



## IDENTYFIKACJA DOŚWIADCZALNA SIŁY WYMUSZAJĄCEJ ODRZUT MYŚLIWSKIEJ BRONI GŁADKOLUFOWEJ KAL. 12/70

### *EXPERIMENTAL IDENTIFICATION OF THE FORCE CAUSING THE RECOIL OF 12/70 SMOOTHBORE HUNTING FIREARM*

Marcin BAJKOWSKI, Janusz KANIEWSKI, Marek RADOMSKI  
Politechnika Warszawska  
Warsaw University of Technology

**Streszczenie:** Przedstawiono wyniki badań mających na celu wyznaczenie siły wymuszającej odrzut gładkolufowej broni myśliwskiej kal. 12/70. Badaniami objęto dwa typy amunicji: kulową Big Game Palla B&P, z pociskiem typu Brenneke i Mythos 40 Valle, z ładunkiem śrutu. Doświadczalnie wyznaczono cechy konstrukcyjne amunicji, jak: masa pocisku umownego (pocisk i przybitka lub ładunek śrutu i koszyczek), masa ładunku prochu itd. Następnie wykonano dla każdego typu naboju po jednej serii strzelań z ciśnieniowej broni balistycznej. Zarejestrowane podczas tych badań przebiegi ciśnienia w funkcji czasu posłużyły do obliczenia siły wymuszającej odrzut broni. Otrzymane wyniki mogą być wykorzystane w procesie projektowania amortyzatora odrzutu lub podstawy dla badanej broni kal. 12/70, w tym do sformułowania założeń projektowych dla sterowanego tłumika z cieczą magnetoreologiczną (MR).

**Słowa kluczowe:** balistyka, broń gładkolufowa, siła odrzutu

### 1. Wstęp

Analiza ruchu i wzajemnego oddziaływania układu mechanicznego strzelca - broń palna są od dawna przedmiotem badań [1 - 6], gdyż reakcje fizyczne i odczucia psychiczne strzelającego mają istotny wpływ na funkcjonalność omawianego układu, w tym na celność [7, 8]. Problematyka ta nabiera szczególnego znaczenia w

**Abstract:** Results of investigations focused on determination of the force causing the recoil of 12/70 calibre smoothbore hunting firearm are presented. Two types of ammunition were tested: ball type Big Game Palla B&P with Brenneke round and Mythos 40 Valle with the charge of shots. Following designing characteristics of the ammunition were experimentally determined: mass of the agreed equivalent of the round (round and the wad or shots and the basket wad), mass of powder charge, etc. Next a series of shots was fired from a ballistic pressure weapon for each type of cartridges. The graphs of the pressure in function of time were registered during these tests and used to calculate the force enforcing the recoil of the firearm. The received results may be used in designing process for a recoil absorber or a mount for the tested weapon of 12/70 calibre, including preparation of designing specifications for a controlled damper with magnetorheological fluid (MR).

**Keywords:** ballistics, smoothbore firearm, recoil force

### 1. Introduction

Analysis of motion and mutual mechanical interaction in the system of shooter - firearm has been investigated since long ago [1 - 6] as the physical reactions and psychological impressions have a significant impact to the functionality of the said system including the accuracy [7, 8]. These questions may become of a great importance at firing the

przypadku strzelania z broni charakteryzującej się dużą energią odrzutu, jak gładkolufowa broń myśliwska. Warunkiem koniecznym dokonania takiej analizy jest znajomość przebiegu siły wymuszającej odrzut, w funkcji czasu. W literaturze można znaleźć wiele metod teoretycznych [9], teoretyczno-doświadczalnych [1, 2, 5, 10] i empirycznych [11], które pozwalają rozwiązać ten problem.

W dalszej części przedstawiono teoretyczno-doświadczalną metodę wyznaczania przebiegu siły wymuszającej odrzut, w funkcji czasu oraz uzyskane za jej pomocą wyniki [12], dla gładkolufowej broni myśliwskiej kal. 12/70. Badaniem objęto dwa typy amunicji myśliwskiej, to jest: kulową Big Game Palla B&P, z pociskiem typu Brenneke i Mythos 40 Valle, z ładunkiem śrutu. W ramach prowadzonych badań, wyznaczono również doświadczalnie cechy konstrukcyjne amunicji, jak: masa pocisku umownego (pocisk i przybitka lub ładunek śrutu i koszyczek), masa ładunku prochu itd.

## 2. Badania cech konstrukcyjnych nabojów

Celem badań było doświadczalne wyznaczenie masy naboju, pocisku umownego, łuski i ładunku miotającego. Badania obejmowały dwa typy amunicji kal. 12/70, to jest kulową Big Game Palla B&P, z pociskiem typu Brenneke i Mythos 40 Valle z ładunkiem śrutu. Naboje do badań wybrano losowo z partii po 20 szt. Każdy nabój zważono z dokładnością do 1 mg, za pomocą wagi laboratoryjnej. Po zważeniu nabojów, wszystkie wybrane naboje rozcalono i zważono każdy pocisk umowny, ładunek prochowy i łuskę z dokładnością do 1 mg. Wyniki pomiarów zestawiono w tabelach 2.1 i 2.2.

Ponadto obliczono objętość komory ładunkowej  $W_0$  na podstawie zmierzonych wymiarów komory ładunkowej, która wynosiła  $3,62 \text{ cm}^3 \pm 0,005 \text{ cm}^3$ , dla nabojów kulowych Big Game Palla B&P i  $3,65 \text{ cm}^3 \pm 0,005 \text{ cm}^3$ , dla amunicji śrutowej Mythos 40 Valle.

arm that is characterised by such high energy of recoil as is typical for the smoothbore hunting guns. A necessary condition for carrying out the analysis is to know the run of the force causing the recoil in the function of time. The literature provides many methods of theoretical [9], theoretical - experimental [1, 2, 5, 10] and experimental [11] character to find the solution of this issue.

In the next part of the paper is presented the theoretical-experimental method determining the run of the force, causing the recoil, in the function of time, with the results received by using it [12] for the smoothbore hunting gun of 12/70 calibre. Two types of hunting ammunition were tested i.e.: the ball type Big Game Palla B&P with the projectile Brenneke and Mythos 40 Valle charged by the shots. In the frame of carried out experiments there were also determined the ammunition specific properties such as: the mass of agreed projectile equivalent (ball and the wad or charge of shot and the basket), mass of the powder charge, etc.

## 2. Investigation of cartridge design properties

The aim of investigation was to establish experimentally the masses of the cartridge, the equivalent of the projectile, case and the projecting charge. The tests were carried out for two types of 12/70 calibre ammunition including the ball type Big Game Palla B&P with the projectile Brenneke and Mythos 40 Valle charged by the shots. There were 20 cartridges selected randomly from a lot for testing. Each cartridge was weighed with the accuracy of 1 mg on the laboratory scales. After weighing all cartridges were disassembled and each equivalent projectile, powder charge and case were weighed with the accuracy of 1 mg. The results of measurements are presented in tables 2.1 and 2.2.

Then the volume  $W_0$  of the loading chamber was calculated on the base of its measured dimensions and it is  $3.62 \text{ cm}^3 \pm 0.005 \text{ cm}^3$  for the ball cartridges Big Game Palla B&P and  $3.65 \text{ cm}^3 \pm 0.005 \text{ cm}^3$  for the shot ammunition Mythos 40 Valle.

Tabela 2.1. Wyniki badań cech konstrukcyjnych nabojów z pociskiem typu Brenneke [13]

*Table 2.1. Measurements results of designing characteristics for cartridges with Brenneke round [13]*

Lp. No.	Masy / Masses [g]			
	Naboju <i>Cartridge</i>	Pocisku umownego <i>Equivalent round</i>	Łuski <i>Case</i>	Prochu <i>Powder</i>
1	43,21	32,89	8,36	1,97
2	43,00	32,87	8,17	1,96
3	43,26	32,99	8,31	1,95
4	43,05	32,92	8,17	1,95
5	42,98	32,88	8,16	1,94
6	43,15	32,87	8,35	1,92
7	43,07	32,79	8,33	1,96
8	43,08	32,83	8,32	1,93
9	43,00	32,78	8,2	2,02
10	43,11	33,01	8,16	1,94
11	43,17	33,03	8,18	1,97
12	43,05	32,85	8,23	1,97
13	43,08	32,77	8,36	1,95
14	42,93	32,81	8,15	1,97
15	43,28	32,95	8,37	1,95
16	43,34	33,07	8,32	1,95
17	42,90	32,63	8,3	1,97
18	43,10	32,92	8,22	1,96
19	43,10	32,96	8,18	1,96
20	42,99	32,84	8,17	1,98
Średnia / <i>Average</i>	43,0925	32,883	8,2505	1,9585
Odchylenie standardowe <i>Standard deviation</i>	0,11611	0,1038	0,0826	0,0208

Tabela 2.2. Wyniki badań cech konstrukcyjnych nabojów z ładunkiem śrutu [13]

*Table 2.2. Measurements results of designing characteristics for cartridges with shot load [13]*

Lp. No.	Masy / Masses [g]			
	Naboju <i>Cartridge</i>	Pocisku umownego <i>Equivalent round</i>	Łuski <i>Case</i>	Prochu <i>Powder</i>
1	51,39	41,83	7,57	2,00
2	52,25	42,73	7,56	1,96
3	51,46	41,95	7,52	1,99
4	52,45	42,8	7,69	1,96
5	51,65	41,81	7,83	2,00
6	51,84	42,26	7,62	1,96
7	51,5	41,98	7,55	1,98
8	51,23	41,63	7,64	1,97
9	51,31	42,49	7,85	1,97
10	52,18	42,43	7,8	1,95
11	51,79	41,9	7,92	1,97
12	52,29	42,76	7,54	1,99
13	52,19	42,67	7,55	1,97
14	51,83	42,32	7,52	2,00
15	51,82	42,21	7,64	1,96
16	51,82	42,27	7,54	2,00
17	51,92	42,33	7,6	1,99
18	51,99	42,48	7,55	1,96
19	52,46	42,88	7,6	1,98
20	51,54	41,96	7,61	1,97
Średnia / <i>Average</i>	51,8455	42,2845	7,635	1,9765

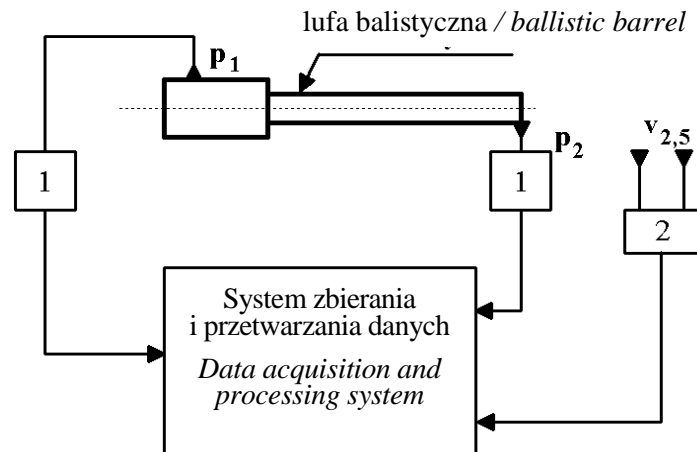
Odchylenie standardowe <i>Standard deviation</i>	0,3726	0,3715	0,1203	0,0163
---	--------	--------	--------	--------

### 3. Badania balistyczne

Badania wykonano w warunkach standardowych. Schemat stanowiska laboratoryjnego przedstawia rys. 3.1.

### 3. Ballistic tests

Tests were carried out in standard conditions. The outline of a laboratory set-up is presented in figure 3.1.



**Rys. 3.1. Schemat stanowiska laboratoryjnego [13]:**  $p_1$ ,  $p_2$  – sensory ciśnienia;  $v_{2,5}$  – bramki fotoelektryczne; 1 – wzmacniacz ładunku; 2 – miernik prędkości pocisku

**Figure 3.1. Outline of the laboratory set-up [13]:**  $p_1$ ,  $p_2$  – pressure sensors;  $v_{2,5}$  – photoelectric gates; 1 – charge amplifier; 2 – projectile velocity meter

Stanowisko wyposażono w broń balistyczną kal. 12/70. Do pomiaru ciśnień stosowano piezoelektryczne sensory ciśnienia i wzmacniacze ładunku firmy Kistler typów 6201B i 5001. System zbierania i przetwarzania danych doświadczalnych zbudowano na bazie mikrokomputera klasy IBM PC, który został wyposażony w specjalistyczną kartę przetwornika analogowo-cyfrowego firmy Keithley typu DAS-58. Prędkość pocisku na początkowym odcinku toru mierzono za pomocą zestawu fotoelektrycznych bramek i miernika prędkości. Jednocześnie podczas eksperymentu filmowano okolice wylotu lufy, za pomocą kamery Photron SA5 Model 1300K-M3. Proces filmowania był zsynchronizowany z pomiarem ciśnień. Dzięki temu można było zidentyfikować chwilę, w której pocisk opuszczał lufę (rys. 3.2). Podczas eksperymentu, system rejestrował dane doświadczalne, które były zapisywane w plikach dyskowych. Rejestrowane były następujące wielkości:

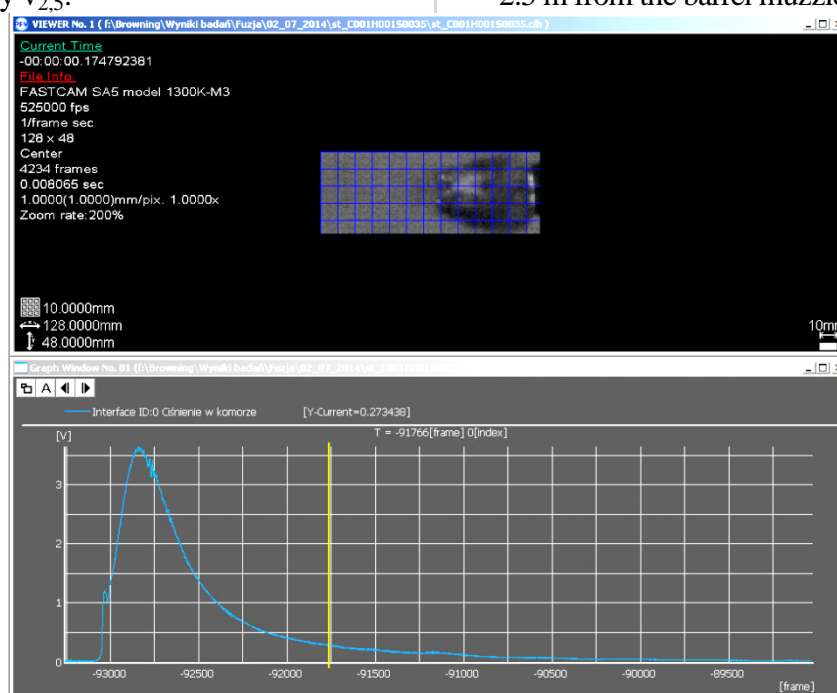
- ciśnienia w komorze ładunkowej  $p_1$  i u wylotu lufy  $p_2$ ;

The set-up is equipped with the ballistic gun of 12/70 calibre. The piezoelectric pressure sensors and charge amplifiers of 6201B and 5001 types, manufactured by Kistler company, were used. The system of experimental data acquisition and processing was built on the base of IBM PC class computer that was equipped with a specialised DAS-58 card of analogue-digital converter manufactured by Keithley company. The velocity of the projectile on the initial part of the path was measured by a system of photoelectric gates and the velocity meter. At the same time the vicinity of the barrel muzzle was taken by the camera Photron SA5 Model 1300K-M3. The process of taking pictures was synchronised with the measurements of pressure. For this reason it was possible to identify the moment of time when the projectile leaves the barrel (Figure 3.2). During the experiment the system has recorded the experimental data that was recorded on the disc files. The following characteristics were recorded:

- Pressure in the charge chamber  $p_1$  and at the barrel muzzle  $p_2$

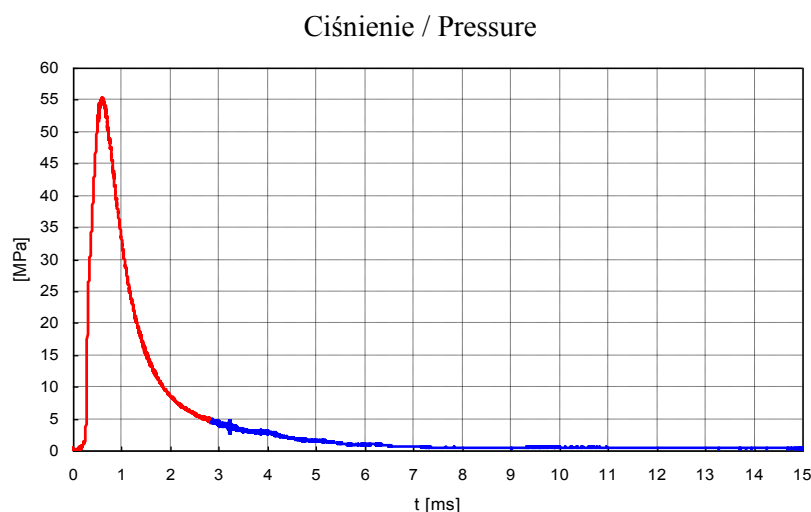
- prędkości pocisku w odległości 2,5 m od wylotu lufy  $v_{2,5}$ .

- Velocity of the projectile in the distance of 2.5 m from the barrel muzzle  $v_{2,5}$ .



**Rys. 3.2. Widok ekranu po zarejestrowaniu przebiegu ciśnienia w amunicji śrutowej kal. 12/70.** Położenie żółtej pionowej linii jest zsynchronizowane z czasem rejestracji próbek ciśnienia i pozwala ustalić chwilę, gdy pocisk umowny opuszcza przewód lufy [13].

*Figure 3.2. The view of the screen after recording the graph of pressure for shot ammunition of 12/70 calibre. The position of the yellow vertical line is synchronised with the time of recording the samples of pressure and sets the moment when the equivalent projectile leaves the bore of the barrel [13].*



**Rys. 3.3. Przykładowy przebieg zmierzonego ciśnienia w komorze ładunkowej podczas badań balistycznych amunicji kal. 12/70.** Kolor czerwony odpowiada okresowi, w którym pocisk porusza się wzdłuż przewodu lufy, zaś kolor niebieski – okresowi powylotowego oddziaływania gazów prochowych [13]

*Figure 3.3. An exemplary graph of pressure measured in the loading chamber during ballistic tests of 12/70 calibre ammunition. The red colour corresponds to the time when the projectile moves along the bore of the barrel and the blue colour is the time of action of powder gases after leaving the*

## barrel [13]

Po wykonaniu wymaganego programem badań cyklu strzelań, system wykonywał obliczenia wg algorytmu podanego w pracy [14]. Do badań pobierano losowo po 5 i 10 szt. nabojów. Przed badaniami łuski nabojów zostały nawiercone zgodnie z instrukcją. Naboje przed badaniami przechowywano w warunkach pokojowych. W ramach badań oddano 15 strzałów pomiarowych. Przykładowe przebiegi mierzonych ciśnień zamieszczono na rys. 3.3. Wyznaczone na podstawie pomiarów wyniki dla parametrów charakteryzujących zjawisko strzału zestawiono w kolejnych tabelach [13]. Są to:

- prędkość pocisku w odległości 2,5 m od wylotu lufy  $v_{2,5}$ ;
- ciśnienie maksymalne w komorze ładunkowej  $p_m$ ;
- ciśnienie wylotowe w komorze ładunkowej  $p_w$ ;
- czas do chwili, gdy pocisk opuszcza przewód lufy  $t_w$ .

After completing a series of firing required by the testing schedule the system has performed the calculations according to the algorithm presented in publication [14]. There were lots of 5 and 10 cartridges taken randomly for tests. Before tests the cases of cartridges were drilled according to the guidelines and they were kept in ambient conditions. During the tests 15 measurement shots were fired. The exemplary curves of measured pressures are presented in figure 3.3. The characteristics describing the phenomenon of firing, received from the results of measurements, are presented in following tables [13]. They are as follows below:

- Velocity of the projectile at the distance of 2.5 m from the barrel muzzle  $v_{2,5}$
- Maximal pressure in the loading chamber  $p_m$
- Muzzle pressure in the loading chamber  $p_w$
- Time passing to the moment when the projectile leaves the bore of the barrel  $t_w$ .

Tabela 3.1. Parametry charakteryzujące zjawisko strzału dla nabojów śrutowych kal. 12/70

Table 3.1. Characteristics describing the phenomenon of firing for shot cartridges of 12/70 calibre

L.p./ No	$v_{2,5}$ [m/s]	$p_m$ [MPa]	$p_w$ [MPa]	$t_w$ [ms]
1	395	71,73	5,37	2,5752
2	402	77,23	5,18	2,5410
3	399	71,19	5,37	2,5600
4	399	69,34	5,42	2,5752
5	400	72,51	5,47	2,5390
Średnio Average	399,0	72,40	5,36	2,5581

Tabela 3.2. Parametry charakteryzujące zjawisko strzału dla nabojów kulowych kal. 12/70

Table 3.2. Characteristics describing the phenomenon of firing for ball cartridges of 12/70 calibre

L.p./No	$v_{2,5}$ [m/s]	$p_m$ [MPa]	$p_w$ [MPa]	$t_w$ [ms]
1	455	71,04	6,40	2,2800
2	455	75,49	6,20	2,3010
3	463	86,82	6,54	2,1962
4	457	73,93	6,45	2,4324
5	462	81,01	6,15	2,2819
6	458	78,27	6,15	2,3238
7	451	75,54	6,15	2,3581
8	446	75,73	6,15	2,3924
9	452	76,07	5,91	2,3619
10	458	77,15	6,01	2,3124

Srednio Average	455,7	77,10	6,21	2,3240
--------------------	-------	-------	------	--------

#### 4. Identyfikacja siły wymuszającej odrzut broni

Siła wymuszająca odrzut broni  $F(t)$  jest funkcją ciśnienia w pobliżu zamka  $p_z$ , następującej postaci [12]:

$$F(t) = Asp_z(t) \quad (4.1)$$

gdzie:  $A$  – stały współczynnik;  
 $s$  – powierzchnia przekroju poprzecznego lufy.

Występujący we wzorze (4.1) współczynnik proporcjonalności  $A$  jest równy 1 dla okresu, gdy pocisk porusza się w lufie, zaś dla okresu powylotowego oddziaływania gazów prochowych  $A$  jest równy współczynnikowi siły ciągu raketowego  $\zeta$ , którego wartość wynosi przeciętnie 1,22 do 1,24.

Dysponując doświadczalnym przebiegiem ciśnienia  $p_z(t)$  (rys. 3.3) można wyznaczyć ze wzoru (4.1) przebieg siły wymuszającej  $F(t)$ . Na rys. 4.1 zamieszczono przebieg siły wymuszającej  $F(t)$  dla jednego strzału nabojem śrutowym kal. 12/70, wyznaczony na podstawie danych doświadczalnych.

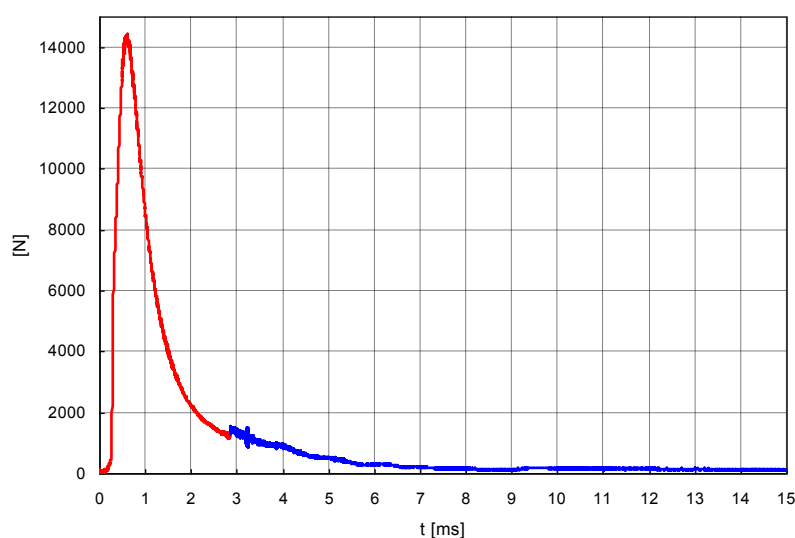
#### 4. Identification of force causing the gun recoil

The force causing the gun recoil  $F(t)$  is the function of the pressure in the vicinity of the bolt  $p_z$  and has the following form [12]:

where:  $A$  – constant coefficient  
 $s$  – cross section of the barrel bore.

The coefficient of proportionality  $A$  in formula (4.1) is equal 1 when the projectile moves inside the barrel and for the period of time when the action of muzzle powder gases takes place  $A$  equals to the coefficient of rocket thrust force  $\zeta$  that usually takes the values of 1.22 to 1.24.

Having the experimental graph of pressure  $p_z(t)$  (Figure 3.3) the acting force  $F(t)$  may be determined from equation (4.1). The acting force  $F(t)$  determined on the base of experimental data for one firing of shot cartridge of 12/70 calibre is presented in figure 4.1.



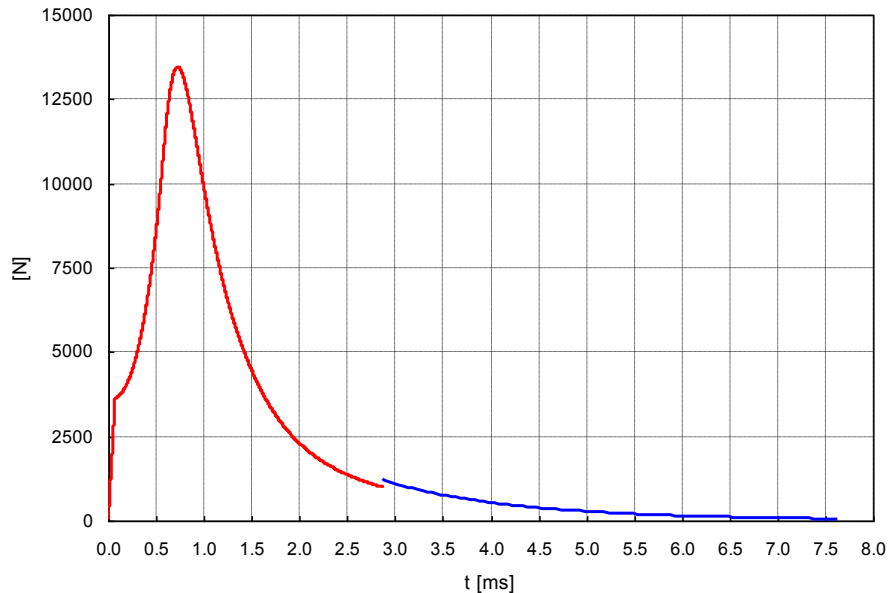
**Rys. 4.1. Przebieg siły wymuszającej  $F(t)$  dla jednego strzału nabojem śrutowym kal. 12/70, wyznaczony na podstawie danych doświadczalnych. Kolorem czerwonym zaznaczono przebieg dla okresu, gdy pocisk porusza się w lufie, zaś kolorem niebieskim dla okresu powylotowego oddziaływania gazów prochowych**

*Figure 4.1. The course of acting force  $F(t)$  for one firing of shot cartridge of 12/70 calibre determined on the base of experimental data. The red colour refers to the part of the graph when the projectile moves inside the barrel and the blue colour marks the action of powder gases after leaving*

*the muzzle*

Przebieg siły wymuszającej  $F(t)$  wyznaczono także na podstawie teoretycznego rozwiązania problemu głównego balistyki wewnętrznej, wykorzystując metodykę opisaną w pracy [12]. Otrzymany przebieg przedstawiono na rys. 4.2.

The course of the acting force  $F(t)$  has been also determined on the base of theoretical solution of the general question of internal ballistics by using the methodology described in publication [12]. The received graph is presented in figure 4.2.



**Rys. 4.2. Przebieg siły wymuszającej  $F(t)$  dla jednego strzału nabojem śrutowym kal. 12/70, wyznaczony na podstawie teoretycznego rozwiązania problemu głównego balistyki wewnętrznej.** Kolorem czerwonym zaznaczono przebieg dla okresu, gdy pocisk porusza się w lufie, zaś kolorem niebieskim dla okresu powylotowego oddziaływania gazów prochowych

**Figure 4.2. The course of acting force  $F(t)$  for one firing of the shot cartridge of 12/70 calibre determined on the base of theoretical solution of the general question of internal ballistics.**

*The red colour marks the part of the graph when the projectile moves inside the barrel and the blue colour is used for after – muzzle action of powder gases*

W celu porównania, na rys. 4.3 zamieszczono przebiegi siły wymuszającej  $F(t)$  wyznaczone różnymi metodami opisanymi w pracy [12], to jest:

- metodą doświadczalną, na podstawie pomiaru ciśnienia w broni balistycznej,
- metodą teoretyczną, na podstawie rozwiązania problemu głównego balistyki wewnętrznej,
- metodą teoretyczną, przybliżającą przebieg siły funkcją harmoniczną.

Jak łatwo zauważyć, zamieszczone na rys. 4.3 przebiegi różnią się. Ich cechą wspólną są natomiast zbliżone wartości impulsu siły wymuszającej. Z uwagi na fakt, że odrzucający układ mechaniczny charakteryzuje się znaczną inercją, można przypuszczać, iż de-

Figure 4.3 includes graphs of acting force  $F(t)$  determined by different methods described in [12] such as:

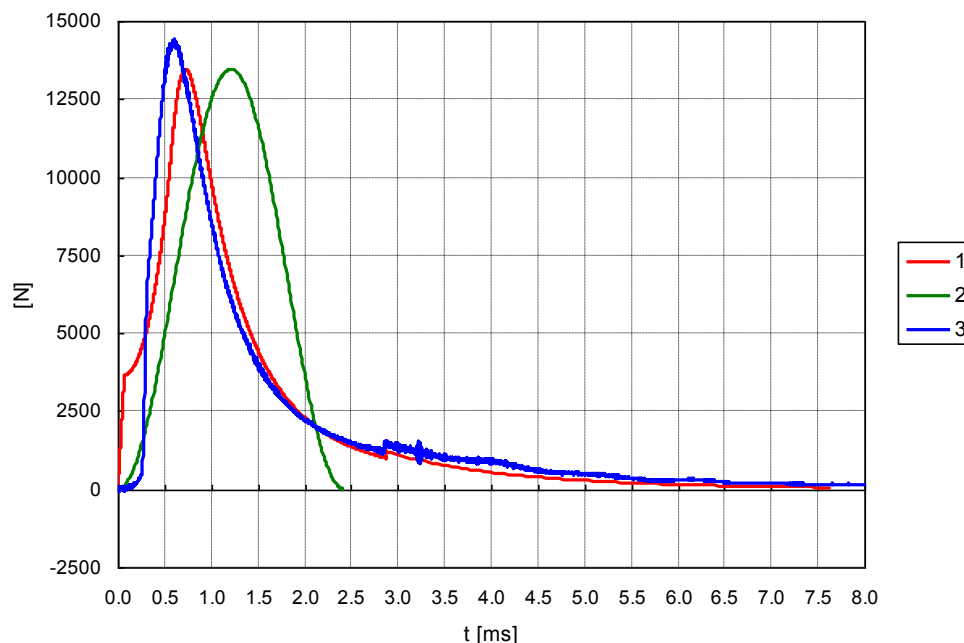
- Experimental method based on the measurement of the pressure on the ballistic gun
- Theoretical method based of the solution of the main question of the internal ballistics
- Theoretical method approximating the course of the force by the harmonic function.

It may be easily noticed that the graphs presented in figure 4.3 are different. Their common part refers to similar values of acting force pulse. As the recoiled mechanical system is characterised by a significant value of inertia then it may be assumed that the



cydujący wpływ na jego ruch podczas odrzutu będzie miał impuls siły. Zatem odpowiedzi odrzucanego układu mechanicznego na poszczególne przebiegi siły wymuszającej powinny być podobne.

pulse of the force has the deciding impact into its displacement at the recoil. Thus the reactions of recoiled mechanical system against particular types of acting force have to be similar.



**Rys. 4.3. Przebiegi siły wymuszającej  $F(t)$  dla jednego strzału nabojem śrutowym kal. 12/70, wyznaczone:**

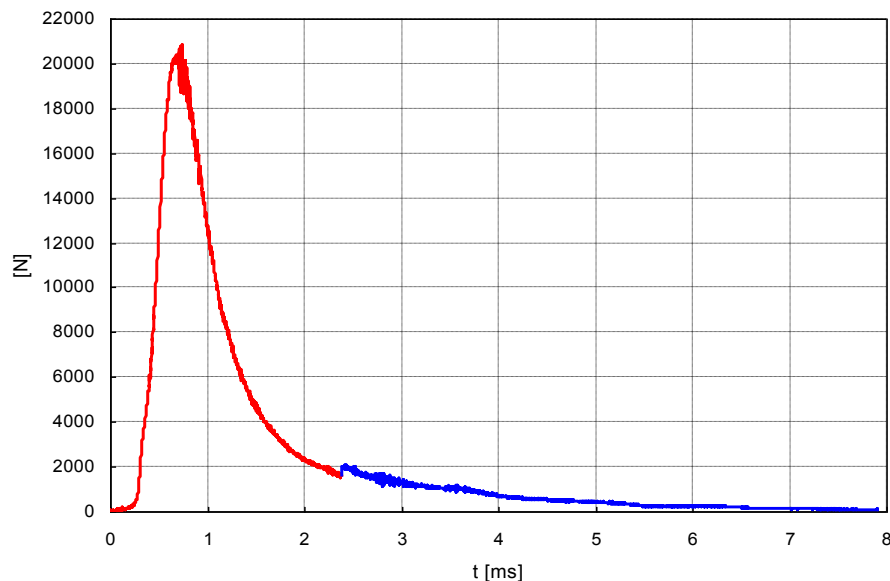
- 1 – metodą teoretyczną, na podstawie rozwiązania problemu głównego balistyki wewnętrznej,
- 2 – metodą empiryczną, przybliżającą przebieg siły funkcją harmoniczną,
- 3 – metodą doświadczalną, na podstawie pomiaru ciśnienia w broni balistycznej

**Figure 4.3. Graphs of acting force  $F(t)$  for one firing of shot cartridge of 12/70 calibre determined by:**

- 1 – Theoretical method based on the solution of the main issue of internal ballistics
- 2 – Empirical method approximating the values of the force by the harmonic function
- 3 – Experimental method based on the measurement of the pressure in the ballistic gun

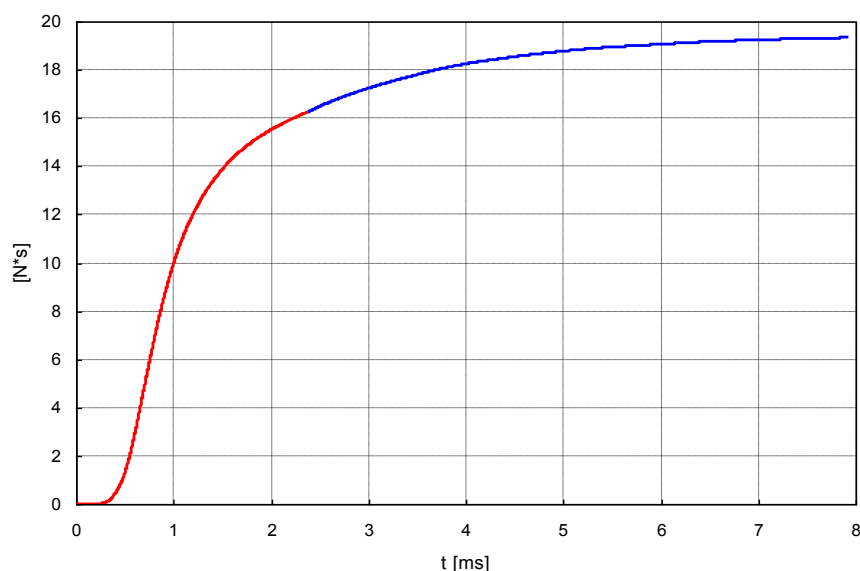
W tym miejscu należy dodać, że niektóre wzory broni gładkolufowej są dostosowane do strzelania amunicją typu „Magnum”. Amunicja przeznaczona do omawianego typu broni charakteryzuje się wyższym średnim ciśnieniem maksymalnym, które wynosi 105 MPa. Wówczas należy liczyć się także ze wzrostem maksymalnej wartości siły wymuszającej odrzut, jak również impulsu tej siły. Na rys. 4.4 i 4.5 przedstawiono przykładowe przebiegi siły wymuszającej odrzutu oraz jej impulsu dla tego typu amunicji, które zostały wyznaczone na podstawie danych doświadczalnych.

It has to be added here that some models of smoothbore guns are adapted for firing with „Magnum” ammunition. The ammunition dedicated to this type of the gun is characterised by greater average values of the maximal pressure that reaches 105 MPa. Then one has to expect an increase of the maximal value of the force causing the recoil and the pulse of this force. Figures 4.4 and 4.5 include the exemplary graphs of the force causing the recoil for this type of ammunition which were determined on the base of experimental data.



**Rys. 4.4.** Przebieg siły wymuszającej odrzut  $F(t)$  dla jednego strzału nabojem kulowym „Magnum” kal. 12/70, wyznaczony na podstawie danych doświadczalnych. Kolorem czerwonym zaznaczono przebieg dla okresu, gdy pocisk porusza się w lufie, zaś kolorem niebieskim dla okresu powylotowego oddziaływania gazów prochowych

*Figure 4.4. The course of force  $F(t)$  causing the recoil for one firing of the ball cartridge „Magnum” of 12/70 calibre determined on the base of experimental data. The red colour marks the part of the graph when the projectile moves inside the barrel and the blue colour is used for after – muzzle action of powder gases*



**Rys. 4.5.** Przebieg impulsu siły wymuszającej odrzut  $F(t)$  dla jednego strzału nabojem kulowym „Magnum” kal. 12/70, wyznaczony na podstawie danych doświadczalnych. Kolorem czerwonym zaznaczono przebieg dla okresu, gdy pocisk porusza się w lufie, zaś kolorem niebieskim dla okresu powylotowego oddziaływania gazów prochowych

*Figure 4.5. The course of the pulse of force  $F(t)$  causing the recoil for one firing of the ball cartridge „Magnum” of 12/70 calibre determined on the base of experimental data. The red colour marks the part of the graph when the projectile moves inside the barrel and the blue colour is used for after – muzzle action of powder gases*

## 5. Podsumowanie i wnioski

Wyniki badań zjawiska strzału nabojami kal. 12/70 pozwoliły zidentyfikować podstawowe parametry charakteryzujące badane zjawisko, to jest:

- cechy konstrukcyjne nabojów,
- siłę wymuszającą odrzut broni.

Na podstawie otrzymanych wyników badań teoretyczno-doświadczalnych można sformułować między innymi następujące wnioski:

1. Przebiegi siły wymuszającej odrzut broni w funkcji czasu są zbliżone dla badanej amunicji kulowej i śrutowej. Zgodnie z przewidywaniem, wartości parametrów charakteryzujących te przebiegi, jak np. wartość maksymalna siły, zależą głównie od masy pocisku umownego i jego prędkości początkowej.
2. Wzrost impulsu siły wymuszającej odrzut broni w okresie powylotowego oddziaływania gazów prochowych stanowi około 35 % jego maksymalnej wartości.
3. Amunicja typu „Magnum” charakteryzuje się większymi wartościami siły odrzutu i jej impulsu od amunicji standardowej. Zaobserwowany wzrost maksymalnych wartości siły i jej impulsu wynosi około 40 %.
4. Należałoby zbadać ilościowo, jaki wpływ na odpowiedź odrzucanego układu mechanicznego będą miały ujawnione różnice w przebiegach siły wymuszającej  $F(t)$ , które są wyznaczane różnymi metodami.

Otrzymane wyniki mogą być wykorzystane w procesie projektowania amortyzatorów lub uniwersalnej podstawy dla broni kal. 12/70, w tym do sformułowania założeń projektowych dla sterowanego tłumika z cieczą magnetoreologiczną (MR).

## Literatura / Literature

- [1] Journée General V., Les sensations de recul dans le tir. Leur rapport avec les valeurs mécaniques du recul, *L'année psychologique*, vol. 24, pp. 91-127, 1923.
- [2] Burrard G., *Modern Shotgun; Vol. III. The Gun and the Cartridge*, H. Jenkins, London, 1966.
- [3] Hutchings T.D., Rahe A.E., *Study of Man-Weapon Reaction Forces Applicable to the Fabrication of a Standard Rifle Firing Fixture*, General T. J. Rodman Laboratory, Rock

## 5. Conclusions

Results of investigations concerning the phenomenon of firing with cartridges of 12/70 calibre can be used to identification of following basic characteristics describing the studied phenomenon:

- Designing specification of cartridges
- Force causing the recoil of the gun.

On the base of received results of theoretical – experimental investigations the following conclusions may be formulated:

1. The course of the force causing the recoil of the gun in the function of time is similar for tested ball and shot ammunition. According to expectations the values of parameters, characterising these graphs such as the maximal value of the force, depend mainly on the mass of equivalent projectile and its muzzle velocity.
2. The increase of the pulse of the force causing the recoil of the gun during the after muzzle action of powder gases reaches the value of ca. 35 % of its maximal level
3. Ammunition „Magnum” is characterised by greater values of the recoil force and its pulse than the standard ammunition. It was observed the increase of ca. 40% for the maximal value of the force and its pulse.
4. It may be interesting to carry out quantitative studies on the influence of disclosed differences in the graphs of the acting force  $F(t)$ , which are determined by different methods, into the reaction of recoiled mechanical system.

The obtained results may be used at designing the shock absorbers or a universal mount for 12/70 calibre gun, including the preparation of designing specifications for a controlled damper with magnetorheological liquid (MR).

- Island Arsenal, Rock Island, 1975, ADA 034523.
- [4] Czepukajtis W., *Oddziaływanie operatora na przemieszczenia lekkich urządzeń mechanicznych*, praca doktorska, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Politechnika Warszawska, 1974.
- [5] Kochański S., Odrzut hamowany ramiennej broni palnej, *Prace Naukowe, Technika Specjalna*, nr 2, Politechnika Warszawska, Instytut Budowy Sprzętu Mechanicznego, Warszawa, 1979.
- [6] Bajkowski M., Kaniewski J., Radomski M., Dynamika układu mechanicznego: strzelec - amortyzator odrzutu - broń palna, *Materiały X Międzynarodowej Konferencji Uzbrojeniowej „Naukowe aspekty techniki uzbrojenia i bezpieczeństwa”*, Ryn 15-18.09.2014r., pp. 59-72, 2014.
- [7] Blankenship K., Evans R., Allison S., Murphy M., Isome H., Dinauer P., Harper W., Ortega S., Shoulder-Fired Weapons with High Recoil Energy: Quantifying Injury and Shooting Performance, *U.S. Army Research Institute of Environmental Medicine*, Natick, 2004, ADA 425518.
- [8] Zakharenkov V.F., Arseniev S.E., Belov A.V., Agoshkov O.C., Lee Y.S., Kim I.W., Chae J.W., Modeling and Numerical Investigation of the Stochastic Biomechanical Interaction Human-Rifle System, *Proceedings of the 20th International Symposium on Ballistics*, 2002.
- [9] Sieriebriakow M., *Balistyka wewnętrzna*, WMON, Warszawa, 1955.
- [10] Hall M. J., Measuring felt recoil of sporting arms, *International Journal of Impact Engineering*, 35, pp. 540-548, 2008.
- [11] Germershausen R. (ed.), *Waffentechnisches Taschenbuch*, Rheinmetall, Düsseldorf, 1980.
- [12] Bajkowski M., Kaniewski J., Radomski M., Wstępna analiza zjawiska odrzutu broni palnej kal. 12,7 mm x 99 i 7,62 mm x 51, *Raport nr 1.1/2013*, maszynopis, IMiP PW, Warszawa 2013.
- [13] Bajkowski M., Radomski M., Analiza w zakresie balistyki wewnętrznej amunicji do gładkolufowej broni kal. 12/70, *Raport nr 1.2/2014*, maszynopis, IMiP PW, Warszawa 2014.
- [14] Radomski M., Badania intensywności powstawania gazów prochowych w broni palnej, *Materiały III Międzynarodowej Konferencji Uzbrojeniowej "Naukowe aspekty techniki uzbrojenia"*, Waplewo 11-13.10.2000.

