu od czołgów, poszczególne płyty kadłuba posiadają porównywalną grubość. Dlatego też postanowiono w niniejszej pracy sprawdzić przydatność tej koncepcji również do tego typu konstrukcji.

Przyjęto, że płytę podwieżową wraz z posadowioną na niej wieżą z uzbrojeniem można wydzielić jako model częściowy. Uproszczony (zredukowany) schemat takiego układu można przedstawić jako model dwumasowy (rys. 2.4).



Rys. 2.4. Schemat modelu zastępczego

W modelu tym m_2 jest masą kompletnej wieży wraz z płytą podwieżową, m_1 — masą pozostałej części pojazdu, natomiast elementy sprężyste i tłumiące odwzorowują sztywności oraz tłumienia płyty podwieżowej i zawieszenia. Dla rozważanego obiektu spełnione są relacje: $k_2 \gg k_1$ oraz $m_2 \ll m_1$. Zgodnie z literaturą [5], jest to przypadek „silnych powiązań” mas i model z rysunku 2.4 można przedstawić w postaci dwóch modeli częściowych pokazanych na rysunku 2.5.

W przytoczonej pracy wykazano, że modele te można analizować oddzielnie, jeżeli spełnione są następujące warunki:

$$\sigma^2 = \frac{4\Omega_{1,2}^4}{(\Omega_{02}^2 - \Omega_{01}^2)^2} \ll 1 \quad (2.1)$$

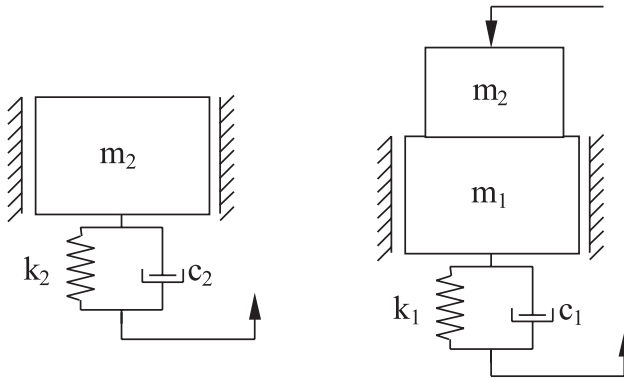
$$m_2 \ll m_1, \quad (2.2)$$

gdzie:

$$\Omega_{1,2}^4 = \frac{k_1 k_2}{(m_1 + m_2)^2} \quad (2.3)$$

$$\Omega_{01}^2 = \frac{k_1}{m_1 + m_2} \quad (2.4)$$

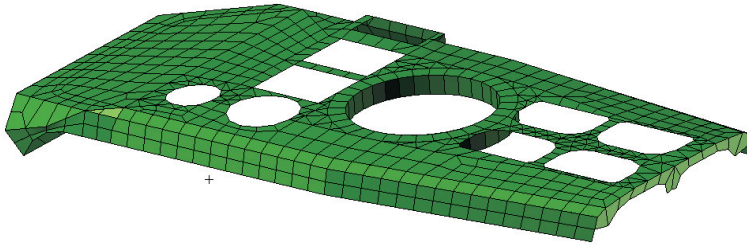
$$\Omega_{02}^2 = \frac{k_2}{m_2}. \quad (2.5)$$



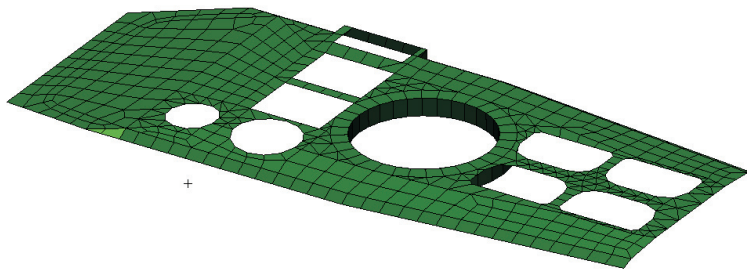
Rys. 2.5. Dekompozycja układu z rysunku 2.4 na modele częściowe

Można wykazać, że dla rozpatrywanego modelu wozu bojowego warunki te są spełnione.

Na rysunkach 2.6 i 2.7 przedstawiono opracowane według powyższej koncepcji dwa modele częściowe wozu bojowego. Różnią się one między innymi stopniem odwzorowania konstrukcji. W pierwszym z zaproponowanych modeli częściowych (rys. 2.6), oprócz modelowanej płyty podwiezowej uwzględniono również fragmenty ścian bocznych oraz ściany przedniej i tylnej kadłuba, zapewniając rozpięcie płyty na odkształcalnej konstrukcji skrzyniowej. Model częściowy 2 (rys. 2.7) stanowi najbardziej uproszczony wariant konstrukcji.



Rys. 2.6. Model częściowy I wozu bojowego



Rys. 2.7. Model częściowy II wozu bojowego

3. Badania modelowe

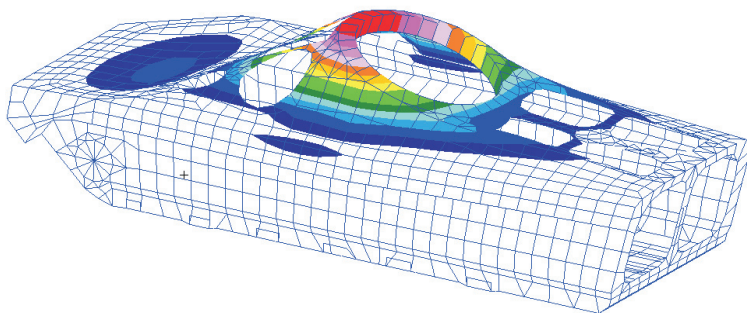
3.1. Drgania własne

Dla opracowanego podstawowego modelu wozu bojowego oraz jego modeli częściowych (modeli I i II) wyznaczono częstotliwości drgań własnych i stowarzyszone z nimi postacie drgań. Trzy najniższe częstotliwości drgań płyty górnej przedstawiono w tabeli 3.1. Podano w niej również różnicę częstotliwości drgań modeli częściowych w porównaniu do modelu podstawowego. Na rysunkach 3.1-3.3 przedstawiono przykładowe postacie drgań własnych otrzymane dla rozpatrywanych modeli.

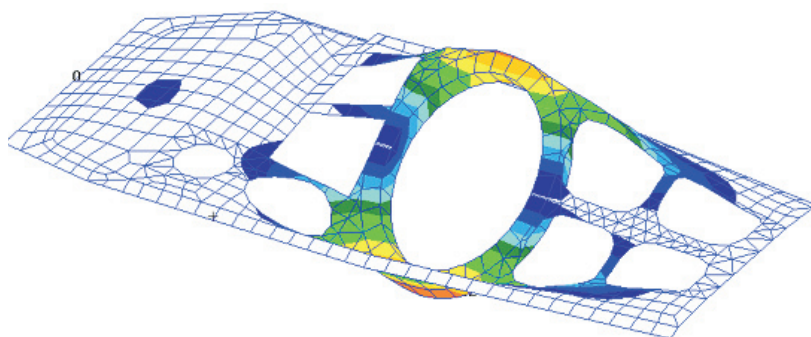
TABELA 3.1

Częstości drgań własnych rozpatrywanych modeli

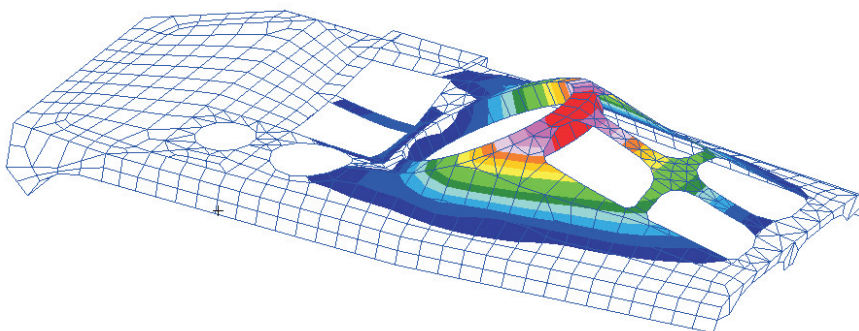
Numer częstotliwości	Częstotliwość drgań własnych [Hz]				
	model podstawowy	model I		model II	
1	7,37	7,57	2,7%	9,21	25,0%
2	10,3	10,5	1,9%	11,4	10,7%
3	10,6	11,5	8,5%	14,1	33,0%



Rys. 3.1. Postać drgań odpowiadająca pierwszej częstotliwości drgań własnych płyty podwiezowej



Rys. 3.2. Druga postać drgań własnych dla modelu częściowego II



Rys. 3.3. Trzecia postać drgań własnych dla modelu częściowego I

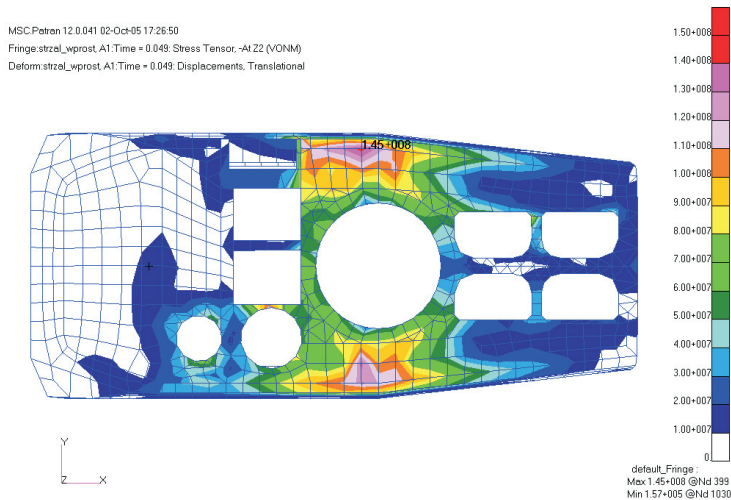
3.2. Drgania wymuszone

Zasadniczym celem pracy było dokonanie analizy możliwości wykorzystania modeli częściowych w badaniach wyęźnienia struktur nośnych wozów bojowych, poddanych obciążeniom o charakterze impulsowym. W rozważaniach ograniczono

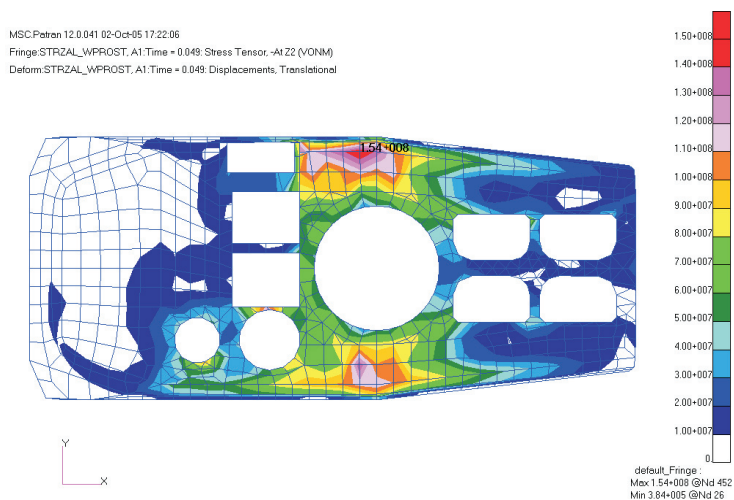
się jedynie do wyznaczenia deformacji i stanu naprężeń w płytach kadłuba wozu bojowego, wywołanych oddziaływaniem siły odrzutu, generowanej w trakcie strzału przez uzbrojenie zasadnicze — armatę zamocowaną w obrotowej wieży, lub trafieniem w nią pociskiem rykoszetującym (niepowodującym przebicia). W przypadku wozów piechoty, w zależności od kalibru armaty, impuls siły osiąga wartości dochodzące do 120 kN, a czas ich trwania wynosi około 15 ms. Impuls ten przenosi się poprzez sztywną wieżę na łożysko, a poprzez nie — na płytę górną kadłuba. Stan obciążenia elementów kadłuba zależy również od kąta podniesienia armaty i kąta obrotu wieży. Obliczenia przeprowadzono dla jednego wariantu obciążenia — strzału na wprost ($\alpha_W = 0^\circ$) przy maksymalnym kącie podniesienia armaty możliwym do uzyskania w tego typu wozach ($\alpha_A = 20^\circ$).

Na rysunkach 3.4–3.6 przedstawiono rozkład naprężeń zredukowanych według hipotezy Hubera-Misesa w płycie górnej wozu bojowego dla chwili wystąpienia ich maksymalnych wartości. Na rysunku 3.7 zaprezentowano przebiegi czasowe wyteżenia w wybranym węźle struktury analizowanych modeli.

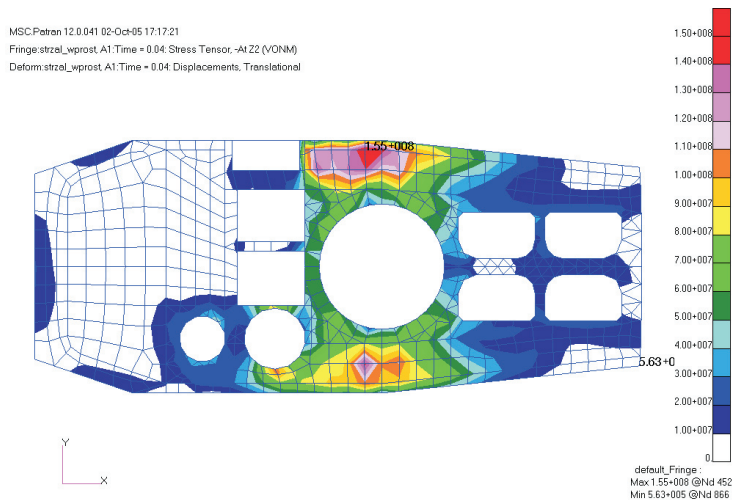
Wyniki obliczeń dla modeli częściowych I i II wykazują dużą zbieżność z modelem podstawowym zarówno co do wartości naprężeń, jak i ich rozkładu w płycie podwiezowej. Jednakże analiza przebiegów wyteżenia w miejscu występowania maksymalnych naprężeń wykazuje, że dokładniejsze rezultaty otrzymano dla modelu częściowego I. Jest to efekt większej sztywności konstrukcji modelu II, powodującej również wzrost częstotliwości drgań własnych.



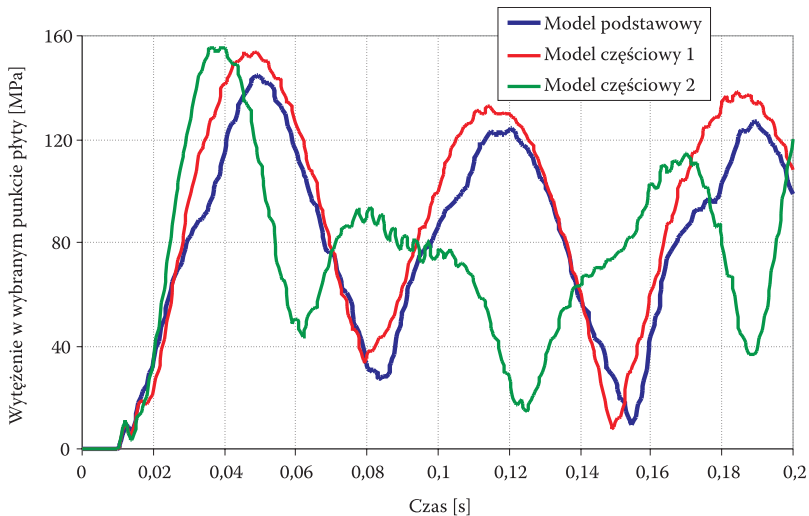
Rys. 3.4. Wyteżenie kadłuba podczas strzału — model podstawowy



Rys. 3.5. Wyężenie kadłuba podczas strzału — model częściowy 1



Rys. 3.6. Wyężenie kadłuba podczas strzału — model częściowy 2



Rys. 3.7. Przebiegi wyężenia w wybranym punkcie kadłuba dla analizowanych modeli

4. Podsumowanie

Otrzymane rezultaty obliczeń wykazują, że najlepszą zgodność uzyskano dla modelu częściowego I. Uwarunkowane jest to tym, że uwzględnione fragmenty ścian bocznych zapewniają sprężyste podparcie płyty podwieżowej. Mniejszą zgodność uzyskano dla modelu drugiego.

Analiza uzyskanych rezultatów wykazuje, że do obliczeń wstępnych oraz analizy stanu wyężenia można stosować modele częściowe, przy czym przyjęcie właściwego modelu częściowego zależy od rozwiązywanego zagadnienia. W złożonych zagadnieniach zaleca się stosowanie modeli częściowych odwzorowujących najbardziej niekorzystne warianty obciążenia.

Przedstawiony przykład sygnalizuje wagę problemu obciążania wozów bojowych w wersji podstawowej i poddawanych modernizacji oraz jej wpływu na wytrzymałość struktur nadwozi samonośnych.

Artykuł wpłynął do redakcji 16.02.2006 r. Zweryfikowaną wersję po recenzji otrzymano w czerwcu 2006 r.

LITERATURA

- [1] W. BORKOWSKI, P. RYBAK, Z. HRYCIÓW, *Wóz bojowy w warunkach oddziaływania obciążeń udarowych*, Materiały VII Międzynarodowej Konferencji COMPUTER AIDED ENGINEERING, Polanica Zdrój, 2004.

- [2] W. BORKOWSKI, M. DACKO, A. MOSSOR, *Obciążenie dynamiczne płyty podwieżowej czołgu wystrzałem z armaty*, Materiały VII Międzynarodowej Konferencji COMPUTER AIDED ENGINEERING, Polanica Zdrój, 2004.
- [3] W. BORKOWSKI, Z. HRYCIÓW, *Analiza obciążeń dynamicznych działających na bojowy wóz piechoty podczas strzału z broni pokładowej*, Materiały VII Międzynarodowej Konferencji COMPUTER AIDED ENGINEERING, Polanica Zdrój, 2004.
- [4] J. OSIECKI, T. STAŃCZYK, *Metoda analizy złożonych układów dynamicznych za pomocą modeli częściowych*, Biul. WAT, nr 7, Warszawa, 1991.
- [5] T. STAŃCZYK, *Metoda modeli częściowych jako podstawa tworzenia komputerowych systemów analizy dynamiki założonych układów mechanicznych*, Politechnika Świętokrzyska, Kielce, 1994.

W. BORKOWSKI, P. RYBAK, Z. HRYCIÓW

Partial models in stress analysis of supporting structure of combat vehicles

Abstract. The paper presents some results of model investigation of a combat vehicle model. The vehicle model of and its partial model were developed on the basis of finite elements method. Stress analysis of a supporting structure of vehicle was performed using partial models. It was proved, that partial models are useful for dynamic analysis. Comparisons of the results for a complete combat vehicle and a partial model of its construction are executed as well.

Keywords: infantry fighting vehicle, supporting structure, loading, partial model, effort

Universal Decimal Classification: 623.438