

Piotr RYBAK, Andrzej WIŚNIEWSKI  
*Military University of Technology (Wojkowa Akademia Techniczna)*

## ANALIZA WPLYWU MODERNIZACJI NA WŁASNOŚCI CZOŁGU

### Analysis of modernization influence on main battle tank properties

**Streszczenie:** Jakość funkcjonowania gąsienicowego wozu bojowego można ocenić na podstawie parametrów jego bojowo-technicznej charakterystyki, którą sformułowano na etapie projektowania. Jednakże upływ czasu, nowe i zmieniające się w czasie zagrożenia, dynamika działań, postęp techniczny i technologiczny weryfikują ich skuteczność oraz odporność. W efekcie pojawia się, dla sprostania wymaganiom aktualnym i przyszłym, konieczność modernizacji. Jej głównym celem jest uzyskanie, poprzez odpowiednie zabiegi, przewagi nad pojazdami bojowymi potencjalnego przeciwnika. W pracy podjęto próbę analizy modernizacji na wybrane właściwości czołgów, najbardziej zaawansowanych środków walki wojsk lądowych. Analizę przeprowadzono w aspekcie wpływu zwiększenia masy bojowej na istotne elementy czołgu.

**Słowa kluczowe:** czołg, masa, obciążenie

**Abstract:** Functional quality of caterpillar fighting vehicles can be assessed upon its original project design and technical characteristics. However, lapse of time, technical and technological progress, battlefield dynamics, new and evolving threats can negatively verify both offensive and defensive effectiveness of such vehicles. As a result, appears need of modernization addressing new threats and requirements. Main goal of modernization is to achieve advantage over potential enemy fighting vehicles. This work is an attempt to analyse possible development patches and despite technological and materials progress inseparable increase of the vehicle's combat weight on operating capabilities of such vehicles.

**Keywords:** tank, weight, load

## 1. Wprowadzenie

Literatura przedmiotu dotycząca wojskowych obiektów technicznych zwykle z uwagi na ograniczony zezwoleniami dostęp do informacji oraz w konsekwencji zawężony zbiór źródeł publikacji stanowi specyficzny i z reguły znacznie węższy podzbiór. Ochrona informacji ogranicza w naturalny sposób zarówno sam przedmiot badań, jak również liczbę wojskowych obiektów poddawanych analizie. Konsekwencją tego jest ogółem znacznie węższa liczba specjalistycznych publikacji dotyczących wojskowych obiektów technicznych, w porównaniu do obiektów cywilnych. Opracowania z dziedziny militarnej w obszarze eksploatacji zmierzają w dwóch zasadniczych kierunkach, tj. w kierunku modernizacji danego obiektu lub w kierunku poprawy procesu jego użytkowania i obsługi. W podzbiórce pierwszym mieszczą się prace [5, 6], natomiast w obszarze drugim opracowania [8, 9, 10, 11].

Współczesne gąsienicowe wozy bojowe, a szczególnie czołgi oraz bojowe wozy piechoty zadania im dedykowane realizują w złożonych i trudnych warunkach. Składają się na nie zagrożenia od środków bojowych oraz eksploatacyjne, generowane podczas jazdy po drogach nieutwardzonych i bezdrożach, pokonywaniem przeszkód terenowych naturalnych i sztucznych [1, 2, 3, 4]. Na rys. 1 przedstawiono niektóre warunki ich użytkowania.



a) PT-91 [fot. Bumar Łabędy]



b) Leopard 2 [fot. www.military leopard2]

### Rys. 1. Charakterystyczne, terenowe warunki ruchu czołgów

Czołg, w tym jego układy i systemy, muszą spełniać wymagania związane głównie z odpornością:

- na obciążenia dynamiczne wynikające z jazdy terenowych,
- na działanie zmiennych momentów oporów ruchu oraz obciążeń cieplnych wynikających z zabudowy w hermetycznym kadłubie.

Podczas projektowania czołgów [3, 4, 5, 7] przyjmuje się okres ich eksploatacji na 25–30 lat. Przewiduje się wówczas pewien zapas modernizacyjny. Jest on podyktowany ciągłym rozwojem techniki, technologii i ewoluującymi wymaganiami. Modernizacji podlegają czołgi już wprowadzone do eksploatacji, a realizuje się ją głównie w celu zwiększenia potencjału bojowego. Może ona być przeprowadzana w dwojaki sposób, mianowicie kompleksowo lub kierunkowo.

W pierwszym przypadku modernizacja oznacza poprawę funkcjonowania systemów i układów wpływających na główne cechy bojowe czołgów, tj. siłę ognia, opancerzenie i ruchliwość. Jej celem jest uzyskanie najwyższych wskaźników bojowych, dających przewagę nad pojazdami przeciwnika. W drugim przypadku, modernizacja sprowadza się do poprawy tylko niektórych systemów lub układów. Podwyższa się tylko wybrane parametry jakościowe. Jednakże w przypadku każdej modernizacji daje się zauważyć wzrost masy pojazdu. Jest to efektem między innymi np. zwiększeniem kalibru i długości armaty, podwyższeniem poziomu ochrony, montażem urządzeń dodatkowych. Przyświeca temu jeden cel: dostosować modernizowany czołg do zagrożeń współczesnego pola walki. Analiza informacji o modernizacjach realizowanych oraz planowanych pozwala przyjąć, że czołgi w wersji finalnej mogą mieć masę większą od wersji bazowej nawet o 17 ton. Wzrost masy ma istotny wpływ na szereg parametrów opisujących właściwości bojowo-techniczne, jak i trakcyjne. W tabeli 1 zestawiono masy niektórych czołgów w wersji podstawowej oraz modernizowanej.

**Tabela 1**

**Zestawianie mas czołgów w wersji podstawowej i w wersji zmodernizowanej**

Lp.	Kraj	Marka czołgu/ masa czołgu [t]		Wzrost masy [t] / [%]
		Wersja bazowa	Wariant modernizacji	
1.	Francja	Leclerc / 55.5	Leclerc Scorpion / 57	2.5 / 4.2
2.	Niemcy	Leopard 2A4/ 55	Leopard 2A7 / 64	9 / 16
3.	Polska	T-72 / 41	PT-91 / 46	5 / 12
4.	Rosja	T-72 / 41	T-90 / 47	6 / 13
5.	USA	M1 Abrams / 55	M1 Abrams SEP / 72	17 / 31
6.	Wielka Brytania	Challenger 1 / 62	Challenger 2 Black Night / 74	12 / 19

## 2. Wzrost masy czołgu a obciążenie jego układów

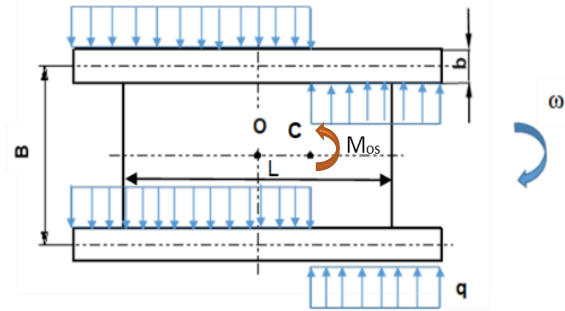
Czołg jest złożonym obiektem dynamicznym. Charakteryzuje się określoną bezwładnością, którą wyznacza jego masa oraz jej rozkład w bryle nadwozia. Parametry bezwładnościowe mają istotny wpływ na obciążenia i własności trakcyjne, które określają zdolność pokonywania terenu i osiągania średnich w terenie oraz maksymalnych po drodze prędkości jazdy. Przyrost masy bojowej  $m_b$  o wartość  $\Delta m$ , w procesie modernizacji, powoduje wzrost siły ciężkości pojazdu  $Q$ .

$$Q=(m_b+\Delta m)\cdot g \text{ [N]} \tag{1}$$

Zmianie ulegają masowe momenty bezwładności. Całość może wpłynąć na zmianę położenia środka masy. Rośnie przy tym obciążenie kadłuba stanowiącego zarówno strukturę nośną, jak i niektórych węzłów konstrukcyjnych. Ponadto wzrasta również wartość średniego nacisku jednostkowego  $p_s$ , zgodnie z następującą zależnością:

$$p_s = \frac{(m_b + \Delta m) \cdot g}{2 \cdot L \cdot b} \quad [\text{N/mm}^2] \quad (2)$$

Efektom wzrostu masy czołgu jest: zmniejszenie prześwitu, obniżenie wysokości pokonywanej ścianki pionowej, zwiększenie głębokości koleiny, wzrost oporów w ruchu prostoliniowym i przy skręcie (rys. 2). Jeśli nie nastąpi odpowiednia korekta, konsekwencją będzie pogorszenie zdolności pokonywania terenu.



**Rys. 2.** Współpraca gaśienic z gruntem podczas realizacji skrętu:  $\omega$  – prędkość kątowa skrętu,  $q$  – opory skrętu,  $B$  – rozstaw osi gaśienic,  $L$  – długość kontaktu gaśienicy z gruntem,  $M_{os}$  – moment oporów skrętu,  $M_{os} = (\mu \cdot Q \cdot L) / 4$  ( $\mu$  – współczynnik oporów skrętu)

Jednym z parametrów oceny ruchliwości czołgu jest tzw. wskaźnik mocy jednostkowej  $\gamma$ . Jest on zależny od mocy silnika  $N_s$  [kW] i masy pojazdu [t]

$$\gamma = \frac{N_s}{m_b + \Delta m} \quad [\text{kW/t}] \quad (3)$$

Zgodnie z zależnością (3) wzrost masy o  $\Delta m$  obniża wartość wskaźnika  $\gamma$ . Dla czołgów przyjmuje się, że wartość  $\gamma$  nie powinna być mniejsza niż 14 kW/t. Im niższa jest wartość wskaźnika  $\gamma$  tym pojazd jest mniej dynamiczny, mniej zrywny i w rezultacie jest łatwiejszym celem dla przeciwnika. Czołg, który w stosunku do wersji podstawowej ma masę większą, wymaga większej energii do ruszenia z miejsca i realizacji ruchu. Moc silnika  $N_s$  musi zrównoważyć prawą stronę równania (4).

$$N_s = \frac{\delta \cdot m_b \cdot V \cdot \ddot{x} + f_0 \cdot Q \cdot V}{\eta_p \cdot 1000} \quad [\text{kW}], \quad (4)$$

gdzie:  $\delta$  – współczynnik mas zredukowanych (bezwładnych) w układzie przeniesienia mocy,  $V$  – prędkość jazdy,  $\ddot{x}$  – przyspieszenie pojazdu,  $f_0$  – współczynnik oporów podłoża,  $\eta_p$  – sprawność pojazdu (zależy od sprawności mechanizmu gaśienicowego i układu przeniesienia mocy). Wynika to stąd, że siła napędowa potrzebna do realizacji ruchu  $P_p$  ma postać

$$P_p = R_0 + P_b = f_0 \cdot Q + m_b \cdot \ddot{x} \text{ [N]}, \quad (5)$$

gdzie:  $R_0$  – siła sumarycznego oporu podłoża,  $P_b$  – siła oporów bezwładności.

Powyższe generuje wzrost zużycia paliwa. Może istnieć zagrożenie, że jednostka napędzenia pojazdu jest niewystarczająca do zabezpieczenia wymaganego zapasu przebiegu.

Pojazd gąsienicowy może realizować ruch, kiedy jest spełniony następujący warunek

$$f_p \leq f_s \leq f_\varphi \quad (6)$$

gdzie:  $f_p$  – jednostkowa siła oporów ruchu pojazdu;  $f_s$  – jednostkowa siła napędowa zależna od mocy silnika;  $f_\varphi$  – jednostkowa siła uwarunkowana przyczepnością gąsienic do gruntu, przy czym  $f_i = P_i/Q$ ,  $i \rightarrow p, s, \varphi$ .

Układ przeniesienia mocy pracuje przy dużych oporach jazdy o znacznej częstotliwości zmian i dużych obciążeniach dynamicznych wynikających z jazdy w terenie. Dla ruchu ustalonego siła napędowa  $P_n$  generowana przez silnik dana jest zależnością:

$$P_n = \frac{M_s}{r_k} i_u \eta_u \eta_{mg} \quad (7)$$

$$\eta_{mg} = 0,95 - \frac{Q}{P_k} (0,025 + 0,000003 \cdot V^2) \quad (8)$$

gdzie:  $M_s$  – moment napędowy silnika,  $i_u$  – przełożenie układu napędowego,  $\eta_u$  – sprawność układu napędowego,  $r_k$  – promień koła napędowego,  $\eta_{mg}$  – sprawność mechanizmu gąsienicowego (słuszny dla  $V \leq 50$  km/h). Ze wzrostem siły ciężkości pojazdu sprawność mechanizmu gąsienicowego maleje, a zatem siła napędowa również.

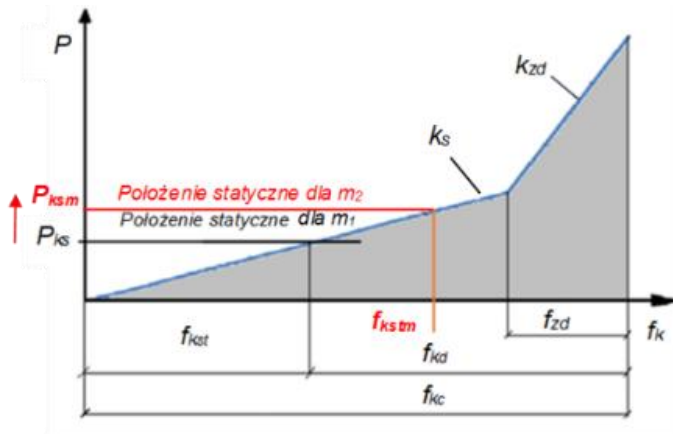
Wzrost masy przekłada się wprost na obciążenie mechanizmu gąsienicowego. Poniżej przedstawiono porównanie wyników przeprowadzonych obliczeń, dla hipotetycznych pojazdów, bazowego i zmodernizowanego, o masach odpowiednio  $m_1$  oraz  $m_2$ , gdzie  $m_1 < m_2$  oraz  $(m_2 - m_1) \approx 5t$ . Siła napędowa uwarunkowana przyczepnością gąsienic do podłoża pojazdu o  $m_2$  jest większa od pojazdu o  $m_1$ . Rośnie zatem obciążenie zębów kół napędzających gąsienice. Wywołuje to wzrost naprężeń zginających u podstawy zębów i naprężeń kontaktowych ściskających odpowiednio o 11.5% i 5.5%.

Trwałość gumowych pierścieni przegubów łączących ogniwa gąsienic jest uzależniona od ich wytrzymałości zmęczeniowej. Intensywność procesu zmęczenia gumy zależy z kolei od wartości naprężeń, częstotliwości ich zmian oraz warunków cieplnych. Głównymi są naprężenia styczne powstałe przy skręcaniu pierścieni i normalne pochodzące od sił rozciągających gąsienice. Obliczone naprężenia ściskające w pierścieniach gumowych rosną o około 12%. Wzrost masy ma znaczący wpływ na obciążenia kół nośnych. Łożyska kół i bandaże gumowe pracują przy istotnie zmiennych obciążeniach i prędkościach

obrotowych. Do przybliżonej oceny trwałości bandaży gumowych wykorzystuje się współczynnik obciążenia promieniowego, umowny nacisk jednostkowy, współczynnik wyężenia oraz przyrost temperatury. Przy wzroście obciążenia statycznego łożysk o 9%, współczynnik obciążenia promieniowego bandaży kół nośnych rośnie podobnie o około 9%, umowny nacisk jednostkowy rośnie o 11%. Rośnie również współczynnik wyężenia bandaży gumowych dla kół (w tym przypadku kół podwójnych), mający istotny wpływ na jego wytrzymałość zmęczeniową, o ponad 4%. Temperatura we wnętrzu bandaża gumowego przyrasta natomiast dość znacząco do 16%.

W analizie procesu modernizacji nie można pominąć stanu zawieszenia czołgu. Kadłub i wieża są zasadniczą częścią masy resorowanej –  $m_r$ , stanowią bowiem 85-90% masy bojowej,  $m_r \approx (0.85-0.9) \cdot m_b$ . Część zespołów mechanizmu gąsienicowego i część elementów zwieszenia zalicza się do masy nieresorowanej. Zmiana masy resorowanej zmienia obciążenie statyczne kół nośnych i elementów zawieszenia (rys. 3) według (9). Zmiana ta ma w efekcie zasadniczy wpływ na ich obciążenia dynamiczne.

$$P_{ks} = \frac{m_r \cdot g}{2n} \quad (9)$$



**Rys. 3.** Charakterystyka sprężystości zawieszenia:  $P_{ks}$  – obciążenie statyczne,  $k_s$  – sztywność elementu sprężystego,  $k_{zd}$  – sztywność elementu sprężystego i zderzaka sprężystego,  $f_{kst}$  – skok statyczny koła,  $f_{kd}$  – skok dynamiczny,  $f_{kc}$  – skok całkowity,  $P_{ksm}$ ,  $f_{ksm}$  – odpowiednio obciążenie statyczne i skok statyczny koła pojazdu zmodernizowanego

Masa resorowana, masowy moment bezwładności kadłuba względem osi podłużnej czołgu  $J_x$ , względem osi poprzecznej  $J_y$  oraz względem osi pionowej  $J_z$ , mają istotny wpływ na obciążenia elementów sprężystych i tłumiących zawieszenia. Przekłada się to na wielkość obciążeń dynamicznych działających na kadłub (załogę i wyposażenie). Odnosi się to głównie do drgań pionowych i kątowych względem osi poprzecznej. Masowy moment bezwładności pojazdu  $J_y$  względem osi poprzecznej wyznacza się z (10)

$$J_y = 0,12 \cdot \beta^2 (L_K^2 + H_K^2) \cdot m_r \quad (10)$$

gdzie:  $\beta$  – współczynnik zależny od rodzaju uzbrojenia pojazdu,  $L_K$ ,  $H_K$  – odpowiednio długość i wysokość kadłuba.

Ze wzrostem masy pojawia się również problem bezpieczeństwa eksploatacji czołgu, szczególnie proces hamowania, zatrzymania lub utrzymania pojazdu na stokach oraz wzniesieniach. Hamulce czołgu powinny zapewnić: dobrą skuteczność hamowania (wykorzystanie w pełni przyczepności do podłoża), niezawodność i dobrą płynność hamowania. Zadaniem hamulca głównego jest wywołanie reakcji gruntu w płaszczyźnie styku z dolnymi gałęziami gąsienic, skierowanej przeciwnie do kierunku jazdy. Siła hamowania powinna spełniać relację

$$P_{H \leq P_{H(\varphi)}} \approx \varphi_H \cdot N \quad (11)$$

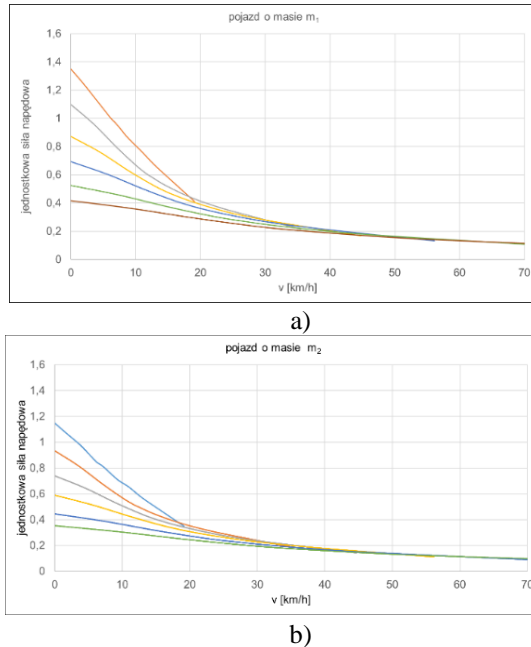
gdzie:  $P_{H(\varphi)}$  – siła hamowania zależna od przyczepności gąsienic do gruntu,  $\varphi_H$  – współczynnik przyczepności,  $N$  – reakcja normalna gruntu pojazdu ( $N=Q$ ).  
Daje się wyraźnie zauważyć, że wzrost masy zwiększa obciążenie hamulca głównego i może doprowadzić do jego przyspieszonego zużycia.

### 3. Modernizacja a własności trakcyjne pojazdu

W gąsienicowych wozach bojowych, ze względu na prędkości jazdy do 70 km/h, siła oporu powietrza osiąga małe wartości w porównaniu do siły napędowej i jej wpływ można pominąć. Własności trakcyjne ocenia się w oparciu o charakterystykę dynamiczną  $f_s=f(V)$  oraz rozbiegu  $t=t(V)$ . Charakterystykę dynamiczną wyznacza się z zależności (12).

$$f_s = f_s(V) = \frac{P_n}{Q} \quad (12)$$

Umożliwia ona określenie: maksymalnej prędkości jazdy pojazdu dla przyjętego podłoża; możliwości pokonywania wzniesień na różnych podłożach i przy różnych prędkościach; porównanie własności dynamicznych pojazdów o różnych masach, silnikach, układach napędowych i gąsienicowych układach jezdnych. Charakterystyki dynamiczne czołgów wykonano wykorzystując oryginalne programy numeryczne CHARDYN i DYNH. Przykładowe charakterystyki przedstawiono na rys. 4a i 4b.

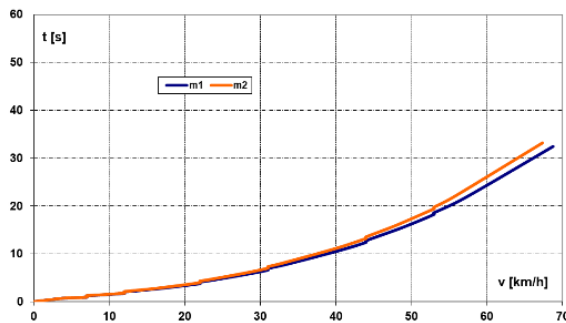


**Rys. 4.** Charakterystyki dynamiczne pojazdów o różnych masach,  $m_1 < m_2$

Charakterystyką rozbiegu jest zależność czasu od prędkości jazdy, określa czas i drogę rozbiegu od prędkości od  $V_o=0$  do prędkości  $V_{max}$ . Wyznacza się je z zależności (13).

$$t = \int_{V_o}^{V_{max}} \frac{g}{\delta D(V) - f} dV \quad \text{oraz} \quad S = \int_{t_0}^t V dt \quad (13)$$

Dla pojazdów gaśnicowych istotny z punktu widzenia dynamiki i zmiany miejsca (jako elementu ochrony czynnej) jest czas osiągnięcia prędkości 32 km/h. Przykładową, porównawczą, charakterystykę rozbiegu pojazdów o różnych masach przedstawia rys. 5.



**Rys. 5.** Przykładowa charakterystyka rozpędzania pojazdów o różnych masach bojowych,  $m_1 < m_2$



Przedstawione wykresy wskazują istotny wpływ masy pojazdu na ich przebieg. Wzrost masy obniża wartości przyspieszeń dla danych warunków drogowych i zwiększa czas osiągnięcia prędkości 32 km/h.

#### 4. Obciążenia dynamiczne kadłuba i układów czołgu w aspekcie wzrostu masy

Podczas jazdy na kadłub czołgu, stanowiący samonośne nadwozie, jego załogę oraz wyposażenie wewnętrzne znaczący wpływ wywierają obciążenia dynamiczne generowane przez: silnik i układ napędowy; siły bezwładności podczas dynamicznych jazd; wymuszenia od nierówności gruntu; interakcja pomiędzy taśmami gąsienic, a kołami napędowymi; falowanie górnego odcinka gąsienicy i jej oddziaływanie na rolki podtrzymujące).

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

- jazda w ciężkim terenie, dłuższe podjazdy pod górę,
- realizacja ruchu krzywoliniowego, skręt na zboczach wzniesień,
- dynamiczny ruch polegającego na krótkich skokach od ukrycia do ukrycia (maksymalne przyspieszanie i gwałtowne hamowanie),
- strzelanie w ruchu.

Znaczący wpływ na poprawne działanie wszystkich układów i systemów czołgu w ruchu, po drogach gruntowych, bezdrożach, przeszkodach naturalnych i sztucznych, mają drgania kadłuba. Ich intensywność zależy głównie od prędkości jazdy, wielkości masy resorowanej i nieresorowanej oraz własności dynamicznych zawieszenia. Poziom obciążenia kadłuba, załogi i wyposażenia pojazdu, w tym płynność jazdy, zależą od jakości zawieszenia. Można ją ocenić na podstawie szeregu parametrów, niektóre z nich to:

- przyspieszenia pionowe i kątowe kadłuba. Wartość przyspieszeń pionowych działających na kierowcę wynosi  $\ddot{z}_k = \ddot{z}_{max} + l_0 \ddot{\varphi}_{max}$ , gdzie:  $\ddot{z}_{max}$  - maksymalna wartość amplitudy drgań pionowych kadłuba,  $l_0$  - odległość fotela kierowcy od środka masy pojazdu,  $\ddot{\varphi}_{max}$  - maksymalna wartość amplitudy drgań kątowych wzdłużnych,
- częstotści drgań pionowych  $\omega_z$  i kątowych podłużnych  $\omega_\varphi$ , okres drgań pionowych  $T_z$  i kątowych  $T_\varphi$ , zaleca się aby  $T_z > 0,6$  s oraz  $T_\varphi = (1,25-1,4)$  s,
- skok dynamiczny koła (lub ugięcie zawieszenia),
- jednostkowa energia potencjalna zawieszenia  $\lambda$  (rys. 6),

$$\lambda = \frac{2n \cdot k_{ki} \cdot f_{km}^2}{m_r \cdot g} \text{ [m]} \quad (14)$$

gdzie:  $n$  – liczba kół nośnych przy jednym boku odpowiadająca liczbie elementów sprężystych zawieszenia,  $k_{ki}$  – sztywność elementu sprężystego zawieszenia,  $f_{km}$  – maksymalne skok koła,  $m_r$  – masa resorowana (przy czym jeśli  $m_r \propto \lambda \searrow$ ),



**Rys. 6.** Schemat wyznaczania jednostkowej energii potencjalnej zawieszenia

- moc pochłaniana przez organizm ludzki  $P$  ( $P \leq 6W$ ),
- wartość skuteczną przyspieszeń pionowych podłużnych, czas ekspozycji na drgania (ISO 4569),
- średnia prędkość jazdy w terenie.

Modernizacja czołgu, bez pewnych korekt i zmian w układach, może powodować:

- zmianę położenia środka masy, jej rozkładu, zmianę masowych momentów bezwładności, zmianę częstotliwości drgań własnych pojazdu,
- wzrost obciążenia kadłuba,
- zmniejszenie: szerokości pokonywanego rowu poprzecznego; prześwitu; wysokości pokonywanej ścianki pionowej,
- obniżenie skoku dynamicznego kół nośnych, zmniejszenie jednostkowej energii potencjalnej zawieszenia, obniżenie średniej prędkości jazdy w terenie,
- zwiększenie obciążenia kół napędowych i przekładni bocznych, szczególnie podczas realizacji skrętu,
- wzrost obciążenia dynamicznego ogniwo gąsienic, kół nośnych i zawiesznień.

W odniesieniu do wpływu wzrostu masy na własności trakcyjne czołgu przy pozostawieniu silnika napędowego można przypuszczać, że:

- obniżeniu może ulec wartość siły napędowej,
- wydłuży się czas osiągnięcia prędkości od 0 do 32 km/h,
- rosnące opory podczas realizacji skrętu, mogą obniżyć prędkość kątową skrętu.

## 5. Podsumowanie

Analiza efektów modernizacji czołgów w aspekcie wzrostu masy powoduje wzrost obciążenia wielu istotnych zespołów i układów czołgu. W większości przypadków, modernizacji nie podlegają pojazdy nowe, ale będące na wyposażeniu od kilkunastu do kilkudziesięciu lat. A zatem w analizowanym przypadku należy uwzględnić możliwość wystąpienia pewnego zużycia zmęczeniowego lub procesu starzenia elementów i układów. W konsekwencji procesu starzenia niektóre z materiałów konstrukcyjnych mogły bowiem obniżyć swoje właściwości. Całość może prowadzić do niespodziewanych uszkodzeń i awarii elementów, części lub układów. Uniknięcie powyższego wymaga odtworzenia lub przywrócenia początkowego stanu gotowości technicznej (dłuższego czasu i środków).

Problem modernizacji można rozważać w dwóch aspektach. Pierwszy, w warunkach pokojowych czołgi mogą być eksploatowane kilkadziesiąt lat. Drugi, w warunkach konfliktu czas użytkowania ulega skróceniu.

## 6. Literatura

1. Begier T., Sobala S., Użycki D.: Współczesne gaśnicowe wozy bojowe. Wydawnictwo Lampart, Warszawa 1996.
2. Borkowski W., Rybak P., Hryciów Z., Wysocki J., Michałowski B.: Combat vehicle dynamic load tests in the aspect of the operation safety. Journal of KONBiN, No 1(13), 2010.
3. Burdziński Z.: Teoria ruchu pojazdu gaśnicowego. WKiŁ, Warszawa 1972.
4. Chodkowski A. W.: Konstrukcja i obliczanie szybkobieżnych pojazdów gaśnicowych. WKiŁ, Warszawa 1990.
5. Hryciów Z., Rybak P.: Numerical research of the high-speed military vehicle track. Techniki Komputerowe w Inżynierii, TKI, 2018.
6. Rybak P.: Operating loads of impulse nature acting on the special equipment of the combat vehicles. Maintenance and Reliability, 16 (3), 2014.
7. Zaloga S. J.: Tank battles of the mid-east wars: (2) The wars of 1973 to the present. Marco Polo Import, Inc. 1998.
8. Żurek J., Zieja M., Ziółkowski J.: The analysis of the helicopter technical readiness by means of the Markov processes. 6th International Conference on Integrity-Reliability-Failure (IRF), Lisbon, Portugal 2018.
9. Żurek J., Zieja M., Ziółkowski J., Borucka A.: Research of automotive vehicles operation process using the Markov model. Safety and Reliability - Theory and Applications - Proceedings of the 27th European Safety and Reliability Conference, ESREL 2017, DOI: 10.1201/9781315210469-295.

10. Żurek J., Ziółkowski J., Borucka A.: A method for determination of combat vehicles availability by means of statistic and econometric analysis. Safety and Reliability - Theory and Applications - Proceedings of the 27th European Safety and Reliability Conference, ESREL 2017, DOI: 10.1201/9781315210469-371.
11. Żurek J., Ziółkowski J., Borucka A.: Application of Markov processes to the method for analysis of combat vehicle operation in the aspect of their availability and readiness. Safety and Reliability - Theory and Applications - Proceedings of the 27th European Safety and Reliability Conference, ESREL 2017, DOI: 10.1201/9781315210469-294.