



Obciążenia dynamiczne gąsienicowego wozu bojowego

WACŁAW BORKOWSKI, PIOTR RYBAK, ZDZISŁAW HRYCIÓW,
JÓZEF WYSOCKI, BOGUSŁAW MICHAŁOWSKI

Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Mechaniczny,
Instytut Pojazdów Mechanicznych i Transportu,
00-908 Warszawa, ul. S. Kaliskiego 2

Streszczenie. Wśród gąsienicowych wozów bojowych szczególnie wysokimi walorami wyróżniają się czołgi i wozy bojowe piechoty. Są one uniwersalnymi środkami walki, działającymi skutecznie zarówno w działaniach zaczepnych jak i w obronie, w różnych warunkach, stanowiąc podstawowy środek walki wojsk lądowych.

O przydatności gąsienicowych wozów bojowych decydują ich główne cechy bojowe, do których zalicza się siłę ognia, opancerzenie i ruchliwość.

Ruchliwość odzwierciedla zdolności dynamiczne i manewrowe. To od niej przede wszystkim zależy tempo działań bojowych, możliwość manewru wojskami oraz zdolności przekraczania różnych przeszkód, zarówno naturalnych jak i sztucznych. Właściwości dynamiczne wozów bojowych to głównie ich prędkości maksymalne i średnie w terenie oraz zdolność przyspieszania. Na ruchliwość duży wpływ ma silnik, układ napędowy i gąsienicowy układ jezdny. Aby zapewnić dużą ruchliwość, układ napędowy powinien charakteryzować się wysokim wskaźnikiem mocy jednostkowej, układ jezdny natomiast powinien stwarzać warunki płynnej jazdy oraz amortyzację wstrząsów i szarpnięć. Ruchliwość wozów bojowych ma istotny wpływ na żywotność czołgu oraz prawdopodobieństwo ich trafienia, jest elementem tzw. obrony czynnej. Wzrost ruchliwości bardzo ściśle wiąże się ze wzrostem obciążeń dynamicznych, które działają na kadłub pojazdu i jego załogę oraz wyposażenie wewnętrzne.

W pracy podjęto próbę oceny wpływu niektórych parametrów na obciążenia dynamiczne gąsienicowego wozu bojowego, w oparciu o analizę stanu zagadnienia jak i badania własne.

Słowa kluczowe: budowa i eksploatacja maszyn, gąsienicowy wóz bojowy, obciążenia

Symbole UKD: 621.438.3

1. Wprowadzenie

Siły zbrojne powinny być przygotowane na każdy rodzaj działań bojowych, nie tylko na terenie swojego kraju, ale i poza granicami, i posiadać sprzęt niezbędny do ich realizacji (przykładem tu może być Holandia, Belgia czy neutralna Szwajcaria).

Wielu specjalistów wyraża opinię, że kończy się dominacja gąsienicowych wozów bojowych (czołgów i bojowych wozów piechoty) na korzyść kołowych transporterów opancerzonych. Jak pokazują współczesne konflikty i misje stabilizacyjne — zadania patrolowania i rozpoznania można realizować z wykorzystaniem kołowych transporterów opancerzonych, ale do likwidacji zagrożeń oraz działań w złożonych sytuacjach wykorzystuje się gąsienicowe wozy bojowe. Osiągnięcie niektórych właściwości zbliżonych do gąsienicowych wozów bojowych (GWB) przez kołowe transportery opancerzone (KTO) wymaga zastosowania szeregu dodatkowych systemów i układów (np. dla zwiększenia przejezdności w terenie — układu centralnego pompowania kół, dla zmniejszenia promieni skrętu układu hamującego koła po jednej stronie itp.). GWB przy tej samej masie co KTO gwarantują skuteczniejszą osłonę załódze. Do realizacji zadań, szczególnie w obszarach o dużym nasyceniu artylerią i przeciwpancernymi środkami ogniowymi, wykorzystuje się głównie gąsienicowe wozy bojowe — czołgi i wozy bojowe piechoty, przy czym główny wysiłek spoczywa na czołgach. Są one uniwersalnymi środkami walki, ponieważ mogą realizować zadania obronne i ofensywne, również w warunkach użycia broni masowego rażenia.

Złożoność i różnorodność działań bojowych, w tym zadania stabilizacyjne oraz rozwój środków przeciwpancernych, wymusza na producentach wozów bojowych prowadzenie w sposób niemalże ciągły badań nad nowymi rozwiązaniami systemów i układów zwiększającymi skuteczność działania, prawdopodobieństwo przetrwania pojazdu i załogi oraz dynamikę ruchu. O skuteczności i szybkości realizowania przedsięwzięć przez wozy bojowe decyduje w znacznym stopniu poziom obciążeń dynamicznych działających na pojazd podczas jazdy w warunkach pola walki.

W pracy przeanalizowano niektóre obciążenia działające na pojazd i jego układ napędowy, wynikające z ruchu w terenie oraz generowane przez środki porażające. Zawarte wyniki są częściowo rezultatami studiów literaturowych, natomiast w większości przypadków to rezultaty badań własnych.

2. Warunki eksploatacji wozów bojowych

Od gąsienicowych wozów bojowych oczekuje się wysokich własności trakcyjnych oraz dużej niezawodności w każdych warunkach eksploatacji. Wymaga się, aby ruch pojazdu był możliwie płynny, zapewniający prowadzenie celnego ognia w ruchu i taki komfort jazdy, aby załoga nie ulegała zbyt szybkiemu zmęczeniu.

Pojazdy te realizują zadania w dowolnych, ekstremalnie ciężkich warunkach terenowych, poruszając się po drogach gruntowych, bezdrożach, terenach nizinnych (w tym bagnistych) i górzystych (na wysokości do 3500 m n.p.m.), piaszczystych oraz zaśnieżonych, w zróżnicowanych warunkach klimatycznych, przy wilgotności do 98%. Szczególnie mocno obciążone są ich układy napędowe i jezdne.

Warunki pracy układu napędowego gąsienicowego wozu bojowego charakteryzują m.in.:

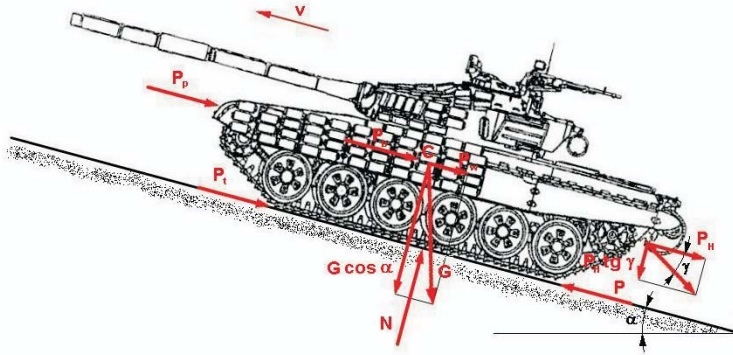
- duża rozpiętość i częstość zmian obciążeń od podłoża, występująca podczas jazdy i będąca rezultatem zmiany przełożeń, realizacji skrętu, oddziaływania sił bezwładności podczas przyśpieszania, hamowania;
- znaczne obciążenia dynamiczne oraz losowo działające przeciążenia, powstające podczas pokonywania przeszkód terenowych (naturalnych i sztucznych), intensywne drgania kadłuba powodowane nierównościami terenowymi;
- duży moment napędowy silnika oraz moment oporowy od podłoża oraz gąsienicowego układu jezdne, podczas jazdy na wprost i w czasie realizacji skrętu;
- znaczące obciążenie podczas strzelania z armaty w ruchu, uderzenia pocisku niepowodującego przebicia;
- oddziaływanie min przeciwpancernych lub ładunku improwizowanego (IED);
- zwiększone obciążenie cieplne wynikające z zabudowy w zamkniętej przestrzeni.

3. Obciążenia gąsienicowego wozu bojowego

Na pojazd gąsienicowy działają złożone wymuszenia, które w znacznej mierze mają charakter losowy. W warunkach ekstremalnych obciążenia te mogą wywołać przeciążenie układu napędowego i mechanizmu gąsienicowego oraz załogi i wyposażenia wewnętrznego. Na rysunku 3.1 przedstawiono siły zewnętrzne działające na pojazd w ruchu prostoliniowym przy wjeździe na wzniesienie o kącie α i jednakowych nierównościach pod gąsienicami.

3.1. Modernizacja czołgu a obciążenia silnika i układu napędowego

Modernizację wozów bojowych można realizować kompleksowo lub częściowo. Przy kompleksowej modernizacji w istotny sposób poprawia się główne cechy bojowe, zwiększając przy tym obciążenie silnika i układu napędowego, głównie poprzez wzrost masy i oporów ruchu. W tabeli 3.1 zestawiono parametry silników przewidzianych do zastosowania w czołgu.



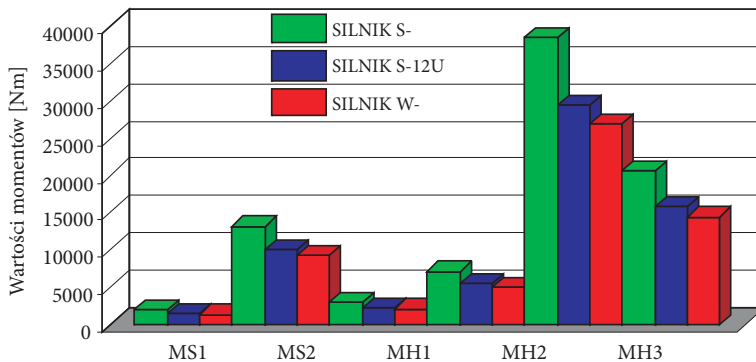
Rys. 3.1. Siły zewnętrzne działające na czołg podczas ruchu nieustalonego na wzniesieniu, gdzie: G — siła ciężkości czołgu; P — siła napędowa; P_p — siła oporów powietrza; P_t — siła oporów toczenia; P_w — siła oporów wzniesienia; N — reakcja normalna podłoża; P_H — siła na haku; C — środek masy

TABELA 3.1

Parametry silników stosowanych do napędu czołgów podstawowych

Typ silnika	Moc [kW]	Moment [Nm]
W-46	574	3000
S-12U	625	3300
S-1000	736	4300

Modernizacja silnika znacząco zwiększa obciążenie układu napędowego. Przykładem niech będą obciążenia elementów planetarnych skrzyń biegów. Na rysunku 3.2 przedstawiono rezultaty obliczeń momentów działających na poszczególne



Rys. 3.2. Obciążenia mechanizmów ciernych układu napędowego uwarunkowane momentem silnika: MS — moment sprzęgła; MH — moment hamulca [1]

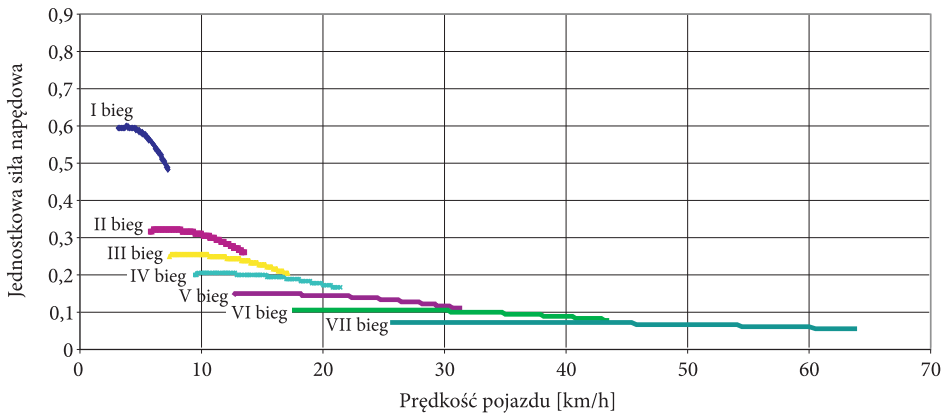
gólne mechanizmy cierne planetarnych skrzyń biegów, wynikające z maksymalnego momentu napędowego zastosowanych silników.

Wielkość obciążenia silnika i zespołów układu napędowego zależy również od:

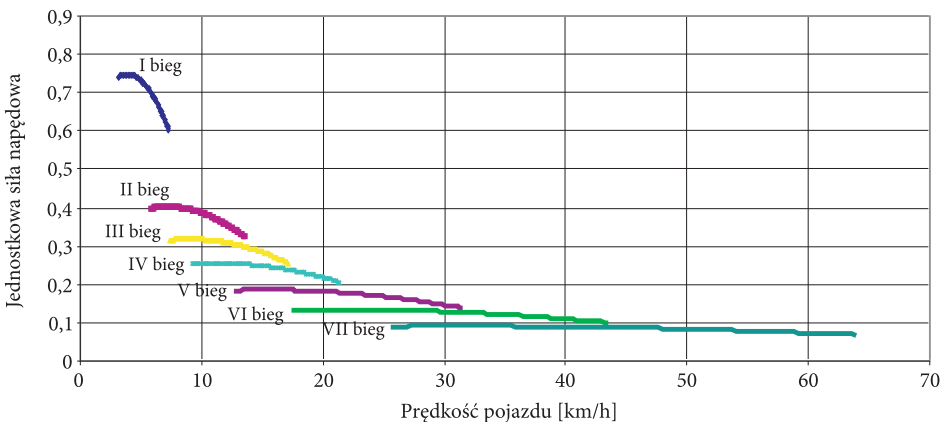
- stopnia zużycia zaczepów gąsienicy i wieńców zębatych kół napędowych ze względu na zróżnicowanie podziałki gąsienicy i koła napędowego (siły w zaczepleniu dochodzą do kilkunastu kiloniutonów),
- napięcia wstępnego taśm gąsienicowych, które wpływa na wielkość amplitudy oraz częstotliwość drgań.

Zastosowanie zmodernizowanego silnika zdecydowanie wpłynęło na zmianę parametrów charakterystyki dynamicznej pojazdu (rys. 3.3).

a) Charakterystyka dynamiczna czołgu z silnikiem W-46



b) Charakterystyka dynamiczna czołgu z silnikiem S-1000



Rys. 3.3. Charakterystyki dynamiczne czołgów: a) podstawowy; b) zmodernizowany

3.2. Obciążenia dynamiczne działające podczas jazd terenowych

Analiza dostępnych informacji, doświadczenie i wiedza ekspercka autorów pracy pozwala przyjąć, że obciążenia działające na silnik i zespoły układu napędowego podczas eksploatacji czołgów w typowych warunkach mają charakter obciążeń przeciętnych, stanowiących około 50-75% obciążeń maksymalnych, które występują w następujących warunkach:

- jazda w ciężkim, grząskim terenie lub w terenie piaszczystym, podjazdy pod górę,
- realizacja skrętu, w ciężkim terenie na biegach I i W, skręt na zboczach wzniesień,
- realizacja ruchu wężykowatego,
- realizacja ruchu polegającego na gwałtownych skokach od ukrycia do ukrycia (duże przyspieszenia i gwałtowne hamowania),
- podczas strzelania w ruchu i po trafieniu pocisku — rykoszetu.

Istotny wpływ na prawidłowe funkcjonowanie wszystkich układów, zespołów, mechanizmów i systemów poruszającego się czołgu mają drgania jego kadłuba pancernego będące wynikiem jazd po drogach gruntowych, bezdrożach, przeszkodach naturalnych i sztucznych. Skala obciążeń zależy od prędkości ruchu czołgu, własności dynamicznych zawieszenia, kątów natarcia i zejścia skośnych odcinków gąsienic, charakteru współpracy gąsienicy z gruntem. W tabeli 3.2 podano przykładowe, maksymalne wartości przyspieszeń pionowych zarejestrowane w wybranych miejscach kadłuba czołgu podczas jazd badawczych po przeszkodach o zarysie trójkąta, o zadanej długości i wysokości, odpowiadających typowym nierównościami w terenie odkształcalnym.

TABELA 3.2

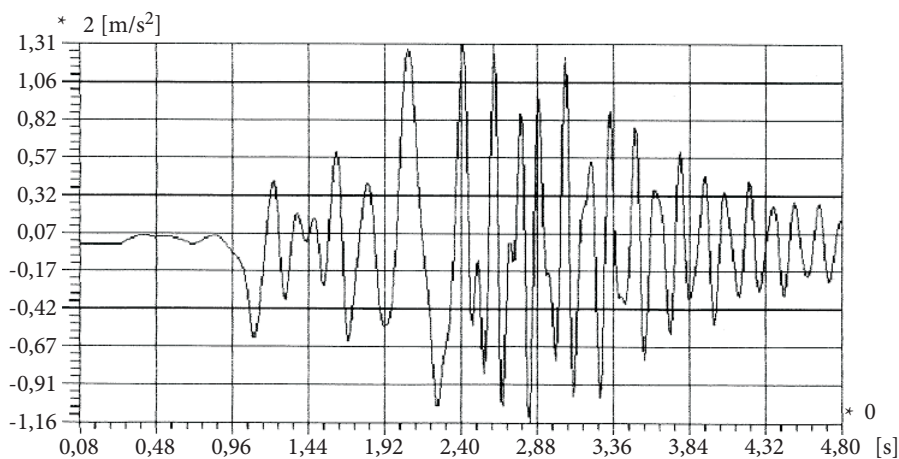
Przykładowe wartości przyspieszeń pionowych uzyskane z jazd badawczych

Prędkość ruchu [km/h]	Przyspieszenie pionowe tyłu kadłuba [m/s^2]
10	10
15	21
20	28

Rezultaty badań wskazują, że obciążenia dynamiczne działające na ważne obszary czołgu, już przy niewielkich prędkościach jazdy (poniżej średnich prędkości w terenie) osiągają znaczne wartości. Należy się spodziewać, iż dla wyższych prędkości oraz przeszkód o podobnych lub zbliżonych parametrach, wartości te mogą niebezpiecznie wzrosnąć zarówno dla załogi jak i wyposażenia wewnętrznego (w tym silnika i układu napędowego).

Przy użytkowaniu czołgów w warunkach bojowych często zdarza się, że pojazd porusza się z dużymi prędkościami i napotyka na pojedyncze nierówności, np. o wysokości 30 cm o niewielkiej długości — obciążenie ma wówczas charakter udarowy. Wartość tego obciążenia podczas jazdy z prędkością powyżej 30 km/h może osiągnąć 5-8 g (a niekiedy 12 g, g — przyspieszenie ziemskie) w przedniej i tylnej części kadłuba, odpowiednio podczas najazdu i zjazdu z przeszkody (szczególnie przeciwiwskarpny).

Na rysunku 3.4 przedstawiono przykładowy przebieg przyspieszeń kadłuba czołgu uzyskany z badań numerycznych dla wysokich prędkości jazdy.



Rys. 3.4. Przyspieszenia pionowe środka masy czołgu na pojedynczej przeszkodzie

Silniki z układem napędowym są sztywno mocowane w kadłubie na ramach, wspornikach oraz w jazmach i z wysoką dokładnością ustawiane współosiowo względem siebie. Powyższe obciążenia mogą mieć istotny wpływ na trwałość i niezawodność pojazdu i również na skuteczność wykonywania zadań specjalnych.

3.3. Obciążenia podczas strzelania z armaty

Duży kaliber armaty czołgowej oraz silne ładunki materiału miotającego powodują powstawanie w chwili wystrzału dużej siły odrzutu, której całkowicie nie są w stanie rozproszyć elementy tłumiące zespołu oporopowrotnika. Część tej siły działa na kadłub czołgu, z którego przekazywana jest przez gąsienicowy układ jezdny na koła napędowe, zespoły układu napędowego na silnik. Przybliżoną wartość siły odrzutu można określić z zależności [2].

$$R = \frac{0,5M_o \cdot w_{\max}^2}{\lambda - L_k + w_{\max} \cdot t_p}, \quad (3.1)$$

gdzie: M_o — masa zespołu odrzutowego [kg];
 λ — założona długość odrzutu [m];
 w_{\max} — maksymalna prędkość odrzutu swobodnego [m/s];
 L_k — droga odrzutu swobodnego w końcu okresu powylotowego działania gazów prochowych;
 t_p — czas zakończenia powylotowego działania gazów prochowych [s].

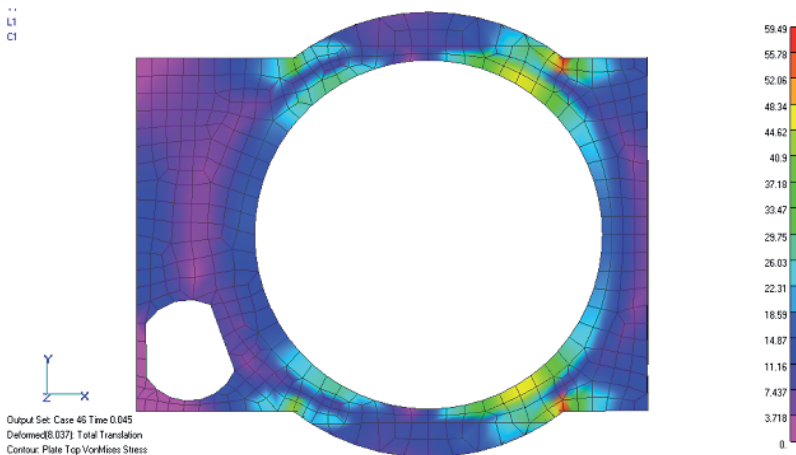
W tabeli 3.3 zestawiono obliczone wartości sił odrzutu generowanych podczas strzelania z armat o różnym kalibrze standardowymi dla nich pociskami.

TABELA 3.3

Wielkość siły odrzutu obciążająca kadłub czołgu dla różnych kalibrów

Lp.	Kaliber armaty [mm]	Siła odrzutu [kN]	Czas trwania impulsu [s]
1	105	460	0,043
2	120	411	0,058
3	125	524	0,056

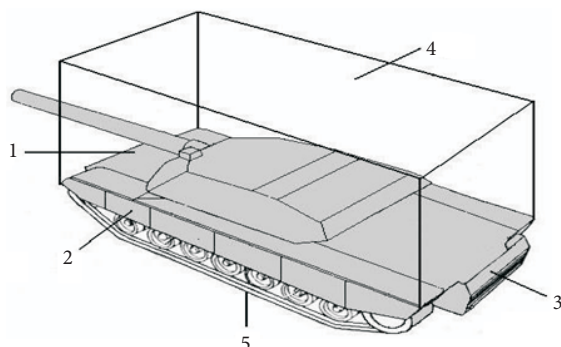
Na rysunku 3.5 pokazano stan obciążenia płyty podwieżowej czołgu podczas strzelania z armaty. Widoczne są obszary o podwyższonym obciążeniu, lecz bez zagrożenia dla struktury kadłuba.



Rys. 3.5. Naprężenia zredukowane w płycie podwieżowej czołgu — $t = 0,045$ s, kaliber 100 mm

3.4. Obciążenia od środków porażających przeciwnika

Gąsienicowy wóz bojowy narażony jest na oddziaływanie środków porażających przeciwnika praktycznie w każdej z 5 stref (rys. 3.6), przez środki artyleryjskie, raketowe, minowe czy też ręczne granatniki przeciwpancerne.



Rys. 3.6. Strefy zagrożeń wozu bojowego

Nie można pominąć obciążenia kadłuba czołgu wynikającego z trafienia pociskiem niepowodującym przebicia lub odbitym w wyniku rykoszetu. Obciążenie dynamiczne pojazdu od pocisku rykoszetującego może osiągać różną wartość, od maksymalnej równej energii pocisku wnikającego w pancerz bez jego przebicia, do wartości minimalnej, będącej efektem ślizgania się pocisku po pancerzu. W ogólnym przypadku obciążenie zależy, między innymi, od: masy pocisku, jego prędkości w chwili uderzenia w pancerz, kąta pod jakim następuje uderzenie, grubości pancerza (konfiguracji), masy pancerza. Na rysunku 3.7 przedstawiono efekt oddziaływania pocisków przeciwpancernych na wóz bojowy.



Rys. 3.7. Postać zniszczeń płyt pancernych przez pociski przeciwpancerne

3.5. Obciążenia od min przeciwpancernych i improwizowanych ładunków wybuchowych

Pojawiające się coraz częściej pojęcie „naziemnej wojny minowej” wymusza podejmowanie stosownych zabiegów zmniejszających jej skutki. Wojna ta polega na ustawianiu pól minowych, z wykorzystaniem min przeciwpancernych, również o działaniu niekontaktowym, jak też improwizowanych ładunków wybuchowych. Potwierdzenie tego typu działań można zauważyć w konfliktach na Bałkanach, w Afganistanie, Iraku, na Bliskim Wschodzie, w krajach afrykańskich. Głównym czynnikiem rażenia ww. środków jest ciśnienie powybuchowej fali uderzeniowej działające na strukturę nośną wozu bojowego. Skutek takiego oddziaływania ma znaczący, a niekiedy i decydujący wpływ na trwałość i żywotność pojazdu na polu walki i w działaniach stabilizacyjnych oraz na możliwość przeżycia załogi (rys. 3.8).



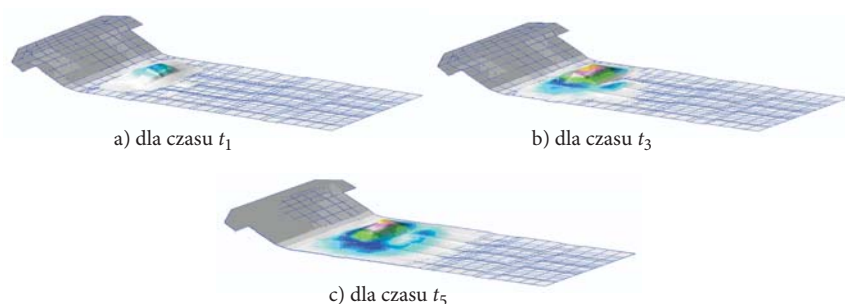
Rys. 3.8. Pojazdy gaśnicowe — efekt oddziaływania min

Efekty porażenia, a zatem wielkość obciążeń i strat wynikających z oddziaływania min przeciwpancernych, można określać w badaniach eksperymentalnych (niszczących) (rys. 3.9) oraz podczas badań numerycznych (nieniszczących).



Rys. 3.9. Wybuch miny pod czołgiem (badania własne, fot. P. Rybak)

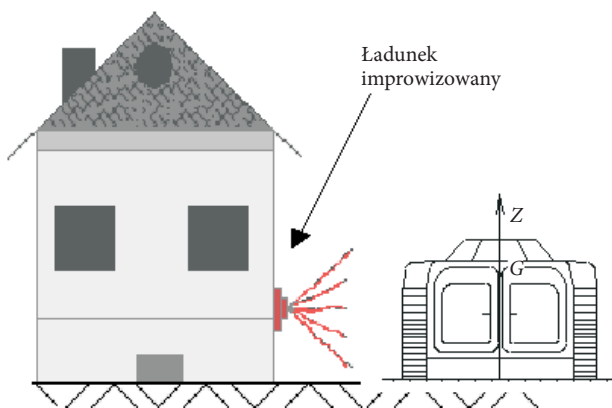
Badania numeryczne można realizować na etapie projektowania jak też modernizacji, umożliwiając eliminowanie słabych ogniw struktury lub ich usytuowanie w miejscach pożądanym. Przykładowy efekt oddziaływania ładunku minowego o charakterze niekontaktowym na strukturę nośną czołgu, jako wynik obliczeń numerycznych, pokazano na rysunku 3.10.



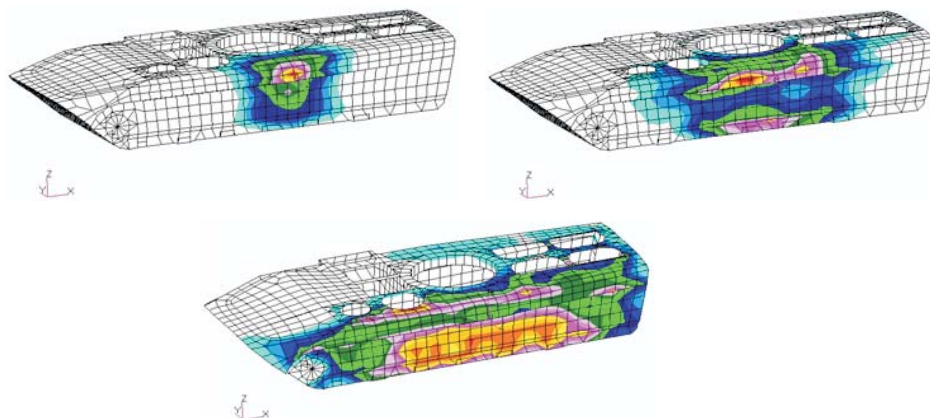
Rys. 3.10. Deformacje struktury nośnej pojazdu w wybranym czasie

Rysunek przedstawia przebieg deformacji płyty dna czołgu w funkcji czasu. Obliczenia wykonano dla przyjętego wariantu obciążenia, w którym materiał wybuchowy o zadanych masach umieszczano na podłożu, w osi podłużnej czołgu, pod przedziałem napędowym, w którym rozmieszczony jest silnik i układ napędowy. Dla porównywalnych z badaniami eksperymentalnymi ładunków również obserwowano obszary ulegające odkształceniom trwałym

Na rysunku 3.11 pokazano schemat oddziaływania improwizowanego ładunku na gąsienicowy wóz bojowy, a na rysunku 3.12 rozkład naprężeń w kadłubie pojazdu.



Rys. 3.11. Przykład rozmieszczenia improwizowanego ładunku wybuchowego



Rys. 3.12. Rozkład naprężeń w kadłubie po wybuchu ładunku improwizowanego

Uzyskane rezultaty wskazują, iż obciążenia działające na boki stanowią istotne zagrożenia dla pojazdów. Są to strefy o nie najwyższym poziomie ochrony, w których dla odpowiednio dużych ładunków mogą powstać naprężenia przewyższające dopuszczalne. Również struktura człowieka jest mniej odporna na oddziaływania sił bocznych.

4. Podsumowanie

W pracy przedstawiono wybrane problemy dotyczące obciążeń dynamicznych działających na gąsienicowe wozy bojowe w złożonych warunkach eksploatacji.

Wielkości obciążeń wskazują, że:

- jazda z większymi prędkościami po podłożach charakteryzujących się znaczną falistością, losowo rozłożonymi, o wysokościach powyżej 25-40 cm,
- oddziaływanie uzbrojenia oraz środków porażających przeciwnika, ma istotny wpływ na pracę silnika, układu napędowego, układów i systemów wyposażenia wewnętrznego oraz na załogę.

Rezultaty prowadzonych prac ilustrują wagę problemu użytkowania gąsienicowych wozów bojowych oraz innych czynników na poziom obciążeń dynamicznych (w tym impulsowych) na stan wyęczenia nadwozia samonośnego, załogę i wyposażenie wewnętrzne. Problemy te muszą być wnikliwie analizowane nie tylko podczas projektowania lub modernizacji, ale również podczas obserwowanej eksploatacji.

LITERATURA

- [1] PBG nr T00A 020 20, *Modelowanie i analiza sprzęgieł i hamulców wielotarczowych wozów bojowych w aspekcie dostosowania ich do silnika o zwiększonej mocy.*
- [2] PBG Nr 0T00B00728, *Metodyka kształtowania struktur nośnych wozów bojowych w aspekcie podwyższenia ich odporności na oddziaływanie min przeciwpancernych.*
- [3] PBG 287/WAT/2005, *Metodyka kształtowania struktur nośnych wozów bojowych w aspekcie podwyższenia ich odporności na oddziaływanie min przeciwpancernych.*
- [4] W. BORKOWSKI, P. RYBAK, B. MICHAŁOWSKI, *Oddziaływanie uzbrojenia oraz uderzenia pocisku na kadłub czołgu*, Journal of Kones Powertrain and Transport, 14, 1, 2007.
- [5] W. BORKOWSKI, P. RYBAK, B. MICHAŁOWSKI, Z. HRYCIÓW, *Badania odporności udarowej kadłuba pojazdu specjalnego*, Teka Komisji Motoryzacji PAN, o/Kraków, 2008.

W. BORKOWSKI, P. RYBAK, Z. HRYCIÓW,
J. WYSOCKI, B. MICHAŁOWSKI

Dynamic loads of tracked combat vehicle

Abstract. Tanks and infantry fighting vehicles stand out with especially high advantages from among other tracked combat vehicles. They are universal combat means, operating effectively in offensive operations as well as in defence, in various weather conditions, providing the most essential combat weapons of the army.

Usefulness of those vehicles is determined by their fire power, armour and mobility, which rank among the main combat features.

Mobility represents dynamic and manoeuvre capabilities. On mobility first of all depends military action pace, possibility of troops movement and ability of clearing various, natural or artificial obstacles. Dynamic capabilities of combat vehicles include their peak and mean velocities in field as well as acceleration ability. Significant influence on mobility of the vehicles have the proper engine, power drive and suspension system. To provide suitable mobility of the vehicle, the power drive system should be characterized by high power ratio, whereas suspension system should ensure conditions of fluent motion and absorption of shocks and rattles while moving. Mobility of combat vehicles has real influence on their survival at battlefield and probability of avoiding the hit by enemy means. Increase in mobility is strictly connected with the increase in the dynamic loads, which affect the hull, equipment and the crew of the vehicle.

In the paper, an attempt to estimate the influence of chosen parameters of the vehicle on its dynamical loads was undertaken. The analysis of professional literature, as well as the results of authors' own research were considered.

Keywords: structure and operation of machines, tracked combat vehicle, dynamic loads

Universal Decimal Classification: 621.438.3

