

FIGHTING MEANS RESEARCH AS A SOURCE OF STROKE CHARGING OF COMBAT VEHICLES

Jan Figurski, Piotr Rybak

Military University of Technology
Faculty of Mechanics
S. Kaliskiego 2 Str., 00-908 Warszawa
tel.: +48 22 6839752, fax: +48 22 6837370
e-mail: j.figurski@wme.wat.edu.pl
p.rybak@wme.wat.edu.pl

Abstract

In the paper there are presented theoretical, research and application conditions of fighting means in aspect of affecting combat vehicle. There are analysed processes of fighting means research and there are presented indexes of fighting means quality evaluation. Exploitation usefulness of the tested fighting means have important influence on artillery systems combat effectiveness, it has also a negative influence affecting the stability and construction of systems in which these means are used.

In the work there was taken an attempt on presentation of affect of fighting means the construction of combat vehicles. These affects are the source of rapidly changeable charging of stroke character. On a chosen example there is presented a method of appointing the basic parameters characterising fighting means, at this constituting essential charging affecting combat vehicle during the shot. In the tables there are set the results of laboratory tests and computations of fighting means as well also basic combat vehicles guns of some states.

Keywords: gun, combat vehicle, method, recoil force, charging

BADANIE ŚRODKÓW BOJOWYCH JAKO ŹRÓDEŁ OBCIĄŻEŃ UDAROWYCH WÓZÓW BOJOWYCH

Streszczenie

W artykule przedstawiono uwarunkowania teoretyczne, badawcze i aplikacyjne środków bojowych w aspekcie oddziaływania na wóz bojowy. Przeanalizowano procesy badań środków bojowych oraz przedstawiono wskaźniki oceny jakości środków bojowych. Przydatność eksploatacyjna badanych środków bojowych ma zasadniczy wpływ na efektywność bojową systemów artyleryjskich, ma również negatywny wpływ oddziaływujący na stabilność i konstrukcję systemów, w których stosowane są te środki.

W pracy podjęto próbę przedstawienia oddziaływań środków bojowych na konstrukcje wozów bojowych. Oddziaływania te są źródłem szybkozmiennych obciążeń o charakterze udarowym. Na wybranym przykładzie przedstawiono metodykę wyznaczania podstawowych parametrów charakteryzujących środki bojowe, w tym stanowiące zasadnicze obciążenie, oddziaływujące na wóz bojowy podczas strzału. W tabelach zestawiono rezultaty badań laboratoryjnych jak i obliczeń środków bojowych oraz podstawowych armat wozów bojowych niektórych państw.

Słowa kluczowe: armata, wóz bojowy, metodyka, siła odrzutu, obciążenie

1. Wprowadzenie

W procesie eksploatacji pojazdów pancernych i opancerzonych występują zjawiska oddziaływania środków bojowych podczas prowadzenia ognia. Oddziaływanie to wpływa niekorzystnie na efekty prowadzenia ognia obejmujące donośność strzelania jak i jego dokładność. Zjawisko to jest szkodliwe w przypadku środków bojowych, które nie podlegają korekcie na torze

lotu, mniejsze znaczenie ma to oddziaływanie dla techniki raketowej, której pociski podlegają korekcji na torze lotu. W obydwu przypadkach szkodliwe działanie odrzutu po wystrzale środków bojowych odbija się na załodze, która prowadzi działania bojowe. Działanie środków na organizm ludzki jest tym większe im w procesie strzelania stosowany jest środek o większym kalibrze bądź jeśli wyrzutnia ma mniejszą odporność uderową.

W pracy podjęto próbę ustalenia oddziaływania środków bojowych na podwozie w trakcie prowadzenia ognia. Oddziaływanie to zostało poprzedzone ustaleniem przydatności środków bojowych do prowadzenia badań na podstawie badań tych środków w warunkach laboratoryjnych i poligonowych.

2. Istota badań

W procesie badań środków bojowych, w badanej próbie tych środków, wyróżnia się zróżnicowane połączenia, w tym:

- połączenia stanowiące strukturę szeregową,
- połączenia stanowiące strukturę równoległą,
- połączenia stanowiące strukturę mieszaną.

Do oceny jakości środków bojowych – do oceny gotowości do użycia wykorzystuje się stosowne wskaźniki gotowości. Dla struktury niezawodnościowej szeregowej wykorzystuje się wskaźnik gotowości postaci

$$W_s(u, t) = R(u, t) = e^{-\lambda t}, \quad (1)$$

gdzie: $W_s(u, t)$ – wskaźnik gotowości ustalonej populacji (partii) środków bojowych,
 u – dotychczasowy czas składowania środka bojowego (czas od chwili jego wyprodukowania),
 t – bieżący czas gotowości środka bojowego do jego użycia,
 $R(u, t)$ – funkcja niezawodności środka bojowego,
 λ – intensywność uszkodzeń środka bojowego.

Dla struktury równoległej wykorzystuje się wskaźnik zasadności gotowości $Q(u, t)$ postaci

$$W_r(u, t) = 1 - R(u, t) = 1 - e^{-\lambda t} = Q(u, t), \quad (2)$$

Dla struktury niezawodnościowej mieszanej do oceny gotowości środków bojowych wykorzystuje się kombinację wskaźników struktury szeregowej i równoległej.

Użytkownik środków bojowych zainteresowany jest poziomem ich gotowości do wykorzystania zgodnie z ich przeznaczeniem. Poziom ten dla struktury niezawodnościowej szeregowej wyznaczony jest z zależności

$$W_s(u, t) \geq 1 - \beta \quad 0 \leq \beta \leq 1, \quad (3)$$

gdzie: β – ustalony poziom gotowości środka bojowego do jego wykorzystania zgodnie z przeznaczeniem.

Poziom gotowości dla struktury niezawodnościowej równoległej wyznaczony jest z zależności

$$W_r(u, t) \leq \beta \quad 0 \leq \beta \leq 1, \quad (4)$$

W procesie badań środków bojowych prowadzi się badania poszczególnych elementów wchodzących w skład każdego środka bojowego. W badaniach tych uwzględnia się zależność

$$\prod_{j=1}^N R_j(u, t) = R_1 \cdot R_2 \cdot R_3 \cdot \dots \cdot R_N \geq 1 - \beta, \quad (5)$$

gdzie: N – liczba badanych elementów w środku bojowym.

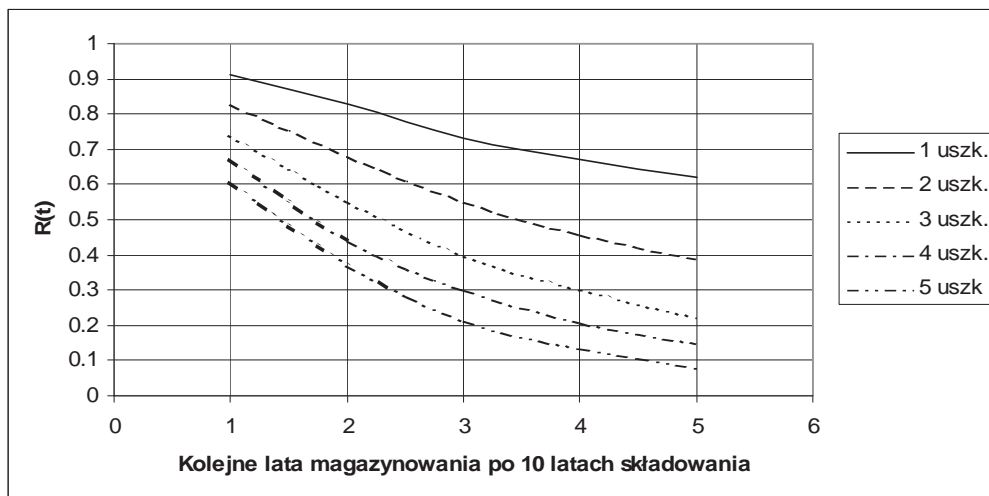
O ile w trakcie badań niezawodnościowych konkretnego środka bojowego jesteśmy w stanie wyznaczyć chwilę czasu u , dla której wyrażenie (5) spełnia zależność

$$\prod_{j=1}^N R_j(u^*, t) = R_1 \cdot R_2 \cdot R_3 \cdot \dots \cdot R_N \approx 1 - \beta, \quad (6)$$

wówczas w chwili u^* dokonuje się pierwszej operacji wymiany profilaktycznej elementu o najmniejszej wartości funkcji niezawodności. Kolejne operacje wymian dokonuje się na podstawie funkcji prognozy i stosownego rozkładu funkcji niezawodności. Dla przypadku kiedy funkcja niezawodności badanego elementu posiada rozkład wykładniczy postaci

$$R(u, t) = e^{-\lambda t}, \quad (7)$$

gdzie: λ – intensywność uszkodzeń elementu, wówczas funkcja prognozy może przyjąć postać jak pokazano na rys. 1.



Rys. 1. Funkcja prognozy elementu środka bojowego o szeregowej strukturze niezawodnościowej
 Fig. 1. Prognosis function of fighting mean element with a row reliability structure

W przypadku badań elementów środka bojowego połączonych według równoległej struktury niezawodnościowej, uwzględnia się iloczyn funkcji zawodności poszczególnych elementów zgodnie z zależnością

$$\prod_{j=1}^N Q_j(u, t) = Q_1 \cdot Q_2 \cdot Q_3 \cdot \dots \cdot Q_N \geq \beta, \quad (8)$$

gdzie: $Q_j(u, t)$ – funkcja niezawodności j – tego elementu.

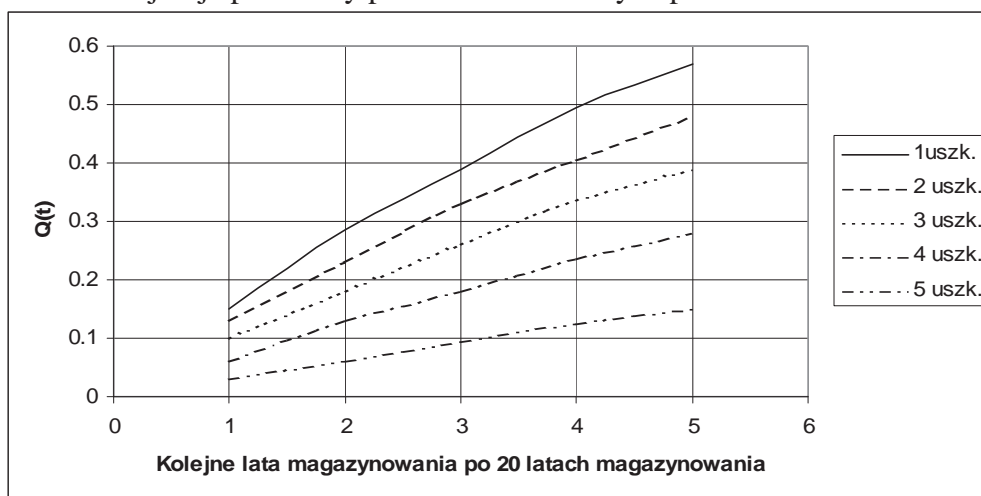
Operacje wymian profilaktycznych dla równoległej struktury niezawodnościowej wykonuje się podobnie jak dla struktury szeregowej. Pierwszą operację wymian profilaktycznych dla rozkładu wykładniczego wyznacza się z zależności

$$\prod_{j=1}^N Q_j(u^*, t) = Q_1 \cdot Q_2 \cdot Q_3 \cdot \dots \cdot Q_N = \beta = e^{-\lambda t}, \quad (9)$$

Funkcję prognozy dla kolejnych wymian wyznacza się zgodnie z rys. 2.2.

Zależności (6) i (9) stanowią podstawę do wyznaczania elementów środka bojowego będących w procesie magazynowania tych środków. Wymiany te stanowią również podstawę do wyznaczenia liczby części zamiennych potrzebnych do zastąpienia uszkodzonych elementów elementami nowymi.

Badania środków bojowych prowadzi się w warunkach laboratoryjnych i w warunkach poligonowych (podczas realizacji strzelań). Przykładowe badane parametry amunicji typu czołgowej APFSDS do armat czołgowych kalibru 120 mm i 125 mm ujęto w tabeli 1. Wiersze 1, 6, 7, 8, dotyczą badań laboratoryjnych, natomiast rubryki 2, 3, 4, 5 dotyczą badań poligonowych. Dodatkowo tabela 1 ujmuje parametry pocisków armii innych państw.



Rys. 2. Funkcja prognozy elementów środka bojowego w równoległej strukturze niezawodnościowej
 Fig. 2. Prognosis function of fighting mean element with a parallel reliability structure

Tabela 1. Podstawowe parametry amunicji czołgowej APFSDS
 Table 1. The basic parameters of APFSDS tank ammunition

Lp.	Nazwa parametru	Polska BM-15 120/125mm	Rosja BM-15 125 mm	Niemcy IM43A1 120 mm	USA M829 120 mm	USA M829A1 120 mm	USA M829A2 120 mm	Francja OFL-120F1 120 mm
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.	Masa pocisku [kg]	6.7/7.6	5.95		7.03	8.165	7.0	7.3
2.	Masa pocisku na torze [kg]	3.65/3.65	3.65	4.0	4.5 rdzeń uranowy	4.5 rdzeń uranowy	rdzeń uranowy	4.0
3.	Prędkość pocisku [m/s]	1650/1650	1785	1740	1670	1573	1680	1790
4.	Zdolność przebicia pancerza [mm]	500> 500>	300 (z 2000m)	500 (z 2000m)	540 (z 2000m)			560 (z 2000m)
5.	Max. ciśnienie gazów prochowych [MPa]	515/444	450 (zgmiot)	580	510	565.5		
6.	Masa ładunku miotającego [kg]	8.2/9.7	10	7.6	8.1	9.07	8.7	8.3
7.	Rodzaj prochu	Nitrocelu lozowy 18/2+12/7	Nitrocelu lozowy 15/1+12/7	7-kanaliko wy L1/M2466	19-kanaliko wy	19-kanaliko wy	Rurkowy	Dwuskładnikowy
8.	Zapłonnik	60W-7 60W-7	60W-7	Elektryczny DM72 lub DM25	Elektryczny	Elektryczny	Elektryczny	Elektryczny

Na rys. 3 przedstawiono sylwetki wybranych czołgów podczas realizacji zadania bojowego państw, a na rys. 4 pocisk przeciwpancerny APFSDS.



T-72 (Polska)



T-80 (Rosja)



Leopard 2 (Niemcy)



M1 Abrams (USA)



Challenger (Wielka Brytania)



Leclerc (Francja)

*Rys. 3 Sylwetki niektórych czołgów w działaniach bojowych
Fig. 3. Silhouettes of some tanks at combat operations*

a)



b)



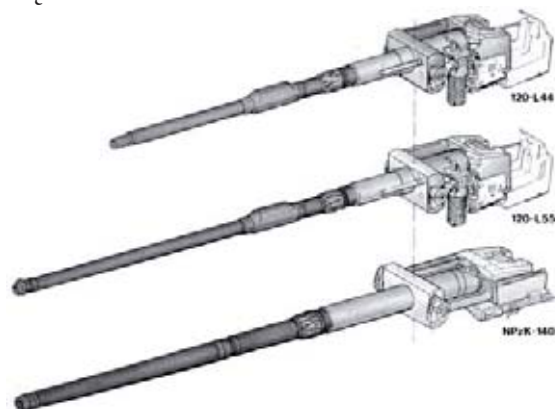
*Rys. 4. Podkalibrowe pociski przeciwpancerne: a) rodzina do czołgu Leopard 2, b) oddzielanie się sabotu
Fig. 4. Armour piercing hard core projectile: a) Leopard 2 tank family, b) sabot separating*

3. Oddziaływanie odrzutu

Zasadniczym uzbrojeniem w zdecydowanej większości wozów bojowych, ze względu na wysoką porażalność, jest armata. Oddziaływanie armaty na wóz bojowy można rozpatrywać w dwóch aspektach:

1. Wpływ armaty na wóz bojowy.
2. Wpływ wystrzału z armaty na wóz bojowy, uwzględniający rodzaj stosowanego środka ogniowego (amunicji).

Masa armaty stanowi kilka procent masy wozu bojowego, dlatego jej wpływ praktycznie pomija się. Ponieważ wpływ wystrzału jest istotny, w niniejszej pracy rozważa się wpływ oddziaływania wystrzału z armaty i odrzutu na wóz bojowy. W wieży wozu bojowego na czopach zamocowana jest kołyska armaty. We wnętrzu kołyski umieszczona jest lufa, która po wystrzale podczas odrzutu i powrotu przesuwana się po prowadnicach kołyski. Lufa z kołyską połączona jest poprzez urządzenie oporopowrotne. Po strzale w okresie odrzutu wypadkowa sił działających na zespół odrzutowy działa, poprzez nieruchome części urządzenia oporopowrotnego, na kołyskę a poprzez jej czopy działa na wieżę i łożysko oporowe na podwozie. Przy rozpatrywaniu oddziaływania wystrzału na wóz bojowy najważniejszym zadaniem jest określenie czynników ruchu zespołu odrzutowego. Na rys. 5 przedstawiono współczesne armaty czołgowe kaliber 120mm oraz testowaną armatę 140mm.



Rys. 5. Armaty wozów bojowych [5]
Fig. 5. Guns of combat vehicles [5]

3.1. Wyznaczenie obciążeń dynamicznych dla typowego uzbrojenia

Sposób wyznaczania obciążenia dynamicznego działającego na wóz bojowy w czasie wystrzału zostanie pokazany na przykładzie 125 mm armaty 2A46, która jest uzbrojeniem głównym czołgów T-72 i PT-91 Twardy, uwzględniając niżej wymienione parametry:

- | | |
|---|------------------------------|
| - kaliber armaty | $d=125$ mm, |
| - pole przekroju poprzecznego lufy | $s=0,01227$ m ² , |
| - masa zespołu odrzutowego | $M_o=1950$ kg, |
| - masa pocisku | $q=5,8$ kg, |
| - masa ładunku miotającego | $\omega=9,8$ kg, |
| - szybkość początkowa pocisku | $V_o=1800$ m/s, |
| - wartość ciśnienia w końcu powylotowego działania gazów prochowych | $p_k=0,2$ MPa, |
| - wartość ciśnienia w momencie opuszczania lufy przez pocisk | $p_w=100$ MPa, |
| - długość drogi pocisku w lufie | $l_w=6$ m, |
| - maksymalna długość odrzutu | $\lambda=0,34$ m. |

Podstawą do wyznaczania wpływu siły odrzutu O na podwozie wozu bojowego jest zależność w postaci (10) wg [1-4]

$$O = \frac{0,5 \cdot M_o \cdot W_{\max}^2}{\lambda - l_k + W_{\max} \cdot t_p}, \quad (10)$$

przy czym: W_{\max} – maksymalna prędkość odrzutu,

l_k – droga swobodnego odrzutu w końcu pierwszego okresu [m],

t_p – czas trwania powylotowego działania gazów prochowych [s].

Brakujące w wyrażeniu (10) funkcje potrzebne do wyznaczenia wpływu odrzutu na podwozie określa się z zależności:

1. Maksymalna prędkość odrzutu

$$W_{\max} = \frac{q + \beta \cdot \omega}{M_o} V_o, \quad (11)$$

gdzie: β – współczynnik odrzutu wyznaczony z zależności

$$\beta = \left(\frac{700 \cdot 0,5 \cdot V_o}{V_o} \right)^{1,1}, \quad (12)$$

$$\beta = \left(\frac{700 + 0,5 \cdot V_o}{V_o} \right)^{1,1} = \left(\frac{700 + 0,5 \cdot 1800}{1800} \right)^{1,1} = 0,878.$$

Uwzględniając wartość współczynnika β oraz wartość parametrów wymienionych w (11) otrzymuje się

$$W_{\max} = \frac{5,8 + 0,878 \cdot 9,8}{1950} \cdot 1950 = 13,3 \text{ m/s}.$$

2. Droga swobodnego odrzutu L_k w końcu pierwszego okresu wyraża się zależnością

$$L_k = L_w + W_w \cdot t_p + \frac{1}{M_o} \cdot b \cdot s [p_w \cdot t_p - l(p_w - p_k)], \quad (13)$$

gdzie: L_w – droga odrzutu swobodnego w momencie wylotu pocisku z lufy. Drogę L_w wyznacza się z zależności

$$L_w = \frac{q + 0,5\omega}{M_o + q + \omega} \cdot l_w, \quad (14)$$

$$L_w = \frac{5,8 + 0,5 \cdot 9,8}{1950 + 5,8 + 9,8} \cdot 6$$

$$L_w = 0,033 \text{ m}.$$

Czas trwania powylotowego działania gazów prochowych wyznacza się z zależności

$$t_p = 2,303 \cdot b \cdot \log \frac{p_w}{p_k}, \quad (15)$$

przy czym

$$b = \frac{(\beta - 0,5) \cdot \omega \cdot V_o}{s(p_w - p_k)},$$

a po podstawieniu poszczególnych wartości otrzymujemy

$$b = \frac{(0,878 - 0,5) \cdot 9,8 \cdot 1800}{0,01227(100 - 0,2)}$$

$$b = 0,00556.$$

Uwzględniając w zależności (15) wyrażenie (16) otrzymuje się wartość t_p

$$t_p = 2,303 \cdot 0,00556 \cdot \log \frac{100}{0,2}$$

$$t_p = 0,0345 \text{ s.}$$

3. Wyznaczenie prędkości odrzutu w momencie wylotu pocisku z lufy

Parametr ten wyznacza się z zależności

$$W_w = \frac{q + 0,5 \cdot \omega \cdot V_o}{M_o + q + \omega} \cdot V_o, \quad (16)$$

Uwzględniając wyznaczone wartości parametrów

$$W_w = \frac{5,8 + 0,5 \cdot 9,8 \cdot 1800}{1950 + 5,8 + 9,8}$$

$$W_w = 9,8 \text{ m/s}$$

4. Droga swobodnego odrzutu L_k w końcu pierwszego okresu

Wartość L_k wyznacza się z zależności (18)

$$L_k = L_w + W_w \cdot t_p + \frac{1}{M_o} \cdot b + s \cdot [p_w \cdot t_p - b(p_w - p_k)], \quad (17)$$

Uwzględniając wartości charakterystyczne środka bojowego oraz wartości parametrów wyznaczonych z zależności (14, 15, 16) wyrażenie (17) po obliczeniach przyjmuje wartość

$$L_k = 0,039 + 9,8 + 0,0345 + \frac{1}{1950} \cdot 0,00556 + 0,01227 \cdot [100 \cdot 0,0345 - 0,00556(100 - 0,2)]$$

$$L_k = 0,47 \text{ m}$$

Uwzględniając w zależności (10) wyrażenie (11, 13, 16) oraz parametry środka bojowego wartość odrzutu przyjmie postać

$$O = \frac{0,5 \cdot 1950 \cdot (13,3)^2}{0,34 - 0,47 + 13,3 \cdot 0,0345}$$

I ostatecznie siła odrzutu wynosi

$$O = 524 \text{ kN}$$

Mając wyznaczone wyżej parametry towarzyszące odrzutowi i wartość samego odrzutu (siły odrzutu), można wyznaczyć dodatkowe parametry, do których należą:

- Prędkość odrzutu w momencie wylotu pocisku z lufy V_w

$$V_w = W_w - \frac{R_x}{M_o} \cdot t_w. \quad (18)$$

gdzie: $R_x = 0,5(R_o + R)$; $t_w = \frac{l_w}{0,5 \cdot V_o}$.

Podstawiając wartości parametrów otrzymuje się, że

$$V_w = 3,89 \text{ m/s.}$$

Prędkość odrzutu w końcu pierwszego okresu V_k

$$V_k = V_w + \frac{1}{M_o} \cdot [b \cdot s(p_w - p_k) - R \cdot t_p], \quad (19)$$

i w efekcie $V_k=3,95\text{m/s}$.

5. Czas trwania drugiego okresu odrzutu opisano zależnością

$$t_k = \frac{M \cdot V_k}{O}, \quad (20)$$

i wynosi $t_k=0,00147 \text{ s}$.

6. Całkowity czas trwania odrzutu t_o

$$t_o = t_w + t_p + t_k, \quad (21)$$

i ostatecznie $t_o=0,056 \text{ s}$.

Przedstawioną metodą obliczono siłę hamowania odrzutu dla kilku (najczęściej będących na uzbrojeniu) armat czołgowych oraz 25 mm armaty KB4, która jest podstawowym uzbrojeniem kilku typów kołowych transporterów opancerzonych. Wyniki obliczeń przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Zestawienie obliczonych wartości siły odrzutu armat i czasu jego trwania dla wybranych pojazdów
Table 2. The set of computed values of guns recoil forces and time of its lasting for chosen vehicles

Rodzaj amunicji i nazwa armaty	Nazwa wozu bojowego	Wartość siły odrzutu [kN]	Czas trwania odrzutu [s]
125 mm armata 2A46	T-72, PT-91, T-80	524	0,056
120 mm armata L44	Leopard 2A4	411	0,056
120 mm armata L55	Leopard 2A6	597	0,049
105 mm armata L7A3	Leopard 1	460	0,043
100 mm armata D10-T2S	T-54, T-55	280	0,078
25 mm armata KB4	DARDO, IFV	25	0,017

4. Wnioski końcowe

Rezultaty obliczeń oraz przedstawiona metodyka pozwalają na wyciągnięcie następujących wniosków:

- Szacowanie parametrów rozkładu opisujących charakter powstałych uszkodzeń odbywa się poprzez badania laboratoryjne poszczególnych parametrów. Rezultaty tych badań potwierdzone są badaniami doświadczalnymi (poligonowymi). Na podstawie połączonych wyników badań wydawane są decyzje co do przydatności środka ogniowego.
- W procesie oceny środków bojowych (amunicji artyleryjskiej) badaniom podlega materiał wybuchowy, które obejmują siłę wybuchu i wrażliwość detonacyjną. Wyniki badań wskazują, że obydwie parametry w funkcji czasu nie zmieniają swoich wartości (niewielka zmiana mieści się w granicach błędów). Minimalna zmiana dotyczy wrażliwości detonacyjnej.
- W oparciu o przedstawioną metodę wpływu strzału na podwozie, wyznaczono siłę hamowania odrzutu dla 100 mm armaty czołgu T-55. Wyniki obliczeń zweryfikowano

porównując je z danymi zawartymi w [4]. Różnica pomiędzy maksymalną siłą hamowania, uzyskaną w badaniach eksperymentalnych, i siłą hamowania uzyskaną z obliczeń nie przekracza 8%.

- Uzyskane rezultaty stanowią podstawę do wyznaczenia obciążeń, o charakterze udarowym, działających na łożysko oporowe wieży i jego obsadę, kadłub pancerny, elementy zawieszenia oraz mechanizm gaśnicowy wozu bojowego.

Literatura

- [1] Figurski, J., *Cybernetyka parku maszynowego*, Ossolineum Wrocław 1998.
- [2] Greten, K. K., *Projektowanie sprzętu artyleryjskiego*.
- [3] *Calculation of Recoil impulse*, Reference Rheinmetal Edition 1997.
- [4] Kuśnierz, T., Dankowski, Z., *Oddziaływanie wystrzału z broni pokładowej na wóz bojowy*, Wydawnictwo WITU 2004.
- [5] <http://www.army-technology.com>.