

BADANIA DOŚWIADCZALNE I TEORETYCZNE WPŁYWU POCZĄTKOWEJ OBJĘTOŚCI KOMORY GAZOWEJ NA PRĘDKOŚĆ SUWADŁA BRONI Z ODPROWADZENIEM GAZÓW

Streszczenie: W pracy przedstawiono wyniki badań teoretycznych i doświadczalnych wpływu początkowej objętości komory gazowej na napęd suwadła broni automatycznej, działającej na zasadzie odprowadzenia gazów prochowych. Badania doświadczalne zostały przeprowadzone na stanowisku laboratoryjnym przedstawionym w [1]. Wyniki doświadczalne porównano z wynikami z badań symulacyjnych, wykonanych zgodnie z modelem przedstawionym w [2].

Słowa kluczowe: mechanika, balistyka wewnętrzna, broń automatyczna

EXPERIMENTAL AND THEORETICAL RESEARCH OF GAS CHAMBER VOLUME INFLUENCE ON SLIDE VELOCITY OF GAS OPERATED WEAPON

Abstract: Some results of theoretical and experimental research of gas chamber volume influence on working of gas operated weapon are presented in this paper. Experimental research was carried out using a special designed laboratory stand presented in [1]. The experimental results were compared with a theoretical results, obtained from computer simulations and based on thermodynamical model presented in [2].

Keywords: mechanics, interior ballistics, automatic weapon.

1. Badania doświadczalne

Badania doświadczalne wpływu początkowej objętości komory gazowej na napęd suwadła przeprowadzono na stanowisku laboratoryjnym, opisanym w [1]. W badaniach wykorzystano elementy wymienne:

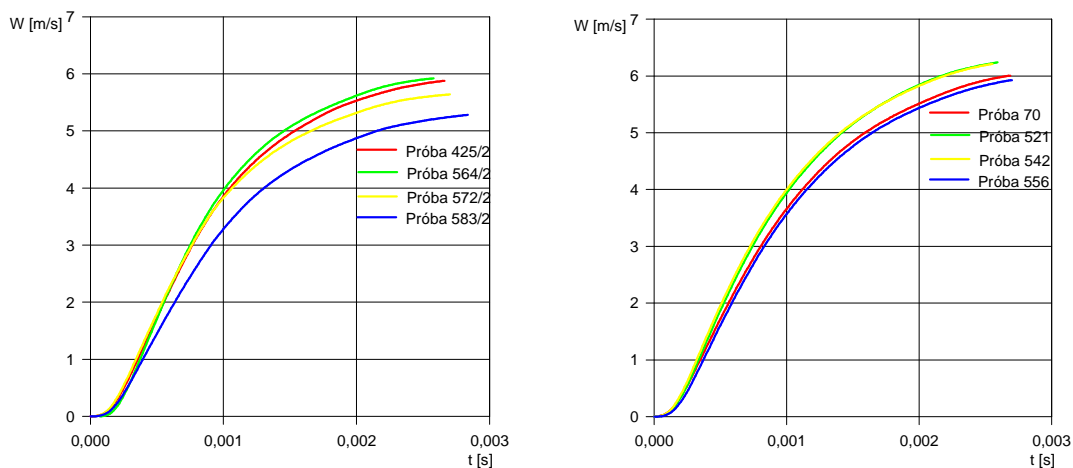
- lufy o długości: 250 mm, 305 mm, 406 mm, 508 mm oraz pierścienie dystansowe regulujące początkową objętość komory gazowej V_{k0} ;
Nie zmienianymi elementami podczas badań były:
- średnica otworu gazowego $d_p=2$ mm;
- wkładka regulatora gazowego z otworem o średnicy $d_R=2$ mm;
- tłok gazowy o średnicy $d_r=11$ mm i masie 13,6 g bez dodatkowego pierścienia uszczelniającego;
- cylinder gazowy o średnicy wewnętrznej $d_c=11$ mm z odległością do otworów przedmuchowych $L_x=10$ mm;
- masa zespołu odrzucanego 508 g;

- dwie sprężyny powrotne o sztywności $k_s = 132 \text{ N/m}$ i masie 13 g każda.

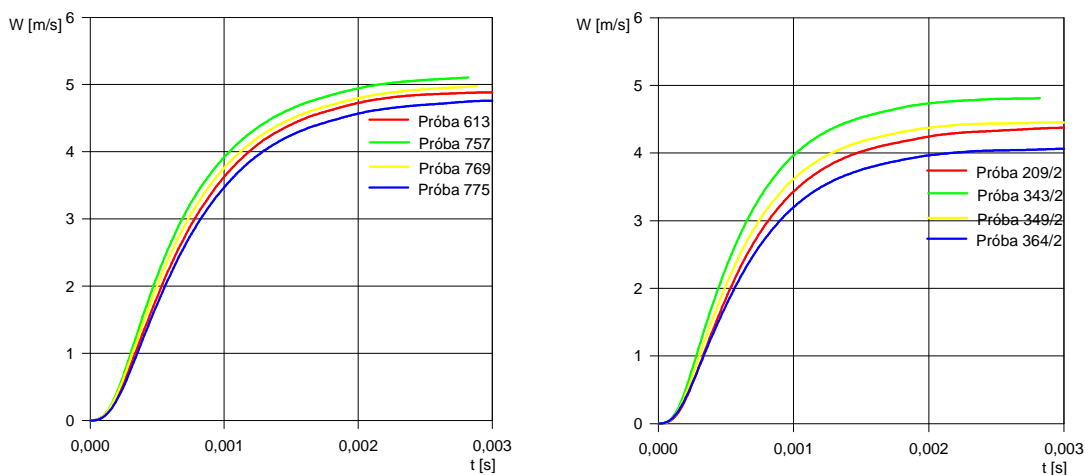
W przypadku lufy o długości 250 mm odległość od początku drogi pocisku do otworu gazowego wynosiła $169,46 \text{ mm}$, a w pozostałych lufach $209,46 \text{ mm}$.

Dla każdej z czterech konfiguracji oddano po 11 strzałów (w sumie 176 prób). Na rys. 1 i 2 oraz w tab. 1 przedstawiono wyniki wybranych prób:

- 70, 521, 542 i 556 dla lufy o długości 508 mm ;
- 425/2, 564/2, 572/2 i 583/2 dla lufy o długości 406 mm ;
- 613, 757, 769 i 775 dla lufy o długości 305 mm ;
- 209/2, 343/2, 349/2 i 364/2 dla lufy o długości 250 mm .



Rys. 1. Wykresy prędkości W zespołu suwadła w funkcji czasu t dla różnych początkowych objętości komory gazowej V_{k0} z zastosowaniem luf o długości 406 mm (z lewej) i 508 mm (z prawej) pokazano na przykładzie prób: 564/2 i 521 ($V_{k0}=35,343 \cdot 10^{-8} \text{ m}^3$), 572/2 i 542 ($V_{k0}=43,829 \cdot 10^{-8} \text{ m}^3$), 425/2 i 70 ($V_{k0}=52,315 \cdot 10^{-8} \text{ m}^3$) oraz 583/2 i 556 ($V_{k0}=60,800 \cdot 10^{-8} \text{ m}^3$)



Rys. 2. Wykresy prędkości W zespołu suwadła w funkcji czasu t dla różnych początkowych objętości komory gazowej V_{k0} z zastosowaniem luf o długości 305 mm (z lewej) i 250 mm (z prawej) opracowane na podstawie prób: 757 i 343/2 ($V_{k0}=35,343 \cdot 10^{-8} \text{ m}^3$), 769 i 349/2 ($V_{k0}=43,829 \cdot 10^{-8} \text{ m}^3$), 613 i 209/2 ($V_{k0}=52,315 \cdot 10^{-8} \text{ m}^3$) oraz 775 i 364/2 ($V_{k0}=60,800 \cdot 10^{-8} \text{ m}^3$)

Tabela 1. Wyniki badań doświadczalnych wpływu początkowej objętości komory gazowej na podstawowe charakterystyki układu

Nr próby	Długość lufy [mm]	Początkowa objętość komory gazowej V_{k0} [m ³]	Ciśnienie maksymalne w komorze gazowej p_{kg} [MPa]	Całkowity impuls ciśnienia w komorze gazowej I_{pkg} [MPa·s]	Prędkość maksymalna zespołu suwadła W_{max} [m/s]
521	508	$35,343 \cdot 10^{-8}$	30,48	0,0377630	6,24
542	508	$43,829 \cdot 10^{-8}$	31,12	0,0378161	6,21
70	508	$52,315 \cdot 10^{-8}$	26,77	0,0364624	6,01
556	508	$60,800 \cdot 10^{-8}$	26,99	0,0354989	5,93
564/2	406	$35,343 \cdot 10^{-8}$	32,00	0,0352767	5,92
572/2	406	$43,829 \cdot 10^{-8}$	29,29	0,0336298	5,64
425/2	406	$52,315 \cdot 10^{-8}$	28,94	0,0345291	5,88
583/2	406	$60,800 \cdot 10^{-8}$	24,52	0,0317358	5,28
757	305	$35,343 \cdot 10^{-8}$	34,59	0,0296157	5,10
769	305	$43,829 \cdot 10^{-8}$	32,14	0,0289632	4,97
613	305	$52,315 \cdot 10^{-8}$	29,78	0,0282440	4,88
775	305	$60,800 \cdot 10^{-8}$	28,60	0,0276209	4,76
343/2	250	$35,343 \cdot 10^{-8}$	37,08	0,0278512	4,81
349/2	250	$43,829 \cdot 10^{-8}$	32,56	0,0258271	4,45
209/2	250	$52,315 \cdot 10^{-8}$	30,12	0,0257475	4,37
364/2	250	$60,800 \cdot 10^{-8}$	27,41	0,0237076	4,06

2. Badania teoretyczne

Badania teoretyczne, przeprowadzone z wykorzystaniem środowiska MATLAB, bazowały na opracowanym programie komputerowym i termodynamicznym opisie zjawisk zachodzących w lufie i komorze gazowej [2]. Dane wejściowe do obliczeń przedstawiono w tab. 2. Prędkości maksymalne zespołu suwadła i maksymalne wartości ciśnienia gazów prochowych w komorze gazowej uzyskane drogą symulacji komputerowej przedstawiono w tab. 3.

Tabela. 2. Dane wejściowe do badań teoretycznych wpływu początkowej objętości komory gazowej na prędkość suwadła broni z odprowadzeniem gazów

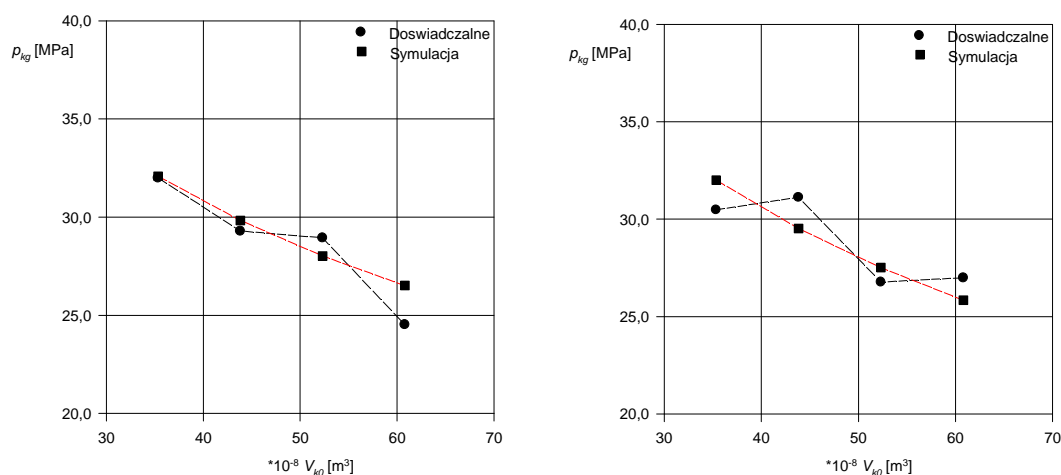
Nazwa parametru	Wartość parametru	Nazwa parametru	Wartość parametru
Masa pocisku	$m = 0,004$ [kg]	Masa prochu	$\omega = 0,0017$ [kg]
Pole przekroju poprzecznego przewodu lufy	$s = 24,75 \cdot 10^{-6}$ [m ²]	Ciepło spalania prochu	$q_s = 5,104$ [MJ/kg]
Objętość komory naboju lufy	$V_0 = 1,66 \cdot 10^{-6}$ [m ³]	„Siła” prochu	$f = 1,0208$ [MJ/kg]
Całkowita droga pocisku w przewodzie lufy	$l_w = 0,37546$ lub $l_w = 0,47746$ lub $l_w = 0,27446$ lub $l_w = 0,21946$ [m]	Kowolumen gazów prochowych	$\alpha = 0,1371$ [m ³ /kg]
Droga pocisku w lufie do otworu gazowego	$l_{ot} = 0,20946$ lub $l_{ot} = 0,16946$ [m]	Wykładnik adiabaty gazów prochowych	$k = 1,2$
Średnica tłoka gazowego	$d_t = 0,011$ [m]	Gęstość prochu	$\delta = 1550$ [kg/m ³]
Objętość początkowa komory gazowej	$V_{k0} = 35,343 \cdot 10^{-8}$ lub $V_{k0} = 43,829 \cdot 10^{-8}$ lub $V_{k0} = 52,315 \cdot 10^{-8}$ lub $V_{k0} = 60,800 \cdot 10^{-8}$ [m ³]	Współczynnik prawa szybkości spalania	$u_1 = 0,55 \cdot 10^{-9}$ [m/(s·Pa)]
Pole przekroju poprzecznego komory gazowej	$s_k = 95,03 \cdot 10^{-6}$ [m ²]	Początkowe pole powierzchni ziarna prochowego	$S_1 = 3,68 \cdot 10^{-6}$ [m ²]
Masa zespołu odrzucanego broni	$M = 0,530$ [kg]	Początkowa objętość ziarna prochowego	$\Lambda_1 = 0,47 \cdot 10^{-9}$ [m ³]
Szywność sprężyny powrotnej	$k_s = 132$ [N/m]	Współczynniki kształtu ziaren prochowych	$\chi = 1,368$
Początkowe ugięcie sprężyn powrotnych	$x_0 = 0,112$ [m]		$\lambda = -0,269$
Droga zespołu odrzucanego broni do chwili odsłonięcia przez tłok gazowy otworów przedmuchowych	$L_x = 0,010$ [m]		$\mu = 0$
Współczynnik strat przepływu gazów z lufy do komory gazowej	$\xi = 0,5$	Współczynnik strat wypływu gazów z komory gazowej do otoczenia	$\xi_R = 1$
Współczynnik strat wypływu gazów z lufy do otoczenia	$\xi_w = 1$	Krok całkowania	$h = 1 \cdot 10^{-6}$
Średnica otworu gazowego	$d_p = 0,002$ [m]	Średnica otworu regulacyjnego	$d_R = 0,002$ [m]

Tabela 3. Wyniki badań wpływu początkowej objętości komory gazowej na prędkość suwadła uzyskane drogą symulacji komputerowych

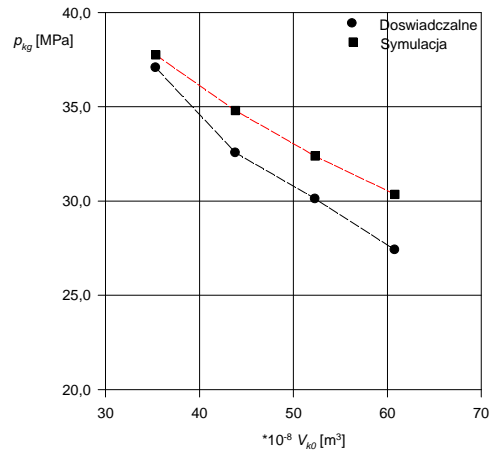
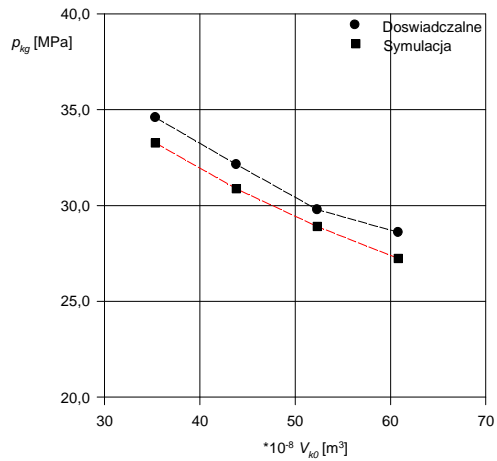
Długość lufy [mm]	Początkowa objętość komory gazowej V_{k0} [m ³]	Ciśnienie maksymalne w komorze gazowej p_{kg} [MPa]	Prędkość maksymalna zespołu suwadła W_{max} [m/s]
508	$35,343 \cdot 10^{-8}$	32,00	6,23
508	$43,829 \cdot 10^{-8}$	29,52	6,21
508	$52,315 \cdot 10^{-8}$	27,51	6,19
508	$60,800 \cdot 10^{-8}$	25,84	6,16
406	$35,343 \cdot 10^{-8}$	32,08	6,01
406	$43,829 \cdot 10^{-8}$	29,83	5,99
406	$52,315 \cdot 10^{-8}$	28,02	5,96
406	$60,800 \cdot 10^{-8}$	26,51	5,92
305	$35,343 \cdot 10^{-8}$	33,26	5,47
305	$43,829 \cdot 10^{-8}$	30,87	5,43
305	$52,315 \cdot 10^{-8}$	28,90	5,39
305	$60,800 \cdot 10^{-8}$	27,23	5,34
250	$35,343 \cdot 10^{-8}$	37,75	5,43
250	$43,829 \cdot 10^{-8}$	34,80	5,38
250	$52,315 \cdot 10^{-8}$	32,38	5,32
250	$60,800 \cdot 10^{-8}$	30,35	5,26

3. Porównanie wyników

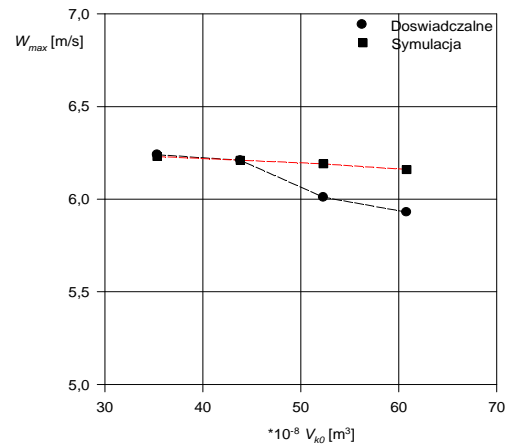
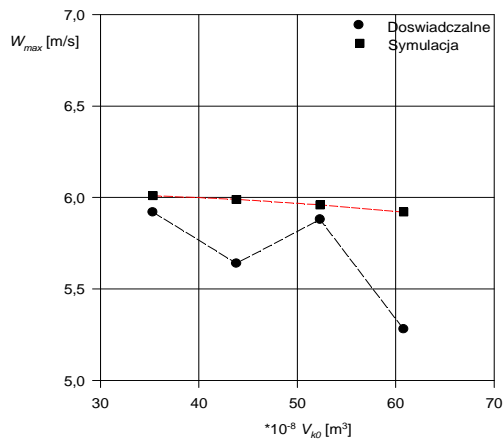
Wyniki badań doświadczalnych i teoretycznych porównano na rys. 3÷8. Na rys. 3 i 4 pokazano zależność maksymalnego ciśnienia w komorze gazowej p_{kg} , a na rys. 5 i 6 prędkości maksymalnej W_{max} zespołu suwadła od początkowej objętości komory gazowej V_{k0} dla różnych długości luf. Z kolei na rys. 7 i 8 zaprezentowano względną zmianę prędkości maksymalnej W_{max} zespołu suwadła w funkcji względnej zmiany początkowej objętości komory gazowej V_{k0} .



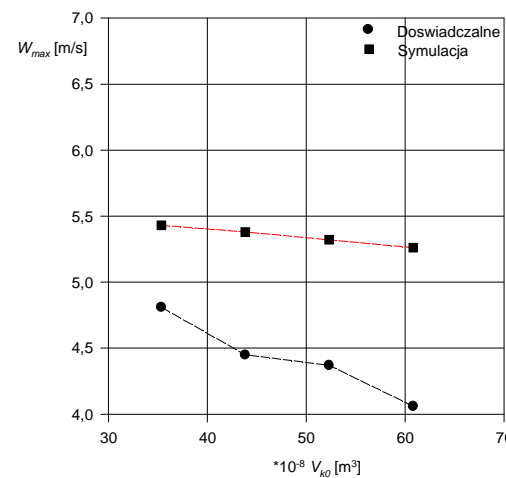
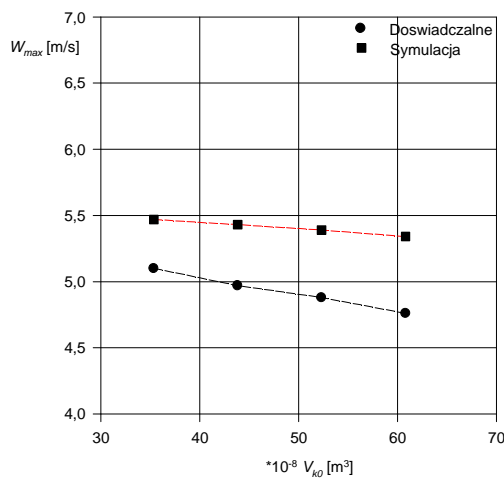
Rys. 3. Zależność ciśnienia maksymalnego w komorze gazowej p_{kg} od początkowej objętości komory gazowej V_{k0} z zastosowaniem luf o długości: 406 mm (z lewej) i 508 mm (z prawej)



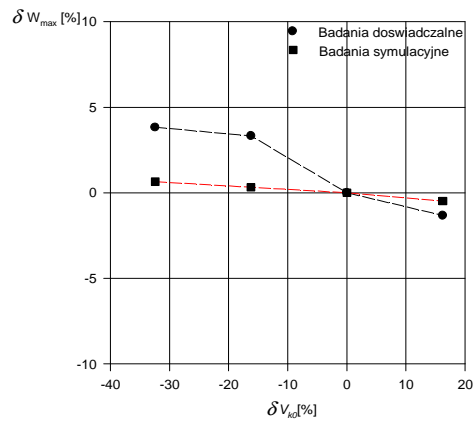
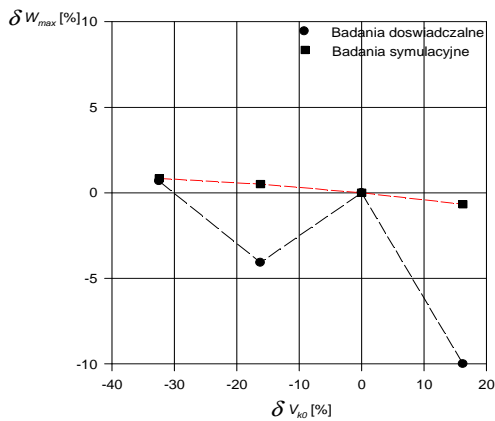
Rys. 4. Zależność ciśnienia maksymalnego w komorze gazowej p_{kg} od początkowej objętości komory gazowej V_{k0} z zastosowaniem luf o długości: 305 mm (z lewej) i 250 mm (z prawej)



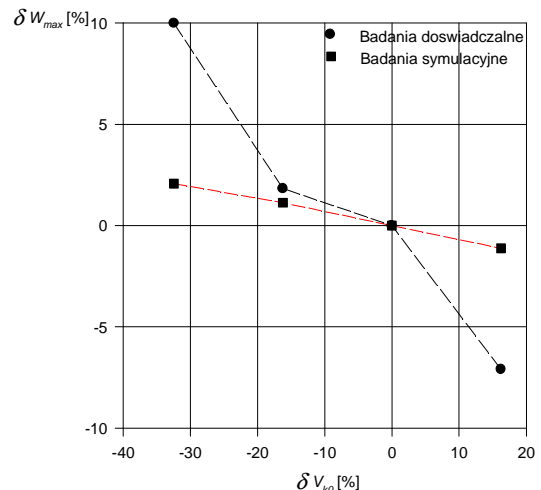
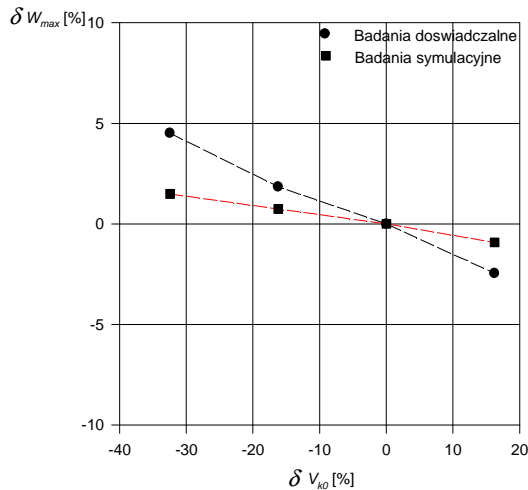
Rys. 5. Zależność prędkości maksymalnej zespołu suwadła W_{max} od początkowej objętości komory gazowej V_{k0} z zastosowaniem luf o długości: 406 mm (z lewej) i 508 mm (z prawej)



Rys. 6. Zależność prędkości maksymalnej zespołu suwadła W_{max} od początkowej objętości komory gazowej V_{k0} z zastosowaniem luf o długości: 305 mm (z lewej) i 250 mm (z prawej)



Rys. 7. Względna zmiana prędkości maksymalnej zespołu suwadła δW_{max} w funkcji względnej zmiany początkowej objętości komory gazowej δV_{k0} z zastosowaniem luf o długości: 406 mm (z lewej) i 508 mm (z prawej)



Rys. 8. Względna zmiana prędkości maksymalnej zespołu suwadła δW_{max} w funkcji względnej zmiany początkowej objętości komory gazowej δV_{k0} z zastosowaniem luf o długości: 305 mm (z lewej) i 250 mm (z prawej)

Względne zmiany δ argumentów X oraz funkcji Y przedstawione na rys. 3 i 4 określano odpowiednio jako:

$$\delta_X = \left(\frac{X}{X_0} - 1 \right) \cdot 100\% \quad \text{oraz} \quad \delta_Y = \left(\frac{Y}{Y_0} - 1 \right) \cdot 100\%$$

gdzie:

X i Y – przyjmowane wartości argumentów i badanych funkcji,

X_0 i Y_0 – odniesieniowe wartości odpowiednich argumentów X i funkcji Y

Jako konfigurację podstawową (odniesienia) przyjęto węzeł gazowy z początkową objętością komory gazowej równą $V_{k0} = 52,315 \cdot 10^{-8} \text{ m}^3$. Poprzez zmianę pierścieni dystansowych uzyskano objętości $V_{k0} = 35,343 \cdot 10^{-8} \text{ m}^3$, $V_{k0} = 43,829 \cdot 10^{-8} \text{ m}^3$ i $V_{k0} = 60,8 \cdot 10^{-8} \text{ m}^3$.

Uzyskane wyniki doświadczalne i teoretyczne wykazują pewną rozbieżność zwłaszcza w przypadku zastosowania lufy długości 250 mm. Prędkości uzyskane drogą symulacji komputerowej są większe od prędkości doświadczalnych. Ponadto

(w odróżnieniu od wyników symulacyjnych) wyniki doświadczalne cechują się względnie dużą nieregularnością.

Wydaje się, że najbardziej prawdopodobną przyczyną omawianych rozbieżności może być pominięcie różnego rodzaju strat energetycznych w modelu teoretycznym oraz ewentualne błędy wyników doświadczalnych.

4. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań i analiz uzyskanych wyników można stwierdzić m.in., że:

1. Początkowa objętość komory gazowej V_{k0} ma stosunkowo niewielki wpływ na prędkość suwadła. Zmiana początkowej objętości komory gazowej o $\pm 20\%$ powoduje zaledwie kilkuprocentową zmianę prędkości maksymalnej.
2. Początkowa objętość komory gazowej V_{k0} ma natomiast dość znaczny wpływ na ciśnienie maksymalne gazów prochowych w komorze gazowej p_{kg} . Zmiana początkowej objętości komory gazowej o $\pm 20\%$ powoduje około dziesięcioprocentową zmianę ciśnienia maksymalnego.
3. Porównanie wyników uzyskanych z badań strzelaniem i obliczeń potwierdza zgodność charakteru zmian prędkości suwadła, chociaż zauważalne są rozbieżności ilościowe pomiędzy wynikami teoretycznymi, a doświadczalnymi. W przypadku badań symulacyjnych układ jest mniej wrażliwy na zmianę początkowej objętości komory gazowej.

Literatura

- [1] A.Jęczmyk, M.Pac, S.Torecki, R.Woźniak, *Stanowisko laboratoryjne do doświadczalnego badania działania mechanizmów karabinka działającego na zasadzie odprowadzenia gazów* (płyta CD str. 189-196), materiały Konferencyjne XVII Międzynarodowej Konferencji Naukowo-Technicznej pn. „Problemy rozwoju, produkcji i eksploatacji techniki uzbrojenia”, Pułtusk, 7-9.10.2009 r.
- [2] G.Leśnik, Z.Surma, S.Torecki, R.Woźniak, *Termodynamiczny model działania broni z odprowadzeniem gazów prochowych*, Problemy Techniki Uzbrojenia Rok XXXVIII Zeszyt 110 Nr 2/2009, str. 75-83.
- [3] J.Kijewski, G.Leśnik, *Badania doświadczalne i teoretyczne wpływu średnic otworów węzła gazowego na prędkość suwadła broni z odprowadzeniem gazów prochowych*, Problemy Mechatroniki. Uzbrojenie, Lotnictwo, Inżynieria Bezpieczeństwa ISSN 2081-5891 Nr 1(1), 2010, str. 55-68.

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2007-2010 jako projekt rozwojowy