



WYBRANE WYNIKI BADAŃ WPŁYWU ŚREDNICY OTWORU REGULACYJNEGO NA PRACĘ MECHANIZMÓW BRONI Z ODPROWADZENIEM GAZÓW PROCHOWYCH

RESULTS OF STUDIES ON DEPENDENCE BETWEEN THE FUNCTIONING OF GAS OPERATED GUN MECHANISMS AND DIAMETER OF ADJUSTING HOLE

Jacek KIJEWSKI, Grzegorz LEŚNIK

Wydział Mechatroniki i Lotnictwa Wojskowej Akademii Technicznej
Faculty of Mechatronics and Aerospace, Military University of Technology,
2 Gen. Witolda Urbanowicza Street, 00-908 Warszawa, Poland
Author's e-mail address: jacek.kijewski@wat.edu.pl

DOI 10.5604/01.3001.0012.1328

Streszczenie: W pracy przedstawiono wybrane wyniki badań teoretycznych i doświadczalnych wpływu średnicy otworu regulacyjnego (upustowego) na pracę mechanizmów broni automatycznej, działającej na zasadzie odprowadzenia części gazów prochowych przez boczny otwór w lufie. Badania doświadczalne zostały przeprowadzone na zmodyfikowanym stanowisku laboratoryjnym do doświadczalnego badania działania mechanizmów karabinka z odprowadzeniem gazów. Wyniki uzyskane w ten sposób zostały porównane z wynikami badań symulacyjnych. Dzięki uzyskaniu zadowalającej zgodności wyników, badania teoretyczne mogą ograniczyć zakres badań doświadczalnych, co usprawni i obniży koszt konstruowania broni palnej.

Słowa kluczowe: mechanika, balistyka wewnętrzna, broń automatyczna

1. Wstęp

W Zakładzie Konstrukcji Specjalnych (ZKS) Instytutu Techniki Uzbrojenia (ITU) Wydziału Mechatroniki i Lotnictwa (WML) Wojskowej Akademii Technicznej (WAT) od kilku lat prowadzone są prace nad przyszłościową bronią strzelecką dla Sił Zbrojnych RP tj. Modułowym Systemem Broni Strzeleckiej kalibru 5,56 mm – MSBS-5,56. W ramach prac nad mechanizmami projektowanej broni czyli tzw. „automatyką” m.in. opracowano model matematyczny opisujący zjawiska zachodzące w układzie lufa-komora gazowa-mechanizmy

Abstract: Results of theoretical and experimental studies on the influence of diameter of an adjusting (outflow) hole on the operation of mechanisms of automatic weapons operating on a principle of barrel side hole returning gases are presented in the paper. Experimental investigations were performed on a modified laboratory set-up for testing the functioning of mechanisms of a gas operated rifle. These results were compared with results of simulating studies. Theoretical investigations may limit the scope of experimental tests and save the cost and time of designing the firearms as a satisfactory level of compliance for the results was achieved.

Keywords: mechanics, internal ballistics, automatic weapon

1. Introduction

The Special Designs Section (SDS) at the Institute of Armament Technology (IAT) of the Faculty of Mechatronics and Aerospace (FMA) at the Military University of Technology (MUT) has been carrying out for many years the studies on the future firearms of the Polish Armed Forces known as Small Arms Modular System of 5.56 mm calibre – MSBS-5.56. A mathematical model describing the phenomena occurring in the system of *barrel - gas chamber - gun mechanisms* was developed

broni. Model ten, szczegółowo opisany w [1], stał się podstawą do przeprowadzenia symulacji komputerowych pracy badanego układu. Uzyskane wyniki porównano, w celu walidacji modelu matematycznego, z wynikami badań doświadczalnych przeprowadzonych na stanowisku laboratoryjnym [2], szczegółowo opisanym w [3]. Posiada ono możliwość wymiany niektórych elementów, powodując równocześnie zmianę parametrów konstrukcyjnych układu lufa-komora gazowa-mechanizmy broni. Elementy stanowiska przedstawiono na fot. 1. W efekcie przeprowadzonych badań uzyskano satysfakcjonującą zgodność wyników, co usprawniło i przyspieszyło prace nad MSBS-5,56.

Na pewnym etapie prac rozwojowych uwidocznił się problem związany z ograniczoną liczbą punktów pomiarowych rozpatrywanych podczas badań doświadczalnych. Dlatego też, podjęto kroki zmierzające do modyfikacji posiadanego stanowiska laboratoryjnego do doświadczalnego badania działania mechanizmów karabinka z odprowadzeniem gazów i wyposażenia go w dodatkowe elementy wymienne. Umożliwią one zwiększenie i zagęszczenie liczby punktów pomiarowych i przeprowadzenie badań ułatwiających określenie wpływu średnicy otworu regulacyjnego na charakterystyki kinematyczne mechanizmów broni z odprowadzeniem gazów. Wyniki przeprowadzonych badań strzelaniem ponownie zostaną porównane z wynikami badań symulacyjnych. Takie zestawienie pozwoli na określenie wpływu badanego parametru na pracę układu oraz na sformułowanie wytycznych dla konstruktorów broni automatycznej z odprowadzeniem gazów, usprawniających proces konstruowania broni.

2. Badania doświadczalne

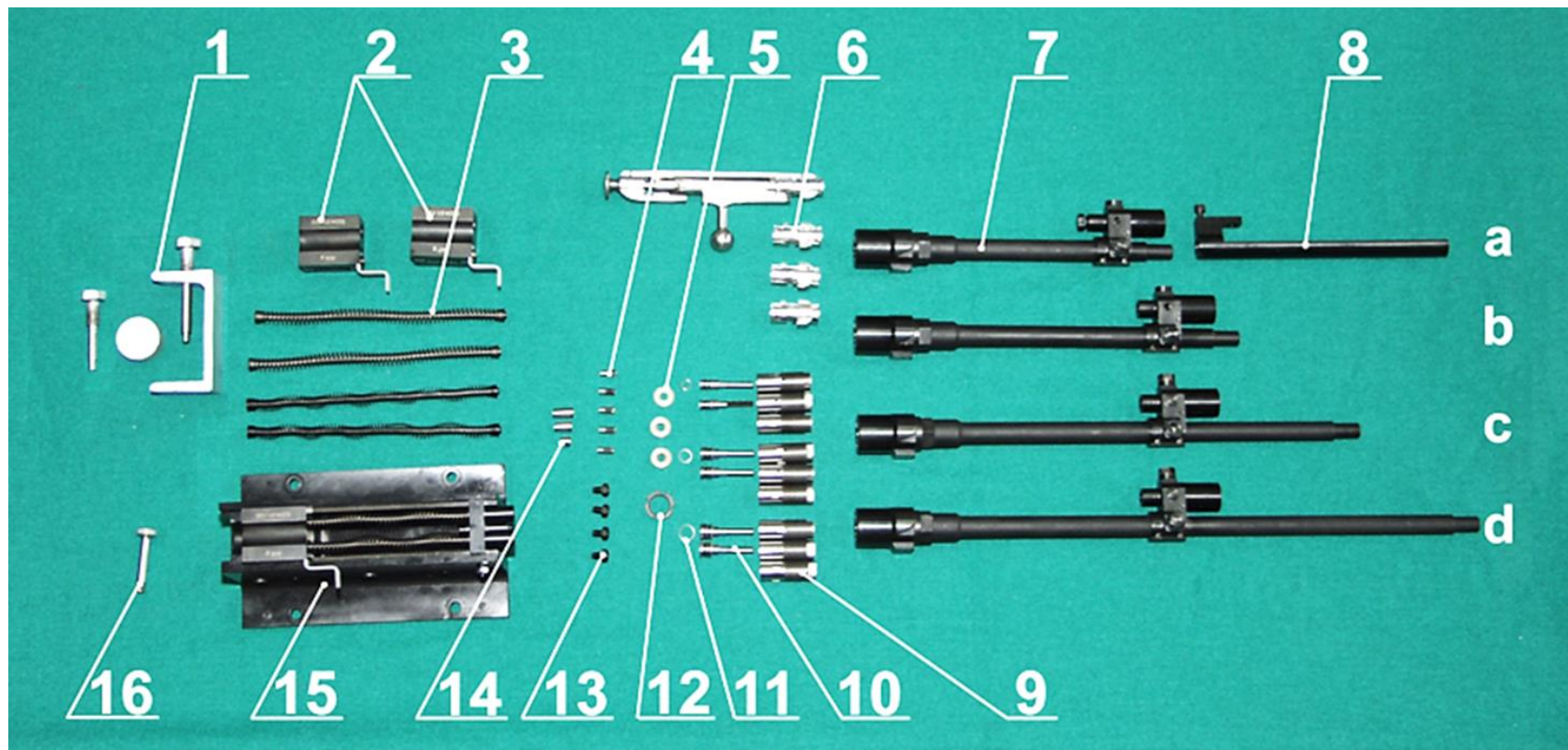
Przed rozpoczęciem badań doświadczalnych opracowano projekt wkrętek z otworem regulacyjnym o średnicach ϕ_r : 1,6 mm, 1,7 mm, 1,8 mm, 1,9 mm, 2,0 mm, 2,1 mm, 2,2 mm, 2,3 mm, 2,4 mm i 2,5 mm. Jedną z wkrętek przedstawiono na rys. 1.

above all in the frame of studies on the mechanisms for designed weapon, i.e. so called "automatics". The model was presented in details in [1] and was used to perform computer simulations on operation of the studied system. In order to validate the mathematical model the received results were compared with results of experiments performed on a laboratory set-up [2], detailed in [3]. It uses replaceable components to change designing parameters of *barrel - gas chamber - gun mechanisms* system. Components of the set-up are shown in photo 1. Performed tests provided good compliance of results what facilitated and accelerated the studies on MSBS-5.56.

At a certain stage of development work a problem connected with a limited number of measurement points provided by the experimental tests was spotted. Some steps were undertaken then to modify the existing laboratory set-up, used for the experimental testing of mechanisms operation of the rifle with returned gases, and to equip it with complimentary exchangeable components. The number of measurement points increases and tests facilitating the identification of an influence of adjusting hole diameter onto the kinematic characteristics of gas operated weapon mechanisms can be carried out. The results of firing experiments are to be again compared with results of simulations. Such approach can identify the impact of an investigated parameter on system's operation and help to formulate the guidelines to increase designing efficiency of automatic gas operated guns.

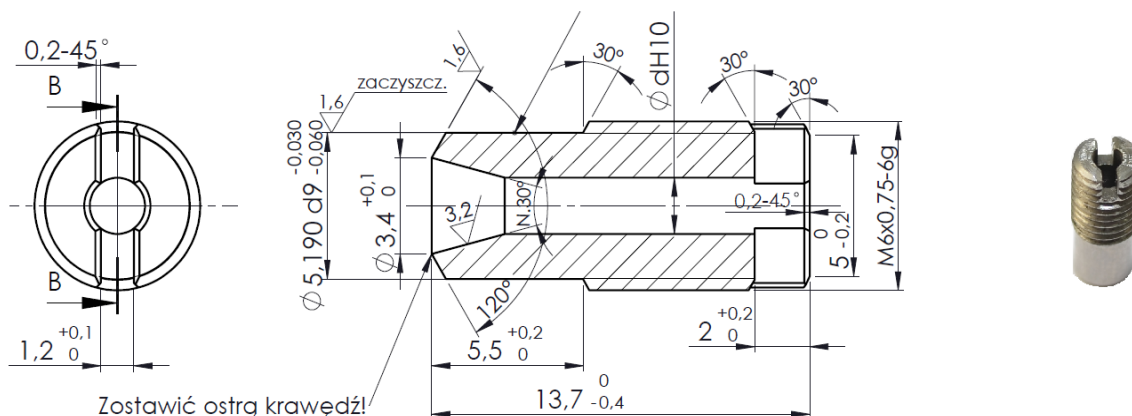
2. Experimental Investigations

Before starting experimental investigations a design of screw pieces with adjusting hole diameters ϕ_r : 1.6 mm, 1.7 mm, 1.8 mm, 1.9 mm, 2.0 mm, 2.1 mm, 2.2 mm, 2.3 mm, 2.4 mm and 2.5 mm was developed. One of the screw pieces is presented in Fig. 1.



Fot. 1. Elementy stanowiska laboratoryjnego: 1 – przyrząd do montażu i demontażu zderzaków tłoka gazowego, 2 – zespoły masy odrzutowej z odbłyśnikami, 3 – podzespół przewodników ze sprężynami, 4 – wkrętki wymienne z otworem gazowym, 5 – pierścienie odległościowe tłoka gazowego, 6 – zespoły tłoka zaporowego z wyciągiem, 7 – zespół lufy kalibru 5,56 mm o długości odpowiednio: a – 250 mm, b – 305 mm, c – 406 mm, d – 508 mm, 8 – zespół jarzma czujnika wylotu z osłoną, 9 – cylindry gazowe, 10 – tłoki gazowe, 11 – sprężyste pierścienie uszczelniające, 12 – nakrętka blokująca cylindra gazowego, 13 – obsady wkrętek wymiennych z otworem regulacyjnym, 14 – zderzaki tłoka, 15 – zespół komory z masą odrzutową i urządzeniem powrotnym, 16 – przyrząd do montażu i demontażu pierścieni odległościowych tłoka

Photo 1. Parts of laboratory set-up: 1 – a tool for assembling and disassembling gas piston limiters (impact bumpers), 2 – units of recoil mass with a flash marker, 3 – subunit of guides with the springs, 4 – replaceable screw pieces with a gas hole, 5 – distance spacers of gas piston, 6 – units of blocking piston with the extractor, 7 – unit of 5.56 mm calibre barrel with respective lengths of: a – 250 mm, b – 305 mm, c – 406 mm, d – 508 mm, 8 – unit of mouth sensor yoke with a cover, 9 – gas cylinders, 10 – gas pistons, 11 – elastic sealing rings, 12 – gas cylinder lock nut, 13 – seats of replaceable screw pieces with a gas hole, 14 – piston bumpers, 15 – unit of the chamber with recoil mass and recuperator, 16 – a tool for assembling and disassembling the distance spacers of the piston



Rys. 1. Wkrętka z otworem regulacyjnym (upustowym)

Fig. 1. A screw piece with an adjusting (venting) hole

Następnie, po przeprowadzeniu testów stanowiska, mających na celu sprawdzenie poprawności działania i zapewnienie bezpieczeństwa funkcjonowania stanowiska, przystąpiono do właściwych badań doświadczalnych. Badania realizowano zgodnie z opracowanymi: *Programem badań zmodernizowanego uniwersalnego stanowiska badawczego do analiz charakterystyk kinematycznych i dynamicznych broni w warunkach laboratoryjnych* i metodami badań.

Niezmiennymi elementami podczas badań były:

- lufa o długości 406 mm (fot. 1 szcz. 7c);
- zespoły sprężyn powrotnych o sztywnościach $C = 292 \text{ N/m}$ (fot. 1 szcz. 3);
- średnica otworu gazowego $\phi_p = 2,0 \text{ mm}$ (fot. 1 szcz. 4);
- tłok gazowy o średnicy $\phi_t = 11 \text{ mm}$ i masie 13,6 g (fot. 1 szcz. 10) bez dodatkowego pierścienia uszczelniającego (fot. 1 szcz. 11);
- cylinder gazowy o średnicy wewnętrznej $\phi_c = 11 \text{ mm}$ z odległością do otworów przedmuchowych $L_x = 10 \text{ mm}$ (fot. 1 szcz. 9);
- masa zespołu odrzucanego $m_s = 508 \text{ g}$ (fot. 1 szcz. 15).

Z każdej z dziesięciu konfiguracji układu (z różnymi średnicami otworów regulacyjnych) oddano po 7 strzałów (w sumie przeprowadzono 70 prób). Prędkość zespołu suwadła została określona z wykorzystaniem kamery do zdjęć szybkich Phantom v12 (fot. 2).

Uzyskane wyniki badań doświadczal-

The actual experiments started after the proper and safe operation of the set-up was checked. The investigations were performed according to *Testing Program of Upgraded Universal Set-up for Examination of Weapon Kinematical and Dynamical Characteristics at Laboratory Conditions* and testing methodologies.

Following components were not changed at the tests:

- Barrel with 406 mm length (Photo 1, detail 7c);
- Units of recuperating springs with rigidity of $C = 292 \text{ N/m}$ (Photo 1, detail 3);
- Diameter of gas hole $\phi_p = 2.0 \text{ mm}$ (Photo 1, detail 4);
- Gas piston with diameter of $\phi_t = 11.0 \text{ mm}$ and mass 13.6 g (Photo 1, detail 10) without additional compressor ring (Photo 1, detail 11);
- Gas cylinder with internal diameter of $\phi_c = 11 \text{ mm}$ and distance to venting holes $L_x = 10 \text{ mm}$ (Photo 1, detail 9);
- Mass of the recoil unit $m_s = 508 \text{ g}$ (Photo 1, detail 15).

From each of ten configurations (with different diameters of adjusting holes) 7 shots were fired (70 trials were performed in total). The velocity of the slide unit was identified by Phantom v12 high speed camera (Photo 2).

Received results of experiments show that the maximal velocity of the

nych wykazują, że wraz ze wzrostem średnicy otworu regulacyjnego spada prędkość maksymalna zespołu suwadła. Wyniki badań przedstawiono w tabeli 1 oraz na rys. 2.

slide unit goes down with the increase of the adjusting hole diameter. Results of tests are presented in table 1 and Fig. 2.



Fot. 2. Kamera do zdjęć szybkich Phantom v12 (fot. AMETEC®)
Photo 2. High speed camera Phantom v12 (photo. AMETEC®)

Tabela 1. Wyniki badań doświadczalnych wpływu średnicy otworu regulacyjnego na prędkość suwadła

Średnica otworu regulacyjnego ϕ_r [mm]	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5
Prędkość maksymalna suwadła V_s [m/s]	7,06	6,68	6,61	6,62	6,54	6,17	6,01	5,87	5,29	4,95

Table 1. Results of experimental investigations for dependence of the slide velocity on the adjusting hole diameter

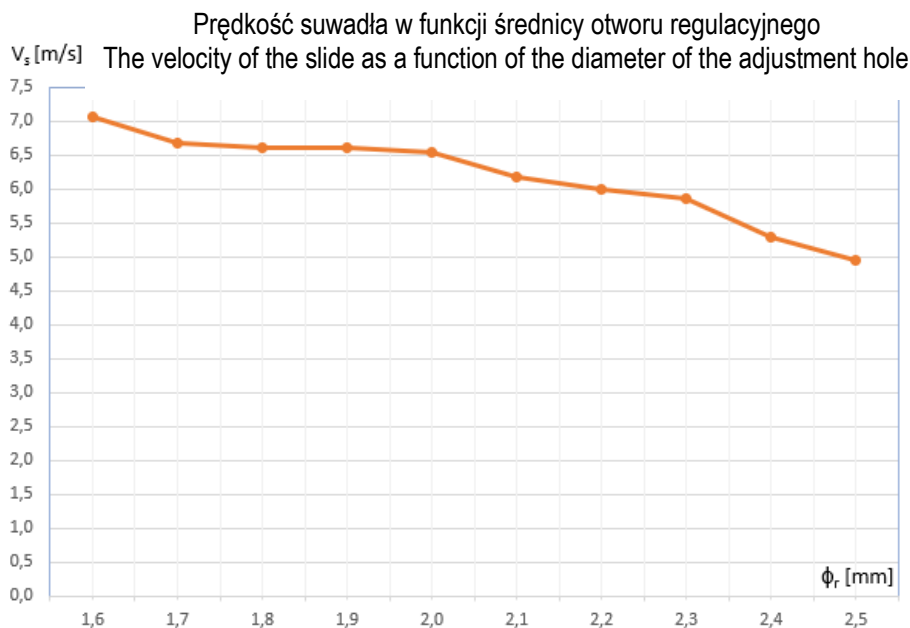
Adjusting hole diameter ϕ_r [mm]	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5
Slide maximal velocity V_s [m/s]	7.06	6.68	6.61	6.62	6.54	6.17	6.01	5.87	5.29	4.95

3. Badania teoretyczne

Badania teoretyczne wpływu średnicy otworu regulacyjnego na napęd suwadła, przeprowadzono z wykorzystaniem środowiska MATLAB. Bazowały one na opracowanym programie komputerowym i termodynamicznym opisie zjawisk zachodzących w lufie i komorze gazowej.

3. Theoretical Investigations

Theoretical investigations on influence of adjusting hole diameter on the drive of the slide were performed by using MATLAB environment. They were based on a prepared computer code and on thermo-dynamical description of phenomena inside the barrel and gas chamber.



Rys. 2. Wykres prędkości suwadła V_s w zależności od średnicy otworu regulacyjnego ϕ_r uzyskany z badań doświadczalnych

Fig. 2. Graph of the slide velocity V_s versus the adjusting hole diameter ϕ , received at experiments

Badania prowadzono na drodze suwadła $L_x = 10$ mm, przy założeniu, że napędzanie suwadła odbywa się tylko do chwili odsłonięcia przez tłok gazowy otworów przedmuchowych. Przebadano układ fizyczny identyczny z istniejącym stanowiskiem badawczym i w tych samych konfiguracjach parametrów konstrukcyjnych. Dane wejściowe do obliczeń przedstawiono w tabeli 2.

The slide was tested on the way of $L_x = 10$ mm and assumption that it is driven until the gas piston opens the ventilation holes. A physical system identical to the configurations of structural parameters existing in the set-up was investigated. Input data used for calculations are shown in table 2.

Tabela 2. Dane wejściowe do badań teoretycznych wpływu średnicy otworu regulacyjnego na prędkość suwadła

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	$l_w = 0,37546$ [m]	Kowolumen gazów prochowych	$\alpha = 0,1371$ [m ³ /kg]
Droga pocisku w lufie do otworu gazowego	$l_{ot} = 0,20946$ [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	$V_{k0} = 52,315 \cdot 10^{-8} \text{ [m}^3\text{]}$	Współczynnik prawa szybkości spalania	$u_1 = 0,55 \cdot 10^{-9} \text{ [m/(s*Pa)]}$
Pole przekroju poprzecznego komory gazowej	$S_k = 95,03 \cdot 10^{-6} \text{ [m}^2\text{]}$	Początkowe pole powierzchni ziarna prochowego	$S_l = 3,68 \cdot 10^{-6} \text{ [m}^2\text{]}$
Masa zespołu odrzucanego broni	$M = 0,508 \text{ [kg]}$	Początkowa objętość ziarna prochowego	$A_l = 0,47 \cdot 10^{-9} \text{ [m}^3\text{]}$
Sztywność sprężyny powrotnej	$C = 292 \text{ [N/m]}$	Współczynniki kształtu ziaren prochowych	$\chi = 1,368$
Początkowe ugięcie sprężyn powrotnych	$x_0 = 0,115 \text{ [m]}$		$\lambda = -0,269$
Droga zespołu odrzucanego broni do chwili odsłonięcia przez tłok gazowy otworów przedmuchowych	$L_x = 0,010 \text{ [m]}$		$\mu = 0$
Współczynnik strat przepływu gazów z lufy do komory gazowej	$\xi = 0,78$	Współczynnik strat wpływu gazów z komory gazowej do otoczenia	$\xi_R = 1$
Współczynnik strat wpływu gazów z lufy do otoczenia	$\xi_w = 1$	Krok całkowania	$h = 1 \cdot 10^{-6}$
Średnica otworu gazowego	$\phi_p = 0,002 \text{ [m]}$	Średnica otworu regulacyjnego	$\phi_r = 0,0016 \text{ [m]}$ $\phi_r = 0,0017 \text{ [m]}$ $\phi_r = 0,0018 \text{ [m]}$ $\phi_r = 0,0019 \text{ [m]}$ $\phi_r = 0,0020 \text{ [m]}$ $\phi_r = 0,0021 \text{ [m]}$ $\phi_r = 0,0022 \text{ [m]}$ $\phi_r = 0,0023 \text{ [m]}$ $\phi_r = 0,0024 \text{ [m]}$ $\phi_r = 0,0025 \text{ [m]}$

Table 2. Input data for theoretical analysis over influence of adjusting hole diameter on the slide velocity

Name of parameter	Parameter value	Parameter name	Parameter value
Mass of bullet	$m = 0.004 \text{ [kg]}$	Mass of powder	$\omega = 0,0017 \text{ [kg]}$
Barrel bore cross section	$s = 24.75 \cdot 10^{-6} \text{ [m}^2\text{]}$	Powder burning caloricity	$q_s = 5.104 \text{ [MJ/kg]}$
Capacity of barrel cartridge chamber	$V_0 = 1.66 \cdot 10^{-6} \text{ [m}^3\text{]}$	Powder „force”	$f = 1.0208 \text{ [MJ/kg]}$
Overall travel of bullet inside the barrel bore	$l_w = 0.37546 \text{ [m]}$	Co-volume of powder gases	$\alpha = 0.1371 \text{ [m}^3\text{/kg]}$
Travel of bullet in the barrel to the gas hole	$l_{or} = 0.20946 \text{ [m]}$	Exponent of adiabatic curve for powder gases	$k = 1.2$
Diameter of gas piston	$d_t = 0.011 \text{ [m]}$	Density of powder	$\delta = 1550 \text{ [kg/m}^3\text{]}$
Initial capacity of gas chamber	$V_{k0} = 52.315 \cdot 10^{-8} \text{ [m}^3\text{]}$	Coefficient of burning rate law	$u_1 = 0.55 \cdot 10^{-9} \text{ [m/(s*Pa)]}$

Gas chamber cross section	$S_k = 95.03 \cdot 10^{-6} \text{ [m}^2\text{]}$	Initial surface area of a powder grain	$S_l = 3.68 \cdot 10^{-6} \text{ [m}^2\text{]}$
Mass of recoiled gun's unit	$M = 0.508 \text{ [kg]}$	Initial volume of a powder grain	$A_l = 0.47 \cdot 10^{-9} \text{ [m}^3\text{]}$
Rigidity of recuperation spring	$C = 292 \text{ [N/m]}$	Coefficient of shape for powder grains	$\chi = 1.368$
Initial deflection of recuperation springs	$x_0 = 0.115 \text{ [m]}$		$\lambda = -0.269$
Travel of gun's recoiled unit until the gas piston opens the venting holes	$L_x = 0.010 \text{ [m]}$		$\mu = 0$
Coefficient of gas flow losses from the barrel to gas chamber	$\xi = 0.78$	Coefficient of losses for the outflow of gases from the gas chamber to the environment	$\xi_R = 1$
Coefficient of gas outflow losses from the barrel into the environment	$\xi_w = 1$	Integrating step	$h = 1 \cdot 10^{-6}$
Diameter of gas hole	$\phi_p = 0.002 \text{ [m]}$	Diameter of adjusting hole	$\phi_r = 0.0016 \text{ [m]}$ $\phi_r = 0.0017 \text{ [m]}$ $\phi_r = 0.0018 \text{ [m]}$ $\phi_r = 0.0019 \text{ [m]}$ $\phi_r = 0.0020 \text{ [m]}$ $\phi_r = 0.0021 \text{ [m]}$ $\phi_r = 0.0022 \text{ [m]}$ $\phi_r = 0.0023 \text{ [m]}$ $\phi_r = 0.0024 \text{ [m]}$ $\phi_r = 0.0025 \text{ [m]}$

Wyniki badań symulacyjnych jednoznacznie wskazują, że w okresie napędu suwadła (do chwili odsłonięcia przez tłok gazowy otworów przedmuchowych) średnica otworu regulacyjnego ma znaczący wpływ zarówno na prędkość zespołu suwadła, jak i na parametry węzła gazowego. Nieco większy wpływ widoczny jest przy zwiększaniu otworu powyżej 2,0 mm niż przy jego zmniejszaniu. Różnica w prędkości suwadła pomiędzy skrajnymi przypadkami wynosi około 2,5 m/s. Wybrane wyniki badań przedstawiono w tabeli 3 oraz na rysunku 3.

4. Porównanie wyników doświadczalnych z wynikami teoretycznymi

Porównanie uzyskanych wyników badań teoretycznych i doświadczalnych pozwala stwierdzić, że są one zbliżone i wykazują tylko niewielką rozbieżność. Polega ona na tym,

Results of simulating investigations clearly show that in the slide driving phase (until the venting holes became open by the gas piston) the diameter of adjusting hole has a significant impact both into the slide velocity and parameters of the gas unit. This impact is a bit more visible when the diameter increases above 2.0 mm than at its reduction. The difference of slide velocities is ca. 2.5 m/s for the extreme cases. Some results of investigations are presented in table 3 and in Fig. 3.

4. Comparison of Experimental and Theoretical Results

Compared results of theoretical and experimental investigations show that they are similar and there is only a slight difference. It can be noticed for experi-

że prędkości uzyskane z badań doświadczalnych przy średnicach otworu regulacyjnego mniejszych od 2,0 mm są nieco niższe od uzyskanych drogą symulacji komputerowej.

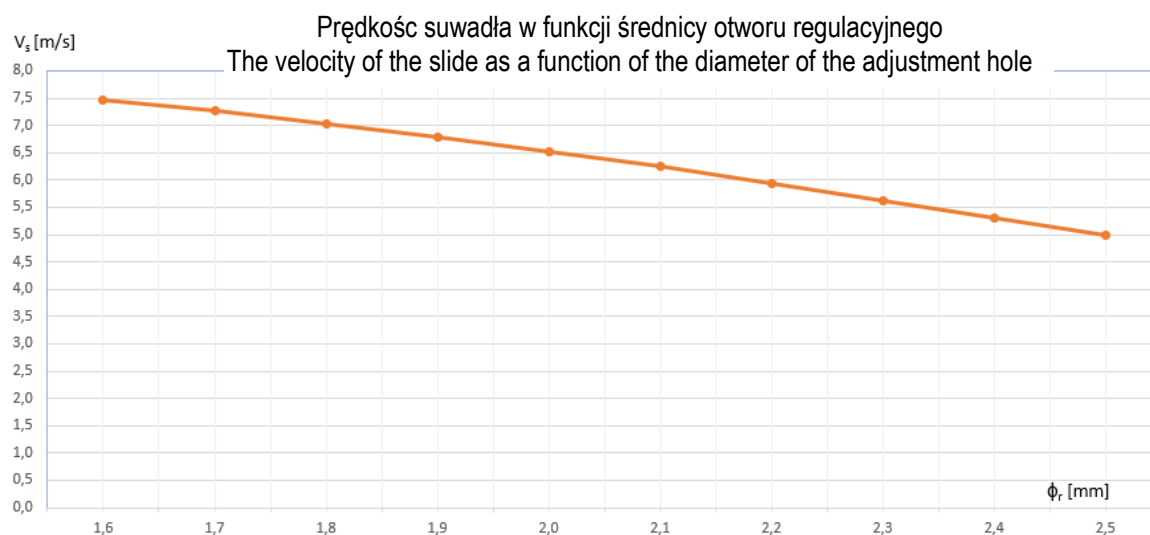
mental velocities which for adjusting hole diameters below 2.0 mm are a bit lower than for computer simulation.

Tabela 3. Wybrane wyniki badań teoretycznych wpływu średnicy otworu regulacyjnego na prędkość suwadła

Średnica otworu regulacyjnego ϕ_r [mm]	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5
Prędkość maksymalna suwadła V_s [m/s]	7,47	7,27	7,04	6,79	6,52	6,24	5,94	5,62	5,30	4,98

Table 3. Some results of theoretical investigations over the influence of adjusting hole diameter on the velocity of the slide

Adjusting hole diameter ϕ_r [mm]	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5
Slide maximal velocity V_s [m/s]	7.47	7.27	7.04	6.79	6.52	6.24	5.94	5.62	5.30	4.98



Rys. 3. Wykres prędkości suwadła V_s w zależności od średnicy otworu regulacyjnego ϕ_r uzyskany z badań teoretycznych

Fig. 3. Graph of slide velocity V_s in function of adjusting hole diameter ϕ_r on the base of theoretical investigations

Porównanie wyników badań doświadczalnych z teoretycznymi pokazano na rys. 4.

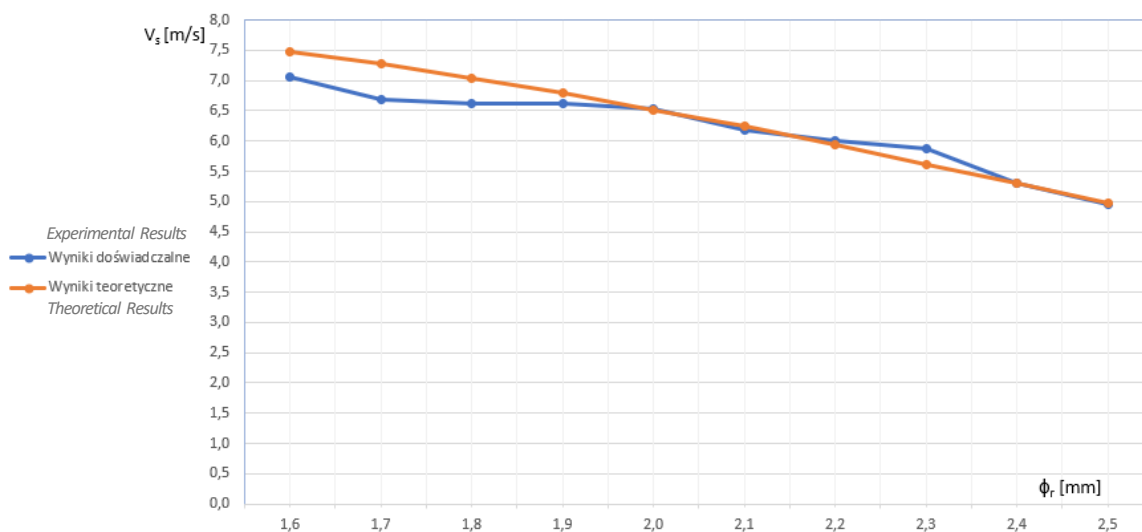
Wydaje się, że najbardziej prawdopodobną przyczyną omawianych rozbieżności

The comparison of experimental and theoretical results is shown in Fig. 4.

It seems that a most sensible reason of such differences can be a malfunction

może być uszkodzenie tłoka gazowego, które ujawniło się w ostatniej serii badań ($\phi_r = 1,6$ mm), a polegało ono na oderwaniu się jego części prowadzącej od części uszczelniającej. Jest wielce prawdopodobne, że już wcześniej doszło do wygięcia tłoka, co mogło spowodować powstanie większych oporów podczas ruchu tłoka w cylindrze. Prawdopodobnie dlatego uwidoczniło się obniżenie prędkości maksymalnej suwadła już dla prób o średnicy otworu regulacyjnego $\phi_r = 1,9$ mm, $\phi_r = 1,8$ mm, $\phi_r = 1,7$ mm i $\phi_r = 1,6$ mm.

of the gas piston which became evident in the last series of tests ($\phi_r = 1.6$ mm) and was caused by separation of its guiding fragment from the sealing fragment. It is possible that the piston was bent a bit earlier what resulted in greater impediments of its movement in the cylinder. It is likely a reason why the maximal velocities of the slide were reduced for trials with adjusting hole diameters $\phi_r = 1.9$ mm, $\phi_r = 1.8$ mm, $\phi_r = 1.7$ mm and $\phi_r = 1.6$ mm.



Rys. 4. Porównanie wykresów prędkości suwadła V_s w zależności od średnicy otworu regulacyjnego ϕ_r uzyskanych z badań doświadczalnych i teoretycznych

Fig. 4. Comparison of graphs of slide velocities V_s in function of adjusting hole diameter ϕ_r received for experimental and theoretical investigations

5. Podsumowanie i wnioski

Przeprowadzone badania pokazały, że w pewnym zakresie, badania teoretyczne mogą ograniczyć i częściowo zastąpić, często kosztowne badania doświadczalne, pod warunkiem zachowania satysfakcjonującego poziomu zgodności uzyskiwanych wyników. To z kolei zdecydowanie usprawnia i przyspiesza proces konstruowania i ulepszania broni oraz pozwala na łatwiejsze rozwinięcie jednej konstrukcji w system broni o pewnych cechach wspólnych. Aby to było możliwe, konieczne jest przeprowadzenie badań teoretycznych i weryfikowanie ich wyników badaniami laboratoryjnymi. Po przeprowadzeniu wnikliwych analiz uzyskanych wyników można niejedno-

5. Summary and Conclusions

Performed investigations indicate that theoretical studies may reduce and partly replace in some degree the experimental investigations, which are often expensive, provided that satisfactory level of compliance is secured for received results. In the next turn it may significantly improve and accelerate the process of designing and upgrading for weapons and facilitate an evolution of a particular design into a family of weapons with some common features. It is possible when necessary theoretical studies are performed and their results are verified by laboratory tests. Detailed analysis of

krotnie sformułować wytyczne ułatwiające proces konstruowania techniki. Do najważniejszych wniosków i wytycznych, ułatwiających konstruowanie układów lufa-komora gazowa-mechanizmy broni działających na zasadzie odprowadzenia gazów prochowych w zakresie wpływu średnicy otworu regulacyjnego na charakterystyki kinematyczne tego układu zaliczyć można:

- 1) Badania teoretyczne mogą być pomocne przy projektowaniu broni automatycznej z odprowadzeniem gazów.
- 2) Porównanie wyników uzyskanych z obliczeń i badań strzelaniem potwierdza zgodność charakteru zmian prędkości suwadła, chociaż zauważalne są niewielkie rozbieżności ilościowe pomiędzy wynikami teoretycznymi, a doświadczalnymi.
- 3) Średnica otworu regulacyjnego, łączącego komorę gazową z otoczeniem, ma znaczący wpływ na charakterystyki kinematyczne układu lufa-komora gazowa-mechanizmy broni działającej na zasadzie odprowadzenia gazów prochowych.
- 4) Zmniejszenie średnicy otworu regulacyjnego powoduje zwiększenie prędkości maksymalnej suwadła, a jej zwiększenie powoduje zmniejszenie prędkości maksymalnej suwadła.
- 5) Istnieje pewna wartość średnicy otworu regulacyjnego, dla której zwiększanie otworu regulacyjnego powoduje większy spadek prędkości suwadła niż wzrost prędkości przy analogicznym zmniejszaniu otworu.

Dalsze prace w przedmiotowej dziedzinie powinny się koncentrować na przebadaniu wpływu innych parametrów konstrukcyjnych na charakterystyki kinematyczne układu lufa-komora gazowa-mechanizmy broni, w celu potwierdzenia zgodności uzyskiwanych wyników.

received results may help to formulate some guidelines for designing technical structures. Following most important conclusions and guidelines may be useful at designing the systems of *barrel – gas chamber – weapon mechanisms* using the returning powder gases for the influence of adjusting hole diameter into the kinematic characteristics of these systems:

- 1) Theoretical studies may be useful at designing automatic gas operated guns.
- 2) Comparison of results received from calculations and firing experiments confirms the similarity of character of changes for slide velocities even if small discrepancies may be noticed between theoretical and experimental results.
- 3) Diameter of the adjusting hole connecting the gas chamber with the environment is essential for kinematic characteristics of *barrel – gas chamber – weapon mechanisms* system for gas operated weapons.
- 4) Reduction of adjusting hole diameter makes the maximal slide velocity increase and larger diameter makes the maximal slide velocity decrease.
- 5) There is a certain value of the adjusting hole diameter for which the increase of adjusting hole causes greater fall of the slide velocity than the increase of this velocity at similar reduction of the hole.

Further investigations in this area has to be focused on studying how the other designing parameters affect kinematic characteristics of weapon's *barrel – gas chamber – weapon mechanisms* system to confirm the compliance of received results.

Literatura / Literature

- [1] G. Leśnik, M. Pac, Rozprawa doktorska pt. „Badania teoretyczne i doświadczalne działania mechanizmów broni automatycznej z odprowadzeniem gazów”, Wydział Mechatroniki i Lotnictwa Wojskowej Akademii Technicznej,

- [2] Patent PL 221029 z dnia 18.04.2016 r. pt. „Stanowisko laboratoryjne do doświadczalnego badania automatyki karabinka działającego na zasadzie odprowadzenia gazów” (autorzy: A. Jęczmyk, M. Pac, S. Torecki, R. Woźniak),
- [3] 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.

