



Badania teoretyczno-doświadczalne podrzutu automatycznej broni strzeleckiej

Jacek KIJEWSKI, Łukasz SZMIT*

*Institut Techniki Uzbrojenia, Wydział Mechatroniki i Lotnictwa,
Wojskowa Akademia Techniczna, ul. gen. S. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa
autor korespondencyjny, e-mail: lukasz.szmit@wat.edu.pl

Artykuł wpłynął do redakcji 30.04.2014. Zweryfikowaną wersję po recenzji otrzymano 23.10.2014

DOI: 10.5604/20815891.1138369

Streszczenie. W artykule przedstawiono wyniki badań teoretycznych i doświadczalnych podrzutu wybranych typów automatycznej broni strzeleckiej. Wyniki badań teoretycznych uzyskano na drodze symulacji komputerowych zjawiska podrzutu zgodnie z opracowanymi modelami fizycznym i matematycznym [2]. Badania eksperymentalne objęły strzelania na specjalnie w tym celu opracowanym stanowisku badawczym. Wyniki badań wykazały istotny wpływ ruchomych części broni na przebieg zjawiska podrzutu.

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

1. WSTĘP

Od roku 2007 Wojskowa Akademia Techniczna, we współpracy z Fabryką Broni „Łucznicz”-Radom, prowadzi prace nad Modułowym Systemem Broni Strzeleckiej kalibru 5,56 mm (MSBS-5,56).

System ten ma szansę stać się standardową bronią Sił Zbrojnych RP. Jednym z zadań badawczych projektu było przeprowadzenie wszechstronnych badań dynamicznych (strzelaniem) demonstratorów broni. 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 strzeleckiego i wahadła strzeleckiego, nie pozwalają na szczegółową analizę zachowania broni (podrzut, odrzut, obrót) w czasie strzału. Pozwalają one uzyskać jedynie całkowitą wartość energii odrzutu. Również powszechnie stosowane modele fizyczne i matematyczne odrzutu i podrzutu broni okazały się być obciążone podobnymi wadami” [1]. Niezbędne stało się zatem opracowanie stosownych modeli badanych zjawisk oraz zaprojektowanie i wykonanie stanowiska badawczego o większych możliwościach. W tym celu opracowano programy do symulacji odrzutu, podrzutu i obrotu broni strzeleckiej oraz zaprojektowano i wykonano laboratoryjne stanowisko badawcze przeznaczone do pomiaru wartości siły i drogi odrzutu oraz kąta podrzutu broni strzeleckiej. Dla potrzeb niniejszego artykułu przeprowadzono badania podrzutu wybranych typów automatycznej broni strzeleckiej.

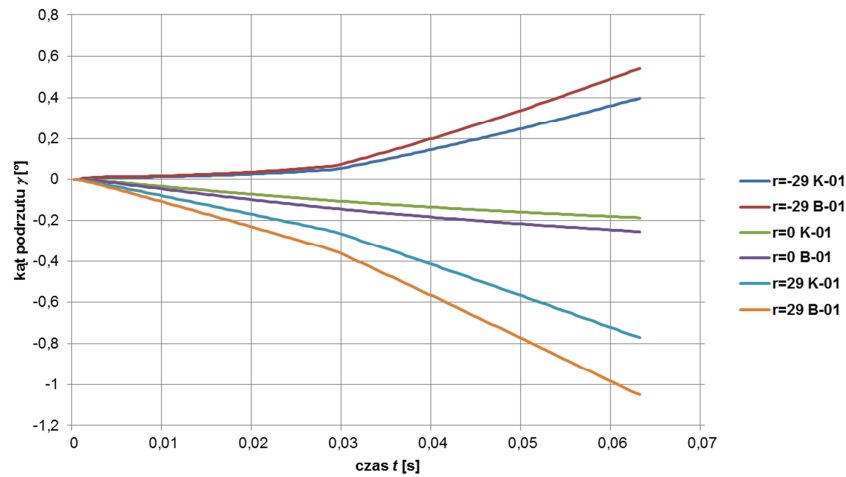
2. BADANIA TEORETYCZNE PODRZUTU

Wstępem do badań teoretycznych podrzutu było opracowanie modelu fizycznego i matematycznego podrzutu broni działającej na zasadzie odprowadzenia gazów prochowych [2].

Do badań wytypowano pięć wzorów broni automatycznej kalibru 5,56 mm:

- karabinek MSBS-5,56 zbudowany w klasycznym układzie konstrukcyjnym (oznaczony jako K-01),
- karabinek MSBS-5,56 zbudowany w układzie bezkolbowym (oznaczony jako B-01),
- karabinek wz. 1996 „Beryl”,
- subkarabinek wz. 1996 „Mini Beryl”,
- karabinek M16A1.

Symulacje parametrów podrzutu wykonano dla trzech położeń punktu podparcia broni względem osi przewodu lufy – w osi przewodu lufy oraz 29 mm powyżej osi lufy i 29 mm poniżej osi lufy. Symulowane położenia powyżej i poniżej osi przewodu lufy odpowiadają skrajnym położeniom broni, możliwym do uzyskania na stanowisku badawczym. Danymi wejściowymi obliczeń kąta podrzutu były wartości parametrów niezbędnych do rozwiązania problemu głównego balistyki wewnętrznej, charakterystyki masowo-gabarytowe broni i jej zespołu ruchomego oraz informacje dotyczące cyklu pracy automatyki broni. Wyniki symulacji zaprezentowano na rysunkach 1-3 w postaci wykresów kątów podrzutu badanej broni w funkcji czasu.

Rys. 1. Wykresy kąta podrzutu γ w funkcji czasu t karabinków MSBS-5,56Fig. 1. MSBS-5,56 rifles weapon's jump angle γ versus time t

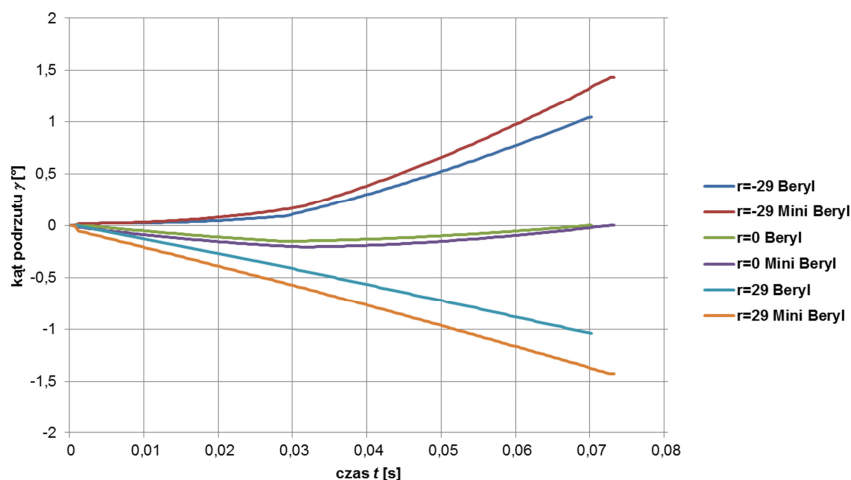
Na wykresach kąta podrzutu karabinków MSBS-5,56 (rys. 1) wyróżnić można dwa charakterystyczne okresy. Pierwszy odpowiada ruchowi suwadła do tyłu, a drugi ruchowi suwadła do przodu. Chwili zderzenia suwadła z komorą zamkową odpowiada załamanie wykresu (ok. 0,03 s) świadczące o skokowym wzroście prędkości kątowej podrzutu. Program kończy obliczenia w chwili powrotu suwadła w przednie położenie. Daje się zauważyć istotny wpływ położenia punktu podparcia broni względem osi przewodu lufy, przy czym dla punktu podparcia w osi przewodu lufy i powyżej niej wystąpił podrzut ujemny.

Wykresy kąta podrzutu dla karabinka B-01 mają zbliżony charakter do analogicznych wykresów dla karabinka K-01. Jest to wynikiem bardzo podobnych charakterystyk konstrukcyjnych obu karabinków. Daje się jednak zauważyć, że karabinek B-01, o mniejszym momencie bezwładności, uzyskuje wyższe wartości bezwzględne parametrów podrzutu niż karabinek K-01.

Na wykresach kąta podrzutu dla karabinka wz. 1996 „Beryl” i subkarabinka „Mini Beryl” (rys. 2) 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 ze sztywniejszej o 20%, niż w przypadku karabinków MSBS-5,56, sprężyny powrotnej. Mniejsza jest również tendencja do podrzutu ujemnego, wynikająca z umieszczenia sprężyny powrotnej wysoko ponad osią przewodu lufy.

Wykresy kąta podrzutu w funkcji czasu dla subkarabinka wz. 1996 „Mini Beryl” są zbliżone do analogicznych wykresów dla karabinka wz. 1996 „Beryl”, przy czym efekty zderzenia zespołu ruchomego z komorą zamkową są jeszcze mniej wyraźne niż w przypadku karabinka „Beryl”.

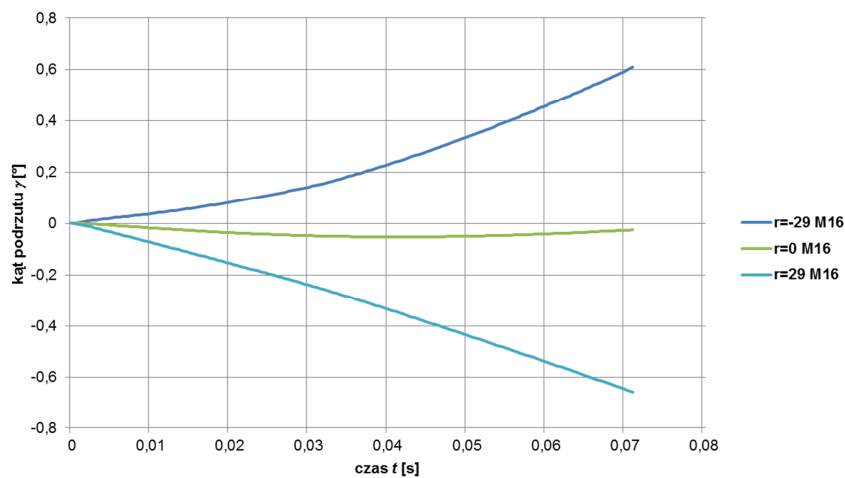
Wynika to z mniejszego niż w przypadku karabinka „Beryl” momentu bezwładności, przy zachowaniu sztywnej sprężyny i podobnej konstrukcji broni.



Rys. 2. Wykresy kąta podrzutu γ w funkcji czasu t karabinka „Beryl” i subkarabinka „Mini Beryl”

Fig. 2. „Beryl”, and „Mini Beryl” weapon’s jump angle γ versus time t

Na wykresach kąta podrzutu w funkcji czasu dla karabinka M16A1 (rys. 3) nie można jednoznacznie wskazać chwili dojścia zespołu ruchomego w tylne położenie.



Rys. 3. Wykresy kąta podrzutu γ w funkcji czasu t karabinka M16

Fig. 3. M16 rifle weapon’s jump angle γ versus time t

Jest to skutkiem zastosowania sztywnej sprężyny powrotnej i wydajnego zderzaka elastomerowego. Karabinek ten charakteryzuje się niewielkim podrzutem, bez wyraźnych tendencji do podrzutu dodatniego bądź ujemnego. Wynika to ze specyficznej konstrukcji broni z układem gazowym bez wyodrębnionej komory i tłoka gazowego oraz „liniowego” układu automatyki karabinka (wszystkie części ruchome i sprężyna powrotna znajdują się w osi przewodu lufy).

3. BADANIA DOŚWIADCZALNE PODRZUTU

Badania doświadczalne broni prowadzono na stanowisku przedstawionym w pracach [4] i [5]. W ramach badań z każdego karabinka oddano po trzy, liczące jedenaście strzałów, serie – dla punktów podparcia broni tożsamy z przyjętymi do badań symulacyjnych.

Przygotowaną do badań broń (z elektropustem zamiast chwytu) przedstawiają fotografie 1-4. Natomiast stanowisko badawcze wraz z zamontowaną na nim bronią zaprezentowano na fotografii 5.

Wyniki badań kąta podrzutu karabinków przedstawiono w postaci wykresów uśrednionego kąta podrzutu w funkcji czasu – uzyskane z enkodera (oznaczone jako e) i w drodze analizy nagrania z kamery szybkiej (oznaczone jako k – rys. 4-8).



Fot. 1. Karabinek MSBS-5,56 K-01 w układzie klasycznym, przygotowany do zamocowania na stanowisku badawczym

Photo 1. MSBS-5,56 K-01 rifle ready to set on the stand



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

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



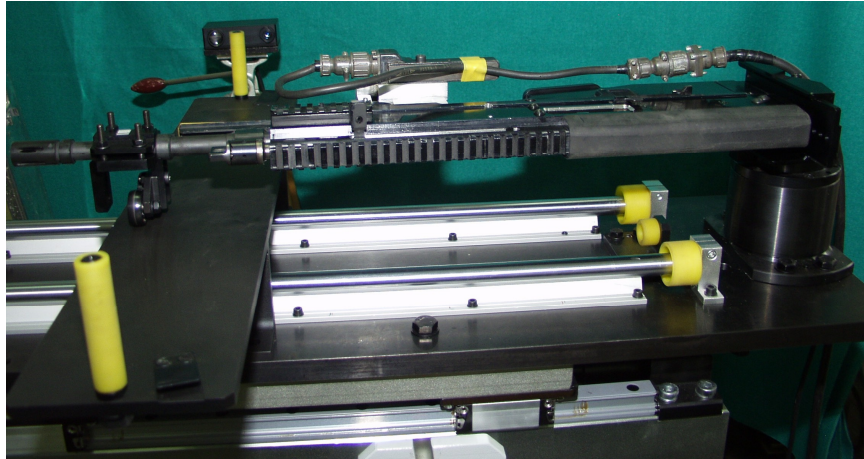
Fot. 3. Subkarabinek wz. 1996 „Mini Beryl” przygotowany do zamocowania na stanowisku badawczym

Photo 3. „Mini Beryl” carbine ready to set on the stand



Fot. 4. Karabinek M16A1, przygotowany do zamocowania na stanowisku badawczym

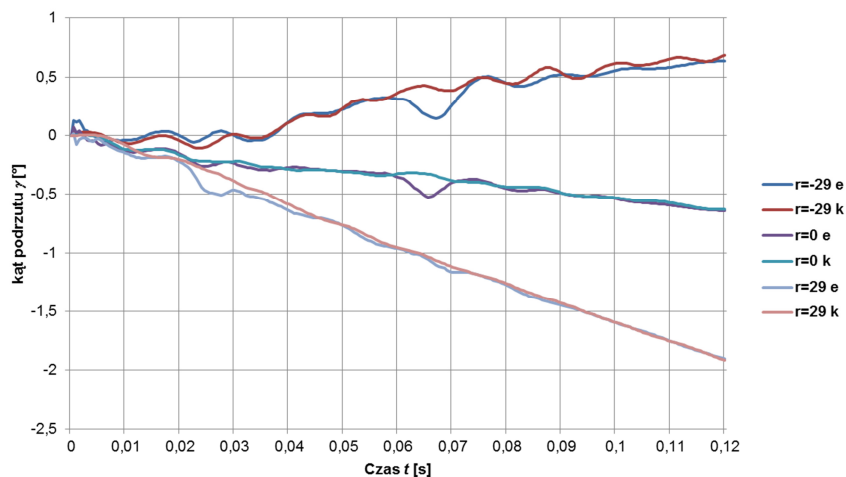
Photo 4. M16A1 rifle ready to set on the stand



Fot. 5. Stanowisko z zamocowanym karabinkiem B-01 MSBS-5,56 w układzie bezkolbowym, przygotowane do pomiaru kąta podrzutu

Photo 5. Laboratory test stand with the B-01 MSBS-5,56 rifle set for measuring the weapon's jump angle

W przypadku karabinka MSBS-5,56 B-01 (rys. 4), wyniki otrzymane obydwoima metodami pokrywają się. Można zauważyć, że pomiar oparty na analizie obrazu z kamery szybkiej pozwala stworzyć gładzsze, a przez to łatwiejsze w interpretacji wykresy.

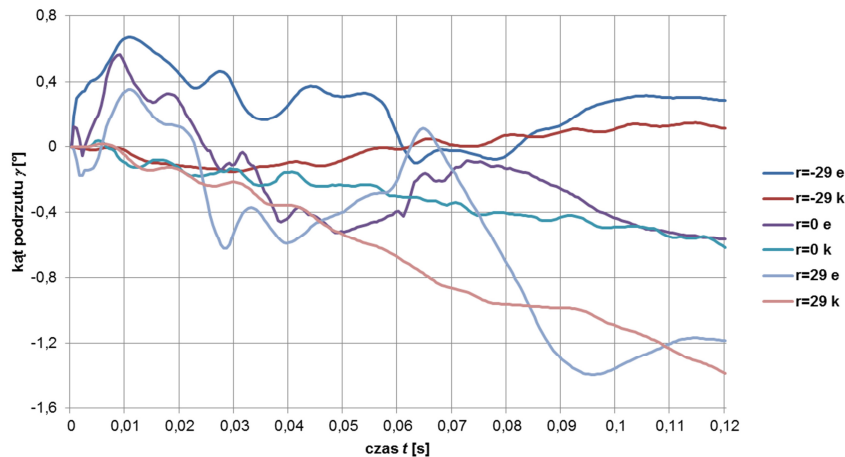


Rys. 4. Wykres kąta podrzutu γ w funkcji czasu t karabinka MSBS-5,56 B-01

Fig. 4. MSBS-5,56 B-01 rifle weapon's jump angle γ versus time t

Otrzymane wyniki wyraźnie wskazują, że decydujący wpływ na wartość kąta podrzutu ma odległość między osią lufy a punktem podparcia broni. Najwyższe wartości kąta podrzutu uzyskano wtedy, kiedy punkt podparcia znajdował się 29 mm poniżej osi przewodu lufy ($r = -29$ mm). Znamienne jest również fakt, że w pewnych sytuacjach uzyskano ujemne wartości kąta podrzutu ($r = 0$ i $r = 29$ mm). Na wykresach zauważyć można również skutki zderzeń zespołu ruchomego broni z komorą zamkową, w chwili dotarcia suwadła w tylne położenie i w końcu cyklu pracy automatyki broni. W przypadku punktu podparcia położonego najniżej, zderzenie suwadła z komorą zamkową w chwili dotarcia suwadła w tylne położenie wyraźnie zwiększa prędkość podrzutu broni. W pozostałych przypadkach efekt ten jest mniej widoczny.

W przypadku karabinka MSBS-5,56 K-01 wyniki (rys. 5) uzyskane za pomocą enkodera są trudne do zinterpretowania ze względu na bardzo duże i gwałtowne zmiany zarejestrowanego kąta podrzutu w czasie strzału. Związane jest to z konstrukcją teleskopowej kolby karabinka, która ma znaczne luzy. Zarejestrowany został zatem ruch kolby względem reszty broni do chwili wybrania luzów, a dopiero potem ruch całej broni. Zjawisko strzału powoduje przy tym silne drgania broni, co przekłada się na gwałtowne zmiany zarejestrowanego kąta podrzutu.

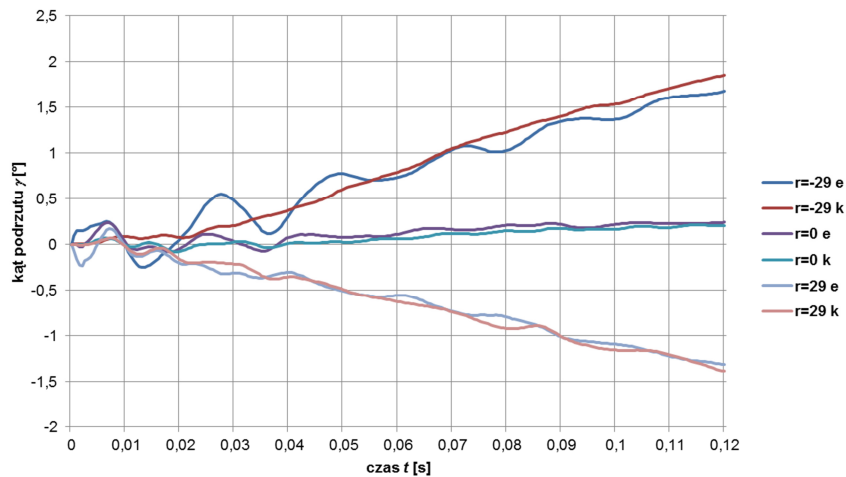


Rys. 5. Wykres kąta podrzutu γ w funkcji czasu t karabinka MSBS-5,56 K-01

Fig. 5. MSBS-5,56 K-01 rifle weapon's jump angle γ versus time t

Wyniki otrzymane w drodze analizy obrazu z kamery szybkiej okazały się bardziej czytelne i możliwe do interpretacji. Są one zbieżne z wynikami otrzymanymi w przypadku karabinka B-01. Można jednak zauważyć, że w tym przypadku uzyskano mniejsze wartości kąta podrzutu. Wiąże się to z większym momentem bezwładności karabinka zbudowanego w układzie klasycznym.

Uśrednione wyniki pomiarów kąta podrzutu karabinka wz. 1996 „Beryl” przedstawiono na rysunku 6.



Rys. 6. Wykres kąta podrzutu γ w funkcji czasu t karabinka wz. 1996 „Beryl”

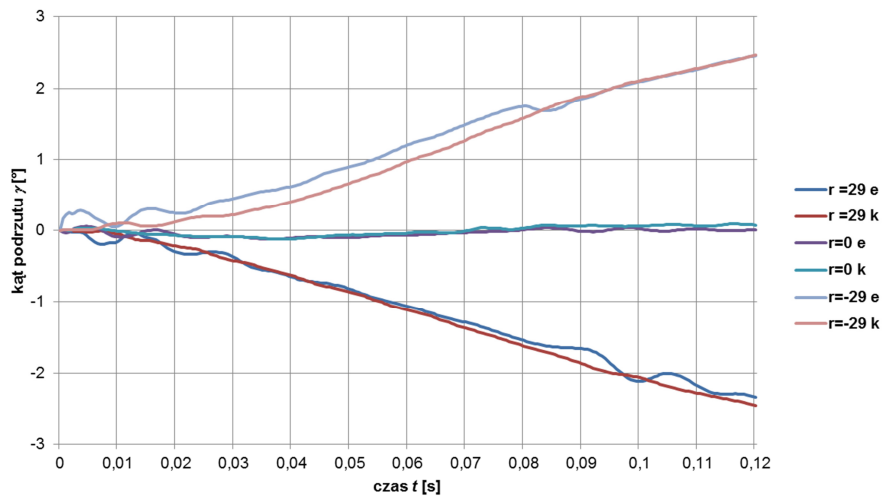
Fig. 6. „Beryl” rifle weapon’s jump angle γ versus time t

Okazuje się, że karabinek „Beryl” ma wyraźniejszą tendencję do podrzutu dodatniego – przy punkcie podparcia leżącym w osi przewodu lufy karabinek uzyskuje dodatnie wartości kąta podrzutu. Związane jest to z konstrukcją urządzenia powrotnego broni, w którym sprężyna powrotna jest umieszczona wysoko nad lufą i w efekcie siła od sprężyny wydatnie wzmacnia podrzut broni. Na wykresach mniej wyraźne są skutki zderzeń zespołu ruchomego z komorą zamkową, po dojściu suwadła w tylne położenie. Jest to skutkiem sztywniejszej niż w przypadku karabinków MSBS-5,56 sprężyny powrotnej.

Wykresy kąta podrzutu subkarabinka „Mini Beryl” (rys. 7) mają charakter zbliżony do wykresów kąta podrzutu karabinka „Beryl”, co jest związane z ich zbliżoną budową. „Mini Beryl” jako krótszy i lżejszy, a co za tym idzie charakteryzujący się mniejszym momentem bezwładności, uzyskał jednak znacznie wyższe wartości kątów podrzutu.

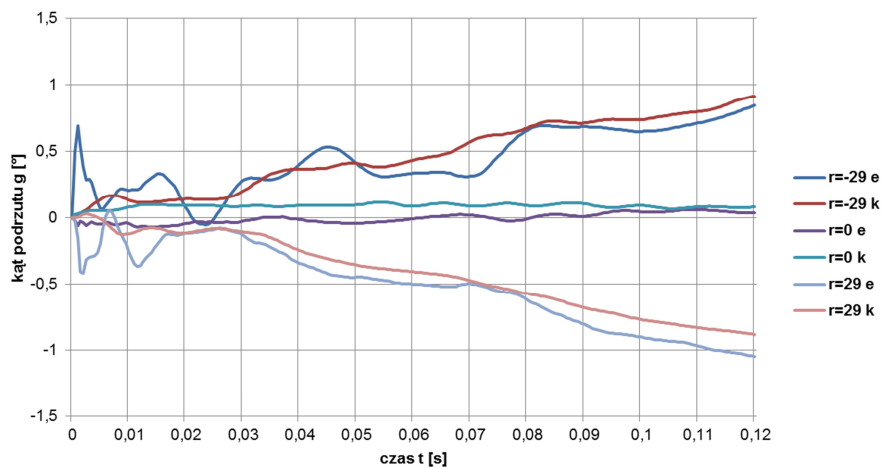
Wyniki pomiarów kąta podrzutu karabinka M16A1 przedstawiono na rysunku 8. W tym przypadku rejestracja kątów podrzutu za pomocą enkodera była utrudniona ze względu na budowę karabinka (długa sprężysta rura kryjąca mechanizm powrotny, przymocowana do komory zamkowej). W czasie strzału broń wyginała się i sprężynowała, co przekładało się na gwałtowne zmiany kąta podrzutu zarejestrowane przez enkoder. Wyniki otrzymane na podstawie analizy obrazu z kamery szybkiej okazały się bardziej czytelne i możliwe do interpretacji.

Karabinek M16A1 charakteryzuje się bardzo małymi wartościami kątów podrzutu, a skutki zderzenia suwadła z komorą zamkową, przy dojściu w tylne położenie, również nie są wyraźnie widoczne. Spowodowane jest to „liniową budową automatyki karabinka” i sztywną sprężyną powrotną.



Rys. 7. Wykres kąta podrzutu γ w funkcji czasu t subkarabinka wz. 1996 „Mini Beryl”

Fig. 7. „Mini Beryl” rifle weapon’s jump angle γ versus time t



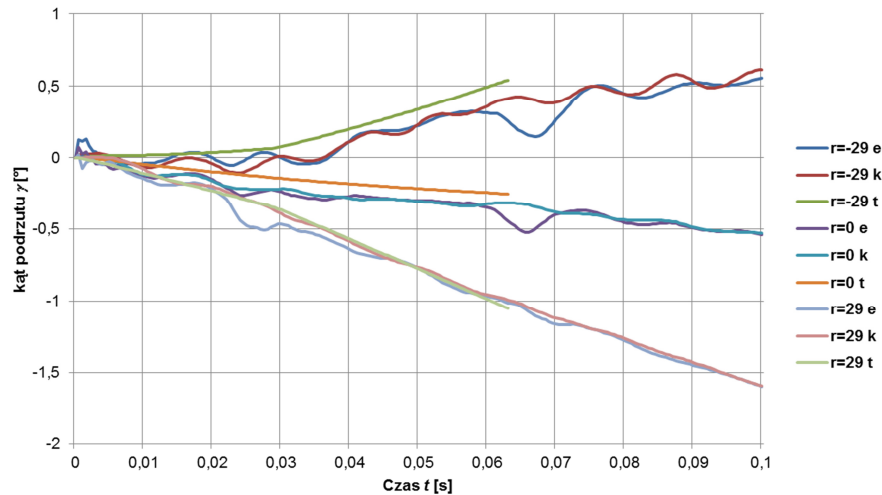
Rys. 8. Wykres kąta podrzutu γ w funkcji czasu t karabinka M16

Fig. 8. M16 rifle weapon’s jump angle γ versus time t

4. PORÓWNANIE WYNIKÓW OTRZYMANYCH RÓŻNYMI METODAMI

W celu porównania wyników badań doświadczalnych z wynikami symulacji (oznaczonymi jako t) nałożono na siebie wykresy kąta podrzutu w funkcji czasu otrzymane oboma metodami (rys. 9-13).

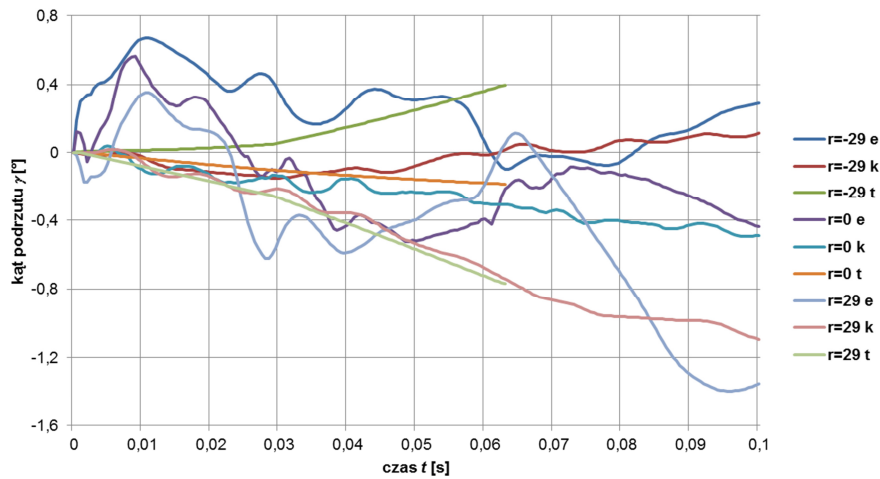
Wykresy teoretyczne sporządzone dla karabinka MSBS-5,56 B-01 mają zbliżony do wykresów eksperymentalnych przebieg (rys. 9). W ramach symulacji uzyskano nieco wyższe wartości bezwzględne kąta podrzutu, co może wynikać z oporów ruchu broni umieszczonej na stanowisku badawczym.



Rys. 9. Wykresy kąta podrzutu γ w funkcji czasu t karabinka MSBS-5,56 B-01 uzyskane różnymi metodami: e – dane z czujnika kąta, k – analiza obrazu z kamery szybkiej, t – symulacja

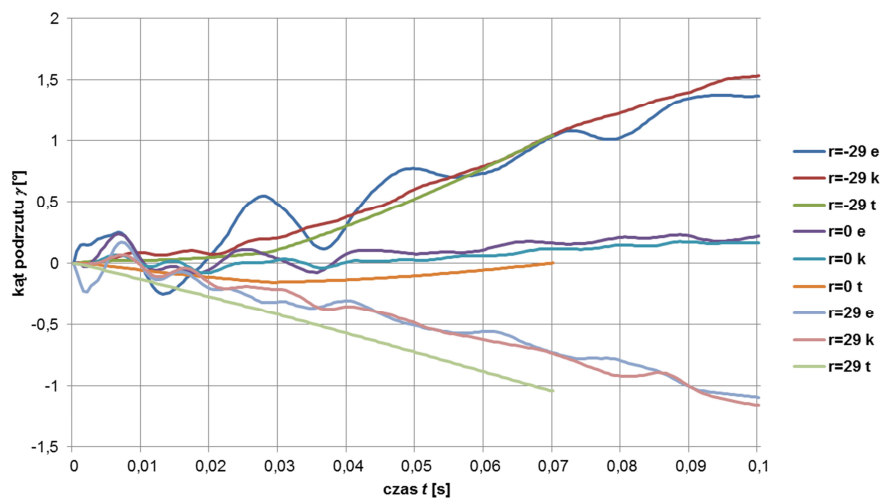
Fig. 9. MSBS-5,56 B-01 rifle weapon's jump angle γ versus time t gained by different methods: e – by the encoder, k – by the high speed camera, t – simulated

W przypadku karabinka MSBS-5,46 K-01 konstrukcja kolby, charakteryzująca się znacznymi luzami, zaburzyła pomiar kąta podrzutu. Mimo wszystko zachodzą widoczne podobieństwa między wynikami symulacji a wykresami uzyskanymi w wyniku eksperymentu (rys. 10).



Rys. 10. Wykresy kąta podrzutu γ w funkcji czasu t karabinka MSBS-5,56 K-01 uzyskane różnymi metodami: e – dane z czujnika kąta, k – analiza obrazu z kamery szybkiej, t – symulacja

Fig. 10. MSBS-5,56 K-01 rifle weapon's jump angle γ versus time t gained by different methods: e – by the encoder, k – by the high speed camera, t – simulated

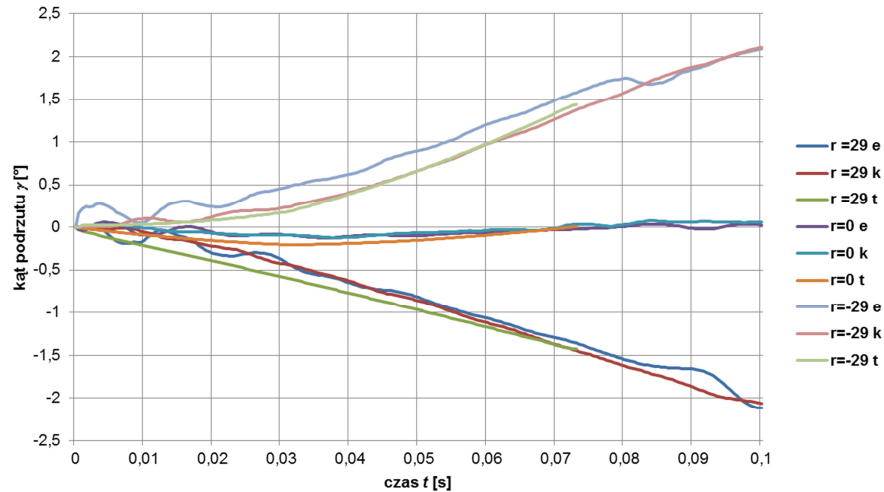


Rys. 11. Wykresy kąta podrzutu γ w funkcji czasu t karabinka „Beryl” uzyskane różnymi metodami: e – dane z czujnika kąta, k – analiza obrazu z kamery szybkiej, t – symulacja

Fig. 11. „Beryl” rifle weapon's jump angle γ versus time t gained by different methods: e – by the encoder, k – by the high speed camera, t – simulated

Symulacje podrzutu karabinka „Beryl” (rys. 11) dają wyniki zbliżone do pomiarów parametrów tego zjawiska wykonanych na stanowisku badawczym.

W przypadku subkarabinka „Mini Beryl” zachodzi bardzo dobra zbieżność wyników teoretycznych z eksperymentalnymi (rys. 12). Wykresy otrzymane różnymi metodami pokrywają się niemal na całej długości.

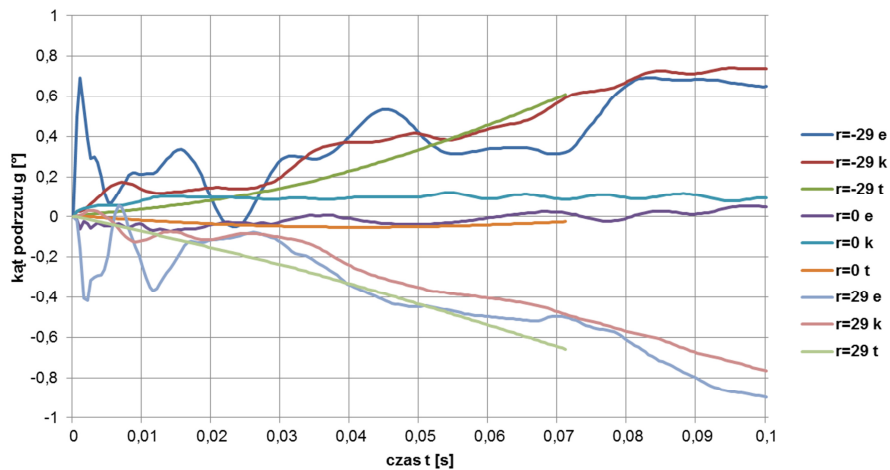


Rys. 12. Wykresy kąta podrzutu γ w funkcji czasu t subkarabinka „Mini Beryl” uzyskane różnymi metodami: e – dane z czujnika kąta, k – analiza obrazu z kamery szybkiej, t – symulacja

Fig. 12. „Mini Beryl” carbine weapon’s jump angle γ versus time t gained by different methods: e – by the encoder, k – by the high speed camera, t – simulated

Teoretyczne i eksperymentalne wykresy kąta podrzutu w funkcji czasu sporządzone dla karabinka M16A1 również wykazują wyraźne podobieństwa (rys. 13). Uzyskane wartości kąta podrzutu są zbliżone, a efekt zderzenia zespołu ruchomego nie jest wyraźny.

W tabeli 1 zestawiono, otrzymane różnymi metodami, wartości kąta podrzutu badanych karabinków w charakterystycznych punktach cyklu pracy automatyki (dojście suwadła w tylne położenie i powrót w położenie przednie). Dominującymi czynnikami wpływającymi na podrzut broni są położenie punktu podparcia broni względem osi przewodu lufy oraz moment bezwładności broni. Daje się również zauważyć, że budowa mechanizmów broni (położenie sprężyny powrotnej względem osi przewodu lufy, odległość komory gazowej od lufy) ma wpływ na przebieg podrzutu. Bardzo dobrą stabilnością (niewielkim podrzutem) wykazał się karabinek M16A1 – jest to wynikiem liniowej konstrukcji broni i braku komory gazowej generującej moment obracający broń.



Rys. 13. Wykresy kąta podrzutu γ w funkcji czasu t karabinka M16A1 uzyskane różnymi metodami: e – dane z czujnika kąta, k – analiza obrazu z kamery szybkiej, t – symulacja

Fig. 13. M16A1 rifle weapon's jump angle γ versus time t gained by different methods: e – by the encoder, k – by the high speed camera, t – simulated

Wykresy utworzone na podstawie wyników badań teoretycznych i doświadczalnych mają zbliżony charakter i są jakościowo zbieżne. Tendencja do dodatniego bądź ujemnego podrzutu broni widoczna na wykresach teoretycznych znajduje swoje potwierdzenie na wykresach eksperymentalnych. Również charakterystyczne punkty wykresów (załamania odpowiadające zderzeniom zespołu ruchomego z komorą zamkową broni) pokrywają się. Uzyskano przy tym bardzo dobrą zbieżność wyników eksperymentalnych z symulacjami, z wyjątkiem karabinka MSBS-5,56 K-01, którego kolba uniemożliwiła uzyskanie wiarygodnych wyników. W przypadku karabinków MSBS-5,56 B-01 oraz „Mini Beryl” różnice między wynikami symulacji a wynikami eksperymentu nie przekraczają 10%. W przypadku karabinków „Beryl” i M16A1 były to różnice wynoszące kilkanaście procent. Różnice między wynikami symulacji a pomiarami mogą być spowodowane niedokładnościami pomiarów (np. objętości komory gazowej lub średnicy otworu gazowego), na podstawie których opracowano dane niezbędne do symulacji.

Większe różnice wynikają z tendencji do wyginania się w czasie strzału i wpadania w drgania dłuższych typów broni (kbk „Beryl” i M16), które zużywają część energii powodującej podrzut broni. Można jednak zniwelować te różnice, zwiększając przyjęty do obliczeń moment bezwładności broni.

Tabela 1. Porównanie parametrów podrzutu uzyskanych w drodze eksperymentu oraz symulacji komputerowych: e – dane z czujnika kąta, k – analiza obrazu z kamery szybkiej, t – symulacja

Table 1. Comparison of the weapon's jump angle parameters gained by different methods: e – by the encoder, k – by the high speed camera, t – simulated

Typ broni		Kąt podrzutu w chwili dojścia suwadła w tylne położenie χ [°]			Kąt podrzutu w chwili powrotu suwadła w przednie położenie χ_p [°]		
		$r = -29$ mm	$r = 0$ mm	$r = 29$ mm	$r = -29$ mm	$r = 0$ mm	$r = 29$ mm
MSBS-5,56 B-01	e	0,031	-0,227	-0,466	0,255	-0,443	-1,011
	k	0,011	-0,221	-0,357	0,416	-0,317	-0,990
	t	0,065	-0,144	-0,348	0,540	-0,254	-1,049
MSBS-5,56 K-01	e	0,392	-0,106	-0,511	-0,099	-0,200	-0,082
	k	-0,152	-0,136	-0,218	0,026	-0,308	-0,751
	t	0,051	-0,105	-0,255	0,396	-0,186	-0,769
„Beryl”	e	0,472	0,006	-0,316	1,038	0,161	-0,738
	k	0,199	0,011	-0,210	1,051	0,118	-0,737
	t	0,105	-0,152	-0,401	1,045	0,003	-1,039
„Mini Beryl”	e	0,444	-0,088	-0,397	1,581	-0,022	-1,360
	k	0,217	-0,091	-0,430	1,376	0,035	-1,447
	t	0,177	-0,203	-0,587	1,438	0,004	-1,430
M16	e	0,289	0,005	-0,234	0,329	0,154	-0,505
	k	0,334	0,087	-0,157	0,603	0,088	-0,491
	t	0,187	-0,051	-0,285	0,610	-0,024	-0,660

5. PODSUMOWANIE

Wyniki badań teoretycznych podrzutu automatycznej broni strzeleckiej ujawniły istotny wpływ mechanizmów broni na przebieg zjawiska podrzutu. Szczególnie istotna okazała się konstrukcja węzła gazowego i urządzenia powrotnego. Węzeł gazowy generuje moment wzmagający lub hamujący podrzut, o wielkości zależnej od konstrukcji komory gazowej oraz odległości jej osi od punktu podparcia broni. Urządzenie powrotne również wytwarza moment wzmagający lub hamujący podrzut, zależnie od jego położenia względem punktu podparcia broni. Odpowiada ono również za przebieg zderzenia zespołu ruchomego broni z komorą zamkową w chwili dojścia suwadła w tylne położenie.

To właśnie konstrukcja wymienionych mechanizmów odpowiada za tendencję do podrzutu ujemnego, jaką wykazały karabinki MSBS-5,56 oraz za nietypowy (wychylenie w dół, a następnie powrót do położenia wyjściowego) przebieg podrzutu w przypadku karabinków „Beryl” i „Mini Beryl”.

Z punktu widzenia strzelca optymalna wydaje się sytuacja, kiedy konstrukcja broni umożliwia takie złożenie się do strzału, aby broń podparta była w osi przewodu lufy. Urządzenie powrotne i zderzak powinny być ustawione w osi przewodu lufy i tak skonstruowane, żeby zminimalizować skutki zderzenia zespołu ruchomego broni z komorą zamkową. Zminimalizuje to moment generowany przez siłę od sprężyny powrotnej oraz skok prędkości podrzutu przy zderzeniu suwadła z komorą zamkową. Komora gazowa powinna natomiast znajdować się jak najbliżej osi przewodu lufy i być tak skonstruowana, aby siła od ciśnienia gazów prochowych działających na przednią ścianę komory była jak najmniejsza. Wszystko to w sumie pozwoli uzyskać najniższe (najkorzystniejsze z punktu widzenia strzelca) wartości parametrów podrzutu.

W celu zweryfikowania wyników symulacji przeprowadzono badania eksperymentalne na specjalnie skonstruowanym stanowisku laboratoryjnym, które umożliwia pomiar kąta podrzutu. Uzyskane w ten sposób wyniki badań eksperymentalnych tylko nieznacznie odbiegają od wyników symulacji. Wyznaczony kąt podrzutu jest o około 10% większy niż uzyskany na drodze symulacji, a charakterystyki $\gamma(t)$ uzyskane przy użyciu programów symulacyjnych są zbliżone do eksperymentalnych.

W kolejnym etapie zostanie przeanalizowany wpływ konstrukcji urządzenia powrotnego, a zwłaszcza zderzaka, na charakterystykę podrzutu broni.

Artykuł zawiera wyniki pracy finansowanej ze środków na rozwój młodych naukowców w roku 2013 jako projekt badawczy nr RMN 864/2013.

LITERATURA

- [1] Kochański S., *Badania broni strzeleckiej: laboratorium*, Wydawnictwa Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 1990.
- [2] Szmít Ł., Torecki S., Model matematyczny podrzutu broni działającej na zasadzie odprowadzenia gazów prochowych, *Problemy mechatroniki. Uzbrojenie, lotnictwo, inżynieria bezpieczeństwa*, nr 2 (2), 2010, s. 51-64, WAT, Warszawa, 2010.
- [3] Szmít 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.

- [4] Szmit Ł., Woźniak R., Specificity of Design and Action of the Weapon's Jump and Recoil Laboratory Test Stand, *materiały konferencyjne 17 Międzynarodowej Konferencji „Vyzbroj a Technika Pozemnych Sil 2011”*, płyta CD, s. 145, Liptowski Mikulasz, 2011.
- [5] Szmit Ł., Woźniak R., Wykorzystanie komputerowych programów inżynierskich w pracach konstrukcyjnych nad stanowiskiem do badań wybranych charakterystyk broni strzeleckiej, *Mechanik*, płyta CD, nr 7, 2011.

Theoretical and Experimental Studies at the Weapon's Jump of the Automatic Small Arms

Jacek KIJEWSKI, Łukasz SZMIT

Abstract. This paper presents the results of theoretical and experimental studies at the weapon's jump of the chosen models of automatic firearms. Results of the theoretical studies were gained by the simulations made with the physical and mathematical models prepared during the research. Experimental studies included live fire tests on the specially built laboratory test stand. The results showed that the weapon's jump is strongly affected by the moving parts of the automatic firearm.

Keywords: mechanics, ballistics, weapon design, firearms tests, small arms, rifle

