



Badania teoretyczno-doświadczalne odrzutu automatycznej broni strzeleckiej*

Jacek KIJEWSKI, Łukasz SZMIT

*Instytut Techniki Uzbrojenia, Wydział Mechatroniki i Lotnictwa,
Wojskowa Akademia Techniczna,
ul. Gen. S. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa*

Streszczenie. W pracy przedstawiono wyniki badań teoretycznych i doświadczalnych odrzutu wybranych typów automatycznej broni strzeleckiej. Wyniki badań teoretycznych uzyskane na drodze symulacji komputerowych zjawiska odrzutu oraz wyniki badań eksperymentalnych strzelaniem potwierdziły istotny wpływ automatyki broni na przebieg zjawiska odrzutu. Wyniki badań potwierdzają również, że tradycyjne metody badania odrzutu nie sprawdzają się w przypadku badań broni automatycznej.

Słowa kluczowe: mechanika, balistyka, konstrukcja broni, broń strzelecka, karabinek

1. WSTĘP

W czerwcu 2011 r. Wojskowa Akademia Techniczna z Warszawy, we współpracy z Fabryką Broni „Łucznicz”-Radom z Radomia, zakończyła realizację projektu rozwojowego nr O R00 0010 04 (finansowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego), którego celem było opracowanie, wykonanie i przebadanie dwóch demonstratorów technologii karabinków podstawowych Modułowego Systemu Broni Strzeleckiej kalibru 5,56 mm (MSBS-5,56) dla Sił Zbrojnych RP. Jednym z zadań badawczych projektu było przeprowadzenie wszechstronnych badań dynamicznych (strzelaniem) demonstratorów broni.

* Artykuł został opracowany na podstawie referatu prezentowanego podczas IX Międzynarodowej Konferencji Uzbrojeniowej nt. „Naukowe aspekty techniki uzbrojenia i bezpieczeństwa”, Pułtusk, 25-28 września 2012 r.

Podczas tych prac dostrzeżono potrzebę przebadania karabinków również pod kątem optymalizacji ich charakterystyk użytkowych, związanych z reakcją broni w czasie strzału. Zauważono również, że obecnie używane przyrządy do badania reakcji broni podczas strzału, w postaci kafara i wahadła strzeleckiego, nie pozwalają na szczegółową analizę zachowania broni w czasie strzału. Niezbędne stało się zatem zaprojektowanie i wykonanie stanowiska laboratoryjnego o większych możliwościach, które mogłoby być stosowane do badania także innych typów broni strzeleckiej. W tym celu rozpoczęto prace, których wynikiem są programy do symulacji odrzutu, podrzutu i obrotu broni strzeleckiej, a także stanowisko laboratoryjne przeznaczone do pomiaru siły i drogi odrzutu oraz kąta podrzutu broni strzeleckiej. Wykorzystując program symulacyjny oraz stanowisko laboratoryjne, wykonano wszechstronne badania odrzutu wybranych typów automatycznej broni strzeleckiej.

2. BADANIA TEORETYCZNE ODRZUTU

Wstępem do badań teoretycznych było opracowanie modelu fizycznego i matematycznego odrzutu broni działającej na zasadzie odprowadzenia gazów prochowych [1]. Następnie na podstawie tych modeli opracowano program symulacyjny odrzut.pas [2]. Program ten został opracowany w środowisku Borland Pascal 7.0 i rozwiązuje równania modelu matematycznego odrzutu metodą Rungego–Kutty czwartego rzędu. Jego integralną częścią jest podprogram do obliczeń ciśnienia gazów prochowych w lufie i w komorze gazowej oraz drogi i prędkości suwadła w funkcji czasu. Otrzymane z obliczeń ciśnienia oraz parametry ruchu suwadła stanowią, wraz z wykresem cyklicznym pracy automatyki broni, dane wejściowe do obliczeń parametrów odrzutu i podrzutu broni.

Do dalszych badań wytypowano cztery karabinki kalibru 5,56 mm:

- K-01 MSBS-5,56 zbudowany w klasycznym układzie konstrukcyjnym,
- B-01 MSBS-5,56 zbudowany w układzie bezkolbowym,
- wz. 1996 „Beryl”,
- wz. 1996 „Mini Beryl”.

Dane niezbędne do wykonania symulacji przedstawiono w tabeli 1. Wynikami symulacji są wykresy drogi odrzutu badanej broni w funkcji czasu przedstawione na rysunku 1.

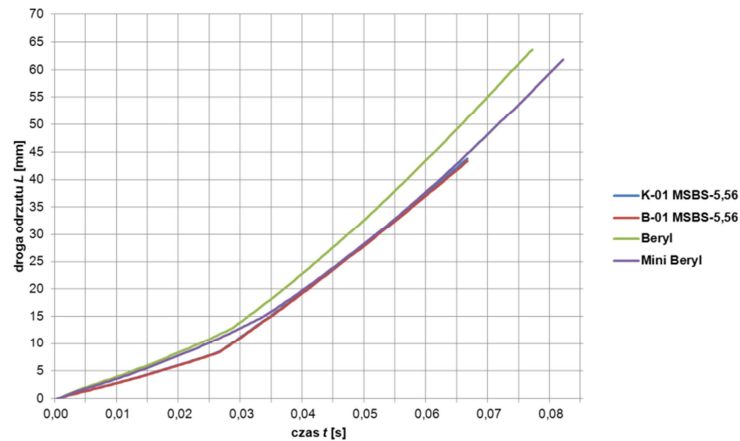
Tabela 1. Dane do obliczeń drogi odrzutu badanej broni

Table 1. Initial data for the recoil distance simulations

Nazwa parametru	K-01 MSBS-5,56	B-01 MSBS-5,56	wz. 1996 „Beryl”	wz. 1996 „Mini Beryl”
<i>I</i>	2	3	4	5
Masa ładunku miotającego ω [g]	1,6	1,6	1,6	1,6
Gęstość prochu δ [kg/m ³]	1550	1550	1550	1550
Współczynnik liniowego prawa szybkości spalania prochu u_l [m/(s·Pa)]	$0,6 \cdot 10^{-9}$	$0,6 \cdot 10^{-9}$	$0,6 \cdot 10^{-9}$	$0,6 \cdot 10^{-9}$
Ciepło spalania prochu ładunku miotającego Q_s [MJ/kg]	5,104	5,104	5,104	5,104
Współczynniki kształtu ziaren prochowych	χ	1,368	1,368	1,368
	λ	-0,269	-0,269	-0,269
	μ	0	0	0
Początkowe pole powierzchni ziarna prochowego S_l [mm ²]	3,68	3,68	3,68	3,68
Początkowa objętość ziarna prochowego Δ_l [mm ³]	0,47	0,47	0,47	0,47
Wykładnik adiabaty gazów prochowych k	1,2	1,2	1,2	1,2
Współczynnik zależny od rodzaju broni K	1	1	1	1
Masa pocisku m [g]	4	4	4	4
Pole przekroju poprzecznego przewodu lufy s [mm ²]	24,75	24,75	24,75	24,75
Objętość komory naboju lufy W_0 [cm ³]	1,622	1,622	1,622	1,622
Całkowita droga pocisku w przewodzie lufy l_w [m]	0,364	0,364	0,412	0,19
Ciśnienie forsowania p_0 [MPa]	35	35	35	35
Ciśnienie zapłonu p_z [MPa]	5	5	5	5
Kowolumen gazów prochowych α [dm ³ /kg]	1,371	1,371	1,371	1,371
Krok całkowania h [μ s]	1	1	1	1
Współczynnik strat przepływu gazów ζ	0,43	0,43	0,45	0,49
Średnica otworu gazowego d_g [mm]	2,0	2,0	1,7	1,5
Średnica otworu regulacyjnego w komorze gazowej d_r [mm]	2	2	2	2
Objętość początkowa komory gazowej W_{k0} [cm ³]	0,3092	0,3092	2,3000	1,5400
Pole przekroju poprzecznego komory gazowej S_k [mm ²]	95,033	95,033	153,860	153,860

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
Pole przekroju poprzecznego tłoka gazowego S_t [mm ²]	95,033	95,033	153,860	153,860
Szywność sprężyny powrotnej k [N/m]	200	200	243	243
Wstępne ugięcie sprężyny powrotnej x_0 [m]	0,1205	0,1205	0,1330	0,1330
Droga pocisku w lufie do otworu gazowego L_g [m]	0,2434	0,2434	0,231	0,128
Droga suwadła do chwili zatrzymania tłoka gazowego L_{sk} [m]	0,0175	0,0175	0,0155	0,0155
Droga suwadła do chwili przyłączenia zamka do suwadła L_{sz} [m]	0,0175	0,0175	0,0155	0,0155
Droga suwadła do skrajnego tylnego położenia L_{st} [m]	0,110	0,110	0,133	0,132
Droga suwadła do chwili uderzenia zamka w dno naboju L_{sn} [m]	0,088	0,088	0,095	0,095
Droga suwadła do chwili rozłączenia zamka z suwadłem L_{sr} [m]	0,007	0,007	0,007	0,007
Masa łuski m_l [g]	6,6	6,6	6,6	6,6
Masa naboju m_n [g]	11,8	11,8	11,8	11,8
Masa suwadła M_s [g]	522	522	420	388
Masa tłoka M_t [g]	23	23	0	0
Masa zamka M_z [g]	76	76	73	73
Masa broni M [kg]	4,51	4,58	3,65	3,36
Masa odrzucana (masa broni i elementów ruchomych stanowiska) M_b [kg]	8,307	8,398	6,798	6,508
Współczynnik zależny od rodzaju pocisku λ	0,48	0,48	0,48	0,48
Współczynnik tarcia pocisku o ścianki przewodu lufy μ	0,05	0,05	0,05	0,05
Współczynnik restytucji ε	0,70	0,70	0,25	0,25

Na wykresie drogi odrzutu karabinka K-01 MSBS-5,56 (zbudowanego w układzie klasycznym) wyróżnić można dwa charakterystyczne okresy. Pierwszy odpowiadający ruchowi suwadła do tyłu i drugi odpowiadający ruchowi suwadła do przodu. Chwili zderzenia suwadła z komorą zamkową odpowiada załamanie wykresu świadczące o skokowym wzroście prędkości odrzutu. Program kończy obliczenia w chwili powrotu suwadła w przednie położenie. Wykres drogi odrzutu dla karabinka B-01 MSBS-5,56 (zbudowanego w układzie bezkolbowym) jest zbliżony do analogicznego wykresu dla karabinka zbudowanego w układzie klasycznym. Jest to wynikiem bardzo podobnych charakterystyk masowo-konstrukcyjnych obu karabinków.

Rys. 1. Wykresy drogi odrzutu L w funkcji czasu t badanych karabinkówFig. 1. Recoil distance L versus time t

Na wykresie drogi odrzutu dla karabinka wz. 1996 „Beryl” efekt uderzenia suwadła w komorę zamkową, po dotarciu zespołu ruchomego w skrajne tylne położenie, jest mniej wyraźny niż w przypadku karabinków MSBS-5,56. Wynika to z mniejszej masy karabinka oraz sztywniejszej o 20% sprężyny powrotnej.

Wykres drogi odrzutu w funkcji czasu subkarabinka wz. 1996 „Mini Beryl” jest zbliżony do analogicznego wykresu dla karabinka wz. 1996 „Beryl”, przy czym efekt zderzenia zespołu ruchomego z komorą zamkową jest jeszcze mniej wyraźny, co wynika z mniejszej niż w przypadku karabinka „Beryl” masy przy zachowaniu sztywnej sprężyny i podobnej konstrukcji broni.

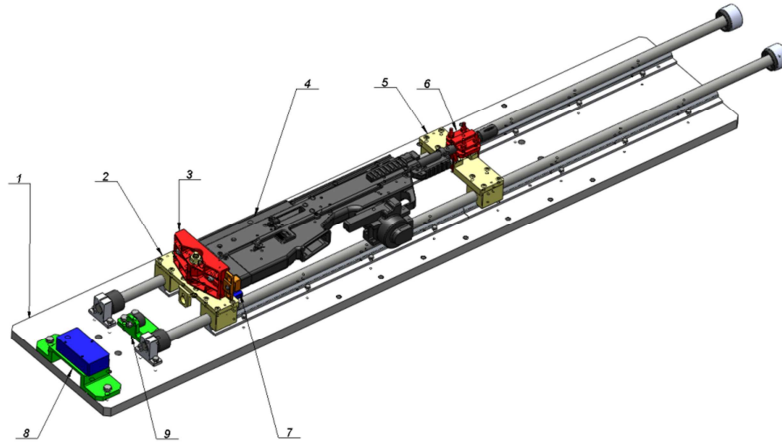
3. BADANIA DOŚWIADCZALNE

3.1. Badania strzelaniem na stanowisku „odrzut-podrzut”

Stanowisko „odrzut-podrzut” charakteryzuje się szerokimi możliwościami, można zestawić je w trzech konfiguracjach: do pomiaru drogi odrzutu i przyspieszeń (rys. 2) działających na broń, do pomiaru siły odrzutu (rys. 3) i do pomiaru kąta podrzutu. Stanowisko składa się z płyty podstawy z przewodnicami oraz z wymiennych elementów przeznaczonych do montażu broni i czujników. W przypadku skonfigurowania stanowiska do pomiaru drogi odrzutu będą to: uchwyt kolby, wózki – tylny i przedni, uchwyt lufy oraz podstawa przetwornika położenia z przetwornikiem.

Broń zamocowana na stanowisku może swobodnie poruszać się wzdłuż prowadnic. Uruchomienie elektropustu powoduje strzał.

W czasie strzału powstaje siła odrzutu, która nadaje zamocowanej na wózkach broni prędkość postępową. W czasie ruchu broni przetworniki położenia i przyspieszeń mierzą parametry odrzutu (drogę i przyspieszenia działające na broń). Zatrzymanie broni gwarantują umieszczone na końcach prowadnic gumowe amortyzatory oraz zderzak na podstawie czujnika siły.

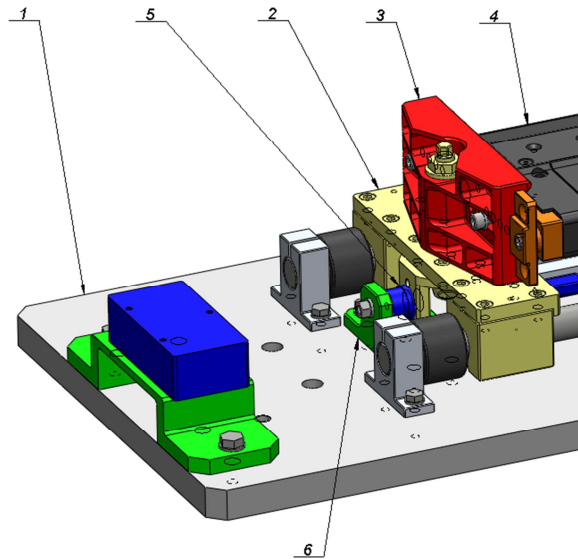


Rys. 2. Widok ogólny stanowiska w konfiguracji do pomiaru drogi odrzutu i przyspieszeń działających na broń: 1 – podstawa, 2 – wózek tylny, 3 – uchwyt kolby, 4 – badana broń, 5 – wózek przedni, 6 – obejmka lufy, 7 – przetwornik przyspieszeń, 8 – podstawa przetwornika położenia, 9 – podstawa przetwornika siły

Fig. 2. Test stand set for measuring the recoil distance and the weapon's acceleration:
1 – base, 2 – rear cart, 3 – butt holder, 4 – tested weapon, 5 – front cart,
6 – barrel holder, 7 – acceleration sensor, 8 – position sensor base with the sensor,
9 – force sensor base with the shock absorber

W celu zmierzenia siły odrzutu należy w wózku tylnym zamontować przetwornik siły, który następnie jest mocowany do podstawy czujnika siły w miejsce usuniętego zderzaka. Stanowisko przygotowane do pomiaru siły przedstawiono na rysunku 2.

W czasie pomiaru siły odrzutu broń jest nieruchoma. Wózek tylny jest połączony z podstawą poprzez przetwornik siły, który zostaje przymocowany do podstawy czujnika i wózka tylnego.



Rys. 3. Tylna część stanowiska w konfiguracji do pomiaru siły odrzutu:

- 1 – podstawa, 2 – wózek tylny, 3 – uchwyt kolby, 4 – badana broń,
5 – przetwornik siły, 6 – podstawa przetwornika siły

Fig. 3. Test stand set for measuring the recoil force: 1 – base, 2 – rear cart,
3 – butt holder, 4 – examined weapon, 5 – force sensor, 6 – force sensor base

Część kontrolno-pomiarowa stanowiska w konfiguracji do pomiaru parametrów odrzutu obejmuje:

- zestaw komputerowy z kartą pomiarową ESAM 3000,
- laserowy przetwornik przemieszczenia LD 1605-200,
- piezoelektryczny przetwornik przyspieszeń Kistler 8002,
- piezoelektryczny przetwornik siły Kistler 9174,
- wzmacniacz ładunków Kistler 5011B.

Przed przystąpieniem do strzelań na stanowisku „odrzut-podrzut” niezbędne było przystosowanie broni do mocowania na stanowisku. Polegało ono na zastąpieniu kolby karabinka (w przypadku karabinka w układzie bezkolbowym trzewika) elementem dostosowanym do mocowania na stanowisku. Usunięto również chwyt pistoletowy broni, zastępując go zaczepem dla elektropustu. Broń przygotowaną do badań przedstawiają fotografie 1-3.



Fot .1. Subkarabinek wz. 1996 „Mini Beryl”
przygotowany do zamocowania na stanowisku badawczym

Photo 1. „Mini Beryl” rifle type 1996
ready to set on the stand



Fot. 2. Karabinek MSBS-5,56 K-01 w układzie klasycznym,
przygotowany do zamocowania na stanowisku badawczym

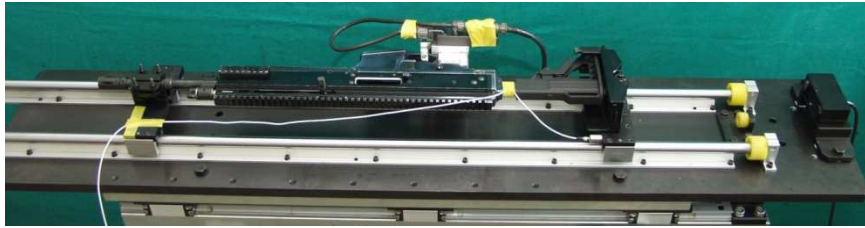
Photo 2. MSBS-5,56 K-01 standard rifle
ready to set on the stand



Fot. 3. Karabinek B-01 MSBS-5,56 w układzie bezkolbowym,
przygotowany do zamocowania na stanowisku badawczym

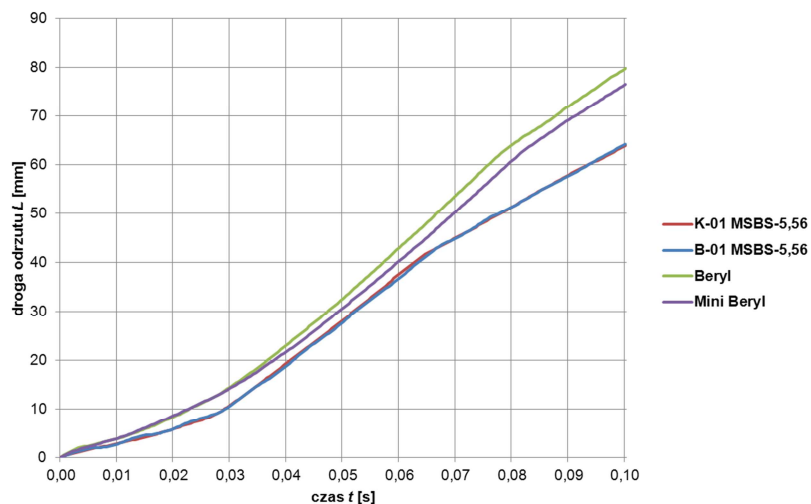
Photo 3. MSBS-5,56 K-01 bull-pup rifle
ready to set on the stand

Pierwszym etapem badań było strzelanie w konfiguracji do pomiaru drogi odrzutu. Na przygotowanym i sprawdzonym stanowisku umieszczono karabinek K-01 MSBS-5,56 zbudowany w układzie klasycznym (fot. 4) i oddano strzały próbne. Następnie wykonano serię pomiarową składającą się z jedenastu strzałów, uzyskując w ten sposób charakterystyki drogi odrzutu w funkcji czasu. Po sprawdzeniu stanowiska wykonano strzelania z pozostałych karabinków. Wynikami strzelań w konfiguracji do pomiaru drogi odrzutu są wykresy drogi w funkcji czasu. Na rysunku 4 przedstawiono uśrednione wykresy drogi odrzutu dla badanych karabinków.



Fot. 4. Stanowisko z zamocowanym karabinkiem K-01 MSBS-5,56 w układzie bezkolbowym, przygotowane do pomiaru drogi odrzutu

Photo 4. Laboratory test stand with the K-01 MSBS-5,56 rifle set for measuring the recoil distance



Rys. 4. Wykresy średniej drogi odrzutu L w funkcji czasu t badanych karabinków

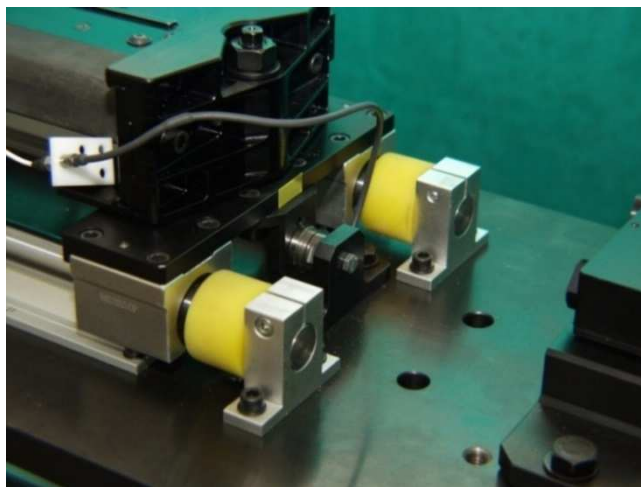
Fig. 4. Average recoil distance L versus time t

Na wykresie drogi odrzutu L w funkcji czasu t karabinka K-01 MSBS-5,56 (zbudowanego w układzie klasycznym) widoczne są trzy charakterystyczne okresy. Pierwszy odpowiadający ruchowi zespołu ruchomego do tyłu, drugi odpowiadający powrotowi zespołu ruchomego w przednie położenie i trzeci – po zakończeniu cyklu pracy automatyki broni. Załamania wykresu odpowiadają zderzeniom zespołu ruchomego z komorą zamkową karabinka i świadczą o skokowych zmianach prędkości towarzyszących zderzeniom. Są one jednocześnie potwierdzeniem wyników uzyskanych przy użyciu programu symulacyjnego.

Wykres drogi odrzutu karabinka B-01 MSBS-5,56 (zbudowany w układzie bezkolbowym) ma niemal identyczny przebieg jak w przypadku karabinka w układzie klasycznym. Wynika to ze zbliżonych charakterystyk masowo-konstrukcyjnych obu karabinków.

Wykres drogi odrzutu w funkcji czasu karabinka „Beryl” ma nieco inny charakter niż w przypadku karabinków MSBS-5,56. Wyraźnie widoczne jest tylko jedno załamanie, odpowiadające zderzeniu zespołu ruchomego broni z komorą zamkową po powrocie suwadła w przednie położenie. Efekt zderzenia zespołu ruchomego z komorą zamkową po dotarciu suwadła w tylne położenie nie jest wyraźnie zaznaczony na wykresie. Prawdopodobnymi przyczynami są mniejsza energia zespołu ruchomego i masa broni w połączeniu ze sztywniejszą sprężyną powrotną niż w przypadku karabinków MSBS-5,56.

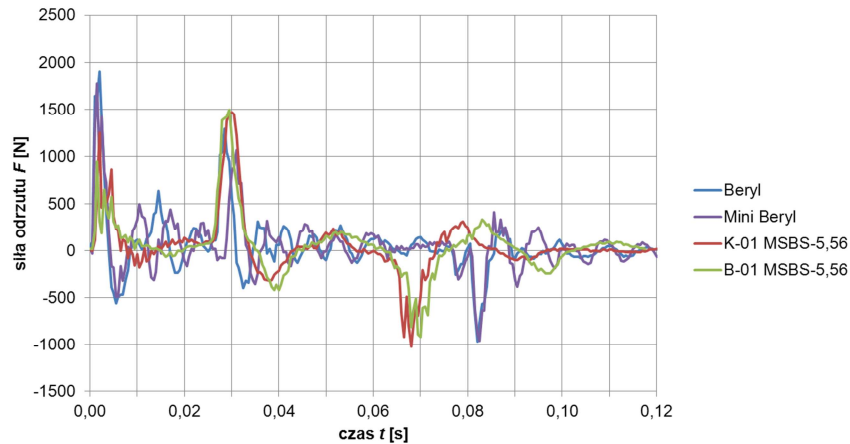
Wykres drogi odrzutu subkarabinka „Mini Beryl” nie różni się znacząco od charakterystyki uzyskanej w czasie strzelania z karabinka „Beryl”. Podobieństwo wynika ze zbliżonej budowy obu karabinków, a przyczyną niewielkich różnic są różne masy i długości lufy obu badanych broni.



Fot. 5. Tylna część stanowiska w konfiguracji do pomiaru siły odrzutu

Photo 5. Rear part of the test stand set for measuring the recoil force

Drugim etapem badań były strzelania w konfiguracji do pomiaru siły odrzutu. Aby możliwy był pomiar siły odrzutu, niezbędna była przebudowa stanowiska. W gnieździe wózka tylnego zamontowano piezoelektryczny przetwornik siły, który następnie przykręcono do podstawy przetwornika siły (fot. 5). Po upewnieniu się, że stanowisko zmontowano poprawnie, przystąpiono do strzelań. Z każdego karabinka oddano jedenaście strzałów, a na podstawie uzyskanych wyników sporządzono wykresy siły odrzutu F w funkcji czasu t , przedstawione na rysunku 5.



Rys. 5. Wykresy siły odrzutu F w funkcji czasu t badanych karabinków

Fig. 5. Recoil force F versus time t

Na wykresach siły odrzutu w funkcji czasu karabinka B-01 MSBS-5,56 (rys. 5) można wyróżnić trzy lokalne ekstrema odpowiadające charakterystycznym momentom cyklu pracy automatyki broni.

Pierwsze ekstremum ($F = 1000$ N) odpowiada chwili osiągnięcia ciśnienia maksymalnego w lufie. Po tej chwili siła odrzutu maleje na skutek hamującego działania siły od ciśnienia działającej na przednią ściankę komory gazowej oraz spadku ciśnienia w przewodzie lufy. Drugie ekstremum ($F = 1600$ N) odpowiada chwili dojścia zespołu ruchomego w skrajne tylne położenie i zderzenia z komorą zamkową. Trzecie ekstremum ($F = -1200$ N) odpowiada powrotowi zespołu ruchomego w przednie położenie i zderzeniu z komorą zamkową. Przyczyną widocznych na wykresie oscylacji są drgania stanowiska wzbudzone strzałem.

Wykresy siły odrzutu w funkcji czasu sporządzone dla karabinka MSBS-5,56 zbudowanego w układzie klasycznym (rys. 5) mają charakter podobny jak w poprzednim przypadku ze względu na analogiczną budowę mechanizmów i zbliżoną masę. Mniejsze oscylacje są prawdopodobnie spowodowane tłumiącym działaniem kolby karabinka.

Wykresy siły odrzutu w funkcji czasu dla karabinka wz. 1996 „Beryl” (rys. 5) mają charakter zbliżony do wykresów dla karabinków MSBS-5,56, wyraźnie wyższa jest jednak siła odrzutu w okresie występowania najwyższego ciśnienia w lufie (2000 N). Niższe natomiast są siły odpowiadające zderzeniom zespołu ruchomego broni z komorą zamkową (odpowiednio 1250 N i –1000 N). Różnice te wynikają z innej budowy mechanizmów broni oraz mniejszej jej masy i „sztywniejszej” niż w przypadku MSBS sprężyny powrotnej. Silne oscylacje siły odrzutu są prawdopodobnie efektem sztywnego zamocowania broni na stanowisku i co za tym idzie skutecznego przenoszenia drgań na stanowisko w czasie strzału.

Wykresy siły odrzutu w funkcji czasu dla subkarabinka „Mini Beryl” (rys. 5) są zbliżone do analogicznych wykresów dla karabinka wz. 1996. Przyczyną tego jest podobna budowa obu broni.

3.2. Badania na wahadle strzeleckim

W celach porównawczych przeprowadzono badania na wahadle strzeleckim. Przygotowane do strzelania wahadło z zamocowanym karabinkiem w układzie bezkolbowym przedstawiono na fotografii 6.

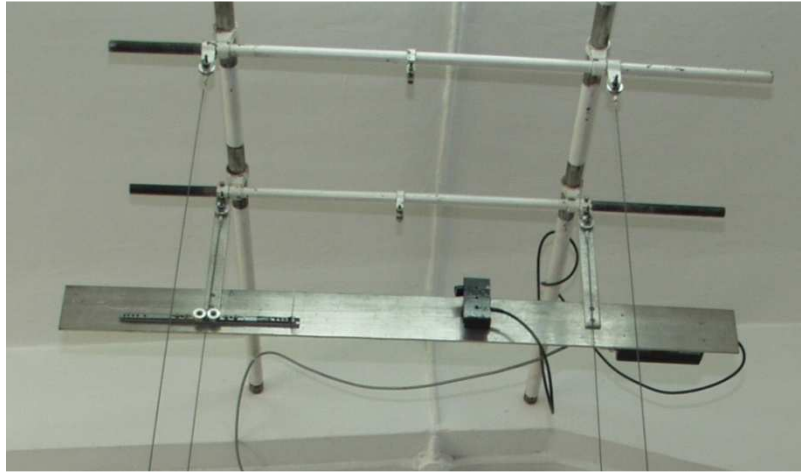


Fot. 6. Karabinek B-01 MSBS-5,56 przygotowany do badań na wahadle strzeleckim

Photo 6. B-01 MSBS-5,56 rifle ready for the test on the ballistic pendulum

Przygotowanie broni do strzelania polegało na zamontowaniu elektropustu w miejscu chwytu pistoletowego. Następnie broń została zamocowana w kołysce wahadła w taki sposób, aby środek masy zespołu broń-kołyska znajdował się w połowie odległości między zaczepami kołyski. Po zamocowaniu broni w kołysce, zespół broń-kołyska został ponownie zważony. Następnie kołyska została zawieszona na cięgnach.

W czasie strzału wahadło wychyla się od pionu. Jedno z cięgien współpracuje z odbłyśnikiem, którego przemieszczenie rejestrowane jest przez laserowy przetwornik przemieszczenia. Przemieszczenie odbłyśnika pozwala obliczyć kąt wychYLENIA wahadła, a na tej podstawie określić energię odrzutu broni [5]. Układ pomiarowy wahadła przedstawiono na fotografii 7.



Fot. 7. Układ pomiarowy wahadła strzeleckiego

Photo 7. Ballistic pendulum measuring system

Tabela 2. Parametry odrzutu uzyskane w ramach badań na wahadle strzeleckim

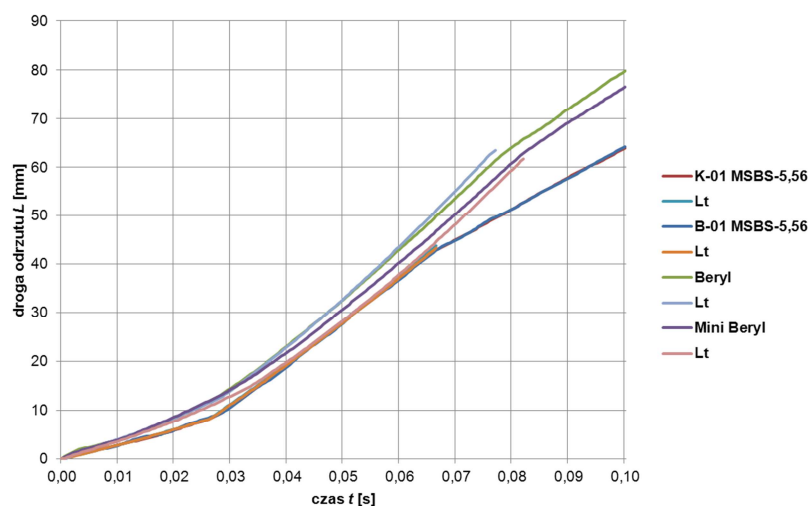
Table 2. Recoil parameters gained during the tests on the ballistic pendulum

Karabinek	K-01 MSBS-5,56	B-01 MSBS-5,56	wz. 1996 „Beryl”	wz. 1996 „Mini Beryl”
Masa broni M [kg]	4,51	4,58	3,65	3,36
Masa odrzucana (masa broni i elementów ruchomych stanowiska) M_b [kg]	14,57	14,95	13,70	13,40
Średnie przemieszczenie odbłyśnika b [mm]	20,72	20,56	24,45	22,82
Prędkość odrzutu W [m/s]	1,21	1,23	1,67	1,66
Energia odrzutu E_o [J]	3,36	3,42	5,09	4,61

Na wahadle strzeleckim oddano po jedenaście strzałów z każdego karabinka. Zarejestrowanymi wynikami są przemieszczenia odbłyśnika. W tabeli 2 przedstawiono wyniki pomiarów i obliczeń dla badanych karabinków.

4. PORÓWNANIE WYNIKÓW OTRZYMANYCH RÓŻNYMI METODAMI

W celu porównania wyników badań teoretycznych z wynikami symulacji nałożono na siebie wykresy drogi odrzutu w funkcji czasu otrzymane oboma metodami (rys. 6).



Rys. 6. Wykresy drogi odrzutu w funkcji czasu dla badanych karabinków
Lt – wykres opracowany na podstawie wyników symulacji

Fig. 6. Recoil distance versus time
Lt – simulation results

Wahadło strzeleckie za względu na specyfikę układu pomiarowego nie pozwala na uzyskanie wykresów drogi odrzutu w funkcji czasu, a jedynie wyznaczenie finalnej prędkości i energii odrzutu badanej broni.

Aby zatem porównać wyniki otrzymane w drodze symulacji i strzelań na stanowisku „odrzut-podrzut” z wynikami uzyskanymi na wahadle strzeleckim, wyliczono prędkości i energie odrzutu broni na podstawie wyników symulacji i strzelań. Wyniki obliczeń umieszczono w tabeli 3.

Tabela 3. Porównanie parametrów odrzutu uzyskanych za pomocą wahadła strzeleckiego, stanowiska „odrzut-podrzut” oraz symulacji komputerowych

Table 3. Comparison of the recoil parameters gained during the tests on the recoil test stand, ballistic pendulum and simulations

Karabinek	K-01 MSBS-5,56	B-01 MSBS-5,56	wz. 1996 „Beryl”	wz. 1996 „Mini Beryl”
Wahadło strzeleckie				
Prędkość odrzutu W [m/s]	1,21	1,23	1,67	1,66
Energia odrzutu E_o [J]	3,36	3,42	5,09	4,61
Stanowisko „odrzut-podrzut”				
Prędkość odrzutu W [m/s]	1,16	1,17	1,48	1,51
Energia odrzutu E_o [J]	3,02	3,13	3,98	3,83
Symulacje				
Prędkość odrzutu W [m/s]	1,12	1,13	1,44	1,36
Energia odrzutu E_o [J]	2,86	2,89	3,76	3,10

Prędkości odrzutu uzyskane różnymi metodami są zbliżone. W przypadku karabinków MSBS-5,56 prędkość odrzutu uzyskana w wyniku symulacji jest o 4% mniejsza od prędkości uzyskanej na stanowisku „odrzut-podrzut” i o 8% mniejsza niż prędkość odrzutu uzyskana na wahadle strzeleckim. W przypadku karabinka wz. 1996 „Beryl” różnice między symulacjami a poszczególnymi metodami wynoszą odpowiednio 3% i 14%, a dla subkarabinka wz. 1996 „Mini Beryl” 10% i 18%. Wyniki otrzymane w drodze strzelań na stanowisku „odrzut-podrzut” i symulacji są wyraźnie niższe od otrzymanych przy użyciu wahadła strzeleckiego. Różnica między prędkością odrzutu zmierzoną na wahadle i na stanowisku „odrzut-podrzut” (około 10%) wynika prawdopodobnie z większych oporów ruchu broni zmontowanej na stanowisku „odrzut-podrzut”.

Różnice prędkości między wynikami symulacji a pomiarami na stanowisku „odrzut-podrzut” (poniżej 10%) mogą być spowodowane niedokładnościami pomiarów (np. objętości komory gazowej lub średnicy otworu gazowego), na podstawie których opracowano dane niezbędne do symulacji. W przypadku subkarabinka „Mini Beryl” różnica między wynikami strzelań a symulacjami jest największa ze względu na jego specyficzną budowę, która znacząco odbiega od przyjętej w modelu fizycznym broni.

5. PODSUMOWANIE

Wyniki badań teoretycznych nad odrzutem broni strzeleckiej ujawniły istotny wpływ automatyki broni na przebieg zjawiska odrzutu. Badania wykazały, że szczególnie znacznie mają efekty zderzeń zespołu ruchomego broni z komorą zamkową powodujące zmiany prędkości odrzutu w czasie strzału.

W celu zweryfikowania wyników symulacji przeprowadzono badania eksperymentalne. Ze względu na fakt, że dotychczas stosowane urządzenia (w tym wahadło strzeleckie) nie dają wyników umożliwiających szczegółowe przeanalizowanie zjawiska, zbudowano stanowisko laboratoryjne, które umożliwia szczegółową analizę zjawiska odrzutu oraz ocenę wpływu zderzeń zespołu ruchomego z komorą zamkową w czasie strzału. Uzyskane w ten sposób wyniki badań eksperymentalnych tylko nieznacznie odbiegają od wyników symulacji. Wyznaczona prędkość odrzutu jest o około 10% większa niż uzyskana na drodze symulacji, a charakterystyki $L(t)$ uzyskane przy użyciu programów symulacyjnych są zbliżone do eksperymentalnych.

W ramach, wykonanych w celach porównawczych, badań na wahadle strzeleckim uzyskano dla badanych karabinków prędkości odrzutu większe o około 10% od prędkości odrzutu uzyskanych na stanowisku „odrzut-podrzut”.

LITERATURA

- [1] Szmit Ł., Torecki S., Szczegółowy model matematyczny odrzutu swobodnego broni działającej na zasadzie odprowadzenia gazów prochowych, *Materiały VIII Międzynarodowej Konferencji Uzbrojeniowej nt. „Naukowe aspekty techniki uzbrojenia i bezpieczeństwa”*, płyta CD, s. 921-932, Pułtusk, 2010.
- [2] Szmit Ł., Torecki S., Surma Z., Woźniak R., Niektóre wyniki badań symulacyjnych wpływu charakterystyk konstrukcyjnych karabinka automatycznego na jego odrzut i podrzut, *Problemy mechatroniki. Uzbrojenie, lotnictwo, inżynieria bezpieczeństwa*, nr 2(4), 2011 s. 73-84, WAT, Warszawa, 2011.
- [3] Szmit Ł., Woźniak R., Specificity of Design and Action of the Weapon's Jump and Recoil Laboratory Test Stand, *Proceedings of 17th International Conference „Armament and technics of Land Forces 2011”*, CD, p. 145. Liptowsky Mikulas, 2011.
- [4] Szmit Ł., Woźniak R., Wykorzystanie komputerowych programów inżynierskich w pracach konstrukcyjnych nad stanowiskiem do badań wybranych charakterystyk broni strzeleckiej, *Mechanik*, nr 7, płyta CD, 2011.
- [5] *Broń strzelecka, artyleryjska i amunicja. Ćwiczenia laboratoryjne część I*, praca zbiorowa pod redakcją H. Głowickiego, WAT, Warszawa, 1976.

Theoretical and Experimental Studies at the Recoil of the Automatic Firearms

Jacek KIJEWSKI, Łukasz SZMIT

Abstract. Paper presents results of the theoretical and experimental studies at the recoil of the chosen models of automatic firearms. Results of the theoretical studies gained by the simulations as well as the results of the experimental studies confirmed that the recoil is strongly affected by the moving parts of the automatic weapon. The results also showed that the laboratory equipment currently used to examine the recoil doesn't meet the requirements.

Keywords: mechanics, ballistics, weapon design, firearms tests, firearm, rifle

