

FIGHTING MEANS QUALITY AND MILITARY VEHICLE LOAD

Jan Figurski, Piotr Rybak

Military University of Technology
Faculty of Mechanical Engineering
Gen. Sylwestra Kaliskiego 2, 00-908 Warsaw
tel.: +48 22 6839752, fax: +48 22 6837370
e-mail: j.figurski@wme.wat.edu.pl; p.rybak@wme.wat.edu.pl

Abstract

There are presented research and application conditions of fighting means in aspect of affecting military (combat) vehicle during shooting a board weapon. There are analysed processes of fighting means research and there are presented indexes of fighting means quality evaluation. Exploitation usefulness of the analysed fighting means have important influence on artillery systems combat effectiveness. It may also have 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 assessment and presentation of affect of fighting means the chosen construction of combat vehicles. These affects are the source of rapidly changeable loads with impetus character. On a chosen example there is presented a method of appointing the basic parameters characterising fighting means, also 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 and basic combat vehicles guns of some states as well. The achieved results have quantitative character presenting the problem importance for eventual constructors and military vehicles users as well.

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

JAKOŚĆ ŚRODKÓW BOJOWYCH A OBCIĄŻENIE POJAZDU WOJSKOWEGO

Streszczenie

Przedstawiono uwarunkowania badawcze i aplikacyjne środków bojowych w aspekcie oddziaływania na pojazd wojskowy (pojazd bojowy) podczas realizacji strzelania z broni pokładowej. Opisano procesy badań środków bojowych oraz przeanalizowano i przedstawiono wskaźniki oceny jakości środków bojowych. Przydatność eksploatacyjna analizowanych środków bojowych ma istotny wpływ na skuteczność bojową systemów artyleryjskich, może mieć również negatywny wpływ oddziaływujący na stabilność i konstrukcję systemów, w których wykorzystuje się te środki.

W pracy podjęto próbę oszacowania i przedstawienia oddziaływania środków bojowych na wybrane konstrukcje pojazdów wojskowych. Oddziaływania te są źródłem szybkozmiennych obciążeń o charakterze impulsowym. 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. Uzyskane rezultaty mają charakter ilościowych, przedstawiających wagę problemu dla potencjalnych konstruktorów jak i użytkowników pojazdów wojskowych.

Słowa kluczowe: pojazd wojskowy, armata, pocisk, obciążenie, siła odrzutu

1. Wprowadzenie

Wykorzystywane w procesie eksploatacji pojazdy wojskowe narażone są na różnego rodzaju obciążenia dynamiczne. Jednym z istotniejszych są zjawisko wynikające z oddziaływania środka bojowego podczas prowadzenia ognia (podczas postoju jak i w ruchu) na pojazd wojskowy,

zjawisko odrzutu. Oddziaływanie to może wpływać niekorzystnie na efekty prowadzonego ognia zarówno w zakresie donośności strzelania jak i jego dokładności. Zjawisko to jest szkodliwe szczególnie w wypadku środków bojowych (pocisków), które nie podlegają korekcie na torze lotu, natomiast mniejsze znaczenie ma to oddziaływanie dla techniki raketowej, której pociski podlegają korekcie na torze lotu.

Jednakże w obydwu wypadkach szkodliwe działanie odrzutu po wystrzale środków bojowych odbija się na załodze realizującej zadania działania bojowe. Działanie środków na organizm ludzki jest tym większe im w procesie strzelania stosowany jest środek o większym kalibrze, ma większą masę całkowitą lub większą masę ładunku miotającego, bądź jeśli armata lub wyrzutnia ma mniejszą odporność na obciążenia udarowe.

W pracy podjęto próbę oszacowania poziomu oddziaływania środków bojowych na podwozie pojazdu wojskowego podczas strzelania. Ocenie poddano również przydatność środków bojowych poddanych długookresowemu przechowywaniu.

2. Ocena przydatności środków bojowych jako źródeł obciążenia

Proces oceny przydatności, przechowywanych długookresowo, środków bojowych jest procesem złożonym i niebezpiecznym. Opiera się on o badania eksperymentalne realizowane w warunkach laboratoryjnych lub poligonowy. Badania prowadzone są na wybranej próbie środków, według zróżnicowanych metodyk mogących stanowić: strukturę szeregową, równoległą lub strukturę mieszaną. Jakość środków bojowych w aspekcie gotowości do ich użycia ocenia się na podstawie stosownych wskaźników. I tak dla struktury niezawodnościowej szeregowej wykorzystuje się wskaźnik gotowości jako (1):

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

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 (2):

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

Dla struktury niezawodnościowej mieszanej wykorzystuje się kombinację wskaźników struktury szeregowej i równoległej.

Użytkownika środków bojowych interesuje poziom ich gotowości do wykorzystania zgodnie z przeznaczeniem. Dla struktury niezawodnościowej szeregowej poziom ten wyznaczony jest z zależności (3)

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

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 związek (5)

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

gdzie:

N – liczba badanych elementów w środka bojowym.

Jeżeli w trakcie badań niezawodnościowych interesującego środka bojowego możemy wyznaczyć chwilę czasu u , dla której wyrażenie (5) spełnia zależność (6):

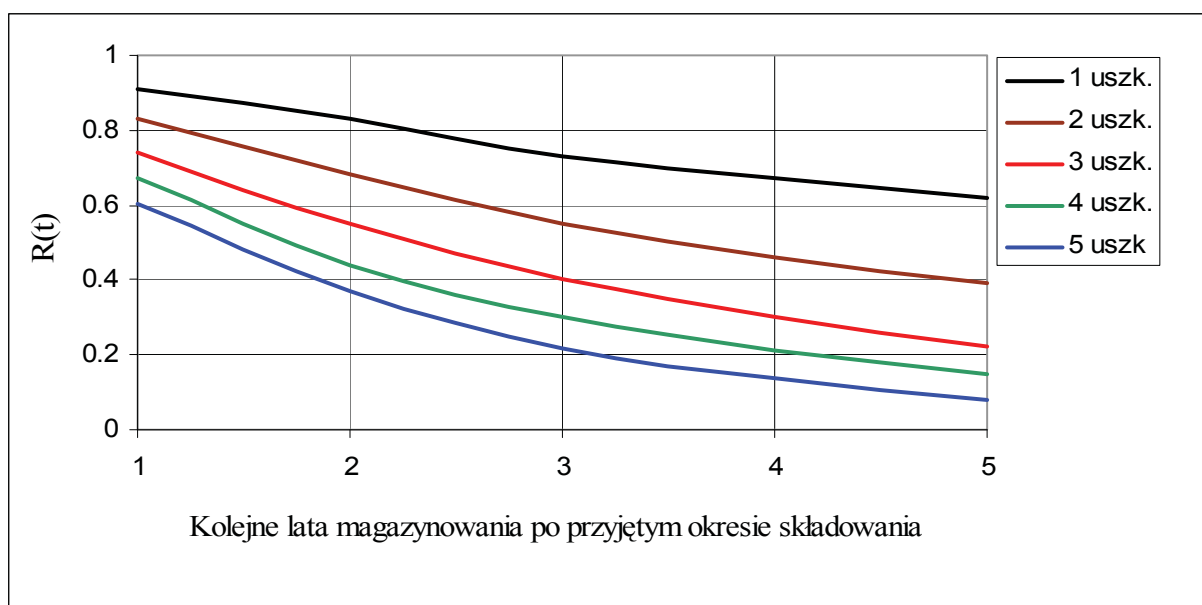
$$\prod_{j=1}^N R_j(u^*, t) = R_1 \cdot R_2 \cdot R_3 \cdot \dots \cdot R_N \approx 1 - \beta, \quad (6)$$

to 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 wypadku kiedy funkcja niezawodności badanego elementu posiada rozkład wykładniczy w postaci (7)

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

gdzie:

λ – intensywność uszkodzeń elementu, wówczas funkcja prognozy może przyjąć postać przedstawioną na rys. 1.



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

W badaniach elementów składowych środka bojowego połączonych według równoległej struktury niezawodnościowej, uwzględnia się iloczyn funkcji zawodności poszczególnych elementów według zapisu (8)

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

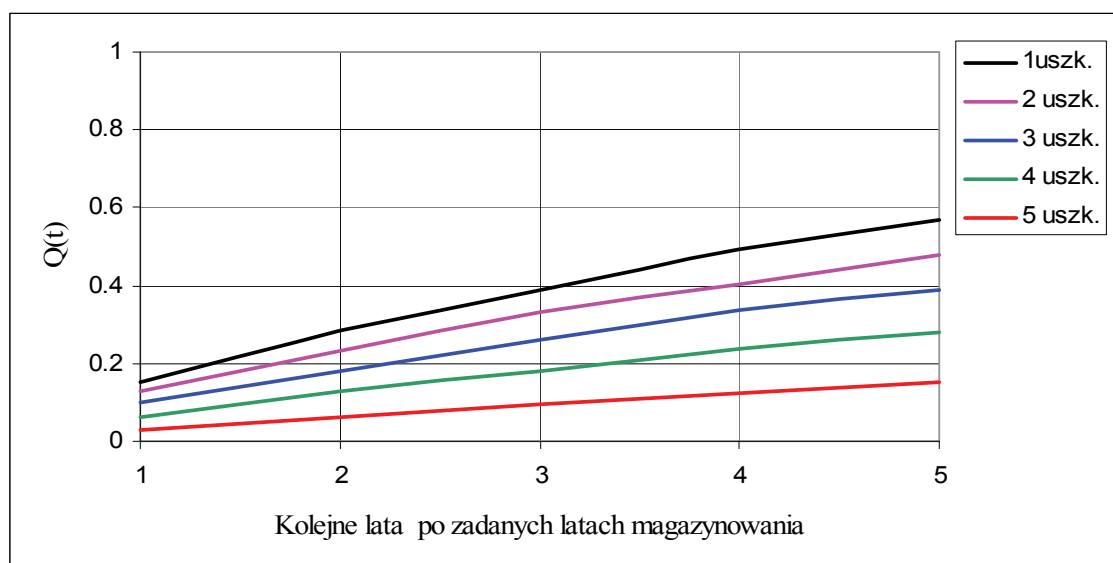
w którym $Q_j(u, t)$ – oznacza funkcję niezawodności j – tego elementu.

Przebieg wymian profilaktycznych dla równoległej struktury niezawodnościowej wykonuje się podobnie jak dla struktury szeregowej. Pierwszą operację wymian profilaktycznych dla rozkładu wykładniczego wyznacza się z zależności (9)

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

Funkcję prognozy dla kolejnych wymian wyznacza się zgodnie z rys. 2.

Zależności (6) i (9) stanowią podstawę do wyznaczania terminów wymian elementów środka bojowego znajdujących się w procesie magazynowania. Wymiany te stanowią również podstawę do wyznaczenia liczby części zamiennych niezbędnych do zastąpienia elementów uszkodzonych nowymi.



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

Niektóre badane parametry amunicji przeciwpancernej typu APFSDS do armat czołgowych kalibru 120 mm i 125 mm zestawiono w tabeli 1. W wierszach 1, 6, 7, 8 zestawiono dane dotyczące badań laboratoryjnych, natomiast w wierszach 2, 3, 4, 5 badań poligonowych. W tabeli tej zawarto również wybrane parametry pocisków armii innych państw.

Tab. 1. Wybrane parametry amunicji czołgowej typu APFSDS
 Tab. 1. The basic parameters of APFSDS tank ammunition

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

3. Wyznaczenie obciążenia podwozia pojazdu wojskowego

Na rysunku 3 przedstawiono zdjęcia wybranych czołgów, w tym podczas strzelania w różnych warunkach. Na rysunku 4 pokazano przekrój pocisku przeciwpancernego typu APFSDS oraz proces oddzielania się sabotu od rdzenia na torze lotu.



PT-91 (Polska)



T-80 (Rosja)



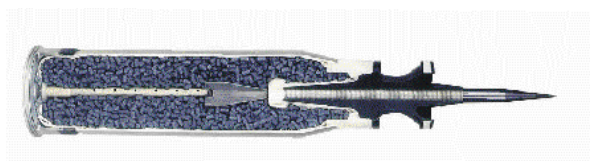
Leopard 2 (Niemcy)



M1 Abrams (USA)

Rys. 3 Fotografie niektórych czołgów podczas strzelania
Fig. 3. Silhouettes of some tanks during shooting

a)



b)



Rys. 4. Podkalibrowy pocisk przeciwpancerny: a) przekrój, b) oddzielanie się sabotu w locie
Fig. 4. Silhouettes of some tanks during shooting

Podstawowym uzbrojeniem w większości pojazdów wojskowych (wozach bojowych), ze względu na wysoką skuteczność, jest armata. Oddziaływanie armaty na pojazd można rozpatrywać w dwojaki sposób:

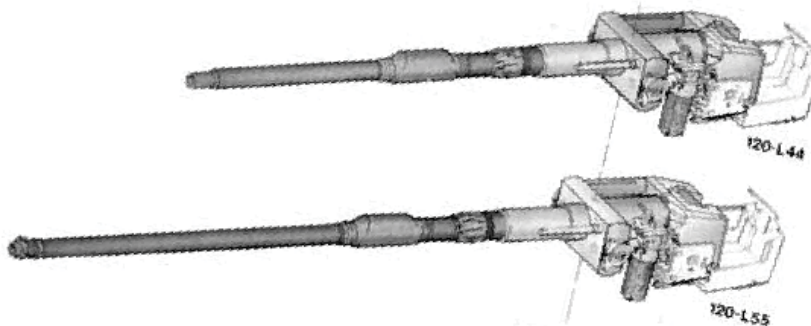
- wpływ armaty na podwozie pojazdu bojowego,
- wpływ wystrzału z armaty na podwozie pojazdu bojowego z uwzględnieniem stosowanego środka ogniowego (amunicji).

Masa armaty przeciętnie stanowi kilka procent masy całkowitej pojazdu bojowego, dlatego jej wpływ praktycznie można pominąć. Ponieważ wpływ wystrzału z armaty jest istotny, w pracy rozważa się wpływ oddziaływania wystrzału pocisku z armaty i odrzutu na pojazd bojowy.

W wieży pojazdu, na czopach, zamocowana jest kołyska armaty, we wnętrzu której osadzona jest lufa, a która po wystrzale podczas odrzutu i powrotu przesuwa się po prowadnicach kołyski. Lufa z kołyską połączona jest przez tzw. 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 a stąd na podwozie. Przy rozpatrywaniu oddziaływania wystrzału na pojazd bojowy najważniejszym zadaniem jest określenie parametrów ruchu zespołu odrzutowego. Na rys. 5 przedstawiono współczesne armaty o kalibrze 120mm o różnych długościach luf oraz sposób osadzenia armaty w wieży czołgu.



Osadzenie armaty w wieży czołgu
Gun placement in tank turret



Rys. 5. Armaty czołgów [5]
Fig. 5. Guns of tank

Oszacowania obciążenia armaty na podwozie pojazdu bojowego dokonuje się poprzez określenie siły odrzutu O , mając dane podstawowe parametry uzbrojenia:

- | | |
|---|-------------|
| - kaliber armaty | d , |
| - pole przekroju poprzecznego lufy | s , |
| - masa zespołu odrzutowego | M_o , |
| - masa pocisku | q , |
| - masa ładunku miotającego | ω , |
| - szybkość początkowa pocisku | V_o , |
| - wartość ciśnienia w końcu powylotowego działania gazów prochowych | p_k , |
| - wartość ciśnienia w momencie opuszczania lufy przez pocisk | p_w , |
| - długość drogi pocisku w lufie | l_w , |
| - maksymalna długość odrzutu | λ . |

Wartość siły odrzutu określa się według zależności (10) [1]

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

gdzie:

- W_{\max} – maksymalna prędkość odrzutu,
- l_k – droga swobodnego odrzutu w końcu pierwszego okresu [m],
- t_p – czas trwania powylotowego działania gazów prochowych [s].

Nieznane w wyrażeniu (10) funkcje niezbędne do wyznaczenia odrzutu na podwozie uzyskuje się z następujących zależności:

Maksymalna prędkość odrzutu (11)

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

β – współczynnik odrzutu wyznaczony z wzoru (12):

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

Droga swobodnego odrzutu L_k w końcu pierwszego okresu wyraża się zależnością (13)

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

gdzie:

L_w – droga odrzutu swobodnego w momencie wylotu pocisku z lufy.

Drogę L_w wyznacza się z zależności (14)

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

Czas trwania powylotowego działania gazów prochowych wyznacza się ze związku (15)

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

przy czym

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

Wyznaczenie prędkości odrzutu w momencie wylotu pocisku z lufy

Parametr ten wyznacza się z zależności (16)

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

Droga swobodnego odrzutu L_k w końcu pierwszego okresu

Wartość L_k wyznacza się z zależności (17)

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

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 określa się z (18)

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

gdzie:

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

– Prędkość odrzutu w końcu pierwszego okresu V_k ze związku (19):

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

Czas trwania drugiego okresu odrzutu opisano zależnością (20):

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

Całkowity czas trwania odrzutu t_o wg (21):

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

Przedstawioną metodą obliczono siłę hamowania odrzutu dla kilku armat czołgów podstawowych. Wyniki obliczeń zestawiono w tabeli 2.

Tab. 2. Wartości siły odrzutu armat i czasu jej trwania
Tab. 2. The set of computed values of guns recoil forces and time of its lasting

Typ armaty/kaliber	Nazwa wozu bojowego	Wartość siły odrzutu [kN]	Czas trwania odrzutu [s]
2A46/125 mm	T-72, PT-91, T-80	524	0,056
L44/120 mm	Leopard 2A4	411	0,056
L55/120 mm	Leopard 2A6	597	0,049
L7A3/105 mm	Leopard 1	460	0,043
D10-T2S/100 mm	T-55AM	280	0,078

4. Wnioski końcowe

- Przedstawiona metoda oceny wpływu strzału na podwozie została zweryfikowana eksperymentalnie dla 100 mm armaty czołgu średniego. Rozbieżność pomiędzy maksymalną siłą hamowania uzyskaną w badaniach eksperymentalnych i z obliczeń nie przekracza 8%.
- Znajomość siły odrzutu stanowi podstawę do wyznaczenia obciążeń, o charakterze udarowym, działających na łożysko oporowe wieży i jego obsadę, nadwozie oraz elementy zawieszenia i mechanizm gąsienicowy wozu bojowego.
- Czas przechowywania środka ogniowego w zasadzie nie ma wpływu na jego zdatność, a tym samym energię oddziaływania na cel (o ile nie jest on uszkodzony mechanicznie lub chemicznie – korozja).

Literatura

- [1] Figurski J., Rybak P., *Badanie środków bojowych jako źródeł obciążeń udarowych wozów bojowych*, Journal of Kones Powertrain and Transport, Vol14.N0. 1 2007.
- [2] Kuśnierz T., Dankowski Z., *Oddziaływanie wystrzału z broni pokładowej na wóz bojowy*, Wydawnictwo WITU 2004.
- [3] *Calculation of Recoil impulse*, Reference Rheinmetal Edition 1997.
- [4] <http://www.army-technology.com>.
- [5] <http://www.fas.org>.