

DZIAŁANIE MECHANIZMÓW BRONI AUTOMATYCZNEJ Z ODPROWADZENIEM GAZÓW PO ZATRZYMANIU TŁOKA GAZOWEGO

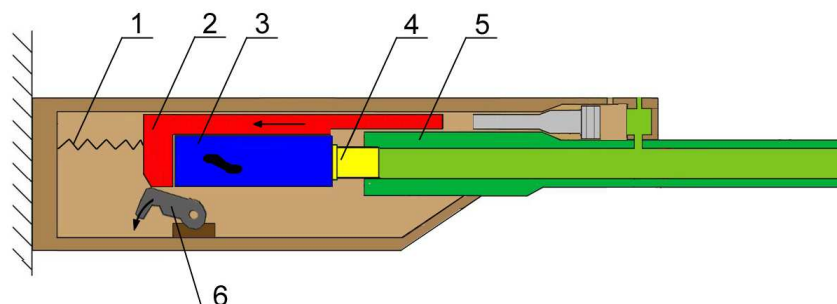
Streszczenie: W referacie przedstawiono model fizyczny i matematyczny działania mechanizmów broni automatycznej z odprowadzeniem gazów prochowych po zatrzymaniu tłoka gazowego. W modelu uwzględniono okresy charakterystyczne wynikające z wykresu cyklicznego działania automatyki rozpatrywanego układu. Powyższe modele zostały uzupełnione przykładem obliczeń dla parametrów geometrycznych demonstratorów technologii karabinków standardowych Modułowego Systemu Broni Strzeleckiej kalibru 5,56 mm (MSBS-5,56).

MECHANISMS OF ACTION OF GAS OPERATED WEAPON AFTER GAS PISTON DETAINING

Abstract: Physical and mathematical models of gas operated weapon after gas piston detaining are presented in this paper. The phenomenon was divided into eight specific periods regarding cycle of operation. Moreover some simulations results complemented by examples of calculations for geometric parameters of the Module-based Firearm System (MSBS-5,56) assault rifle technology demonstrators are included.

1. Model fizyczny

Model fizyczny rozpatrywanego układu przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1 Model fizyczny broni działającej na zasadzie odprowadzenia części gazów prochowych przez boczny otwór w lufie z krótkim ruchem tłoka gazowego:
1 – sprężyna powrotna, 2 – suwadło, 3 – zamek, 4 – łuska, 5 – lufa, 6 – kurek

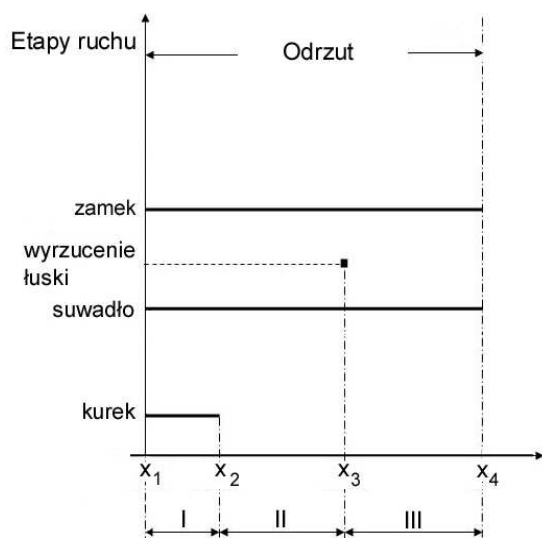
Rozpatrywany będzie model układu miotającego z odprowadzeniem części gazów prochowych przez boczny otwór w lufie z krótkim ruchem tłoka gazowego. Przedmiotem analizy będzie ruch zespołu suwadła rozpędzonego do prędkości maksymalnej wraz

z współpracującymi z nim elementami pod wpływem siły sprężyny kurka (podczas odrzutu) i siły sprężyny powrotnej po zatrzymaniu się tłoka gazowego.

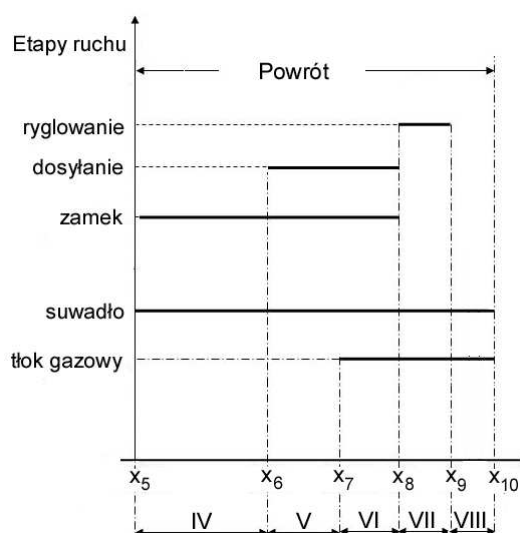
W przyjętym modelu uwzględniono następujące odcinki charakterystyczne cyklu automatyki przedstawione na rysunkach 2 i 3.

Stan początkowy:

- zamek odryglowany i przyłączony do suwadła,
- kurek częściowo napięty,
- zespół suwadła z zamkiem ma prędkość początkową V_{max} (uzyskaną w okresie poprzedzającym zatrzymanie się tłoka gazowego),
- tylny płask suwadła znajduje się w odległości $x=L-x_1$ od zderzaka.



Rys. 2 Etapy ruchu zespołu suwadła podczas odrzutu



Rys. 3 Etapy ruchu zespołu suwadła podczas powrotu

Odrzut:

okres I – ruch zespołu suwadła z zamkiem i współpracującym z nim kurkiem od chwili zatrzymania się tłoka gazowego do końca współpracy z kurkiem $x_2 > x_1$;

okres II – ruch zespołu suwadła z zamkiem po zatrzymaniu kurka do wyrzucenia łuski $x_3 > x_2$;

okres III – ruch zespołu suwadła z zamkiem od wyrzucenia łuski do granicznego tylnego położenia (do zderzaka) $x_4 > x_3$;

Powrót:

okres IV – ruch powrotny zespołu suwadła z zamkiem z granicznego tylnego położenia do początku dosyłania naboju $x_5 < x_6$;

okres V – ruch z dosłaniem naboju do przyłączenia tłoka gazowego x_7 ;

okres VI – ruch suwadła z dołączonym tłokiem gazowym i zamkiem do zatrzymania zamka x_8 ;

okres VII – ruch suwadła z tłokiem i obracanie się, rygłowanie zamka x_9 ;

okres VIII – ruch swobodny suwadła z tłokiem gazowym x_{10} .

W analizie układu pominięte zostaną siły tarcia suwadła o prowadnice oraz ścianki komory gazowej, a także masa i moment bezwładności kurka.

2. Model matematyczny

W równaniach modelu matematycznego, zastosowano następujące oznaczenia:

- M_I - M_{VIII} – sumaryczne masy zespołu przesuwnego w poszczególnych okresach,
 M_{zs} – masa zespołu suwadła,
 M_{kr} – masa zredukowana kurka,
 M_{sp} – masa sprężyny powrotnej,
 M_z – masa zamka,
 M_{zr} – masa zredukowana obracającego się (podczas odryglowania i zaryglowania) zamka,
 M_f – masa łuski,
 M_{nb} – masa naboju,
 M_{ft} – masa tłoka gazowego,
 F_I - F_{VIII} – sumaryczne siły działające na zespół przesuwny w poszczególnych okresach,
 F_{sp} – siła sprężyny powrotnej,
 F_{kr} – siła zredukowana sprężyny kurka,
 F_k – siła sprężyny kurka,
 V – prędkość zespołu przesuwnego.

Odrzut:

W **okresie I** realizowany jest ruch zespołu suwadła z zamkiem, łuską i kurkiem o sumarycznej masie:

$$M_I = M_{zs} + M_{kr} + \frac{1}{3} M_{sp} + M_z + M_f$$

Zespół przesuwny porusza się w kierunku zderzaka pod wpływem siły bezwładności. Siłami hamującymi są: siła sprężyny powrotnej oraz zredukowana siła sprężyny kurka:

$$F_I = -[F_{sp}(x) + F_{kr}(x)]$$

W **okresie II** przemieszcza się suwadło z zamkiem i łuską o sumarycznej masie:

$$M_{II} = M_{zs} + \frac{1}{3} M_{sp} + M_z + M_f$$

Jedyną siłą jest siła sprężyny powrotnej:

$$F_{II} = -F_{sp}(x)$$

W końcu **okresu II** zmniejsza się masa zespołu przesuwnego o masę wyrzuconej łuski. Przyjmujemy, że prędkość zespołu przesuwnego nie zmienia się.

W **okresie III** przemieszcza się zespół suwadła z zamkiem o masie:

$$M_{III} = M_{zs} + \frac{1}{3} M_{sp} + M_z$$

do granicznego tylnego położenia (do zderzaka), hamowany siłą:

$$F_{III} = -F_{sp}(x)$$

W końcu **okresu III** następuje uderzenie zespołu suwadła z zamkiem o zderzak komory zamkowej, a co za tym idzie zmiana zwrotu i wartości prędkości. Prędkość zespołu po zderzeniu wyznaczymy z zależności:

$$V'_{III_k} = -\varepsilon \cdot V_{III}$$

Gdzie: ε – współczynnik wznowienia prędkości (restytucji) zależny od właściwości zderzających się elementów.

Powrót:

Od chwili odbicia suwadła przez zderzak zaczyna się powrót zespołu z prędkością początkową:

$$V_{0IV} = V'_{III_k}$$

Siłą napędzającą jest siła sprężyny powrotnej.

W okresie IV realizowany jest ruch zespołu suwadła z zamkiem o masie:

$$M_{IV} = M_{zs} + \frac{1}{3}M_{sp} + M_z$$

z granicznego tylnego położenia do początku dosyłania naboju.

W końcu okresu IV (chwila uderzenia zamka o nabój) zwiększa się masa zespołu przesuwneego o masę naboju:

$$M_{IV_k} = M_{zs} + \frac{1}{3}M_{sp} + M_z + M_{nb}$$

z jednoczesnym skokowym zmniejszeniem prędkości od V_{IV} do V'_{IVk} :

$$V'_{IVk} = \frac{M_{IV}}{M_{IV} + M_{nb}} V_{IV}$$

W okresie V kontynuowany jest ruch zespołu suwadła z zamkiem i nabojem o sumarycznej masie:

$$M_V = M_{zs} + \frac{1}{3}M_{sp} + M_z + M_{nb}$$

W końcu okresu V (chwila uderzenia suwadła o tłok gazowy) zwiększa się masa zespołu przesuwneego o masę tłoka gazowego, do:

$$M_{V_k} = M_{zs} + \frac{1}{3}M_{sp} + M_z + M_{nb} + M_{\#}$$

z jednoczesnym skokowym zmniejszeniem prędkości:

$$V'_{V_k} = \frac{M_V}{M_V + M_{\#}} V_V$$

W okresie VI przemieszcza się zespół suwadła z zamkiem, nabojem i tłokiem gazowym o sumarycznej masie:

$$M_{VI} = M_{zs} + \frac{1}{3}M_{sp} + M_z + M_{nb} + M_{\#}$$

W końcu okresu VI rozpoczyna się ryglowanie zamka.

W okresie VII odbywa się ruch zespołu przesuwneego o sumarycznej masie:

$$M_{VII} = M_{zs} + \frac{1}{3}M_{sp} + M_{nb} + M_{\#} + M_{zr}$$

Okres VIII jest ruchem swobodnym suwadła o masie:

$$M_{VIII} = M_{zs} + \frac{1}{3}M_{sp}$$

Okres ten kończy się, gdy suwadło uderzy o zaryglowany zamek.

3. Obliczenia

3.1. Masy i siły zredukowane

Masy M_r i siły F_r zredukowane oblicza się według zależności:

$$M_{re} = M_e \cdot \frac{i_e^2}{\eta_e} \quad (1)$$

$$F_{re} = F_e \cdot \frac{i_e^2}{\eta_e} \quad (2)$$

w odniesieniu do mechanizmów, w których elementy e (części) poruszają się z prędkościami różnymi od prędkości suwadła.

W (1) i (2) oznaczono:

- M_{re} – masa zredukowana elementu,
- F_{re} – siła zredukowana działająca na suwadło ze strony elementu e ,
- M_e – masa (rzeczywista) elementu e ,
- F_e – siła działająca na element e ,
- i_e – przełożenie (stosunek prędkości elementu do prędkości suwadła),
- η_e – sprawność mechanizmu (suwadła z współpracującym z nim elementem).

Przełożenia oraz sprawności wyznacza się indywidualnie dla poszczególnych mechanizmów cechujących się określoną konfiguracją.

W ogólnym przypadku wielkości i oraz η są funkcjami drogi x ogniwa prowadzącego (suwadła), w związku z tym również:

$$M_r = M_r(x) \quad \text{i} \quad F_r = F_r(x)$$

3.2. Prędkości ogniwa prowadzącego (suwadła) na poszczególnych odcinkach

Prędkości V ogniwa prowadzącego (suwadła) na poszczególnych odcinkach (od x_i do x_{i+1}) oblicza się z równania:

$$M_r V \frac{dV}{dx} = F_r \quad (3)$$

W odniesieniu do przedziału od x_i do x_{i+1} mamy:

$$V = \sqrt{V_{0i}^2 + 2 \cdot \int_{x_i}^{x_{i+1}} \frac{F_r}{M_r} dx} \quad (4)$$

$V_{0i} = V(x_i)$ – prędkość, z jaką rozpoczyna się ruch na rozpatrywanym odcinku (prędkość początkowa)

Jeśli w punkcie x_i nie ma uderzenia to V_{0i} jest prędkością obliczoną dla końca odcinka x_{i-1} .
Jeśli uderzenie występuje to V_{0i} obliczamy z równania pędu.

4. Przykład

Obliczenia zostały przeprowadzone dla parametrów geometrycznych demonstratorów technologii karabinków standardowych MSBS-5,56 o następujących danych:

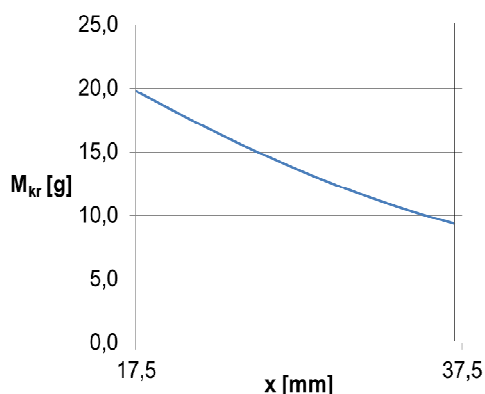
- Sprężyna kurka – skretna śrubowa z drutu okrągłego,
- $M_k = 0,03646$ [kg] – masa kurka (do obliczeń bierzemy zredukowaną masę kurka),
- $M_{01} = 0,243$ [Nm] – końcowy moment siły sprężyny kurka względem osi obrotu,
- $M_{02} = 0,200$ [Nm] – początkowy moment siły sprężyny kurka względem osi obrotu,
- $d = 0,0011$ [m] – średnica drutu sprężyny kurka,
- Sprężyna powrotna – śrubowa walcowa z drutu okrągłego,
- $F_0 = 37$ [N] – siła wstępnego napięcia sprężyny powrotnej,
- $F_c = 70$ [N] – siła końcowego napięcia sprężyny powrotnej,
- $f_0 = 0,127$ [m] – ugięcie wstępne,
- $f_r = 0,125$ [m] – ugięcie robocze,
- $M_s = 0,500$ [kg] – masa zespołu suwadła,
- $M_z = 0,083$ [kg] – masa zamka,
- $M_{tł} = 0,01606$ [kg] – masa tłoka gazowego,
- $M_{sp} = 0,01975$ [kg] – masa sprężyny powrotnej ($\varnothing 1,2$ mm),
- $x = 0,120$ [m] – droga zespołu suwadła
- Odrzut suwadła – charakterystyczne punkty:
 - $x = 0,0085$ [m] – odsłonięcie otworów przedmuchiowych,

- $x=0,016$ [m] – początek ruchu zamka,
- $x=0,0175$ [m] – zatrzymanie tłoka gazowego,
- $x=0,0375$ [m] – koniec współpracy suwadła z kurkiem,
- $x=0,080$ [m] – wyrzucenie łuski,
- $x=0,120$ [m] – uderzenie w zderzak

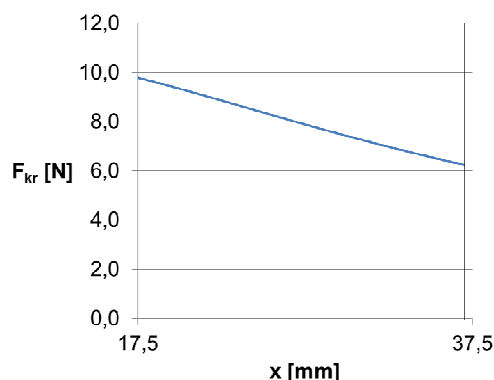
Powrót suwadła – charakterystyczne punkty:

- $x=0,088$ [m] – dosyłanie naboju,
- $x=0,0175$ [m] – przyłączenie tłoka gazowego,
- $x=0,016$ [m] – początek ryglowania zamka,
- $x=0,008$ [m] – koniec ryglowania zamka,

Siłę i masę zredukowaną kurka określone na podstawie obliczeń rozpatrywanych mechanizmów pokazano na rysunkach 4 i 5:

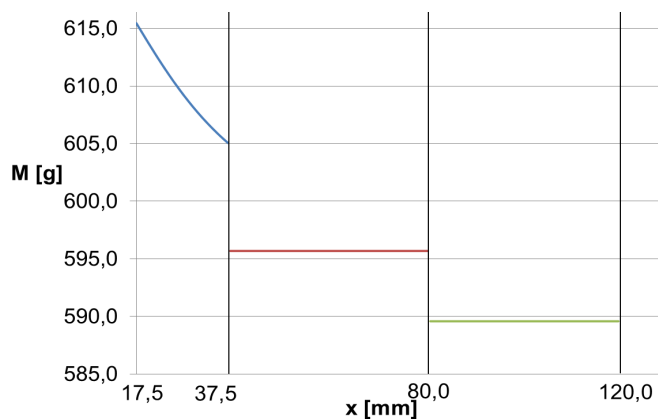


Rys. 4 Wykres zmiany masy zredukowanej kurka w funkcji drogi zespołu suwadła

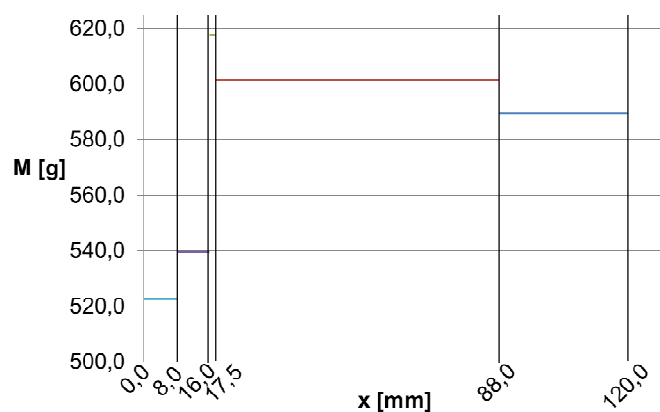


Rys. 5 Wykres zmiany siły zredukowanej sprężyny kurka w funkcji drogi zespołu suwadła

Biorąc pod uwagę masy przemieszczających się elementów sporządzono wykres mas zespołu przesuwne w funkcji drogi zespołu suwadła podczas odrzutu (rys. 6) i podczas powrotu (rys. 7).

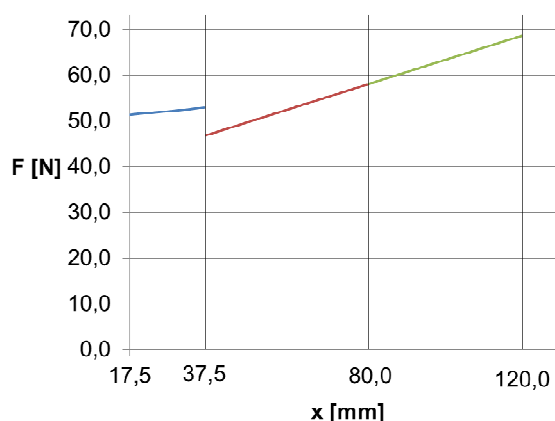


Rys. 6 Wykres mas zespołu przesuwne w funkcji drogi suwadła (odrzut)



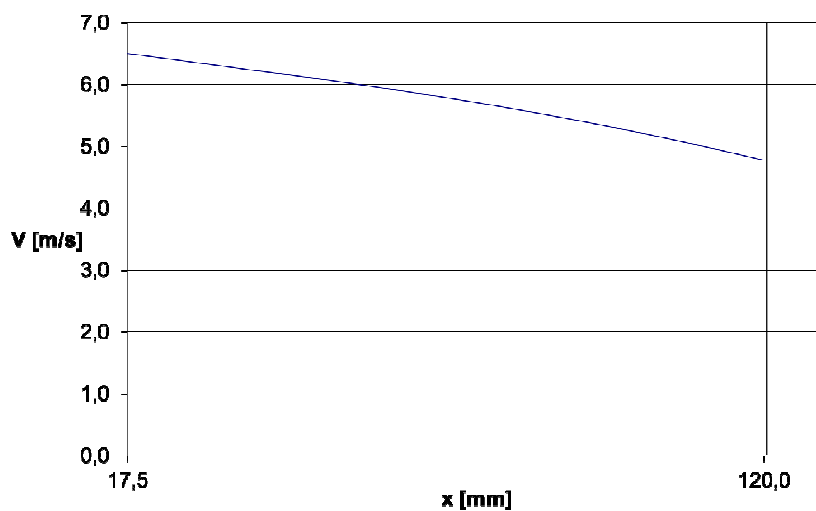
Rys. 7 Wykres mas zespołu przesuwnego w funkcji drogi suwadła (powrót)

Biorąc pod uwagę siły działające na przemieszczający się zespół elementów sporządzono wykres sił zespołu przesuwnego w funkcji drogi zespołu suwadła podczas odrzutu (rys. 8).

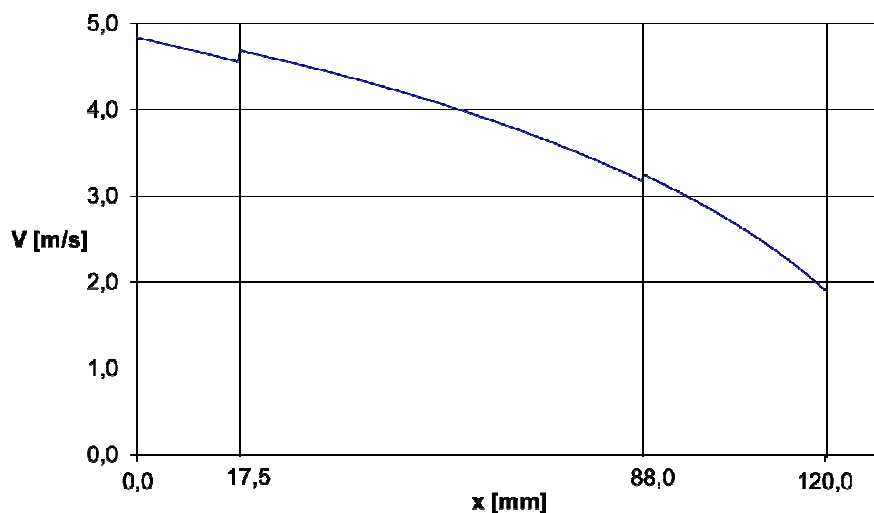


Rys. 8 Wykres sił w funkcji drogi suwadła (odrzut)

W obliczeniach przyjęto, że wartość prędkości zespołu suwadła w chwili zatrzymania tłoka gazowego wynosi 6,5 m/s, a współczynnik wznowienia prędkości przy uderzeniu o zderzak $\varepsilon=0,4$. W odniesieniu do takiej prędkości początkowej oraz danych z punktu 3 otrzymano prędkości $V(x)$ suwadła podczas jego odrzutu i powrotu przedstawiono na rysunkach 9 i 10.



Rys. 9 Wykres prędkości zespołu odrzutowego z funkcji drogi suwadła od momentu zatrzymania się tłoka gazowego do uderzenia w zderzak



Rys. 10 Wykres prędkości zespołu odrzutowego z funkcji drogi suwadła podczas ruchu do przodu

5. Wnioski

1. W przypadku broni automatycznej działającej na zasadzie odprowadzenia gazów prochowych po zatrzymaniu tłoka gazowego suwadło przemieszcza się pod wpływem siły bezwładności, siłami hamującymi są: siła sprężyny powrotnej oraz zredukowana siła sprężyny kurka.
2. Siły hamujące powodują zmniejszanie prędkości zespołu suwadła aż do momentu uderzenia zespołu suwadła z zamkiem o zderzak komory zamkowej.
3. Podczas powrotu suwadła jedyną siłą napędzającą jest siła sprężyny powrotnej.
4. Istotny wpływ na prędkość zespołu suwadła mają zderzenia części ruchomych zmieniające chwilowe masy i prędkości.
5. Z rozwiązania powyższego przykładu wynika, że przy parametrach podanych w punkcie 4 szybkostrzelność broni wynosiłaby orientacyjnie 1 000 strz./min. W celu ewentualnego zmniejszenia szybkostrzelności należałoby zwiększyć długość i początkowe ugięcie lub sztywność sprężyny powrotnej albo zmienić inne parametry układu (np. parametry wężła gazowego).

Literatura

- [1] Wasserman E., Zasady projektowania broni artyleryjskiej, Warszawa, 1968.
 [2] Kafliński Z., Lotnicza broń lufowa, Część II – Podstawy obliczeń urządzeń i mechanizmów broni, Warszawa, 1981.

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