



Helowy układ miotający*

Jacek JANISZEWSKI, Zbigniew SURMA, Michał GRAŻKA

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

Streszczenie. W pracy przedstawiono konstrukcję helowego układu miotającego, przeznaczonego do badań głównie z zakresu balistyki końcowej oraz mechaniki deformacji ciał stałych w warunkach udarowego obciążenia. Wykorzystując zbudowany układ, przeprowadzono badania doświadczalne, mające na celu określenie jego zdolności do miotania pocisków. Stwierdzono, że za pomocą opracowanego układu miotającego możliwe jest napędzanie modelowych pocisków z prędkościami przewyższającymi prędkości pocisków pistoletowych.

Słowa kluczowe: mechanika, helowy układ miotający, badania dynamiczne materiałów

1. WSTĘP

Badania dotyczące amunicji lub sprzętu uzbrojenia obejmują często tzw. testy dynamiczne, podczas których występuje konieczność miotania ciał z dużymi prędkościami. W warunkach Wojskowej Akademii Technicznej tego typu testy są wykonywane na stanowiskach laboratoryjnych, w których stosuje się pirotechniczne układy miotające. Z wielu względów – między innymi technicznych, ekologicznych lub ekonomicznych ten sposób miotania ciał posiada liczne ograniczenia. Alternatywą dla pirotechnicznych układów miotających są układy pneumatyczne zwane potocznie działami gazowymi. Ten sposób miotania jest typowym przykładem laboratoryjnego układu miotającego. Charakteryzuje się bardzo dużą uniwersalnością i łatwością w eksploatacji.

* Artykuł był prezentowany na VIII Międzynarodowej Konferencji Uzbrojeniowej nt. „Naukowe aspekty techniki uzbrojenia i bezpieczeństwa”, Pułtusk, 6-8 października 2010 r.

Ze względu na swoje cechy, jest ono szczególnie przydatne w prowadzeniu różnorodnych badań balistycznych. Ponadto, badania z wykorzystaniem działa gazowego nie wymagają przestrzegania tak rygorystycznych warunków BHP, z jakimi mamy do czynienia w czasie badań z użyciem prochowych układów miotających.

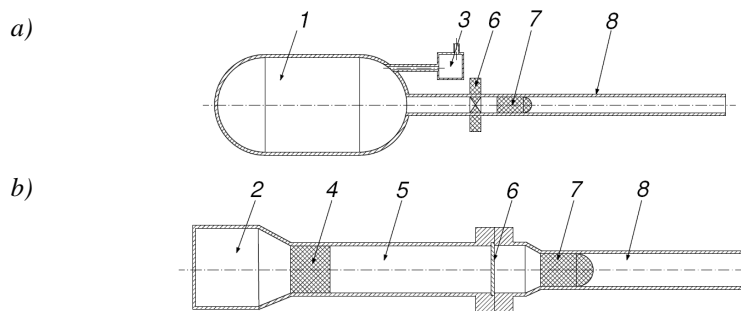
Gazowe układy miotające umożliwiają rozpędzenie pocisku do prędkości od kilku metrów do kilku kilometrów na sekundę [1, 2]. W urządzeniach tych jako czynnik roboczy wykorzystuje się różnego rodzaju gazy, które są doprowadzone do układu z zewnątrz, na przykład z butli wysokiego ciśnienia. Najczęściej wykorzystywanym czynnikiem roboczym są gazy lekkie, takie jak: hel, wodór. W laboratoriach badawczych najczęściej stosuje się jedno- lub dwustopniowe układy miotające.

Jednostopniowe działa gazowe to układy o prostej budowie (rys. 1a), które umożliwiają osiągnięcie prędkości pocisku do około 1000 metrów na sekundę. Prędkość ta umożliwia zastosowanie tych układów tam, gdzie do tej pory były używane prochowe układy miotające, w których źródłem energii jest proch strzelecki. Jednostopniowy układ miotający jest zbudowany najczęściej z komory wysokiego ciśnienia, w której hel bądź inny gaz lekki ulega kompresji. Sprężony gaz można pozyskać dzięki sprężarkom wysokich ciśnień bądź z odpowiedniej butli. Gaz taki tłoczony jest do komory wstępnej, oddzielonej od pocisku membraną lub zaworem spustowym. Odpowiednia wartość ciśnienia powoduje zerwanie membrany (otwarcie zaworu spustowego) i uwolnienie określonej ilości gazu. Gaz ten rozprężając się, powoduje napędzanie pocisku do żądanej prędkości.

Kolejnym rozwiązaniem są dwustopniowe pneumatyczne układy miotające (rys. 1b). Pozwalają one na uzyskanie bardzo dużych prędkości pocisków, przekraczających nawet 8,5 km/s. Jednakże ich konstrukcja jest bardziej skomplikowana i stwarza wiele problemów eksploatacyjnych.

Dwustopniowy układ miotający ogólnie składa się z komory (pierwszego stopnia działa), w której następuje spalanie ładunku prochowego. Powstałe w ten sposób gazy prochowe napędzają tłok, który przesuwa się w zamkniętym cylindrze (drugi stopień działa) pełniącym funkcję komory kompresyjnej. Przemieszczający się tłok powoduje kompresję gazu lekkiego i wzrost jego temperatury, w wyniku czego dodatkowo rośnie prężność sprężanego gazu. Dzięki tym zjawiskom w komorze drugiego stopnia uzyskuje się bardzo duże ciśnienie, które rozrywa odpowiednio dobraną membranę, a następnie napędza pocisk poruszający się w lufie, w której wcześniej wytworzono próżnię.

W związku z przedstawionymi cechami pneumatycznych układów miotających oraz dużym zapotrzebowaniem na tego typu urządzenie miotające, w Instytucie Techniki Uzbrojenia WAT zrodziła się idea opracowania jednostopniowego, helowego układu miotającego umożliwiającego napędzanie pocisków do prędkości ok. 1000 m/s.



Rys. 1. Schematy dział gazowych: a) z jednym stopniem zasilania, b) z dwustopniowym układem napędzania: 1 – zbiornik z gazem, 2 – komora z ładunkiem prochowym, 3 – kompresor, 4 – tłok, 5 – komora kompresyjna, 6 – membrana, 7 – pocisk, 8 – lufa

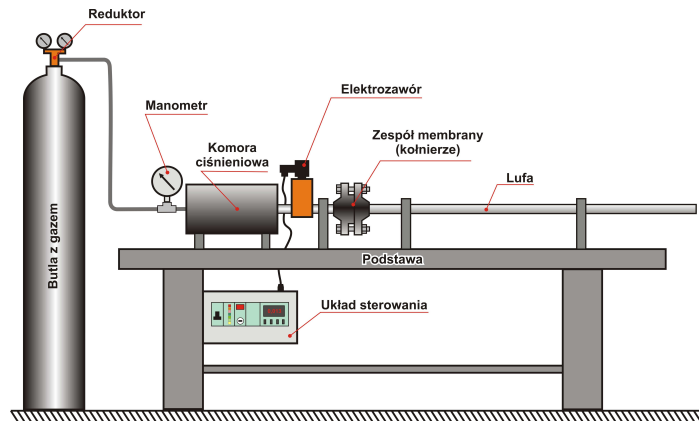
Fig. 1. Schematic diagrams of the gas guns: a) one stage gas gun, b) two stage gas gun: 1 – gas tank, 2 – powder chamber, 3 – compressor, 4 – piston, 5 – pump tube, 6 – rupture disc, 7 – projectile, 8 – barrel

W niniejszym artykule, w części pierwszej, przedstawiono konstrukcję helowego układu miotającego, który został opracowany w ramach statutowej działalności naukowej Wydziału Mechatroniki. Z kolei w drugiej części pracy zaprezentowano wybrane wyniki testów dynamicznych, które ilustrują zdolności opracowanego układu do napędzania pocisków o różnym kształcie. W ostatniej części artykułu dokonano podsumowania, w którym zawarto informacje dotyczące potencjalnych zastosowań badawczych zbudowanego układu miotającego.

2. KONSTRUKCJA HELOWEGO UKŁADU MIOTAJĄCEGO

Projekt konstrukcji helowego układu pneumatycznego przewidywał zbudowanie jednostopniowego układu miotającego zasilanego helem z butli o ciśnieniu około 23 MPa. W przypadku testów z małymi prędkościami (do 100 m/s), do napędzania pocisków przewidziano zastosowanie sprężonego powietrza o ciśnieniu 0,15 MPa. W wyniku dalszych prac projektowych opracowano konstrukcję układu miotającego, której schemat przedstawiono na rysunku 2. Układ składa się z lufy gładkościennej o kalibrze 12,1 mm i długości 1200 mm lub 2400 mm. Za pomocą połączenia gwintowego lufa jest łączona z zespołem membrany składającej się z dwóch kołnierzy, wewnątrz których zaprojektowano wnęki do mocowania wymiennej membrany spiętrzającej gaz. Ponadto w bocznej ścianie jednego z kołnierzy, w przestrzeni przed membraną, wykonano gniazdo pod piezoelektryczny czujnik ciśnienia. Na wejściu do zespołu membrany zamocowany jest elektrozawór charakteryzujący się stosunkowo krótkim czasem otwarcia, wynoszącym około 400 μ s.

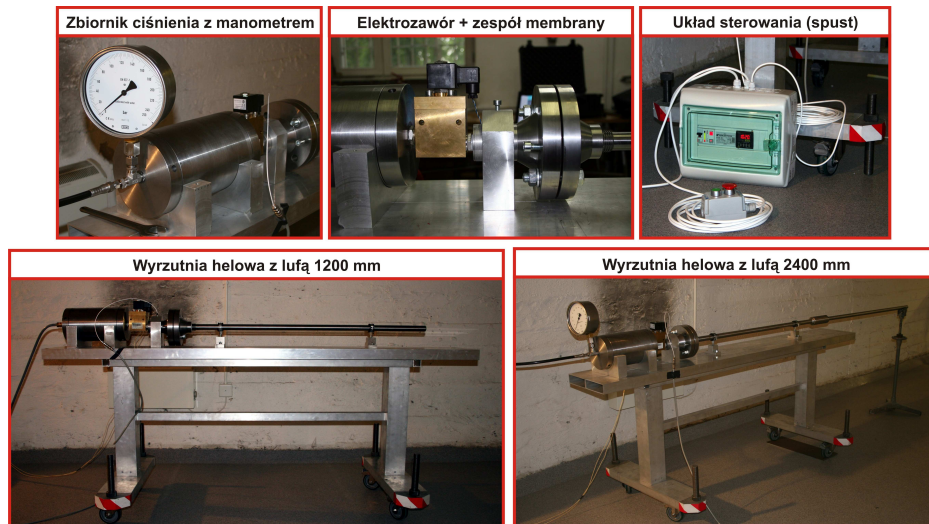
Elektrozawór jest następnie podłączony do komory ciśnieniowej, którą wykonano z grubościennej rury zamkniętej dwoma masywnymi pokrywami. Pokrywy z rurą połączone są za pomocą połączenia gwintowego, którego szczelność zapewniono, stosując uszczelki typu O-ring. Dodatkowo w pokrywach wykonano gniazda gwintowane umożliwiające połączenie komory z elektrozaworem oraz manometrem z przewodem zasilającym w gaz. Pojemność wykonanego zbiornika ciśnieniowego wyniosła około $0,0022 \text{ m}^3$ i została tak dobrana, aby jego objętość wielokrotnie przewyższała objętość przewodu lufy. Stosunek objętości zbiornika do objętości lufy krótkiej i długiej wynosi odpowiednio 16 i 8.



Rys. 2. Schemat konstrukcji helowego układu miotającego

Fig. 2. Scheme of the one stage gas gun

Wymienione wyżej podzespoły w całości zamontowano na wykonanej z profili aluminiowych podstawie, którą wyposażono w zestaw kołowy umożliwiający jej przemieszczanie w tunelu balistycznym. Doprowadzenie helu do komory ciśnieniowej zrealizowano za pomocą zbrojonego przewodu giętkiego. Ciśnienie w komorze jest regulowane za pomocą reduktora, który zamontowano na butli z helu. W skład układu miotającego wchodzi także zespół sterowania, który umożliwia precyzyjną kontrolę czasu otwarcia elektrozaworu. Fotografie helowego układu miotającego przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 3. Widok helowego układu miotającego

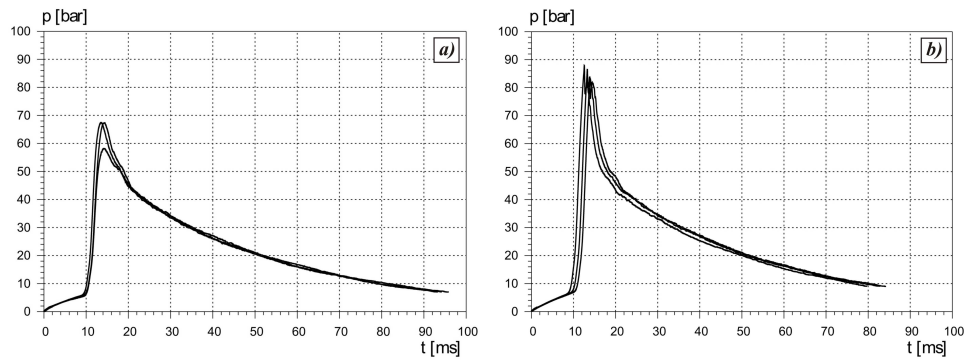
Fig. 3. Pictures of the one stage gas gun

3. TESTY DYNAMICZNE HELOWEGO UKŁADU MIOTAJĄCEGO

W celu zbadania podstawowych charakterystyk określających zdolności miotające opracowanego działka helowego przeprowadzono wiele testów strzelaniem w różnych konfiguracjach badawczych. Testy wykonano przy ciśnieniach helu od 5 do 15 MPa, przy czym jedna seria prób została przeprowadzona bez stosowania membrany, z kolei w drugiej, dla wybranych ciśnień helu, użyto membran wykonanych z blachy aluminiowej lub miedzianej. Przetestowano układ z lufą o długości 1200 mm, a następnie 2400 mm. W badaniach zastosowano pociski teflonowe w kształcie walca o średnicy 12,05 mm i długości 20 mm, których masa wynosiła około 5 g.

Podczas testów rejestrowano zmiany ciśnienia gazu w przestrzeni zapociskowej lufy oraz prędkość V_2 pocisku (środek bazy pomiarowej był oddalony o 2 m od płasku wylotowego lufy). Ciśnienie rejestrowano za pomocą aparatury pomiarowej, która standardowo jest używana w badaniach z zakresu balistyki wewnętrznej [3], natomiast prędkość V_2 pocisków wyznaczano za pomocą bariery optycznej B-470 austriackiej firmy AVL współpracującej z czasomierzem cyfrowym PFL-21.

Wykresy ciśnienia gazu (helu) w przestrzeni zapociskowej lufy podczas strzału przedstawiono na rysunkach 4a i 4b.



Rys. 4. Wykresy ciśnienia helu w przestrzeni zapociskowej lufy przy ciśnieniu w zbiorniku ok. 10 MPa: a) bez membrany, b) z membraną aluminiową o grubości 0,5 mm

Fig. 4. Pressure-time curves of helium in the barrel during single shot (pressure in the gas tank – 10 MPa): a) no rupture disc, b) rupture disc thickness of 0,5 mm

Na podstawie przedstawionych wykresów ciśnienia można stwierdzić, że maksymalne ciśnienie p_{\max} w przestrzeni zapociskowej, w przypadku testów bez membrany, jest niższe o ponad 3 MPa od ciśnienia zadanego p_{zd} (ciśnienia w zbiorniku). Zjawisko to zaobserwowano również podczas pozostałych testów, które wykonano przy innych wartościach ciśnienia zadanego p_{zd} (tab. 1), przy czym stwierdzono, że w miarę wzrostu ciśnienia zadanego, stosunek ciśnień p_{zd}/p_{\max} rośnie od wartości 1,25 dla $p_{zd} = 5$ MPa, do 1,7 dla $p_{zd} = 13$ MPa. Zestawione w tabeli 1 wyniki potwierdzają przewidywania dotyczące powstawania zaburzeń w przepływie helu i tzw. dławienia ciśnienia. Główną przyczyną dławienia wydaje się uskok w kanale przepływowym elektrozaworu, który wywołuje turbulencje w przepływie gazu. Ponadto sądzi się, że czas otwarcia elektrozaworu jest na tyle długi, że zanim nastąpi jego całkowite otwarcie, pocisk już zaczyna przyspieszać i dochodzi do rozprężenia helu.

Tabela 1. Wyniki pomiarów dla układu miotającego bez membrany, z lufą o długości 1200 mm

Table 1. Mean, experimental results of: maximum pressure p_{\max} , projectile velocity V_2 and starting pressure p_{zd} . Barrel length of 1200 mm. Gas gun without rupture disc

Ciśnienie zadane w zbiorniku p_{zd} [MPa]	Średnie ciśnienie maksymalne w lufie p_{\max} [MPa]	Średnia prędkość pocisku V_2 [m/s]
5	4	342
7,5	5,4	408
10	6,4	463
13	7,6	496

Te niekorzystne zjawiska można ograniczyć poprzez zastosowanie membrany spiętrzającej gaz w przestrzeni znajdującej się bezpośrednio za pociskiem, co zostało przewidziane w projekcie wyrzutni. Potwierdzeniem tego są wykresy ciśnienia przedstawione na rysunku 4b, z których wynika, że zastosowanie membrany zmniejsza różnicę pomiędzy ciśnieniem zadaniem p_{zd} a ciśnieniem maksymalnym p_{max} w przestrzeni zapociskowej do około 1,4 MPa. Także wyniki zestawione w tabeli 2 dowodzą, że zastosowanie membrany w znaczący sposób zwiększa sprawność napędzania i osiągnięte dzięki temu prędkości pocisków.

Tabela 2. Wyniki pomiarów dla układu miotającego z membraną, z lufą o długości 1200 mm

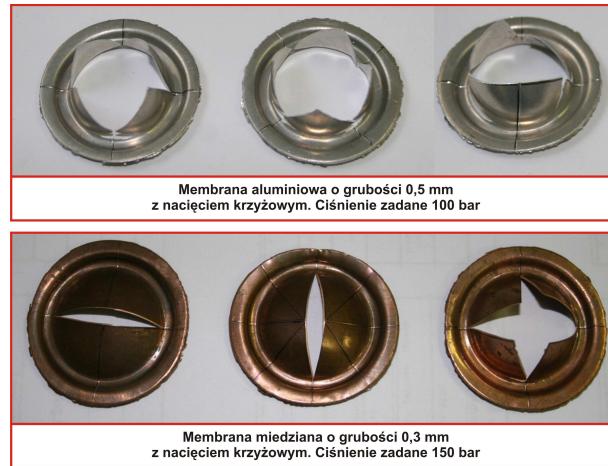
Table 2. Mean, experimental results of: maximum pressure p_{max} , projectile velocity V_2 and starting pressure p_{zd} . Barrel length of 1200 mm. Gas gun with aluminum and copper rupture disc

Ciśnienie zadane w zbiorniku p_{zd} [MPa]	Rodzaj membrany	Średnie ciśnienie maksymalne w lufie p_{max} [MPa]	Średnia prędkość pocisku V_2 [m/s]
10,0	Al gr. 0,5 mm	8,6	488
11,4	Al gr. 0,5 mm	9,2	523
14,0	Al gr. 0,5 mm	8,8	534
15,0	Cu gr. 0,3 mm	14,2*	570*
	Cu gr. 0,3 mm	11,5*	542*
	Cu gr. 0,3 mm	12,0*	545*

* Wartość otrzymana dla pojedynczego testu

Podczas badań układu miotającego z membranami stwierdzono, że niezależnie od ciśnienia w zbiorniku p_{zd} membrana aluminiowa z nacięciem krzyżowym (rys. 5) pękała przy podobnym ciśnieniu p_{max} (tab. 2), przy czym obserwowano wzrost prędkości wylotowej pocisku w miarę wzrostu ciśnienia w zbiorniku ciśnieniowym. Z kolei membrany z blachy miedzianej o grubości 0,3 mm posiadające nacięcie krzyżowe pękały przy znacznie różniących się ciśnieniach p_{max} , pomimo stosowania podczas testów jednakowego ciśnienia $p_{zd} = 15$ MPa w zbiorniku ciśnieniowym.

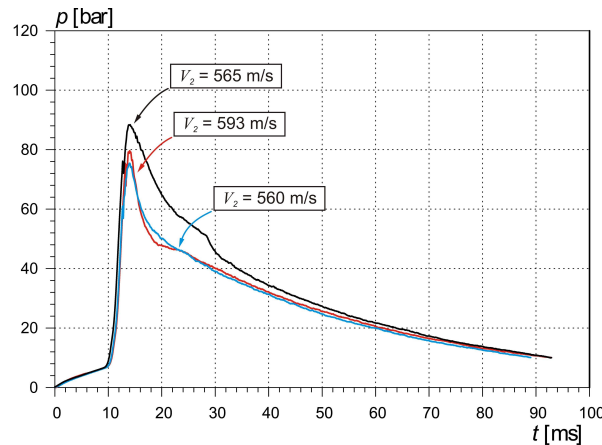
Przyczyną tego jest niepełne pęknięcie membrany miedzianej (rys. 5), wynikające z właściwości mechanicznych miedzi, która w warunkach dynamicznego odkształcenia wykazuje duży wzrost współczynnika umocnienia przy zachowaniu stosunkowo dużej ciągliwości. Cechy te uniemożliwiają szybką lokalizację odkształceń i powstawanie pęknięć pomimo istniejących na powierzchni nacięć (karbów). Z powyższych obserwacji wynika, że bardziej pożądane cechy wykazują membrany aluminiowe, które rozrywają się wzdłuż wykonanych nacięć (rys. 5) i zazwyczaj w pełni otwierają kanał przepływowy prowadzący do przewodu lufy.



Rys. 5. Widok membran miedzianych i aluminiowych po testach

Fig. 5. Pictures of aluminum (top) and copper (bottom) rupture disc after shot

W analogiczny sposób dla ciśnienia $p_{zd} = 10$ MPa wykonano testy z układem miotającym, wyposażonym w membranę aluminiową o grubości 0,5 mm i lufę o długości 2400 mm. Wyniki tych badań przedstawiono na rysunku 6. Zgodnie z oczekiwaniami, odnotowano w porównaniu z analogicznymi testami z lufą krótką (1200 mm) wyraźny wzrost prędkości V_2 , wynoszący ok. 85 m/s. Wzrost prędkości pocisków jest oczywistą konsekwencją dłuższej drogi (a także czasu) napędzania. Podczas tych testów ujawnił się także wyraźnie wpływ wykonania nacięć krzyżowych na powierzchniach użytych membran. W przypadku testu reprezentowanego przez krzywą ciśnienia zaznaczoną kolorem czarnym, pomimo pęknięcia membrany przy najwyższym spośród zarejestrowanych ciśnień ($p_{max} = 8,9$ MPa), nie otrzymano największej prędkości pocisku. Przyczyną tego było dławienie ciśnienia w przewodzie lufy wywołane przypadkowym i niecałkowitym rozerwaniem membrany. Przypuszcza się, że było to konsekwencją nieprawidłowego wykonania nacięcia krzyżowego.



Rys. 6. Wykresy ciśnienia helu w przestrzeni zapociskowej lufy przy ciśnieniu w zbiorniku ok. 10 MPa dla układu miotającego z membraną aluminiową o grubości 0,5 mm i lufą o długości 2400 mm

Fig. 6. Pressure-time curves of helium in the barrel during single shot (pressure in the gas tank – 10 MPa). Barrel length 2400 mm, rupture disc thickness of 0,5 mm

4. PODSUMOWANIE

Przedstawione w niniejszym artykule wyniki badań doświadczalnych pokazują możliwości opracowanego układu miotającego oraz ujawniają problemy, jakie powinny być rozwiązane w celu zwiększenia sprawności układu (osiągania wyższych prędkości pocisków). Wydaje się, że kluczowym czynnikiem umożliwiającym dalsze zwiększanie zdolności miotających opracowanego układu jest odpowiedni dobór materiału membrany oraz kształt i sposób wykonania na niej nacięć. Dotychczasowe osiągnięcia helowego układu miotającego wydają się zadowalające (654 m/s przy ciśnieniu 12,8 MPa). Zbudowane działo gazowe jest proste i bezpieczne w użytkowaniu oraz gwarantuje szybkostrzelność na poziomie 1 strzału na 5 minut.

LITERATURA

- [1] Meyers M.A., *Dynamic Behaviour of Materials*. Johns Wiley and Sons, INC, New York – Chichester – Brisbane – Toronto – Singapoure, 1994.
- [2] Zukas J.Z., Nichlas T., Swift H.F., Greszczuk L.B., Curran D.R., *Impact Dynamics*, A Wiley-Interscience Publication, John Wiley & Sons, New York – Chichester – Brisbane – Toronto – Singapore, 1982.

- [3] Grązka M., Janiszewski J., Surma Z., Sprawozdanie merytoryczne z pracy PBW GD 689, *Budowa i badania działa pneumatycznego*, WAT, Warszawa, 2010.

Helium Gas Gun

Jacek JANISZEWSKI, Zbigniew SURMA, Michał GRAZKA

Abstract. The structure of the light gas gun for terminal ballistics and high-strain-rate study of materials is described in this paper. Initial experimental investigations were performed to evaluate the capability of developed gas gun to acceleration of projectiles to high lurching velocity. The obtained results revealed that due to developed set-up, the lurching velocities could considerably exceeded pistols round speeds. Maximum lurching velocity achieved up to now by the use of developed helium gas gun is 654 m/s.

Keywords: mechanics, one-stage light gas gun, dynamic tests of materials