

## IMPACT OF GUNSHOT AND SHELL HIT ON THE TANK HULL

Wacław Borkowski, Piotr Rybak, Bogusław Michałowski

Military University of Technology  
S. Kaliskiego 2 Str., 00-908 Warszawa  
tel.: +48 22 6839752, fax: +48 22 6837370  
e-mail: w.borkowski@wme.wat.edu.pl  
p.rybak@wme.wat.edu.pl  
b.michalowski@wme.wat.edu.pl

### Abstract

*In paper there were presented results of calculations of tank model exposed to impact of loads generated while gunshot and after hull or turret hit by armour-piercing shell.*

*Increase of the fire efficiency may be achieved, among others, by increase of shell initial velocity or by increase of its caliber. Both methods cause increase of construction loads.*

*Statistical data about probability distribution of direct hit of Second World War tanks and information about recent military conflicts show, that today the most threatened tank part is the turret, with arranged armament and fire control system. However regardless of the hit-point, load spreads on the crew and inner equipment, as well in case of shell hit on the rebound.*

*In paper there were shown the results of numerical analysis of the strain state of selected hull elements for assumed load variants as well as time courses of accelerations acting on construction elements and crew members.*

**Keywords:** main battle tank, gun, load, model research

## ODDZIAŁYWANIE UZBROJENIA ORAZ UDERZENIA POCISKIEM NA KADŁUB CZOŁGU

### Streszczenie

*W pracy przedstawiono rezultaty obliczeń modelu czołgu poddanego oddziaływaniu obciążeń o charakterze udarowym generowanych podczas strzelania z uzbrojenia podstawowego oraz po trafieniu kadłuba lub wieży pociskiem przeciwpancernym. Podwyższenie skuteczności pocisków może być realizowane między innymi następującymi drogami, poprzez zwiększenie prędkości początkowej lub poprzez zwiększenie jego kalibru. Jedno i drugie powoduje wzrost obciążenia konstrukcji czołgu.*

*Dane o rozkładzie prawdopodobieństwa trafienia czołgów z okresu II Wojny Światowej oraz informacje z minionych konfliktów zbrojnych wskazują, że współcześnie najbardziej zagrożona jest wieża czołgu, w której rozmieszczone jest uzbrojenie podstawowe i system kierowania ogniem. Jednakże niezależnie od miejsca trafienia czołgu obciążenie przenosi się na załogę i wyposażenie wewnętrzne, również w przypadku uderzenia pocisku nie powodującego przebicia.*

*W pracy pokazano rezultaty analizy numerycznej stanu wyłączenia wybranych elementów kadłuba dla przyjętych wariantów obciążenia oraz przebiegi czasowe przyspieszeń działających na elementy konstrukcji i członków załogi.*

**Słowa kluczowe:** czołg średni, armata, obciążenie, badania modelowe

### 1. Wprowadzenie

Czołg podstawowy – jako wielozadaniowy, gaśnicowy wóz bojowy przeznaczony jest do wykonywania zadań bojowych w warunkach współczesnych konfliktów, stanowiąc uniwersalny środek walki wojsk lądowych.

Jako pojazd autonomiczny, może on skutecznie realizować zadania zarówno w obronie jak i w natarciu, pod bezpośrednim ogniem artyleryjskim przeciwnika oraz w warunkach użycia broni

masowego rażenia, w dzień i w nocy, w warunkach dobrej i złej widoczności. Pomimo różnych opinii o czołgach oraz prób umniejszania przez niektórych specjalistów ich roli, aktualne konflikty zbrojne i działania stabilizacyjne wskazują, że są to poglądy nieuprawnione. Potwierdza to również fakt, iż w armiach krajów wysoko rozwiniętych nie wycofuje się czołgów z uzbrojenia a wręcz przeciwnie, prowadzi się prace badawczo – rozwojowe nad ich doskonaleniem.

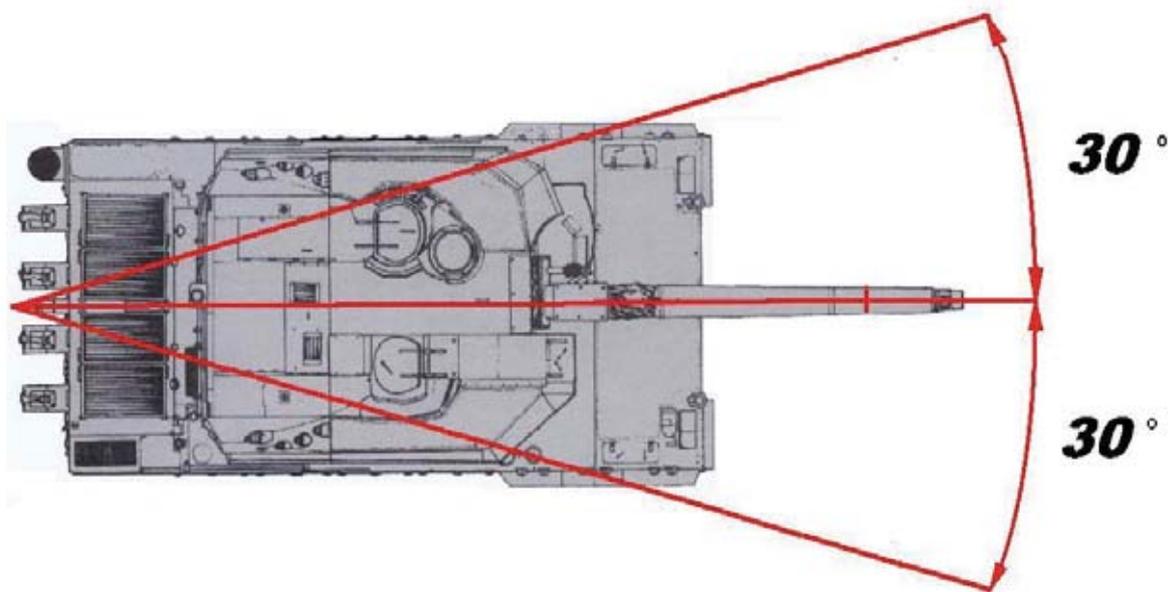
Właściwości bojowe czołgów, w ogólnym przypadku, określają jego główne cechy bojowe, którymi są: siła ognia, opancerzenie, ruchliwość. To te właśnie cechy bojowe gwarantują uniwersalność oraz przewagę czołgów nad innymi wozami bojowymi jak również nad nowotworzonymi lekkimi platformami ogniowymi.

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

Opancerzenie stanowi strukturę ochraniającą załogę i wyposażenie wewnętrzne czołgu przed środkami porażającymi broni przeciwnika (ochrona pasywna i aktywna, systemy ochrony przeciwwybuchowej, przeciwpożarowej, przed bronią masowego rażenia).

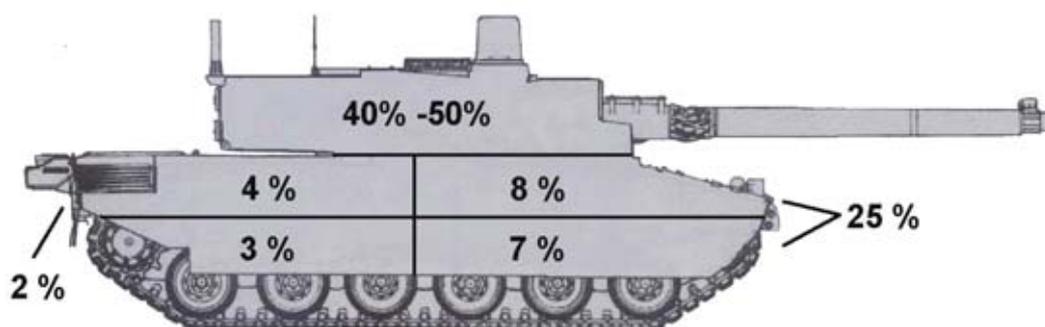
Ruchliwość czołgu traktuje się jako zdolność do przemieszczania w sensie taktycznym i operacyjnym oraz jako element obrony czynnej. Jest pojęciem bardzo szerokim i w ogólnym przypadku określa zrywność i manewrowość pojazdu, dynamikę jazdy oraz zdolność pokonywania terenu w każdych warunkach.

Podstawowym zadaniem czołgów jest zwalczanie sprzętu bojowego przeciwnika (jego czołgów, wozów bojowych piechoty, transporterów i innych) oraz niszczenie umocnień i punktów oporu. Niezależnie od tego czy zadania te będą realizowane w obronie czy w natarciu, to czołg będzie zwrócony przodem do przeciwnika. Stąd też strefa największego zagrożenia dla niego jest w granicach kąta kursowego – jak rys.1. Natomiast rozkład prawdopodobieństwa trafień czołgów walczących i zniszczonych w okresie II Wojny Światowej pokazano na rys. 2 oraz zestawiono w tabeli 1 wraz z rozkładami trafień przewidywanymi dla współczesnych czołgów.



Rys. 1. Strefa największego zagrożenia ostrzałem  
Fig. 1. The zone of the greatest enemy fire threat

Realizacja zadań bojowych przez czołgi polega na zadawaniu ciosu i w najgorszym przypadku przyjęcie go od przeciwnika. Na rysunku 3 przedstawiono moment oddawania strzału przez czołg. Natomiast na rysunku 4 pokazano kadłub i wieżę czołgu po próbach strzelania pociskiem przeciwpancernym.



Rys. 2. Rozkład trafień na podstawie danych z II Wojny Światowej  
 Fig. 2. Distribution of hit points on the basis of the II World War data

Tabela 1. Procentowy rozkład trafień w wybrane obszary czołgów  
 Table 1. Percentage distribution of hits in the selected areas of tanks

Rozkład trafień	Obszary porażenia czołgu				
	Przód [%]	Wieża [%]	Boki [%]	Tył [%]	Dno [%]
II Wojna Św.	25	40 - 50	22	2	1 - 2
współcześnie	12 - 16	70 - 80	8 - 12	1 - 3	3 - 4



Rys. 3. Moment oddania strzału z armaty czołgu  
 Fig. 3. The moment of tank gunshot



Rys. 4. Kadłub i wieża czołgu po ostrzeleniu pociskami przeciwpancernymi  
 Fig. 4. Hull and turret of the tank shot by the antitank (armour-piercing) shells

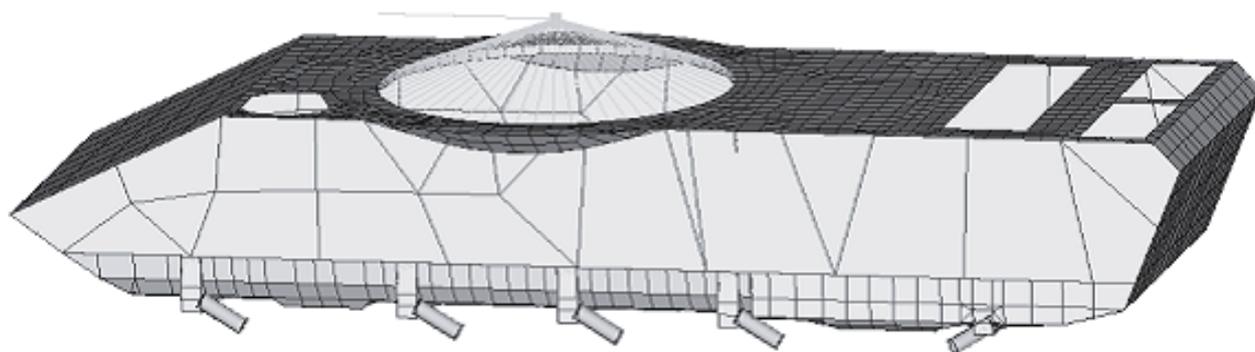
Rozwój środków przeciwpancernych oraz różnorodność działań bojowych, w tym zadania stabilizacyjne, determinują na producentach wozów bojowych i ośrodkach naukowo – badawczych, prowadzenie w sposób niemalże ciągły prac nad doskonaleniem ich konstrukcji.

W pracy podjęto próbę oszacowania obciążeń elementów konstrukcji struktury nośnej czołgu podczas strzelania z armaty oraz po trafieniu pociskiem.

## 2. Model obiektu badań

Obiektem badań jest gaśienicowy wóz bojowy o charakterystyce technicznej zbliżonej do czołgu średniego. Zasadniczym celem analizy jest oszacowanie obciążeń jego kadłuba i załogi. Kadłub czołgu jest samonośnym nadwoziem, wykonanym jako konstrukcja spawana ze stalowych płyt pancernych o zróżnicowanych grubościach i kątach pochylenia. Wewnątrz kadłuba montowane są zespoły napędowe oraz urządzenia i elementy wyposażenia specjalnego. Na płycie górnej kadłuba, w łożysku oporowym, osadzona jest wieża z uzbrojeniem podstawowym (armata). Łożysko oporowe pracując bez luzów, przenosi obciążenia złożone (pionowe i poziome) wynikające z wzajemnego oddziaływania wieży i kadłuba.

Model, zbudowany w oparciu o MES, odwzorowuje cały obiekt badań. Wieżę z armatą, kadłub oraz zespoły w nim osadzone traktuje się jako ciała sztywne. Płytę podwieżową oraz płytę dna modelowano elementami odkształcalnymi (powłokowymi) przyjmując jako warunki brzegowe utwierdzenie tych płyt na brzegach spawanych do płyt traktowanych jako sztywne. Zawieszenie modelowano elementami sprężysto – tłumiącymi o przyjętych charakterystykach. W stosunku do podstawowego model obiektu został uzupełniony o siedzisko mechanika – kierowcy. Model klasycznego czołgu średniego przedstawiono na rys. 5. Zbudowany on jest z 2239 elementów powłokowych, 48 brył sztywnych, 10 elementów sprężystych i sprężysto – tłumiących oraz 16 elementów belkowych. Łącznie model posiada 12827 stopni swobody.



Rys. 5. Model dyskretny obiektu badań  
Fig. 5. Discrete model of the research object

## 3. Badania modelowe

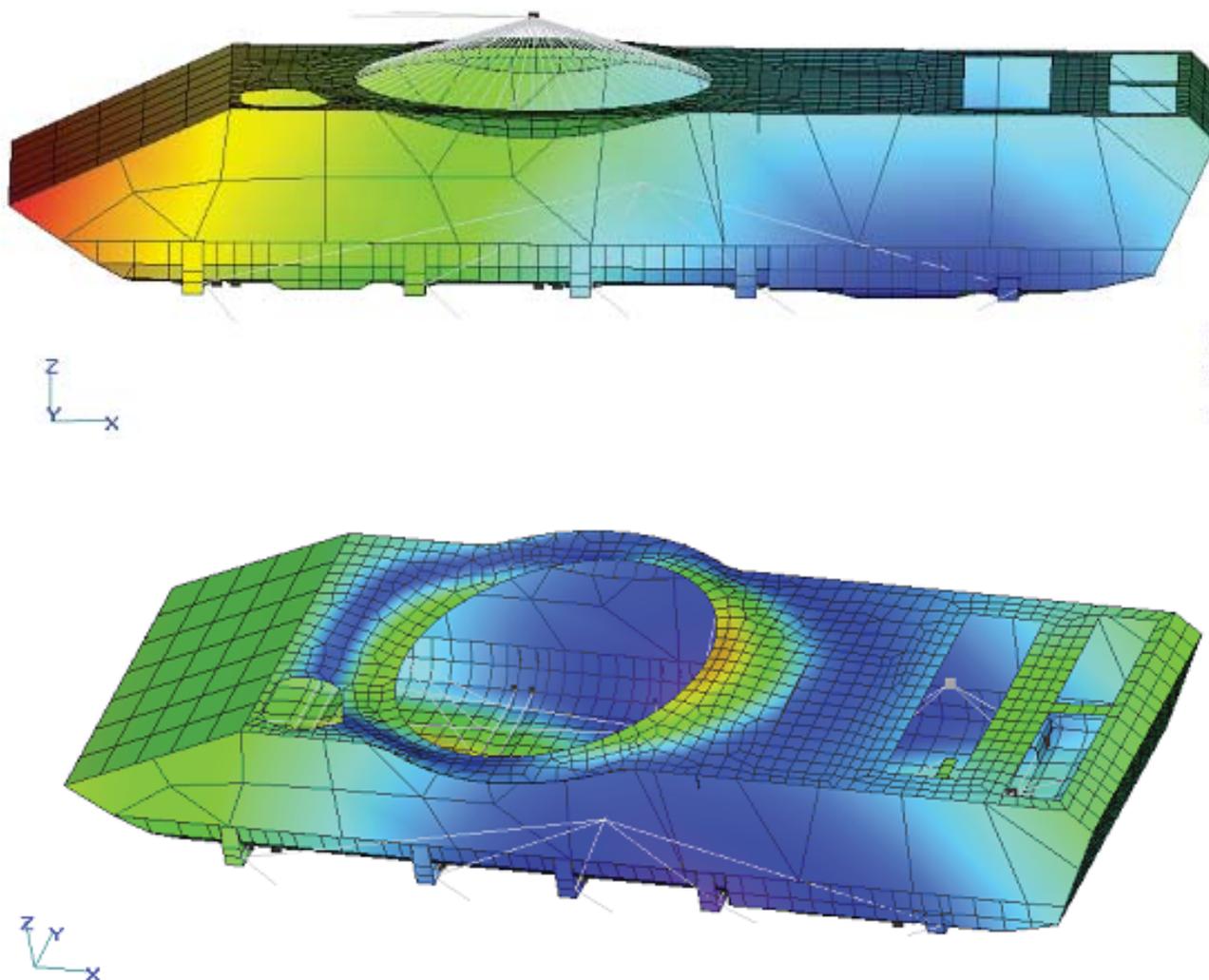
### 3.1. Drgania własne

W pierwszym etapie analizy rozwiązano zagadnienie na wartości własne – określono podstawowe właściwości dynamiczne obiektu badań. W ich efekcie otrzymano częstotliwości i postacie drgań swobodnych modelu, których wartości są główne następujące:

- częstotliwość drgań kątowych czołgu względem osi poprzecznej – 0,75 Hz,
- częstotliwość drgań pionowych czołgu – 1,27 Hz,
- częstotliwość drgań siedziska mechanika – kierowcy – 2,5 Hz,

- pierwsza częstotliwość drgań płyt kadłuba – 29,5 Hz.

Na rys. 6 pokazano, odpowiadającą pierwszej częstotliwości, postać drgań swobodnych czołgu.



Rys. 6. Pierwsza i czwarta postacie drgań własnych modelu  
Fig. 6. First and fourth natural frequency shapes of the model

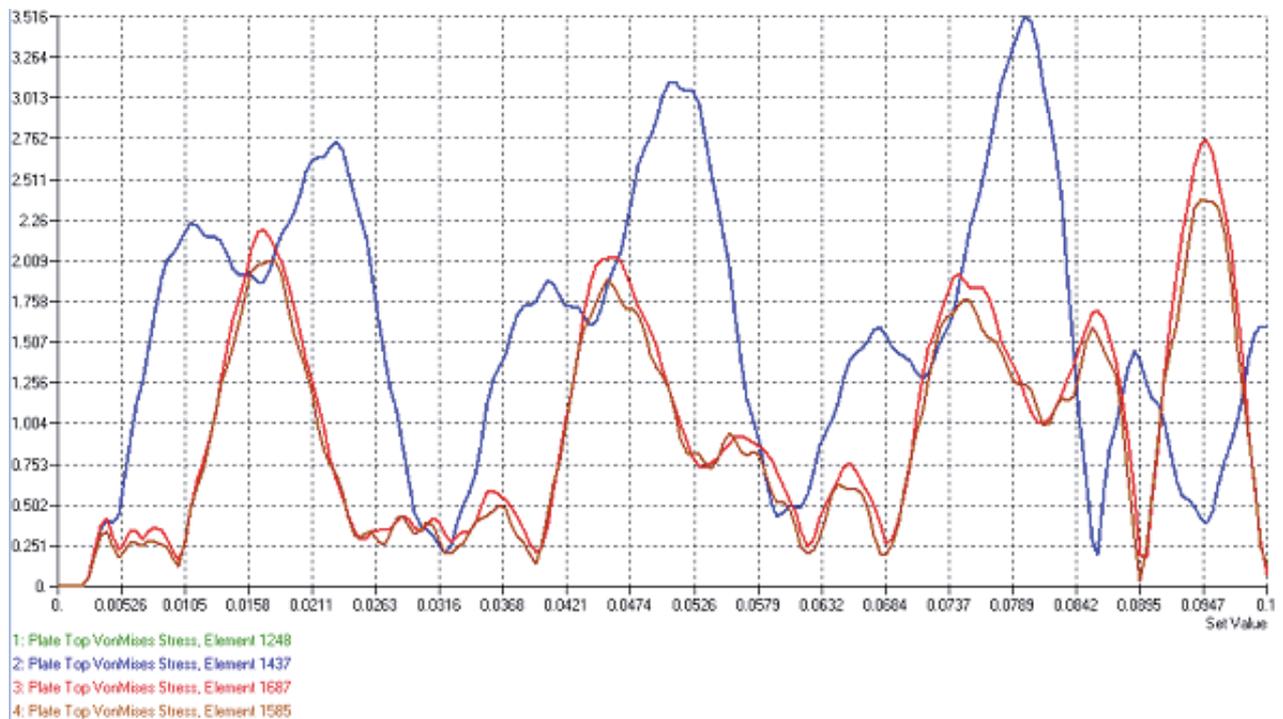
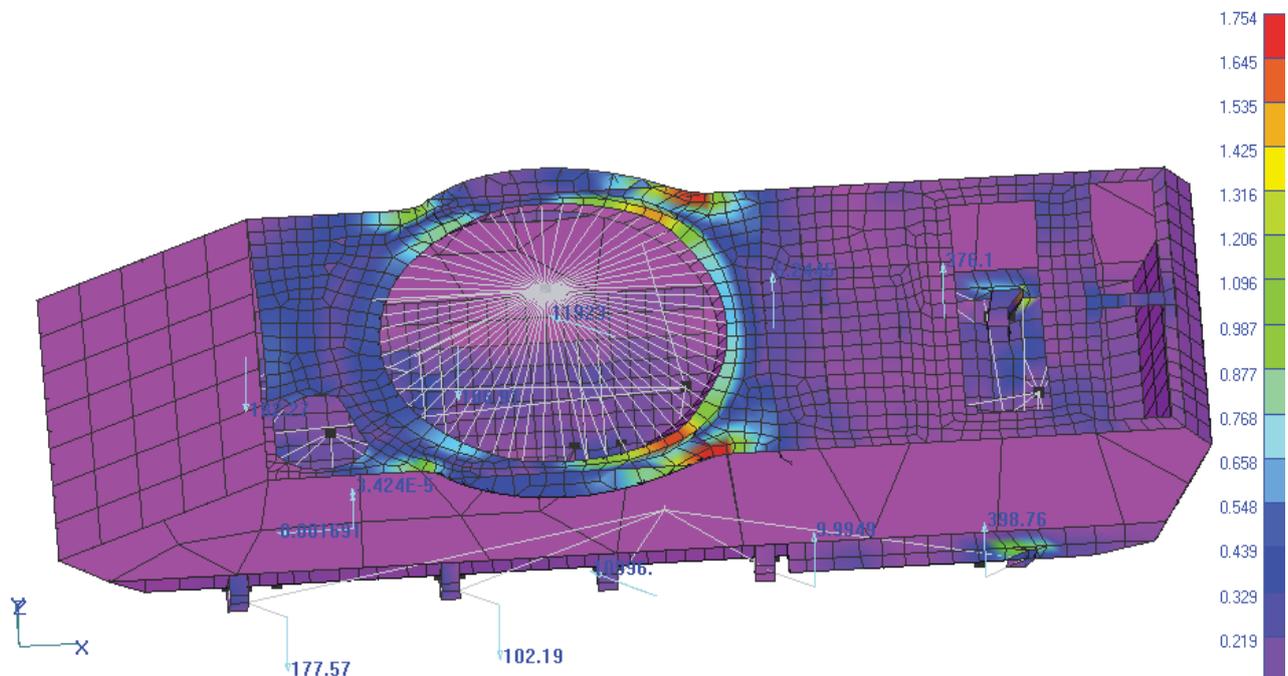
Uzyskane częstotliwości drgań odpowiadają częstotliwościom drgań własnych dla tej klasy pojazdów, świadczy to o poprawnej budowie modelu.

### 3.2. Drgania wymuszone

Głównym celem analizy jest określenie poziomu obciążeń kadłuba i załogi czołgu (reprezentowanej przez mechanika – kierowcę) podczas strzelania z armaty oraz przy trafieniu kadłuba lub wieży przez pocisk.

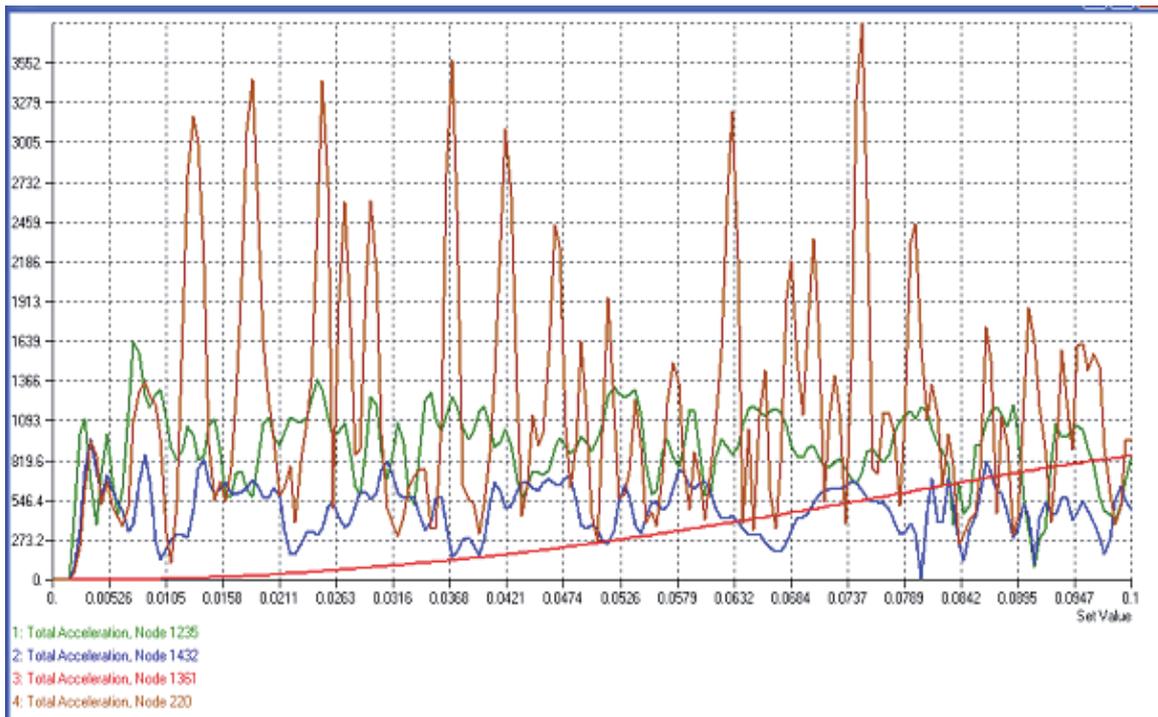
W wieży czołgu średniego osadzona jest armata o kalibrze 100mm. Podczas strzelania generowany jest w niej impuls siły o wartości 280kN i czasie trwania 0,078s. Podczas modernizacji w czołgu może być zamontowana armata odpowiadające standardom natowskim np. o kalibrze 120mm, podczas strzelania z której generowany jest impuls o wartości 597kN i czasie trwania 0,049s. Model obciążono impulsami siły dla przypadku strzelania na wprost. Uzyskane rezultaty obliczeń przedstawiono w postaci planów warstwicznych rozkładu naprężeń zredukowanych ( $\sigma_H$ ) według hipotezy Hubera – Misesa. Na rys. 7 przedstawiono deformacje płyt kadłuba w danej chwili czasu oraz przebieg czasowy naprężeń w wybranych jego elementach dla armaty 100 mm. Natomiast na rys. 8 pokazano przebiegi czasowe przyspieszeń działające na

wybrane węzły konstrukcji kadłuba czołgu oraz siedzisko mechanika kierowcy. Należy zaznaczyć, że mechanik kierowca jest znacznie oddalony od środka masy kadłuba czołgu i zarazem jest najbardziej narażonym na obciążenia członkiem załogi (również podczasjazd terenowych).

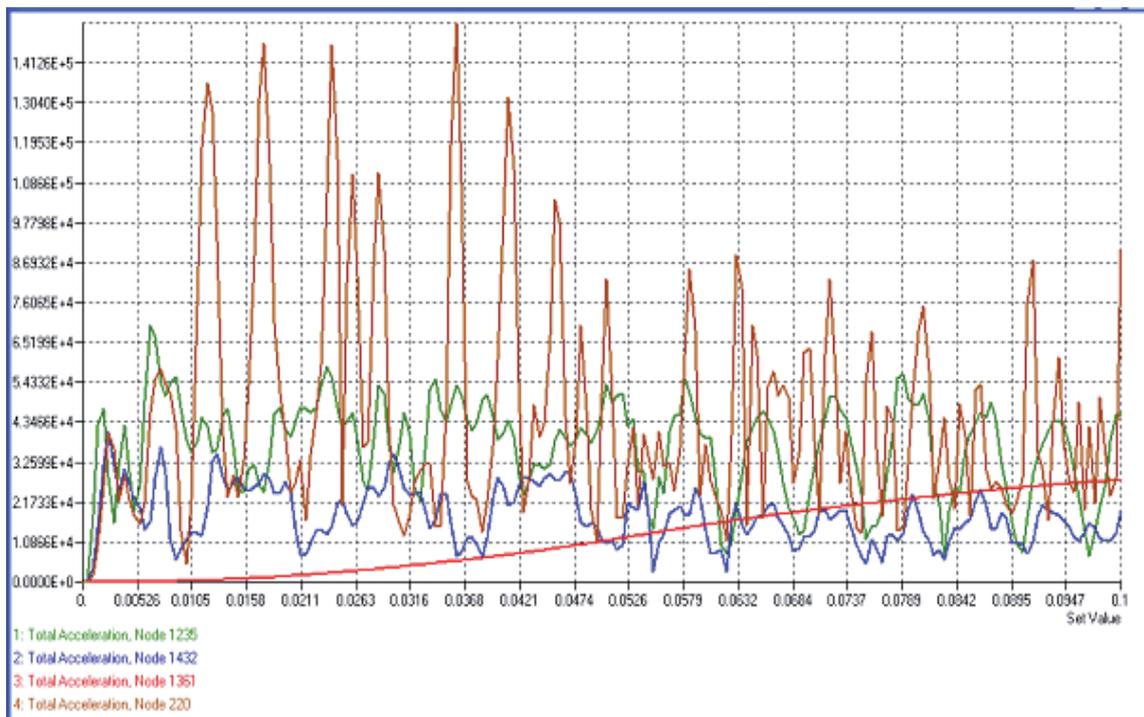


Rys. 7. Deformacje struktury kadłuba czołgu oraz przebiegi czasowe naprężeń w jego elementach podczas strzelania z armaty 100mm

Fig. 7. Deformations of the tank hull structure and time courses of stress in its elements during shooting by 100 mm gun



dla armaty 100 mm  
for 100 mm gun



dla armaty 120 mm  
for 100 mm gun

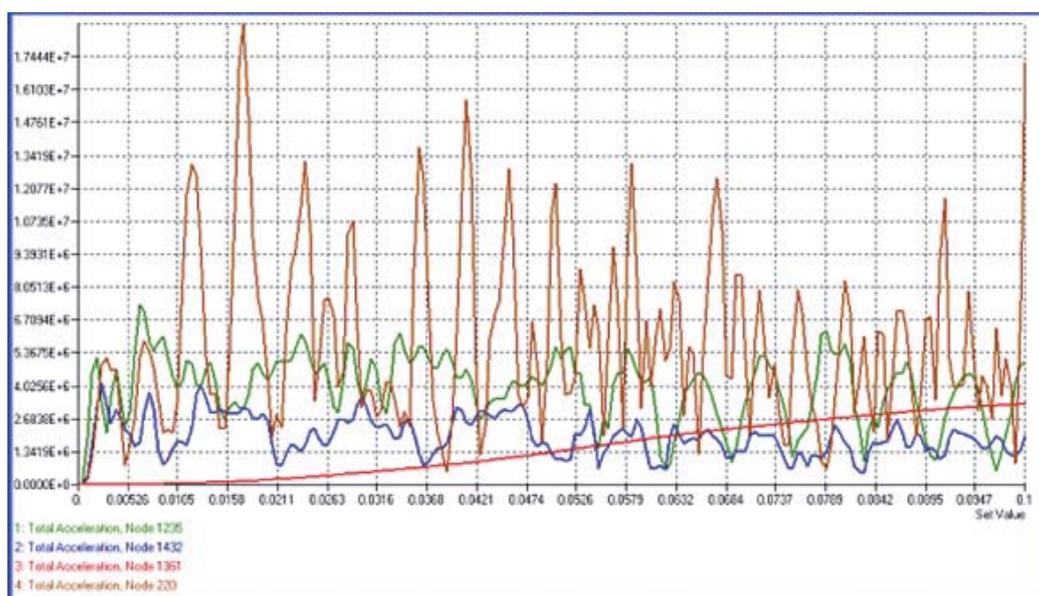
Rys. 8. Przebiegi czasowe przyspieszeń podczas strzelania: z armaty 100mm (u góry), 120mm (u dołu)  
Fig. 8. Time courses of accelerations during shooting by: 100 mm gun (higher), 120 mm (lower)

W tabeli 2 zestawiono maksymalne wartości naprężeń występujące w elementach struktury kadłuba dla analizowanego uzbrojenia dla przypadku strzelania na wprost.

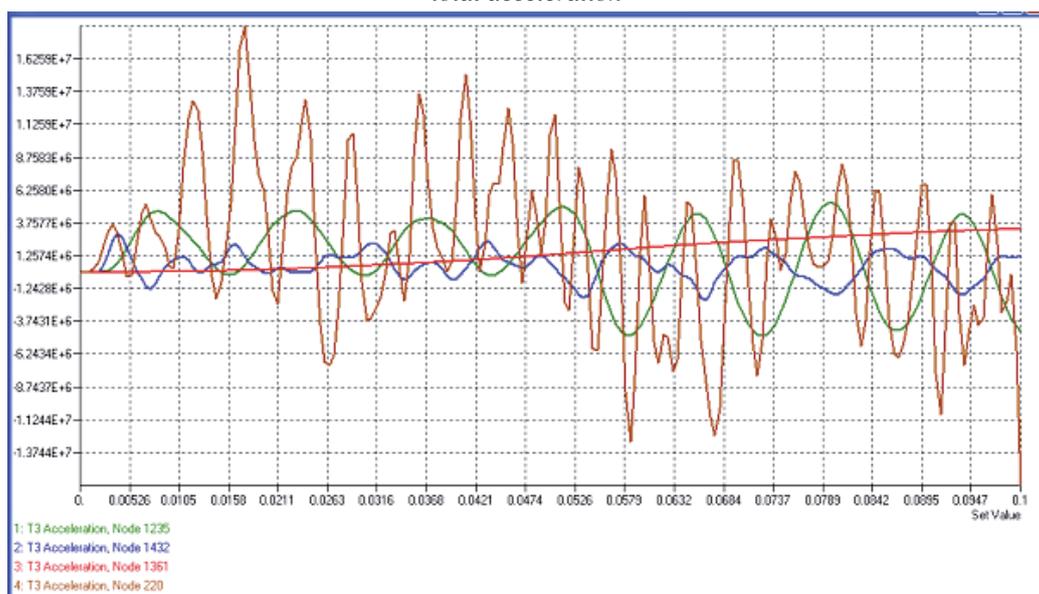
Tabela 2. Maksymalne wyężenie w kadhubie przy strzelaniu ogniem na wprost  
 Table 2. Maximum stress in tank hull during straightforward shooting

Lp.	Kaliber armaty [mm]	Siła odrzutu [kN]	Maksymalne napężenia [MPa]
1.	100	280	75
2.	120	597	161

Na rys. 9 przedstawiono przebiegi czasowe przyspieszeń wybranych punktów struktury czołgu. Są one wynikiem obliczeń czołgu uderzonego pociskiem przeciwpancernym, nie powodującym przebicia jego płyt. Zadane wartości obciążeń określono w oparciu o zależności zawarte w [5].



sumaryczne przyspieszenia liniowe  
 total acceleration



przyspieszenia pionowe  
 vertical acceleration

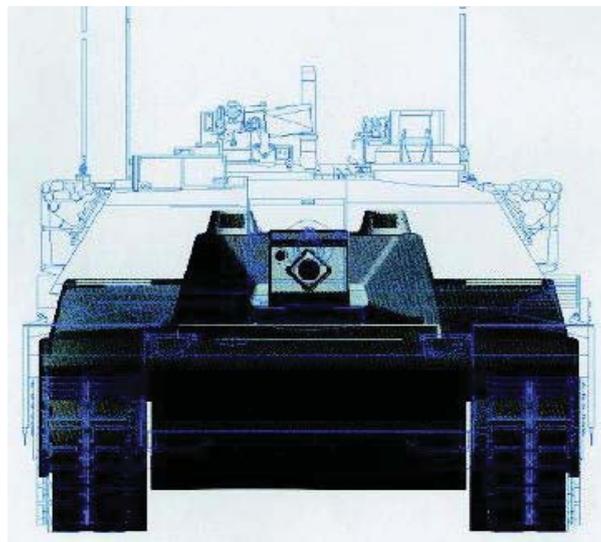
Rys. 9. Przebiegi czasowe przyspieszeń działające na pojazd i mechanika-kierowcę po uderzeniu pocisku  
 Fig. 9. Time courses of accelerations acting on the vehicle and driver after shell hit

#### 4. Wnioski końcowe

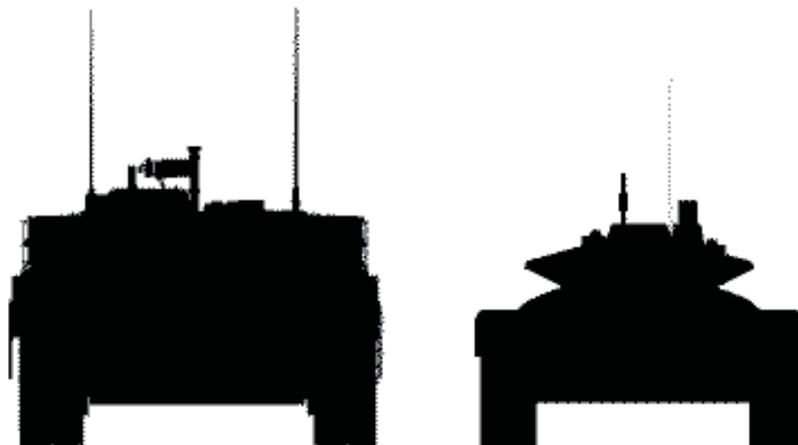
Przedstawiona analiza zagrożeń i rezultaty obliczeń ilustrują wagę problemu kształtowania konstrukcji czołgów. Odnosi się to również do ich modernizacji oraz tzw. zapasu modernizacyjnego oraz jej wpływu na wytrzymałość struktury nośnej. Zagadnienie to powinno być wnikliwie analizowane zarówno ze względu na podwyższenie skuteczności na polu walki jak i zapewnienie właściwości ochronnych nadwozia, dla wypracowania racjonalnego kompromisu pomiędzy głównymi cechami bojowymi.

Znajomość rozkładów prawdopodobieństwa trafienia, możliwymi środkami ogniowymi, może pozwolić na zwiększenie skuteczności zabezpieczenie danych stref wozu bojowego.

Dla zmniejszenia prawdopodobieństwa trafienia można stosować wieże bezzałogowe (rys. 10) lub konstrukcje wozów bojowych o znacznie obniżonej sylwetce i dużych kątach pochylecia płyt (rys. 11), w których zabudowywane będą kapsuły ochronne dla załogi.

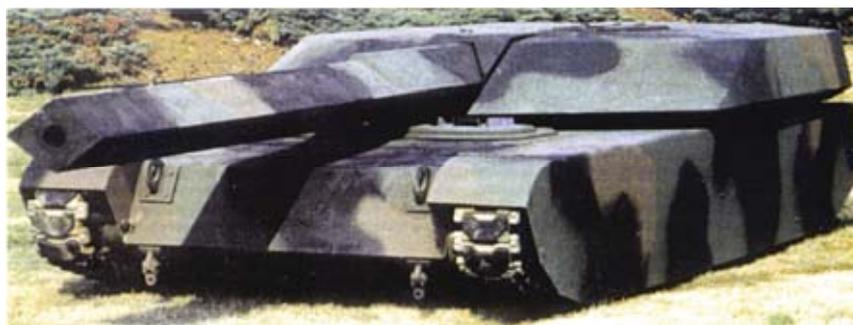


*czołg z wieżą Falcon na tle Chalangera  
tank with Falcon turret opposite Chalanger*



*sylwetki czołgów M1A2 i T-95  
M1A2 and T-95 tanks silhouettes*

*Rys. 10. Wpływ zastosowania wieży bezzałogowej na wysokość i przekrój poprzeczny czołgu [4]  
Fig. 10. Influence of use the unmanned turret on height and cross section area of tank [4]*



Rys. 11. Koncepcja czołgu IV generacji przeznaczonego dla armii Stanów Zjednoczonych  
Fig. 11. Conception of IV-th generation tank for US Army

## Literatura

- [1] Borkowski, W., Rybak, P., Hryciów, Z., *Wóz bojowy w warunkach oddziaływania obciążeń uderowych*, Journal of Transdisciplinary System Science, Volume 9 2004.
- [2] Borkowski, W., Rybak, P., Michałowski, B., *Wpływ rodzaju zawieszenia pojazdu gąsienicowego na obciążenia dynamiczne załogi i wyposażenia wewnętrznego*, Journal of KONES Powertrain and Transport, Vol. 13, nr 4/2006.
- [3] <http://www.army-technology.com>.
- [4] <http://www.czolgi.info>.
- [5] Włodarczyk, E., *Balistyka końcowa pocisków amunicji strzeleckiej*, tom I, Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa 2006.