



## ANALIZA PARAMETRÓW ENERGETYCZNYCH PRZECIWPANCERNEJ AMUNICJI PODKALIBROWEJ W ASPEKCIE OCZEKIWAŃ WSPÓŁCZESNEGO POLA WALKI

### *ANALYSIS OF ENERGETIC PARAMETERS FOR ANTITANK KINETIC AMMUNITION OF CONTEMPORARY BATTLEFIELD*

Mariusz MAGIER

Wojskowy Instytut Techniczny Uzbrojenia  
*Military Institute of Armament Technology*

DOI 10.5604/01.3001.0010.0283

**Streszczenie:** W artykule wyznaczono i przeanalizowano podstawowe parametry energetyczne wybranych 120 mm pocisków typu APFSDS występujących na uzbrojeniu. Autor oszacował możliwości spełnienia oczekiwanych wymagań w zakresie zdolności przebicia pancerza RHA formułowanych dla nowo opracowywanych konstrukcji kinetycznych pocisków podkalibrowych. W podsumowaniu zawarto m.in. charakterystykę obecnych ograniczeń parametrów balistycznych armat czołgowych.

**Słowa kluczowe:** amunicja przeciwpancerna, pocisk kinetyczny, energia

### 1. Wprowadzenie

Na obecnym polu walki w konflikcie symetrycznym kinetyczna amunicja podkalibrowa typu APFSDS (rys.1.1) jest podstawowym rodzajem amunicji przeciwpancernej stosowanej do zwalczania opancerzonych środków ogniowych przeciwnika, ze względu na unikatowe w porównaniu do klasycznej amunicji pełnokalibrowej (np. typu HEAT) zalety t.j.:

- krótki czas lotu pocisku do celu (na odległości 2000 m –1,2÷1,5 s), co skutecznie ogranicza możliwości przeciwdziałania (np. manewru ominięcia) wozu bojowego przeciwnika,
- małe wartości uchyleń prawdopodobnych pocisków w serii warunkujące bar-

**Abstract:** Basic energetic parameters of selected examples of 120 mm APFSDS (armour piercing fin stabilised discarding sabots) service projectiles are specified and analysed in the paper. Author has estimated chances for meeting penetration capacities through RHA (rolled homogeneous armour) by designs of kinetic energy projectiles which are currently under development. The summary also includes a characterisation of present limitations for tank guns ballistic parameters.

**Keywords:** antitank ammunition, kinetic projectile, energy

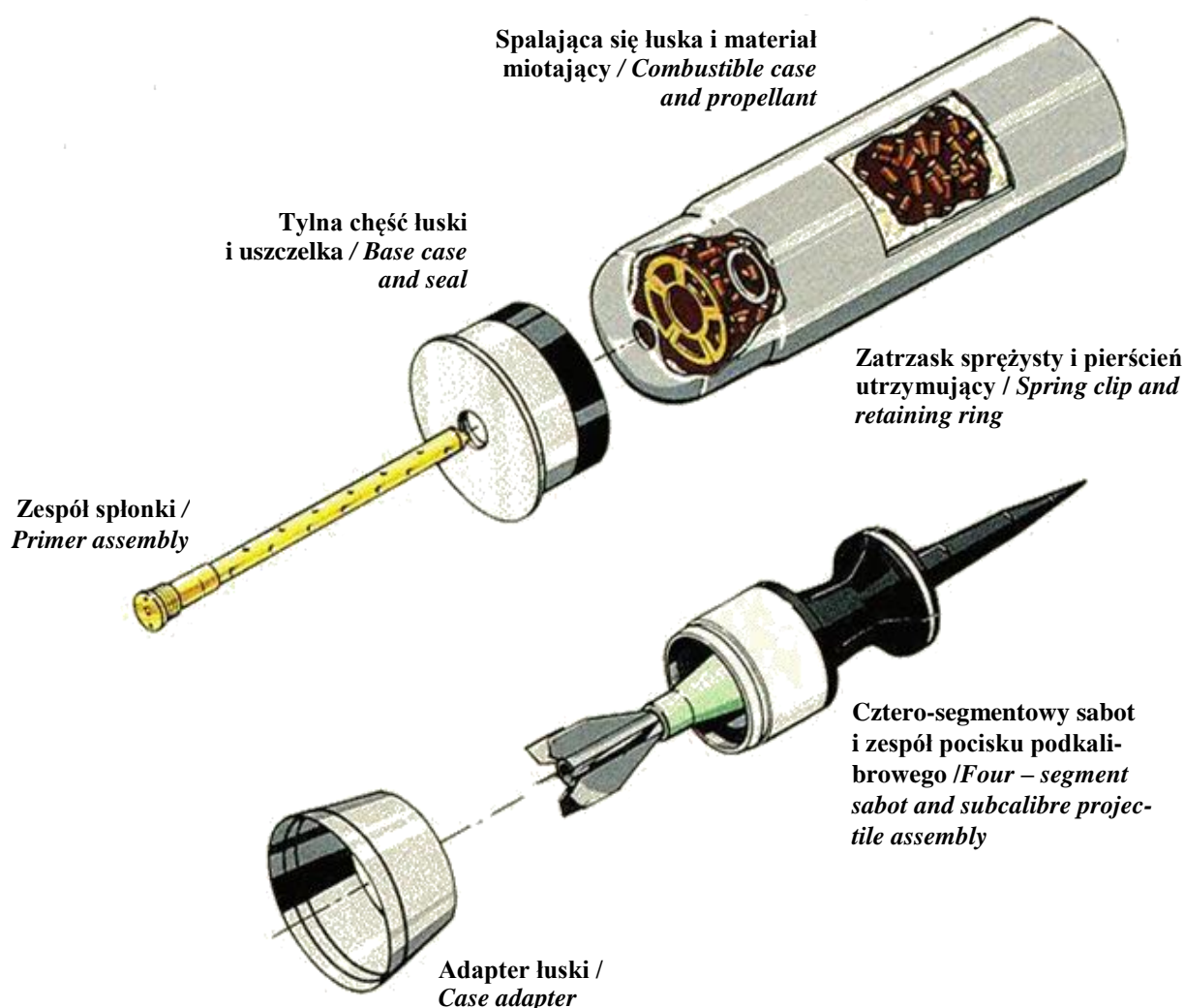
### 1. Introduction

Kinetic ammunition of APFSDS type (Fig.1.1) is the basic antitank ammunition used on the present battlefield designated for fighting the enemy armoured fire assets because of following unique advantages it represents in relation to classical full-calibre ammunition (e.g. HEAT):

- Short flying time of the projectile to a target (for 2000 m –1.2÷1.5 s) what effectively reduces possibilities of enemy combat vehicle counteractions (e.g. by a bypass),
- Small values of probable errors for the projectiles originating from one lot provide a very good hitting accu-

- dzo dobrą celność,
- znaczne zdolności penetracji pancerza RHA na odległości 2000 m – dla nowoczesnych przeciwpancernych pocisków podkalibrowych od 500 do ponad 800 mm,
  - mniejszą (w porównaniu do przeciwpancernej amunicji kumulacyjnej) wrażliwość na oddziaływanie pancerza reaktywnego.

- racy,
- Significant values of penetration through RHA at distances of 2000 m – for modern antitank kinetic projectiles it is from 500 to more than 800 mm,
  - Lower susceptibility (than for the antitank shaped charge ammunition) against interaction of reactive armour.



**Rys. 1. Budowa naboju z pociskiem typu APFSDT**

(<https://fas.org/man/dod-101/sys/land/m829-3.jpg>)

**Fig. 1. Structure of the cartridge with APFSDT projectile**

(<https://fas.org/man/dod-101/sys/land/m829-3.jpg>)

Wysoka efektywność oddziaływania pocisku na cel opancerzony jest wynikiem tego, że pocisk zasadniczy (stanowiący ubrzechwiony penetrator) charakteryzuje się bardzo

High effectiveness of projectile reaction against an armoured target is caused by the fact that after hitting a target the projectile itself (penetrator with fins) is

dużą czasowo-przestrzenną koncentracją energii po uderzeniu w cel. Wpływ na przebijalność pocisku mają przede wszystkim: prędkość uderzenia pocisku w cel, rodzaj materiału użytego do wykonania penetratora pocisku, jego właściwości fizyczne (gęstość, temperatura topnienia) oraz duża smukłość (wydłużenie) uderzającego rdzenia (penetratora). Jako materiał na penetratory pocisków podkalibrowych stosowane są zwykle spieki na podstawie wolframowej i uranowej o gęstościach wynoszących odpowiednio  $17 \text{ g/cm}^3$  i  $19 \text{ g/cm}^3$ . To oznacza, że przy małej średnicy penetratora (około 22-25 mm - dla armat kalibru 120 i 125 mm) – a co za tym idzie, małym przekroju poprzecznym – osiągane są bardzo duże gęstości energetyczne penetratorów. Współczesne pociski podkalibrowe z odrzucanym sabotem, stabilizowane brzechwowo, odznaczają się małym spadkiem prędkości pocisku na torze lotu, co wynika z konstrukcji pocisku. Gradient ten, dla najnowszych konstrukcji światowych wynosi około 50 m/s na odległości 1000 m). Przy prędkościach początkowych z zakresu 1500-1800 m/s zapewnia to duże prędkości uderzenia penetratora w cel nawet na odległościach powyżej 2000 m [1].

## **2. Analiza parametrów energetycznych współczesnych 120 mm przeciwpancernych pocisków podkalibrowych typu APFSDS**

Najnowsze konstrukcje przeciwpancernych pocisków podkalibrowych typu APFSDS charakteryzują się wydłużeniem (smukłością)  $l/d > 30$  (gdzie  $l, d$  – odpowiednio: długość oraz średnica penetratora).

Na rysunku 2 przedstawiono pięć generacji penetratorów 120 mm pocisków podkalibrowych DM11÷DM53 niemieckiej firmy Rheinmetall, opracowanych w latach 1979÷2001. W tym okresie, wraz z rozwojem technologii produkcji i składu spieków na podstawie wolframowej, dokonała się także rewolucja w konstrukcji tego typu amunicji (wydłużenie penetratora oraz zmniejszenie jego średnicy) a co za tym idzie nastąpił znaczący postęp w zakresie zwiększenia zdolności penetracji pancerza czołgu. Średnia głębokość penetracji w tym

characterised by a very high level of time–space concentration of the energy. There are following factors influencing mainly the penetrability of a projectile: velocity of hitting the target by projectile, type of material used for fabrication of projectile's penetrator, its physical properties (density, melting temperature) and large slenderness (elongation) of the hitting core (penetrator). The penetrators of sub-calibre projectiles are usually made of tungsten or uranium based sinters with respective densities of  $17 \text{ g/cm}^3$  and  $19 \text{ g/cm}^3$ . It means that at a small diameter of penetrator (ca. 22-25 mm - for 120 and 125 mm guns) – resulting in a small cross section – the very high values of energetic densities are reached by the penetrators. Present kinetic projectiles with discarded sabot and fin stabilised are characterised by a low decrease of velocity on the flying path resulting from projectile design. This gradient is ca. 50 m/s on the distance of 1000 m for the newest designs. For muzzle velocities in the range of 1500-1800 m/s it provides high hitting velocities into the target for the penetrator even at distances above 2000 m [1].

## **2. Analysis of Energetic Parameters for Present 120 mm APFSDS Anti-tank Kinetic Ammunition**

The newest designs of APFSDS anti-tank kinetic projectiles are characterised by the slenderness (elongation)  $l/d > 30$  (where  $l$  and  $d$  are respectively the length and diameter of penetrator).

Five generations of penetrators for 120 mm DM11÷DM53 kinetic ammunition developed within 1979÷2001 by German company Rheinmetall are shown in Fig. 2. During that time along with the development of manufacturing technologies and compositions of sinters based on tungsten a breakdown also took place in designing such type of ammunition (elongation of the penetrator and reduction of its diameter) what led to significant increase of tank armour penetration. The average depth of

okresie zwiększyła się o około 100 %.

Powszechnie przyjmuje się, że podstawowym parametrem charakteryzującym pocisk kinetyczny pod kątem zdolności penetracji pancerza jest gęstość energetyczna (GE) pocisku (penetratora) w chwili uderzenia w cel [2, 3].

penetration increased by ca. 100 % within that time.

It is commonly accepted that the energetic density (ED) of the kinetic projectile (penetrator) in a moment when a target is hit [2, 3] is a basic parameter characterising its capacities for penetrating the armour.

$$GE = \frac{2mV^2}{\pi d_w^2} \quad (1)$$

gdzie:

$GE$  – gęstość energetyczna penetratora pocisku [ $\text{kJ}/\text{mm}^2$ ];  
 $V$  – prędkość uderzenia penetratora w pancerz [ $\text{m}/\text{s}$ ],  
 $m$  – masa penetratora [ $\text{kg}$ ],  
 $d_w$  – średnica krateru wnikania [ $\text{mm}$ ],

where:

$GE$  – energetic density of projectile's penetrator [ $\text{kJ}/\text{mm}^2$ ];  
 $V$  – penetrator hitting velocity into armour [ $\text{m}/\text{s}$ ],  
 $m$  – mass of penetrator [ $\text{kg}$ ],  
 $d_w$  – diameter of penetrating crater [ $\text{mm}$ ],

$$d_w = d + \Delta d \quad (2)$$

gdzie:

$d$  – średnica penetratora;  
 $\Delta d \approx 0,1d$  (w praktyce przyjmuje się –  $(1 \leq \Delta d \leq 3)$  [ $\text{mm}$ ]).

where:

$d$  – diameter of penetrator;  
 $\Delta d \approx 0,1d$  (in practice it is assumed –  $(1 \leq \Delta d \leq 3)$  [ $\text{mm}$ ]).



**Rys. 2. Widok pięciu generacji penetratorów pocisków typu APFSDS opracowanych w latach 1979÷2001 (fot. Rheinmetall)**

**Fig. 2. A view of five generations of penetrators for APFSDS type projectiles developed within 1979÷2001 (photo by Rheinmetall)**

Tabela 1. Parametry energetyczne wybranych 120 pocisków przeciwpancernych typu APFSDS  
 Table 1. Energetic parameters of selected 120 mm APFSDS antitank projectiles

Nazwa pocisku / Name of projectile	Kaliber/Armata Calibre / gun [mm]	Prędkość początkowa pocisku / Muzzle velocity [m/s]	Prędkość penetratora w chwili uderzenia w cel [m/s] na odl. 2000 m Penetrator's velocity [m/s] at 2000 m	Masa penetratora na torze lotu / Mass of penetrator at flying [kg]	Energia kinetyczna penetratora w chwili uderzenia w cel / Pe- netrator hitting kinetic energy [kJ]	Średnica penetratora / Diamo- ter of the penetrator [mm]	Gęstość energetyczna / Ener- getic density [kJ/mm <sup>2</sup> ]	Zdolność przebicia pancerza RHA [mm] na odl. 2000 m / RHA penetration capacity [mm] at 2000 m
DM 33	120/ L44	1650	1530	4	4682	27/30	6,6	480 (dane prod./producer)
DM 43	120/ L55	1740	1640	4	5379	24/27	7,6	560 (dane prod.)
DM 53/63	120/ L55	1750	1640	5	6724	24/27	11,7	850 (szacowa- ne/ estim.)
M 829	120/ M256	1670	1560	4	4867	26/29	7,4	540 (dane prod.)
M 829A1	120/ M256	1560	1460	4,6	4902	22/25	10	730 (szacowa- ne)
M 829A2	120/ M256	1680	1580	4,6	5741	22/25	11,7	850 (szacowa- ne)
Terminator	120/ M256	1585	1455	4,32	4573	24/27	8,0	600 (dane prod.)
OFL 120F2	120/L52	1740	1640	4,5	6052	27/30	8,6	640 (dane prod.)
Hipotetyczny Hypothetical	120/L55	1880	1770	5	7844	24/27	13,7	1000 (szaco- wane)

Przykładowe wyniki obliczeń podstawowych parametrów energetycznych wybranych 120 mm pocisków typu APFSDS występujących aktualnie na uzbrojeniu zestawiono w tabeli 1. Zobrazowane na rysunku 3 przedmiotowe parametry przedstawiają quasi-liniową zależność zdolności głębokości przebicia pancerza w funkcji gęstości energetycznej penetratora podczas uderzenia w cel.

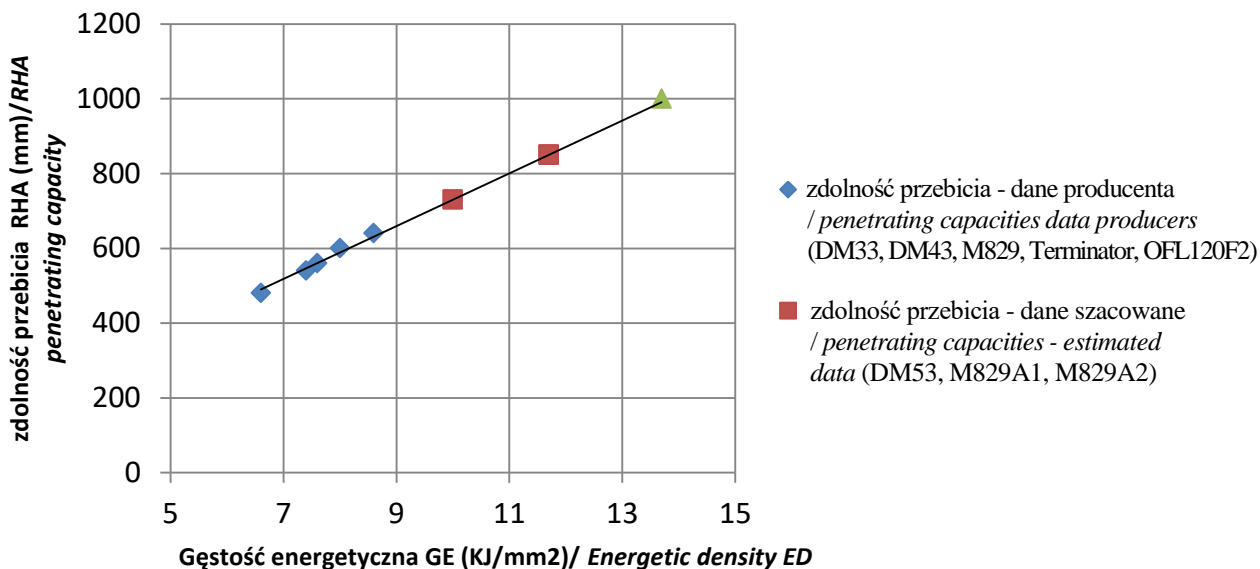
Celem niniejszej analizy jest określenie praktycznych możliwości opracowania pocisku podkalibrowego o zdolności penetracji pancerza RHA 1000 mm na odległości 2000 m, który odpowiadałby obecnym oczekiwaniom użytkownika (gestora) w zakresie zwalczania pojazdów opancerzonych przeciwnika. Stąd też w tabeli 1 przedstawiono także podstawowe

Table 1 shows exemplary results of calculations of basic energetic parameters for some currently used 120 mm APFSDS projectiles. These parameters are illustrated in figure 3 where they represent a quasi-linear dependence of armour depth penetration capacity on energetic density of penetrator in a moment of hitting the target.

The aim of present analysis is to find out if it is possible to develop a kinetic energy projectile with penetrating capacities of RHA 1000 mm at distance of 2000 m which would meet the present expectations of the user concerning the fighting of enemy armoured vehicles. For this reason the table 1 also includes the basic characteris-

dane hipotetycznego pocisku podkalibrowego, którego teoretyczne parametry energetyczne mogłyby spełnić ww. wymaganie.

tics of a hypothetical projectile with theoretical energetic parameters that would meet the above mentioned requirement.



Rys. 3. Zdolność przebicia pancerza RHA w funkcji gęstości energetycznej dla wybranych 120 mm pocisków przeciwpancernych typu APFSDS

Fig. 3. Penetrating capacities of RHA armours versus energetic density for selected antitank 120 mm APFSDS projectiles

### 3. Wnioski

1. Jak wynika z przedstawionych danych, hipotetyczny penetrator 120 mm pocisku APFSDS o masie 5 kg i średnicy 24 mm (analogicznie jak w pocisku DM-53/63), po to aby osiągnąć wielkość przebicia 1000 mm RHA powinien posiadać, w chwili uderzenia w cel, energię kinetyczną nie mniejszą niż 7844 kJ. To oznacza, że pocisk taki powinien posiadać odpowiednio: minimalną prędkość początkową wynoszącą co najmniej 1880 m/s dla wymaganej zdolności przebicia pancerza 1000 mm RHA na odległości 2000 m oraz 1852,5 m/s dla tej zdolności przebicia pancerza na odległości 1500 m.
2. Dla wymaganej zdolności przebicia pancerza na poziomie 800 mm RHA energia penetratora o identycznej konstrukcji jak DM-53, w chwili uderzenia w cel, powinna wynieść min. 6300 kJ. W tym przypadku pocisk powinien posiadać odpowiednio: mi-

### 2. Conclusions

1. Presented data indicate that hypothetical penetrator of 120 mm APFSDS projectile with the mass of 5 kg and diameter 24 mm (analogically as in DM-53/63 projectile) has to have the kinetic energy above 7844 kJ in the moment of hitting a target to secure 1000 mm penetration value of RHA. It means that demanded 1000 mm penetration of RHA by such projectile may be secured for muzzle velocities of at least 1880 m/s and 1852.5 m/s for the target ranges of 2000 m and 1500 m respectively.
2. For the required armour penetrating capacity on the level of 800 mm of RHA the energy of the penetrator with the same design as DM-53 has to be min. 6300 kJ in the moment of hitting the target. In such case the projectile has to have respectively the minimal muzzle

nimalną prędkość początkową 1752 m/s dla zdolności przebicia pancerza 800 mm RHA na odległości 3000 m oraz 1935 m/s dla zdolności przebicia pancerza 1000 mm RHA na odległości 3000 m.

3. Obecne ograniczenia konstrukcyjne ( $R_m$ ,  $R_e$ , wytrzymałość zmęczeniowa i masa lufy) 120 mm armat czołgowych, charakterystyki balistyczne (parametry fizyko-chemiczne) istniejących klasycznych materiałów miotających, wykluczają możliwość osiągnięcia przez pocisk przeciwpancerny o masie penetratora 5 kg, prędkości początkowej powyżej 1750 m/s dla lufy o długości wynoszącej 55 kalibrów (obecnie lufa taka występuje tylko w czołgu Leopard 2A6). Dalszym ograniczeniem, szczególnie dla wozów bojowych lżejszych od współczesnych czołgów (których masa oscyluje wokół 50÷65 t), jest wielkość impulsu odrzutu ograniczająca parametry bojowe zastosowanej armaty szczególnie w zakresie jej masy własnej, a także ograniczenia w zakresie wartości energii kinetycznej wystrzeliwanych pocisków podkalibrowych, a także parametry wytrzymałościowe stosowanych spieków na osnowie wolframowej (ograniczające smukłość penetratora a w efekcie końcowym jego gęstość energetyczną).

velocity of 1752 m/s to secure the penetration of 800 mm of RHA at 3000 m distance and 1935 m/s to penetrate 1000 mm of RHA at the same distance.

3. Present designing limitations ( $R_m$ ,  $R_e$  - fatigue strength and mass of the barrel) for 120 mm tank guns and ballistic characteristics of existing conventional propelling materials (physical-chemical parameters) exclude a possibility for reaching a level of muzzle velocity above 1750 m/s by an antitank projectile with penetrator mass of 5 kg for the barrel length of 55 calibres (now only Leopard 2A6 has such a barrel). The next limitation especially for the combat vehicles which are lighter than contemporary tanks (their mass is around 50÷65 t) is the value of the recoil pulse what limits the combat parameters of an applied gun regarding especially its own mass, and the next limitations refer to the values of kinetic energy for fired sub-calibre projectiles and also the strain parameters of used tungsten sinters (limiting the slenderness of the penetrator and finally its energetic density).

## **Literatura / Literature**

- [1] M. Magier, Oddziaływanie jednolitych i segmentowych penetratorów kinetycznych pocisków podkalibrowych na pancerze, s. 150, Wydawnictwo Wojskowego Instytutu Technicznego Uzbrojenia, Zielonka 2014,
- [2] T. Kuśnierz, M. Magier, Z. Pankowski, Analiza przebijalności na przykładzie wybranych parametrów energetycznych 120 i 125 mm przeciwpancernych pocisków podkalibrowych typu APFSDS, (2001), Biuletyn PTU WITU, zeszyt 77, s.63-70,
- [3] Magier M., *Nowa amunicja podkalibrowa dla polskich czołgów*, (2004), Nowa Technika Wojskowa Nr 11/2004,
- [4] Pankowski Z., Magier M., *Prace badawczo-konstrukcyjne Wojskowego Instytutu Technicznego Uzbrojenia. Tendencje rozwojowe amunicji do armat czołgowych*, (2005), RAPORT nr 6/2005.





