

BADANIA DYNAMICZNE POCISKÓW Z PENETRATOREM SEGMENTOWYM DO ARMAT CZOŁGOWYCH

Streszczenie. W pracy przedstawiono przebieg i rezultaty badań dynamicznych, mających na celu weryfikację wyników analiz numerycznych wariantów penetratora pocisku podkalibrowego o konstrukcji segmentowej. Badania strzelaniem przeprowadzono 30.06.2011r. na poligonie w Nowej Dębie.

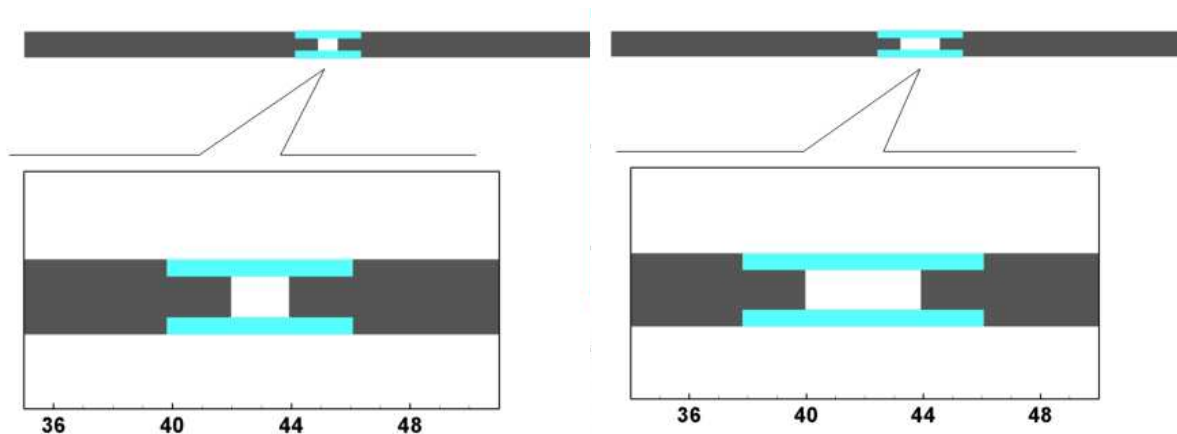
EXPERIMENTAL TESTS OF THE SUBCALIBRE PROJECTILE WITH SEGMENTED PENETRATOR FOR TANK GUNS

Abstract. The results of the experimental verification for new APFSDS-T projectile with segmented penetrator were presented in this paper. The firing test was carrying out on the artillery range in Nowa Dęba. The aim of these tests was the verification of APFSDS-T projectiles (with segmented penetrators) variants.

1. Wprowadzenie

W ramach realizacji w latach 2006-2008 projektu badawczego rozwojowego nr R 00 018 02. w pracach [1] i [2] przedstawiono autorską koncepcję „*penetracji segmentowej wymuszonej*”. Polega ona na zastosowaniu, w konstrukcji penetratora pocisku podkalibrowego, łącznika pomiędzy wolframowymi segmentami penetratora, który odkształcając się w procesie penetracji, powoduje zmniejszanie się dystansu pomiędzy segmentami penetratora tak, aby w odpowiednim momencie tylny segment penetratora uderzył w hamujący w pancerzu przedni segment powodując jego dodatkowe napędzenie (poprzez dostarczenie energii kinetycznej), zwiększające w efekcie końcowym głębokość przebicia. Zastosowanie tulei łączącej wykonanej z materiału o innej gęstości i wytrzymałości, pozwoli na znaczne zmniejszenie lub wyeliminowanie propagacji fali uderzeniowej (dzielącej się na fale sprężystą i plastyczną, które negatywnie wpływają na wytrzymałość penetratora poprzez generowanie m.in. deformacji plastycznych) w segmencie tylnym penetratora powstającej podczas etapu zderzenia pocisku z pancerzem. Dzięki zastosowaniu takiego rozwiązania konstrukcyjnego nienaruszony strukturalnie segment tylny penetratora może penetrować drugą zasadniczą warstwę pancerza (np. element ceramiczny).

Na podstawie wyników numerycznej optymalizacji konstrukcji nowego penetratora segmentowego, mającej na celu określenie optymalnej odległości pomiędzy wolframowymi segmentami penetratora [3], stwierdzono, że celem weryfikacji analiz numerycznych do badań dynamicznych strzelaniem zostaną wykonane pociski podkalibrowe z penetratorami w wariantach osiągających w symulacjach największe głębokości przebicia, czyli A i B (rys.1) [4].



Rys. 1. Warianty penetratorów segmentowych poddane porównawczym badaniom strzelaniem, od lewej: A (odstęp między segmentami 2cm), B (odstęp między segmentami 4cm).

Dodatkowo celem szerszego porównania wyników wykonano także pociski z penetratorami segmentowymi w wariacie W2 (o niewielkiej odległości pomiędzy segmentami wolframowymi [5]), które przebadano w latach 2005-2011 z wynikiem pozytywnym [6]. Penetrator w wariacie W2 przedstawiono na rys.2 [7].



Rys. 2. Model penetratora segmentowego [6].

2. Przebieg i wyniki badań

Badania porównawcze głębokości przebicia 125 mm pocisków podkalibrowych typu APFSDS-T, z penetratorem segmentowym W2, z penetratorem wariant A o odległości pomiędzy segmentami 2 cm oraz z penetratorem wariant B o odległości pomiędzy segmentami 4 cm przeprowadzono w dniu 30.06.201 roku na OSP WL – Nowa Dęba.

Zakres badań obejmował sprawdzenie stabilizacji pocisków w odległości 150 m oraz ostrzał płyty pancernej RHA umieszczonej na tym samym dystansie w/w wariantami penetratorów segmentowych celem porównania głębokości przebicia.

Do badań użyto modele pocisków APFSDS-T z penetratorami wariant W2 (4szt.), wariant A (3 szt.) wariant B (3szt.) wyprodukowane przez FPS Sp. z o.o. Ze względu na specjalną konstrukcję czwórzielnego sabotu (który charakteryzuje się wyższą wytrzymałością w porównaniu do trójzielnego sabotu 120 mm pocisku podkalibrowego), umożliwiającego montaż penetratorów różnych długości, w niniejszym badaniu użyto 125 mm pocisków podkalibrowych APFSDS-T.



Fot. 3. 125 mm pociski podkalibrowe z penetratorami segmentowymi w wariantach (od lewej) podstawowym W2, A (penetrator z odległością 2 cm pomiędzy segmentami), B (penetrator z odległością 4 cm pomiędzy segmentami).

Następnie pociski te zostały zaelaborowane ładunkami miotającymi w Ośrodku Badań Dynamicznych Wojskowego Instytutu Technicznego Uzbrojenia w Stalowej Woli. Na poniższych fotografiach przedstawiono pociski i elementy ładunku miotającego przygotowane do elaboracji w OBD WITU w St. Woli.

Do wykonania naboju do badań użyto 125 mm pociski APFSDS, ładunki zasadnicze Ż-40 z zapłonnikami G UW-7, osłony ładunków dodatkowych odzyskane z utylizowanych 125 mm naboju z pociskami BM-15 i pociskami IMI Mk2, prochy nitrocelulozowe marki 15/1Trwa i 12/7wa znajdujące się na stanie OBD-WITU.

Masy ładunków miotający dobrano tak, aby prędkość uderzenia w płytę pancerną wyniosła około 1520 m/s (czyli odpowiadała odległości strzału bezwzględnej - około 2300 m).



Fot. 4. 125 mm pociski podkalibrowe z penetratorami segmentowymi ładunki miotające przygotowane do elaboracji.



Fot. 5. Ładunek zasadniczy Ż-40 przygotowany do elaboracji naważki ładunku miotającego



Fot. 6. 125 mm nabój z pociskiem podkalibrowym APFSDS-T z penetratorem segmentowym W2 przygotowany do załadowania do armaty.

Strzelania prowadzono z 125 mm armaty balistycznej 2A46 zamontowanej na stendzie do płyty pancerniej RHA o grubości 275 mm ustawionej na stojaku w odległości 150 m od stanowiska ogniowego nabojami sezonowanymi w temperaturze 288 K przez 24 h.



Fot.7. 125 mm armata balistyczna 2A46 zamontowana na stendzie.



Fot.8. Płyta pancerna RHA o grubości 275 mm ustawiona pod kątem 52° od normalnej w odległości 150 m od stanowiska ogniowego.

Strzelanie prowadzono z jednoczesnym pomiarem prędkości początkowej V_0 i prędkości uderzenia V_u penetratora z wykorzystaniem radarowego zestawu balistycznego do pomiaru prędkości pocisków SL 520P oraz z rejestracją zjawiska wylotu pocisku z lufy za pomocą kamery do zdjęć szybkich *Phantom V710*.



Fot.9. Radarowy zestaw balistyczny do pomiaru prędkości pocisków SL 520P.

Uzyskane wyniki przedstawiono w tabeli 1.

Pod tabelą zamieszczono komentarz i zdjęcia z poszczególnych strzałów.

Tabela 1.

Nr strz.	Typ pocisku	V_0 [m/s]	V_u [m/s]	Typ celu	Funkcjonowanie pocisku	Wynik
1	OF-19 EC	817	802	Wzgórze na odl 1000 m	prawidłowe	Strzał rozgrzewczy
2	BM-15	1773	1750	Tarcza na odl 150 m	prawidłowe	Przestrzelina prawidłowa
3	W2	1531	1522	Tarcza na odl 150 m	prawidłowe	Przestrzelina prawidłowa
4	W2	1515	$V_{100}=150$	Płyta pancerna RHA o gr. 275 mm ustawiona	prawidłowe	Pełna penetracja – droga penetracji

Nr strz.	Typ pocisku	V ₀ [m/s]	V _u [m/s]	Typ celu	Funkcjonowanie pocisku	Wynik
			9 V _{150szacowa} na= 1507	pod kątem 52° od normalnej		447 mm RHA
5	W2	1528	1520	Płyta pancerna RHA o gr. 275 mm ustawiona pod kątem 60° od normalnej	prawidłowe	Niepełna penetracja – droga penetracji 300 mm RHA
6	A	Brak pomiaru	Brak pomiaru		prawidłowe	Pocisk trafił w kanał penetracyjny po poprzednich badaniach
7	A	1538	1521		prawidłowe	Niepełna penetracja – droga penetracji 310 mm RHA
8	B	1496	1484		prawidłowe	Pocisk trafił w kanał penetracyjny po poprzednich badaniach
9	B	1516	1503		prawidłowe	Pocisk trafił w kanał penetracyjny po poprzednich badaniach
10	B	1509	1496		prawidłowe	Niepełna penetracja – droga penetracji 310 mm RHA
11	A	1534	1520		prawidłowe	Niepełna penetracja – droga penetracji 320 mm RHA Uderzenie w pobliżu krawędzi płyty i podpory stojaka
12	W2	1525	1508		prawidłowe	Niepełna penetracja – droga penetracji 325 mm RHA Uderzenie w pobliżu górnej krawędzi płyty i podpory stojaka

Strzał nr 1 (rozgrzewczy) oddano 125 nabojem ćwiczebnym OF-19EC do wzgórza na odl. 1000 m. Następnie oddano dwa strzały (strzał nr 2 nabojem z pociskiem BM-15, strzał nr 3 nabojem pociskiem W2) do tarczy kartonowej ustawionej obok płyty pancernej celem sprawdzenia położenia średniego punktu trafienia (ŚPT) względem punktu celowania (PC) oraz prawidłowości przestrzelin – poprawnej stabilizacji pocisku.

Pierwszy strzał do płyty pancernej RHA (strzał nr 4) oddano pociskiem z penetratorem W2 do 275 mm płyty RHA ustawionej pod kątem 52° (droga penetracji 447 mm RHA) dla prędkości uderzenia około 1507 m/s, celem wstępnego sprawdzenia głębokości przebiccia. Uzyskano pełną penetrację.

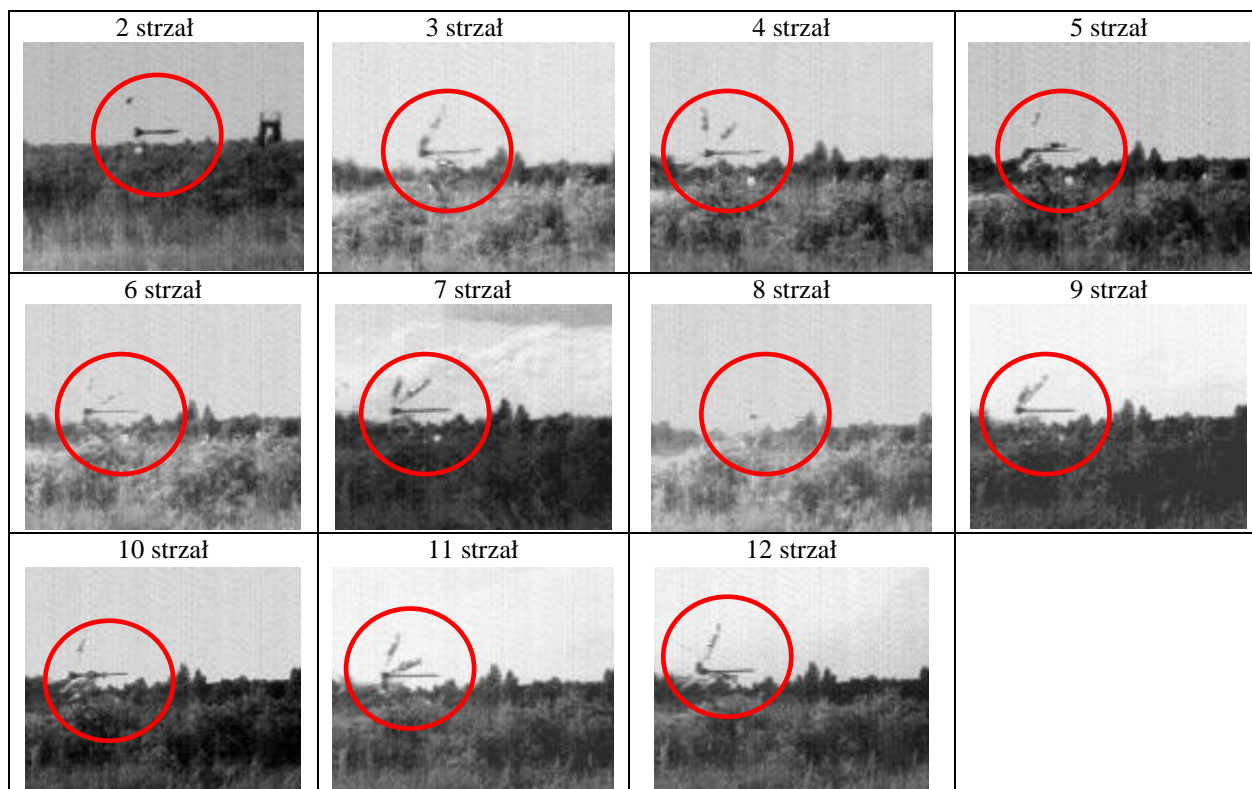


Fot.10. Płyta pancerna z wyszczególnioną przestrzeliną ze strzału nr 4 (pierwszego do płyty) i widocznymi pięcioma przestrzelinami z poprzednich badań.

Podczas przeprowadzonych w poprzednich latach badań kwalifikacyjnych sprawdzono, że pocisk ten osiąga głębokość penetracji 500 mm RHA dla prędkości uderzenia 1550 m/s. Celem dokonania porównania głębokości kraterów badanych wariantów penetratorów zwiększono kąt pochylenia płyty pancerniej do 60° od normalnej (co odpowiada drodze pełnej penetracji równej 550 mm RHA) celem uzyskania efektu niepełnej penetracji. W tej konfiguracji oddano wszystkie pozostałe 8 strzałów. Poniżej na fot. nr 11 zaprezentowano płytę RHA z ponumerowanymi przestrzelinami i widocznymi strzałami, w którym penetratory trafiły w poprzednie przestrzeliny. Fot. 12 przedstawia zdjęcia penetratorów po odrzuceniu sabotów dla strzałów 2÷12 wykonane kamerą do zdjęć szybkich.



Fot.11. Płyta pancerna z przestrzelinami dla strzałów 4÷12 i widocznymi pięcioma przestrzelinami z poprzednich badań. Kolor zielony oznacza przestrzeliny prawidłowe, kolor czerwony-przestrzeliny w poprzednich kraterach.



Fot.12. Zestawienie zdjęć z kamery szybkiej dla strzałów 2÷12.

Na podstawie danych zestawionych w tabeli 1 i przedstawionych na fot.11 przestrzelin w płycie pancerniej dokonano selekcji wyników badań. Do analizy porównawczej głębokości przebicia analizowanych wariantów penetratorów wybrano reprezentacyjne strzały: nr 5 (wariant W2), nr 7 (wariant A) oraz nr 10 (wariant B). Ze względu na penetrację otworów z poprzednich badań lub wcześniejszych strzałów odrzucono wyniki dla strzałów nr 6, 8, 9. Ponadto ze względu na penetrację płyty w obszarach kontaktu płyty pancerniej z podporami stojaka (gdzie płyta ulega mniejszemu ugięciu, co wpływa na zwiększenie głębokości kanału w porównaniu do uderzenia w środkowym rejonie płyty) odrzucono wyniki badania dla strzałów 11 i 12.

W tabeli 2 przedstawiono analizę wyników badania porównawczych głębokości przebicia dla strzałów nr 5, 7, 10. Celem porównania wyników analizowanych strzałów dokonano przeliczeń głębokości penetracji, w których punktem odniesienia była maksymalna zdolność penetracji podstawowego wariantu penetratora W2 wynosząca 500 mm RHA. Posłużono się opracowanym wzorem:

$$P_o = \left(\frac{V_{uW2}}{V_u} \right)^2 \frac{P_{maxW2}}{P_{W2}} \times P \quad (1)$$

gdzie:

P_o – głębokość penetracji odniesiona do maksymalnej zdolności penetracji wariantu podstawowego W2 równej 500 mm RHA,

P_{maxW2} –maksymalna zdolność penetracji wariantu podstawowego W2 równa 500 mm RHA,

P_{W2} –głębokość penetracji dla wariantu podstawowego W2 uzyskana w strzale nr 5, równa 300 mm RHA,

P - głębokość penetracji analizowanego wariantu penetratora,

V_{uW2} - prędkość uderzenia penetratora W2,
 V_u - prędkość uderzenia analizowanego wariantu penetratora.

Tabela 2.

Nr strz.	Rodzaj penetratora	V_u [m/s]	Typ celu	Uzyskana w badaniu głębokość penetracji P [mm]	Głębokość penetracji odniesiona P_o [mm]	Względny wzrost zdolności przebicia (P_o . P_{maxW2}/P_{maxW2} [%])
5	W2	1520	Płyta pancerna RHA o gr. 275 mm ustawiona pod kątem 60° od normalnej	Niepełna penetracja 300	500	0
7	A (z=2cm)	1521		Niepełna penetracja 310	516	3,2
10	B (z=4cm)	1496		Niepełna penetracja 310	533	6,6

Na podstawie dokonanych wyliczeń stwierdzono widoczny wzrost głębokości przebicia o 3,2% dla penetratora A (z=2cm) i o 6,6% dla penetratora B (z=4cm).

Ponieważ penetratory A i B różnią się masą o 40 g i 80 g w stosunku do penetratora podstawowego W2 wykonano dodatkowe porównanie wartości głębokości penetracji P_o z obliczonymi za pomocą wzoru Jacoba de Marre'a głębokościami penetracji dla penetratorów jednolitych o odpowiadających analizowanym wariantom masach. Poniżej przedstawiono wzór Jacoba de Marre'a w postaci:

$$b = \frac{V_u^{1,43} \times m^{0,71} \times \cos \alpha^{1,4}}{K^{1,43} \times d^{1,07}} \quad (2)$$

gdzie:

- V_u – prędkość penetratora w chwili uderzenia w cel (m/s), przyjęto 1550 m/s,
 - m – masa penetratora (kg),
 - α – kąt trafienia (zawarty między styczną do toru lotu pocisku a normalną do pancerza w punkcie uderzenia- przyjęto kąt $\alpha=60^\circ$),
 - K – empiryczny współczynnik zależny od własności pocisku i pancerza (przyjęto $K \cong 2250$),
 - b – grubość płyty pancernej ustawionej pod kątem α (dm),
 - d – kaliber penetratora (dm), przyjęto 0,244 dm.
- Wyniki obliczeń zestawiono w tabeli 3.

Tabela 3.

Nr strz.	Rodzaj penetratora	V_u [m/s]	Masa penetratora [kg]	Głębokość penetracji odniesiona P_o [mm]	Względny wzrost zdolności przebicia ($P_o \cdot P_{maxW2}$)/ P_{maxW2} [%]	Głębokość penetracji dla penetratora jednorodnego o identycznej masie wg Jacoba de Marre'a $b \times 2$ [mm]	Względny wzrost zdolności przebicia $((b \times 2) - (b \times 2)_{W2}) / (b \times 2)_{W2}$ [%]
5	W2	1520	3,597	500	0	500	0
7	A z = 2cm	1521	3,635	516	3,2	503	0,6
10	B z = 4cm	1496	3,672	533	6,6	507	1,4

Z przeprowadzonych obliczeń głębokości przebicia dla penetratorów jednorodnych o identycznych masach jak penetratory w wariantach A i B wynika, że względny wzrost zdolności przebicia w porównaniu do wariantu podstawowego W2 wyniósłby odpowiednio 0,6% i 1,4%.

Analizując wyniki zestawione w tabelach 2 i 3 zauważalny jest fakt, że zwiększenie głębokości przebicia dla wariantów penetratorów A i B nie wynika tylko ze zwiększenia ich mas w porównaniu do masy penetratora wariantu podstawowego W2. Różnice w wartościach wzrostów zdolności przebicia pomiędzy hipotetycznymi penetratorami jednorodnymi i badanymi penetratorami w wariantach A i B są około pięciokrotne na korzyść tych ostatnich.

Celem uwzględnienia różnicy mas w aspekcie głębokości przebicia penetratorów segmentowych analizowanych w strzałach nr 5, 7, 10 dokonano modyfikacji wzoru 3 do postaci:

$$P_o = \frac{m_{W2}}{m} \left(\frac{V_{uW2}}{V_u} \right)^2 \frac{P_{maxW2}}{P_{W2}} \times P \quad (3)$$

gdzie:

m_{W2} – masa wariantu podstawowego penetratora W2 (kg),

m – masa analizowanego wariantu penetratora (kg).

Zestawienie uwzględniające różnicę mas badanych penetratorów przedstawiono w tabeli 4.

Tabela 4.

Nr strz.	Rodzaj penetratora	V_u [m/s]	Masa penetratora [kg]	Typ celu	Uzyskana w badaniu głębokość penetracji P [mm]	Głębokość penetracji odniesiona P_o [mm]	Względny wzrost zdolności przebicia ($P_o \cdot P_{maxW2}/P_{maxW2}$) [%]
5	W2	1520	3,597	Płyta pancerna RHA o gr. 275 mm ustawiona pod kątem 60° od normalnej	Niepełna penetracja 300	500	0
7	A z = 2cm	1521	3,635		Niepełna penetracja 310	511	2,2
10	B z = 4cm	1496	3,672		Niepełna penetracja 310	522	4,4

Ostatecznie na podstawie dokonanych wyliczeń uwzględniających różnice mas i prędkości uderzenia analizowanych wariantów penetratorów segmentowych stwierdzono wzrost głębokości przebicia o 2,2% dla penetratora A (o odległości pomiędzy segmentami z=2cm) i o 4,4% dla penetratora B (o odległości pomiędzy segmentami z=4cm). Wyniki te są praktyczną autorskiej koncepcji możliwości zwiększenia głębokości przebicia dzięki zastosowaniu segmentowej konstrukcji penetratora z odpowiednimi odległościami pomiędzy wolframowymi segmentami.

Oczywiście przeprowadzenie analizy porównawczej na pojedynczych wynikach kolejnych wariantów penetratorów nie pozwala na ujęcie problemu w sensie statystycznym, jednakże uzyskane wyniki dały przesłankę do wstępnej oceny wyników badań.

Ponadto należy podkreślić, że żaden z wystrzelonych do płyty pancerniej pocisków z penetratorami segmentowymi nie uległ złamaniu (zniszczeniu) w procesie penetracji, co jest doświadczalnym potwierdzeniem założenia konstrukcyjnego.

3. Podsumowanie

Na podstawie wyników badań strzelaniem przedstawionych w niniejszym rozdziale można stwierdzić, że:

- pociski podkalibrowe przeznaczone do 120 i 125 mm armat czołgowych z penetratorem segmentowym w wariantie podstawowym W2 (o niewielkiej szczelinie pomiędzy segmentami wolframowymi) charakteryzują się dostateczną wytrzymałością, zapewniającą ich prawidłowe funkcjonowanie dla przewidywanej w ZTT prędkości początkowej $V_0 = 1650$ m/s. Pociski funkcjonowały prawidłowo podczas badań balistycznych dla różnych konfiguracji ładunku miotającego oraz w skrajnych temperaturach i eksploatacji i ekstremalnych wartościach ciśnień w komorze naboju. Także podczas badań penetracji płyty RHA ustawionej pod kątem 60° od normalnej nie stwierdzono uszkodzeń (złamań) penetratorów.
- autorska koncepcja zwiększenia głębokości penetracji wraz ze wzrostem odległości pomiędzy segmentami penetratora (nazywana w niniejszej pracy „segmentacją wymuszoną”) znalazła potwierdzenie w badaniach porównawczych weryfikujących zdolność penetracji poszczególnych wariantów penetratorów. Ostatecznie na podstawie

dokonanych wyliczeń uwzględniających różnice mas i prędkości uderzenia analizowanych wariantów penetratorów segmentowych stwierdzono wzrost głębokości przebicia o 2,2% dla penetratora A (o odległości pomiędzy segmentami $z=2\text{cm}$) i o 4,4% dla penetratora B (o odległości pomiędzy segmentami $z=4\text{cm}$) w stosunku do penetratora podstawowego W2 (o niewielkiej szczelinie pomiędzy segmentami wolframowymi). Ponadto zauważalny jest fakt, że zwiększenie głębokości przebicia dla wariantów penetratorów A i B nie wynika tylko ze zwiększenia ich mas w porównaniu do masy penetratora wariantu podstawowego W2, gdyż różnice w wartościach wzrostów zdolności przebicia pomiędzy hipotetycznymi penetratorami jednorodnymi i badanymi penetratorami w wariantach A i B są około pięciokrotne na korzyść tych ostatnich. Oczywiście przeprowadzenie analizy porównawczej na pojedynczych wynikach kolejnych wariantów penetratorów nie pozwala na ujęcie problemu w sensie statystycznym, jednakże uzyskane wyniki dały przesłankę do wstępnej oceny wyników badań. Jednocześnie podczas badań strzelaniem do w/w płyty pancernej nie zaobserwowano zjawiska rykoszetowania lub złamania się penetratora segmentowego podczas podejścia do płyty pancernej a także w trakcie jej penetracji (które to zjawisko zaobserwowano kilka razy podczas wcześniejszych badań pocisków z penetratorami jednolitymi W1).

Literatura

- [1] Magier M.: The conception of the segmented kinetic energy penetrators for tank guns. Journal of Applied Mechanics- Transactions of The ASME, Vol.77, Nr 5, sierpień 2010, s.051802-1÷10.
- [2] Magier M.: Analiza numeryczna wpływu modyfikacji dwusegmentowego kinetycznego pocisku wolframowego na głębokość przebicia pancerza RHA. Biuletyn PTU WITU, w przygotowaniu do druku 2008. Biuletyn PTU WITU nr 3/2008, zeszyt 107, s. 43-60 Zielonka, 2008.
- [3] Magier M.: The numerical optimization of the novel kinetic energy penetrator for tank guns, Materiały z 26 Międzynarodowego Sympozjum Balistycznego, Miami 12–16 września 2011 (26 ISB), Vol.2, s. 1171-1080, DEtech Publications, Inc, USA, 2011,
- [4] Magier M. i inni, „Przeciwpancerne pociski podkalibrowe”, zgłoszono do UPRP w dn. 20.01.2009 nr P 390275
- [5] Jach K., Świerczyński R., Magier M.: Analiza numeryczna procesów penetracji pancerzy przez pociski kinetyczne jednorodne i segmentowe. Biuletyn WAT, Vol. LVIII, nr 3, s.123-140, Warszawa, 2009r.,
- [6] Doświadczalna weryfikacja konstrukcji pocisku podkalibrowego z penetratorem segmentowym. Biuletyn PTU WITU nr 2/2009, zeszyt 110, s. 143-153 Zielonka, 2009.
- [7] Magier M. i inni, „Przeciwpancerne pociski podkalibrowe”, Patent na wynalazek nr P202294, udzielony przez UPRP dn. 20.01.2009r.

Praca naukowa finansowana ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego w latach 2009-2011 jako projekt badawczy własny nr O N501 052937.