



## ODDZIAŁYWANIE WYBRANYCH BRONI STRZELECKICH NA STRZELCA – ANALIZA PORÓWNAWCZA

### *THE IMPACT OF SELECTED SORTS OF RIFLES ON SHOOTER – COMPARATIVE ANALYSIS*

Janusz EWERTOWSKI, Robert PIEKARSKI  
Politechnika Warszawska  
*Warsaw University of Technology*

**Streszczenie:** Artykuł o wzajemnej interakcji małokalibrowej broni lufowej i użytkującego ją strzelca podczas strzału. Do analiz wybrano kilka podstawowych rodzajów broni w zależności od jej energii odrzutu swobodnego. W celu sprecyzowania oddziaływań między strzelcem a bronią zaproponowano przeprowadzenie badań doświadczalnych sił oddziaływania broni na ramię strzelca, jakie występują podczas strzału pojedynczego. Na podstawie uzyskanych wyników zaproponowano podział siły oddziaływania na dwie łatwo rozróżnialne fazy. Przedstawiono opis porównawczy omówionych faz w wybranych rodzajach broni strzeleckiej.

**Słowa kluczowe:** małokalibrowa broń strzelecka, oddziaływanie broni na strzelca, fazy impulsu siły w procesie strzału, charakterystyki czasowe siły w kolbie broni

### 1. Wstęp

Zjawisko wzajemnej interakcji broni i użytkującego ją strzelca jest jednym z głównych problemów w konstrukcji indywidualnego uzbrojenia lufowego. Jak wiadomo podczas strzału energia odrzutu broni przekazywana jest na strzelca. Na podstawie wieloletnich doświadczeń, określono maksymalne wartości energii, jakie w zależności od typu broni mogą być bezpiecznie przekazane na strzelca. Pierwszym, który zaproponował konkretne wartości przekazywanej energii był znany polski konstruktor uzbrojenia Piotr Wilniewicz [1]. Zapropono-

**Abstract:** The paper describes mutual interaction between small arms and a shooter in the moment of firing. A few basic types of guns were selected for studies depending on their free recoil energy. Experimental investigations of forces caused by the reaction of a gun against the shooter's arm at a single shot are proposed in order to explain the interaction between the shooter and the weapon. Basing on received results the division of acting force in two easy discernible phases is proposed. The comparative description of these phases for selected types of guns is presented.

**Keywords:** small arms, action of gun on shooter, phases of force impulse in the process of shooting, force vs. time characteristics in the rifle butt

### 1. Introduction

Mutual interaction between the gun and shooter is one of important issues in designs of individual barrel guns. The energy of gun recoil is transferred into the shooter at firing. Basing on many years of experience the maximal values of energy which could be transferred safely to a shooter by various types of guns were determined. The famous Polish designer of guns Piotr Wilniewicz [1] was the first one who proposed real values of transferred energy. He

wał on, aby ocenę danego typu broni, pod kątem jej oddziaływania, podejmować na podstawie energii jej odrzutu swobodnego. Przyjmując takie założenie określił, jako dopuszczalne następujące wartości wymienionej energii:

- 20 J – dla karabinu powtarzalnego i samopowtarzalnego strzelającego ogniem pojedynczym,
- 10 J – dla karabinu i karabinka samopowtarzalnego strzelającego ogniem seryjnym,
- 5 J – dla pistoletu ręcznego.

W rozważaniach dotyczących siły oddziaływania broni stwierdził ponadto, że przekroczenie energii odrzutu swobodnego powyżej 35 J wpływa na znaczące zmniejszenie precyzji strzału. Przekroczenie natomiast energii odrzutu o wartość 50 J powoduje wystąpienie odczucia bólu u strzelca.

Zwrócił uwagę na wiele zjawisk występujących podczas strzału, jakie powinny dodatkowo wpływać na odczuwane przez strzelca oddziaływanie broni. Jak twierdzi odczucia te będą również zależały od:

- rodzaju prochu zastosowanego w amunicji, a dokładniej od jego prędkości spalania określającej przebieg krzywej ciśnienia w lufie,
- kalibru broni, co wiąże się z siłą parcia gazów prochowych na dno przewodu lufy,
- długości lufy, która determinować będzie ciśnienie wylotowe, a tym samym siłę odrzutu w fazie powylotowego działania gazów prochowych,
- stanu technicznego lufy, oddziałującego na przebieg ciśnienia w lufie.

Wszystkie te wnioski są bardzo ogólne i nie zostały poparte żadnymi zależnościami analitycznymi.

Zagadnieniem oddziaływania broni na strzelca zajmował się też Stanisław Kochański. W swojej pracy [2] podjął badania doświadczalne tego zagadnienia. Do prowadzonych badań zastosował karabinek kbk AKM przystosowany specjalnie do pomiarów siły oddziaływania broni na ramię strzelca i pomiarów ciśnienia panującego w lufie podczas strzału. Występującą siłę oddziaływania nazwał siłą pchnięcia broni. Przykładowy oscylogram uzyskany w trakcie badań przedstawia rys. 1.

proposed to use the energy of gun free recoil for the evaluation of reaction for particular types of guns. Basing on such assumptions he set following acceptable values of the energy:

- 20 J – for repeating and self-repeating rifles at firing a single shot
- 10 J – for self-repeating rifle and carbine at series firing
- 5 J – for pistols.

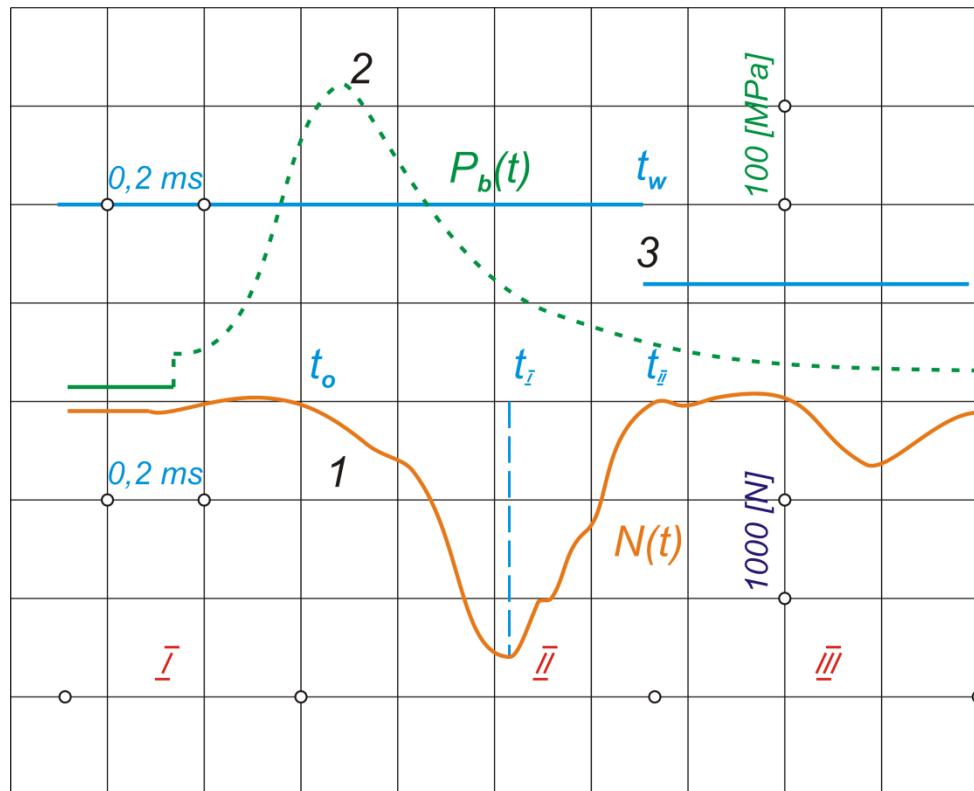
Moreover he stated in his considerations concerning the force of gun reaction that the free recoil energy above 35 J significantly decreases the weapon's accuracy and the values above 50 J cause the sensation of pain for the shooter.

He pointed out that there are many other phenomena at firing which additionally influence the reactions of the shooter. He maintained that these reactions will also depend on:

- Type of powder used in ammunition and especially its burning velocity that describes the shape of barrel pressure curve
- Gun calibre what translates into the powder gases pushing force against the base of the barrel bore
- Barrel length determining the muzzle pressure and by the same the force of recoil in the phase of post-muzzle action of powder gases
- Technical status of the bore influencing the barrel pressure curve.

All these conclusions were of a general character and were not backed by any analytical formula.

The question of gun reaction into the shooter was also considered by Stanisław Kochański. His work [2] describes experimental studies of this question. Carbine kbk AKM specially adapted for measurements of force impacting the arm of the shooter and barrel pressure at firing was used for the studies. He named the force of gun reaction as the push of the gun. An exemplary oscillogram obtained at testing is presented in figure 1.



**Rys. 1. Przykładowy oscylogram przebiegu siły oddziałującej na strzelca w czasie pierwszej fazy strzału [2] otrzymany przez S. Kochańskiego w trakcie pomiarów doświadczalnych: 1 – przebieg siły oddziaływania broni na strzelca, 2 – przebieg ciśnienia w lufie, 3 – chwila wyjścia pocisku z lufy**  
**Figure 1. Exemplary oscillogram of the force acting on the shooter in the first phase of firing [2] obtained by S. Kochański at experimental measurements: 1 – graph of the gun force acting on the shooter, 2 – barrel pressure diagram, 3 – moment of leaving the barrel by a bullet**

Na podstawie otrzymanych wyników badań zaproponował przyjęcie trzech parametrów, jako miary oddziaływania broni na strzelca, podając jednocześnie ich dopuszczalne wartości maksymalne. Zaproponowanymi parametrami były:

- wartość maksymalna siły pchnięcia  
 $N_{\max} \leq N_{\text{dop}} = 3000 \text{ [N]}$ ,
- impuls siły pchnięcia  $I_N \leq I_{\text{dop}} = 10 \text{ [Ns]}$ ,
- szybkość narastania siły pchnięcia  
 $V_N \leq V_{\text{Ndop}} = 7 \text{ [kN/ms]}$ .

Odnosząc się do przedstawionej metody należy stwierdzić, że ograniczenie się w analizie jedynie do rozpatrywania siły oddziałującej na strzelca w czasie odpowiadającym działaniu gazów prochowych w lufie nie oddaje rzeczywistego przebiegu zjawiska. Jest oczywiste, że w czasie działania gazów prochowych broń jest cały czas napędzana i jej oddziaływanie na strzelca musi trwać znacznie dłużej i nie

Basing on the results of tests he proposed the use of three parameters describing the impact of the gun on the shooter and additionally he gave the admissible maximal values for them. Following parameter were proposed:

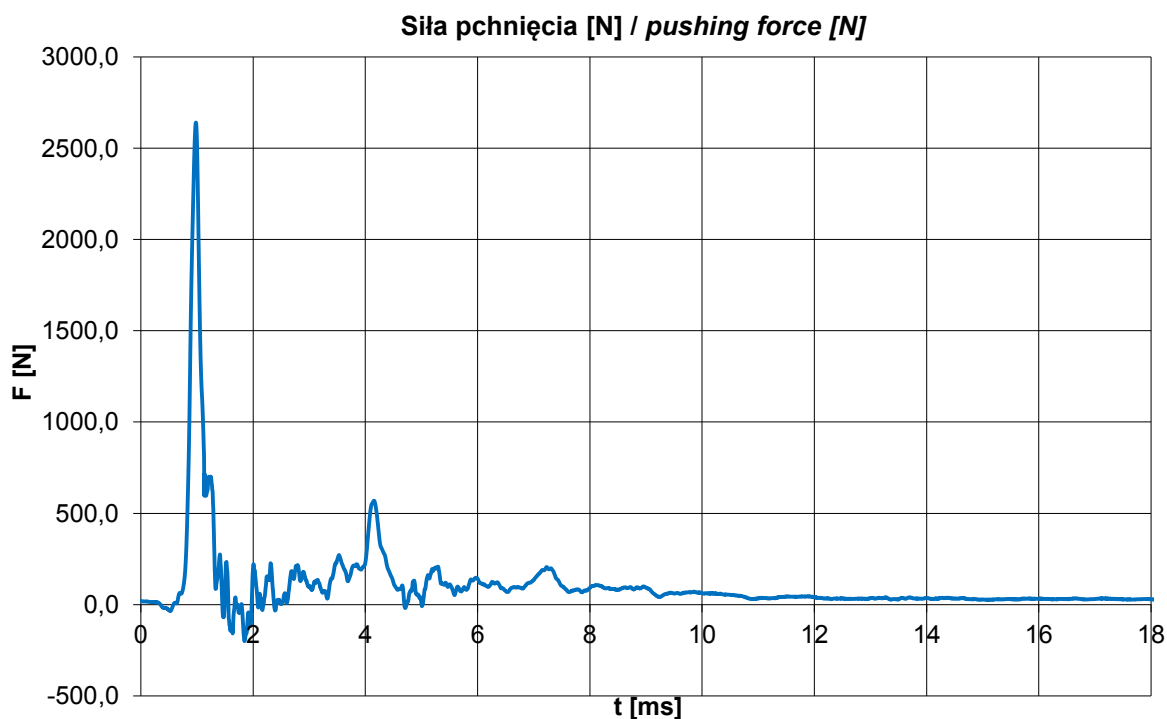
- Maximal value of pushing force  
 $N_{\max} \leq N_{\text{dop}} = 3000 \text{ [N]}$
- Impulse of pushing force  $I_N \leq I_{\text{dop}} = 10 \text{ [Ns]}$
- Velocity of rising of the pushing force  
 $V_N \leq V_{\text{Ndop}} = 7 \text{ [kN/ms]}$ .

Relating to the presented method it may be stated that the limitation of the analysis to the time when the powder gases expand in the barrel does not correspond to real phenomenon. It is obvious that during the time of action of powder gases the gun is driven all the time but it still reacts on the shooter beyond the moment when the gases are decompressed in the barrel.

ustaje z chwilą rozprężenia gazów w lufie.

Wniosek ten potwierdził Janusz Ewertowski w swojej pracy [3] kontynuując temat współdziałania broni i strzelca w czasie strzału. Wykonał on kompleksowe badania doświadczalne siły interakcji broni i strzelca prowadząc pomiary na grupach strzelców dzielących się na podgrupy zależnie od budowy anatomicznej. Jednocześnie badania wykonał dla dwóch różnych postaw strzeleckich tj.: stojącej i leżącej. W badaniach wykorzystywany był karabinek kbk AKM. Przykładowy, uzyskany przebieg siły oddziaływania na ramię strzelca przedstawiony jest na rys. 2.

This conclusion has been confirmed by Janusz Ewertowski in his work [3] about the interaction of the gun and shooter at firing. He made complete experimental tests of interaction force between the gun and shooter by conducting tests with the groups of shooters divided on sub-groups with various anatomical postures. He made tests at different firing positions i.e. standing and lying. Carbine akw wz. 47 was used for tests. An exemplary diagram of force acting to the shooter arm is presented in figure 2.



**Rys. 2. Przykładowy przebieg siły oddziaływania karabinka kbk AKM na ramię strzelca (wartości ujemne siły na wykresie oznaczają chwilową fazę braku kontaktu kolby z ramieniem strzelca)**

*Figure 2. Exemplary diagram of kbk AKM carbine force acting to the shooter's arm (the negative values of the force on the diagram correspond to a momentary phase of lacking contact between the butt and the shooter's arm)*

Dodatkowo autor, na podstawie uzyskanych wyników stwierdził, że oddziaływanie broni na strzelca przebiega w dwóch wyraźnie rozdzielonych i następujących po sobie etapach. Etap pierwszy nazwał – *impulsowym oddziaływaniem broni*, a drugi – *pchnięciem broni*. Analizując wyniki określił również średnie wartości impulsów siły przekazywa-

Author additionally stated on the base of received results that the action of the gun on the shooter takes place in the form of two distinctly separated stages which occur after each other. The first stage was named as – *impulse action of the gun*, and the second one as – *pushing of the gun*. Analysing the results he also determined the average values

ne na ramię strzelca w poszczególnych etapach oddziaływania siły. Uzyskane wyniki przedstawione są w tabeli I.

of force pulses transferred to the shooter's arm at particular stages of force action. The obtained results are presented in table I.

Tabela I. Wartości impulsów siły oddziaływania karabinka AKM na ramię strzelca.

*Table I. Values of force impulses of akm carbine acting on the shooter's arm.*

Grupa strzelców <i>Group of shooters</i>	Pozycja leżąca <i>Lying position</i>		Pozycja stojąca <i>Standing position</i>	
	Etap I. Średnia arytmetyczna wartość impulsu [N·ms] <i>Stage I. Average value of the pulse [N·ms]</i>	Etap II. Średnia arytmetyczna wartość impulsu [N·ms] <i>Stage II. Average value of the pulse [N·ms]</i>	Etap I. Średnia arytmetyczna wartość impulsu [N·ms] <i>Stage I. Average value of the pulse [N·ms]</i>	Etap II. Średnia arytmetyczna wartość impulsu [N·ms] <i>Stage II. Average value of the pulse [N·ms]</i>
	A	717	1642	654
B	703	1843	650	1688
C	691	1787	655	1465

Jak się okazało, w etapie drugim impuls siły przekazywany na ramię strzelca jest blisko dwa do dwóch i pół razy większy niż w etapie pierwszym. Stwierdzenie dwuetapowego oddziaływania było istotnym poszerzeniem wiedzy w omawianym temacie.

Odnosząc się do przedstawionego stanu analizy zjawiska oddziaływania broni na strzelca można stwierdzić, że jest ona dość zawężona ze względu na stosowanie w badaniach jednego typu broni, tj. karabinka kbk AKM charakteryzującego się jedną i określoną wartością odrzutu swobodnego [4, 5]. Formułowanie na tej podstawie wniosków bardziej ogólnych byłoby nieuzasadnione.

Uwzględniając tę sytuację uznano, że podjęcie dalszych prac w powyższym temacie jest w pełni uzasadnione. Określając obszar dalszych działań sformułowano tezę, że przebiegi oddziaływania będą uzależnione od wartości energii odrzutu swobodnego konkretnych wzorów broni. W związku z powyższym założono wykonanie badań doświadczalnych dla trzech typów broni różniących się znacznie wartościami odrzutu swobodnego. Wybrane zostały następujące rodzaje broni: dubeltówka myśliwska (największa energia odrzutu), karabinek kbk AKM (średnia wartość odrzutu) oraz kbks (mała wartość odrzutu) [6, 7]. Analiza uzyskanych wyników powinna umożliwić

It is visible that in the second stage the impulse of the force transferred to the shooter's arm is about two and a half times greater than in the first stage. Acknowledgement of a two-stage action was a significant extension of the knowledge in discussed subject.

Referring to presented state of the art concerning the reaction of gun on the shooter's arm it may be stated that it is a relatively narrow analysis as only one type of the gun was used i.e. the carbine akm wz. 47 that is characterised by a specific value of free recoil [4, 5]. This cannot be used to formulate any general conclusions.

The above situation was used as a justification for further studies on the subject. In order to define an area of future work a thesis was formulated that reactions may depend on the value of free recoil energy of particular types of weapons. For this reason it was assumed to perform experimental tests for three types of weapons with significantly different values of free recoil. The following types of guns were selected: shotgun (the highest energy of recoil), kbk AKM carbine (medium value of recoil) and kbks (low value of recoil) [6, 7]. The analysis of received results has to enable the formulation of general con-

sformułowanie ogólnych wniosków o przebiegach oddziaływania na strzelca różnych typów broni podczas strzału.

## 2. Metoda przeprowadzania badań doświadczalnych

Planując wykonanie badań doświadczalnych oddziaływania broni na strzelca, założono parametry, które będą rejestrowane podczas strzału. Przyjęto, że mierzone będą:

- siła występująca pomiędzy stopką kolby, a ramieniem strzelca,
- chwila wyjścia pocisku z lufy,
- ciśnienie w komorze nabojeowej podczas strzału,
- prędkość początkowa wystrzeliwanego pocisku.

W przypadku siły oddziałującej na ramię strzelca zastosowane zostały dwa czujniki piezokwarcowe siły umiejscowione, jeden w górnej części stopki kolby, drugi z kolei w części dolnej (symetrycznie w stosunku do osi przystawienia kolby do ramienia strzelca). Opisane rozwiązanie wyjaśnia rys. 3.



**Rys. 3. Uproszczony schemat stanowiska pomiarowego dla wybranych parametrów w procesie strzału układu broń-strzelec:**  $P_{1G}$ ,  $P_{1D}$  – pomiar sił w kolbie [N],  $P_2$  – pomiar czasu wyjścia pocisku z lufy [ms],  $P_3$  – pomiar prędkości wylotowej [m/s].

**Figure 3. Simplified outline of the set-up for measuring selected parameters of gun-shooter system in the process of firing:**  $P_{1G}$ ,  $P_{1D}$  – measurement of forces in the butt [N],  $P_2$  – measurement of the time when the bullet leaves the muzzle [ms],  $P_3$  – measurement of muzzle velocity [m/s]

Zastosowanie powyższego sposobu pomiaru było celowe. Umożliwiło dodatkowe określenie wartości momentu obracającego broń w płaszczyźnie pionowej względem ramienia strzelca. Informacja taka może okazać

conclusions on the characters of reactions for various types of guns on the shooter at firing.

## 2. Method of experiments

Following parameters were assumed to be measured and recorded for testing the reaction of gun on the shooter at firing:

- Force occurring between the base of the butt and the shooter's arm
- Moment of leaving the muzzle by bullet
- Pressure in the cartridge chamber at firing
- Initial velocity of fired bullet.

In the case of the force acting on the shooter's arm two piezo-quartz force sensors were used where one of them was placed in the upper part of the butt base and the second one in the bottom part (symmetrically to the axis of touching between the butt and the shooter's arm). Described solution is presented in figure 3.

The above set-up has been used with an intention to additionally determine the value of the moment rotating the gun in the vertical plane in relation to the shooter's arm. This information may be useful

się przydatna dla oszacowania podrzutu broni w czasie strzału.

Chwila wyjścia pocisku z lufy rejestrowana będzie czujnikiem ciśnienia umieszczonym na wylocie lufy wykazującym skokowy wzrost ciśnienia występujący w chwili otwarcia lufy przez wylatujący pocisk.

Do rejestracji przebiegu ciśnienia w lufie zastosowany będzie piezokwarcowy czujnik ciśnienia, powszechnie stosowany w tego rodzaju pomiarach.

Ponadto do pomiaru prędkości początkowej pocisku zastosowane zostaną bramki fotoelektryczne.

### 3. Założenia badań własnych

Zamierzając określić oddziaływanie na strzelca znacznie różniących się, co do wielkości odrzutu swobodnego, broni wybrano trzy wzory broni, jakie dostępne były w Zakładzie Mechaniki i Technik Uzbrojenia Politechniki Warszawskiej. Badania prowadzone były w specjalistycznym laboratorium tegoż Zakładu. Do badań zastosowane zostały następujące trzy rodzaje broni:

- 1) **kbks** – małokalibrowa broń sportowa 5,6 mm o niskiej energii kinetycznej wystrzeliwanego pocisku – (w konsekwencji niska energia odrzutu swobodnego),
- 2) **kbk AKM** – karabinek automatyczny 7,62 mm o „średniej” energii kinetycznej wystrzeliwanego pocisku – (w konsekwencji średnia energia odrzutu swobodnego),
- 3) **dobeltówka** – myśliwska broń kalibru 12 (18,5 mm) o wysokiej energii kinetycznej pocisku – (w konsekwencji znaczna energia odrzutu swobodnego).

W celu uzyskania powtarzalności wyników dla ww. broni wszystkie strzały wykonał jeden strzelec z pozycji stojącej, jako najczęściej stosowanej pozycji strzeleckiej. Aby usprawnić opis *układu broń-strzelec* zaproponowano posługiwanie się w dalszej części akronimem *UBS*.

Zakłada się, że energia kinetyczna odrzutu broni może być z łatwością wyrażona poprzez pęd, a co za tym idzie odpowiadający mu impuls siły. Dlatego też w pracy przedstawia się

to estimate the jumping of the gun at firing.

The moment when the bullet leaves the muzzle is recorded by a pressure sensor placed at the muzzle to show the surge of the pressure in the moment of opening the bore by out flying bullet.

Changes of the pressure inside the bore are recorded by a piezo-quartz pressure sensor that is typically used at such measurements.

The muzzle velocity of the bullet is measured by a system of photo-electric barriers.

### 3. Assumptions for own tests

In order to determine the action of various types of guns with significantly different values of free recoil on the shooter three models were selected which were accessible in the Establishment of Mechanics and Techniques of Armament at the Warsaw's University of Technology. Tests were carried out in the specialised laboratory of this Establishment. Three following types of guns were used for testing:

- 1) **kbks** – 5.6 mm small calibre sports gun with low kinetic energy of fired bullet – (resulting in low energy of free recoil)
- 2) **kbk AKM** – 7.62 mm automatic carbine with a medium kinetic energy of fired bullet – (in consequence the medium energy of free recoil)
- 3) **Shotgun** – 12 (18,5 mm) hunting gun with a high bullet kinetic energy – (in consequence a significant energy of free recoil).

In order to provide the repeatability of results for the above listed guns all shots were delivered by the same shooter in the standing firing position as the most often used. In order to facilitate the description of the *gun-shooter system* acronym *GSS* is proposed for further use.

It is assumed that kinetic energy of the gun may be easily expressed by the momentum and thus by an impulse of force corresponding to it. For this reason it is presented

go, jako istotny parametr z punktu widzenia ilościowej analizy strzału [8].

here as an essential parameter in quantitative analysis of a shot [8].

Tabela II. Zestawienie rodzajów broni użytych w badaniach

Rodzaj broni użytej do badań	Przeróbka broni w celu zbierania danych	Zastosowane czujniki	Użyta amunicja
kbk AKM	Zmodyfikowana kolba z dwoma czujnikami zamontowanymi symetrycznie względem osi lufy	- czujnik pomiaru chwili wyjścia - czujnik ciśnienia w komorze naboջowej - czujniki siły w kolbie ( <i>G</i> – góra, <i>D</i> – dół)	Amunicja kbk AKM – 7,62 mm, wz. 43 z pociskiem PS – 7,62 mm
Dubeltówka	jw.	jw.	Amunicja myśliwska Breneka – 12/70 Slug 1 1/8 oz/32g -18,5 mm
kbks	jw.	jw.	Wzmocniona amunicja sportowa .22 LR (5,65 mm) HV -5,65 mm

Table II. Comparison of guns used for testing

Type of gun used for testing	Adaptation of gun for data acquisition	Applied sensors	Used ammunition
kbk AKM	Modified butt with two embedded sensors fixed symmetrically versus the axis of bore	- sensor measuring the moment of leaving - pressure sensor in the cartridge chamber - force sensor in the butt ( <i>G</i> – top, <i>D</i> – bottom)	Ammunition kbk AKM – 7.62 mm
shotgun	As above	As above	Standard hunting ammunition Breneka – 12 mm (jacket 20 mm)
kbks	As above	As above	Strengthened sports ammunition – 5.65 mm

#### 4. Zarejestrowane wyniki badań

Badania przeprowadzane były dla jednej pozycji strzeleckiej - stojąc. Dla każdej z wymienionych broni oddanych było, co najmniej 7 strzałów, co zapewniało wystarczającą wiarygodność uzyskiwanych wyników z punktu widzenia statystycznej obróbki pomiarów i możliwości sformułowania wniosków końcowych. Dalej zamieszczono zarejestrowane przebiegi sił działających w UBS w funkcji czasu.

#### 4. Recorded test results

Tests were carried out in the same standing position. Each gun from listed above have fired at least 7 shots what provided a sufficient reliability of received results for statistical data processing and formulation of final conclusions. Time diagrams of recorded forces acting in GSS are presented below.

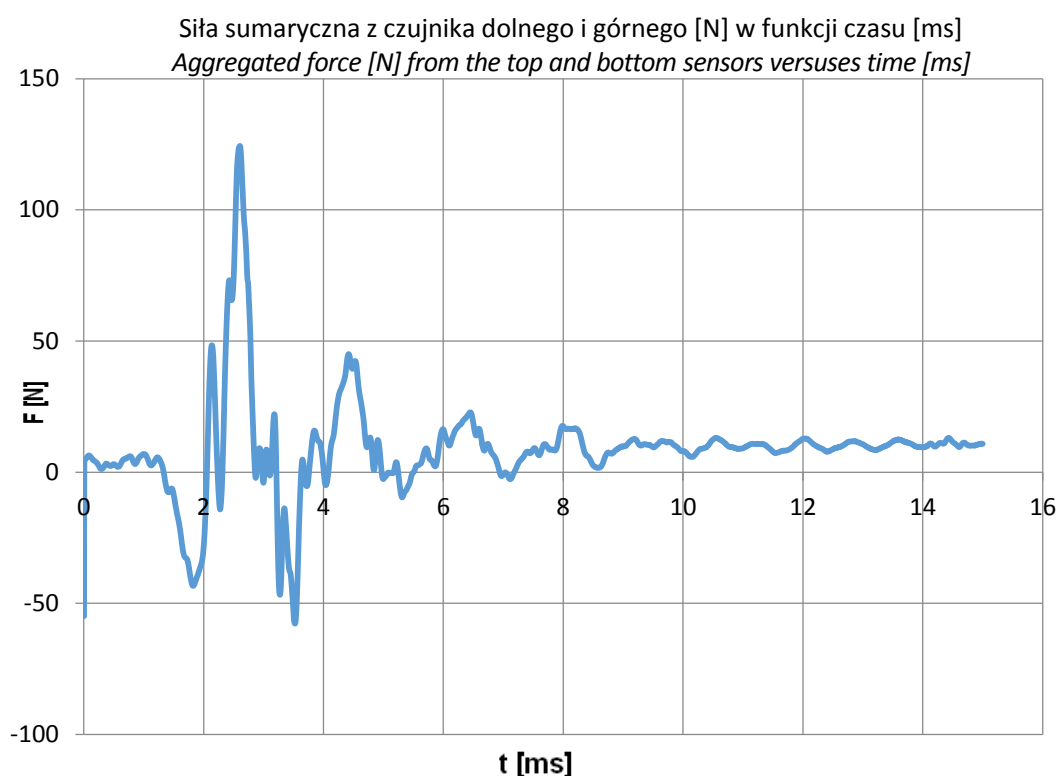




Fot. 1. Strzelec z przystawioną bronią wraz z zaznaczoną linią przystawienia broni do ramienia.  
Photo 1. Shooter firing the gun with the line marking the point the gun sticks to his arm

Dla kbks zarejestrowany przebieg rozpa-  
trywanej siły przedstawia się następująco:

For kbks the recorded diagram of the  
force is shown below:



Rys. 5. Przebieg siły oddziaływania kbks na ramię strzelca uzyskany dla amunicji wzmocnionej  
Figure 5. Reacting force of kbks gun on shooter's arm for strengthened ammunition

W danym przypadku równolegle zareje-  
strowano następujące parametry strzału:

$V_{15} = 425$  [m/s]

Czas wyjścia pocisku z lufy 3,645 [ms]

Dla – kbk AKM zarejestrowany przebieg rozpa-

Following parameters of the shot were  
recorded for this case:

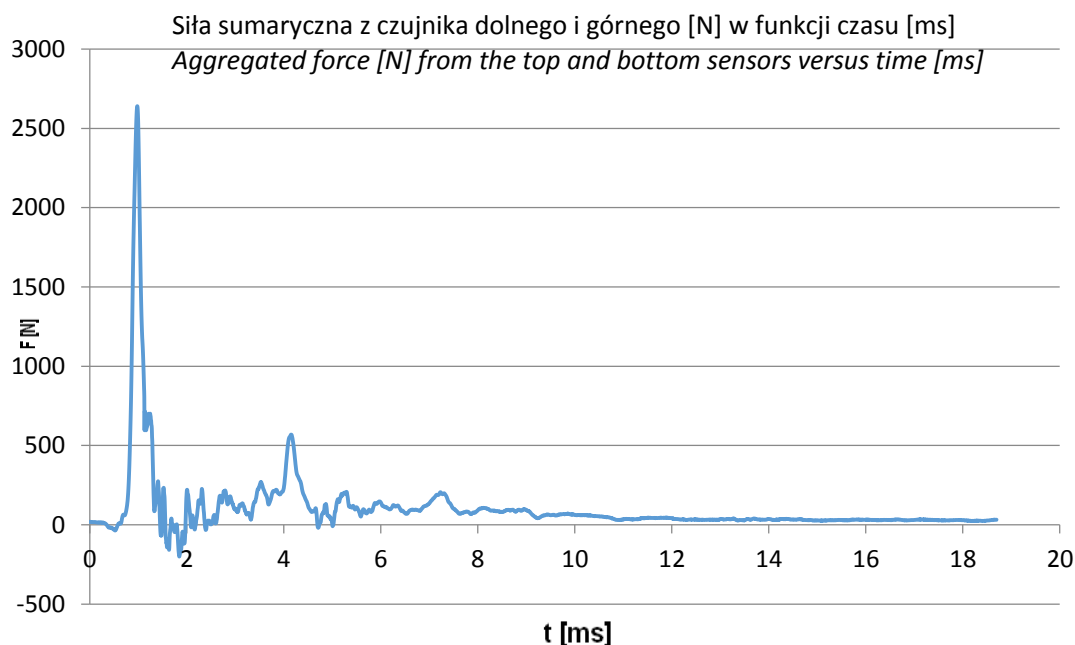
$V_{15} = 425$  [m/s]

Bullet muzzle leaving time: 3.645 [ms]

For kbk AKM the recorded diagram of the

trywanej siły przedstawiony jest na rys 6.:

force is shown in figure 6.



**Rys. 6. Przebieg siły oddziaływania kbk AKM na ramię strzelca dla amunicji pośredniej**  
**Figure 6. Reacting force of kbk AKM gun on shooter's arm for medium ammunition**

Dla zamieszczonego przebiegu parametry strzału były następujące:

$V_{15} = 730$  [m/s],

Chwila wyjścia pocisku 1,195 [ms].

Dla – dubeltówki przykładowy wynik przedstawiony jest na rys.7.

Gdzie w tym przypadku:

$V_{25} = 463$  [m/s],

czas wyjścia pocisku: 3,565 [ms].

Analiza przebiegów siły w funkcji czasu dla przedstawionych rodzajów broni pozwala stwierdzić, że w każdym z omawianych przypadków występuje dwufazowe oddziaływanie broni na strzelca, co pozwala wyróżnić dwie fazy:

Faza I - gdzie obserwuje się znaczny przyrost siły i krótki czas jej działania,

Faza II - gdzie obserwuje się monotoniczny spadek siły i długi czas jej działania.

For the above diagram the parameters of the shot were following:

$V_{15} = 730$  [m/s]

Bullet leaving time: 1.195 [ms].

For the gunshot an exemplary result is presented in figure 7.

In this case:

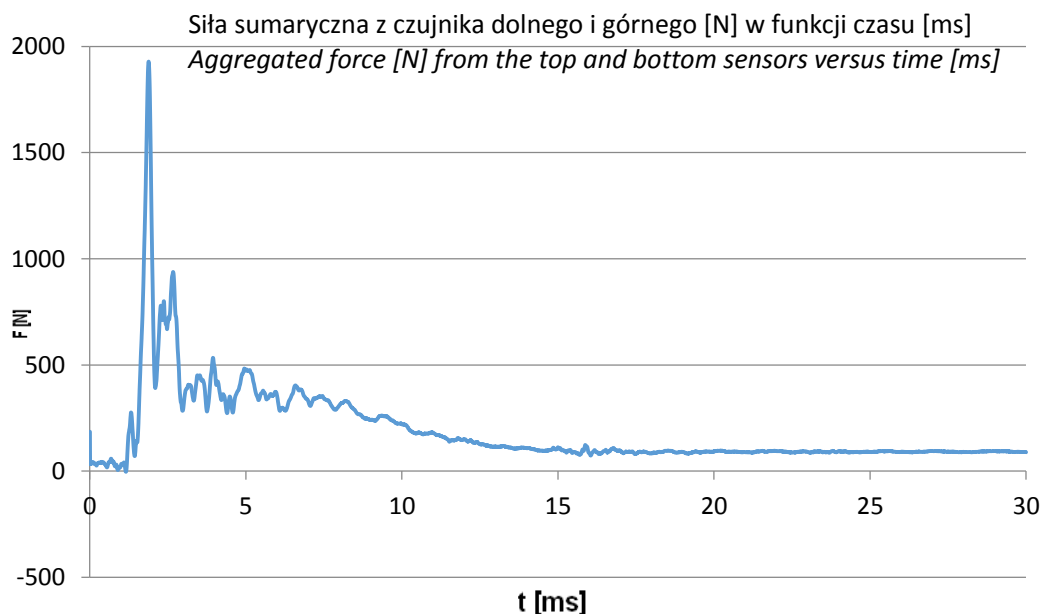
$V_{25} = 463$  [m/s]

Bullet leaving time: 3.565 [ms].

It may be stated on the base of analysis of force versus time plots for presented types of guns that each of discussed cases shows a two phase action of the gun on the shooter what allows the discrimination of two phases:

Phase I - where a significant increase of the force is observed within a short time of its action

Phase II - where a steady decrease of the force is observed within a long time of its action.



**Rys. 7. Przebieg siły oddziaływania dubeltówki na ramię strzelca dla amunicji Breneka**  
*Figure 7. Reacting force of the gunshot on shooter's arm for Breneka ammunition*

Na rysunkach 8 -11 przedstawiono przykładowe wykresy siły w dwóch fazach strzału z karabinka Kałasznikowa (kbk AKM) dla wybranej próbki (funkcja rzeczywista i aproksymowana).

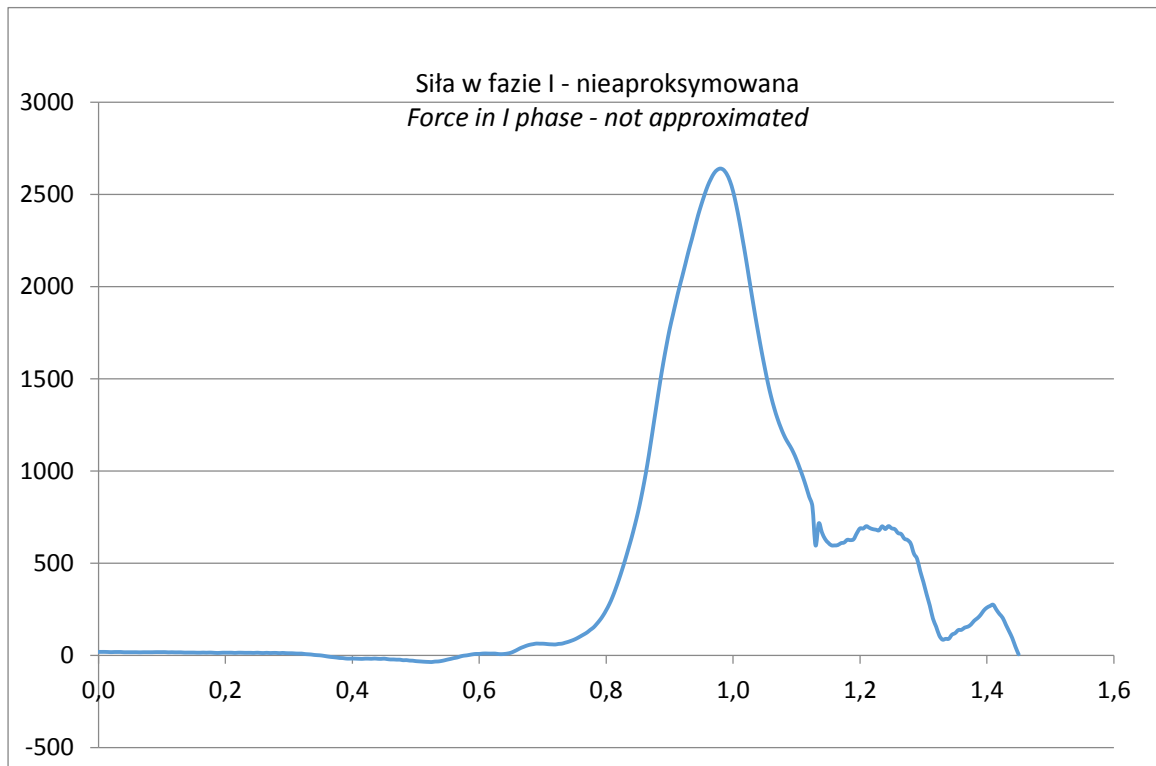
Na wykresach wyraźnie widać, że w fazie I uzyskany impuls siły (pole pod krzywą), pomimo znacznej wartości jej wierzchołka, jest prawie dwukrotnie niższy niż w fazie II, co oznacza, że największy wpływ na odrzut broni ma drugi etap strzału. Wyniki jednoznacznie wskazują, że obliczone impulsy sił:  $I_1=1327$  [N·s],  $I_2=2480$  [N·s], tj. 1,87 razy więcej, różnią się znacznie co do wartości, a czasy oddziaływań w obydwu przypadkach są znacząco różne, z czego wynika, że w fazie II oddziaływanie na strzelca w długim czasie jest bardziej intensywne. Należy nadmienić, że w końcowej fazie strzału działa dodatkowo bezwładność broni wywołana uderzeniem i powrotem zamka, co wydłuża proces, a jednocześnie łagodzi uderzenie kolby o ramię strzelca.

W celu lepszej interpretacji uzyskanych wyników siły w funkcji czasu, a w szczególności uzyskania postaci wyrażeń funkcyjnych dogodnych do analizy obliczeniowej, dokonano aproksymacji wielomianowej na siatce kroczącej, a wykresy podzielono na dwie różniące się długością oddziaływania i intensywnością fazy strzału.

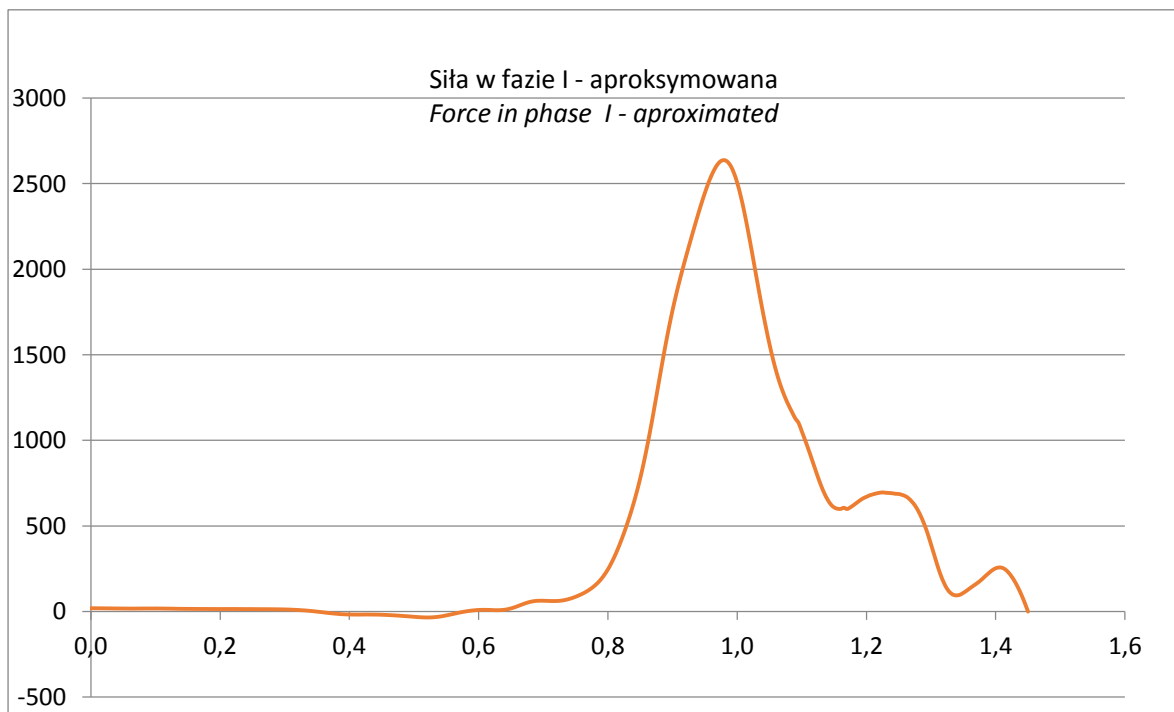
The exemplary plots of the force in two phases of firing with Kalashnikov carbine kbk AKM are presented in figures 8 -11 for selected sample (real and approximated functions).

The diagrams show clearly that the impulse of force in the first phase (surface under the curve), in spite of a significant value of its peak, is almost two times lower than in the second phase what means that the second stage of firing influences the gun recoil in the greatest degree. The results indicate that calculated impulses of forces:  $I_1=1327$  [N·s],  $I_2=2480$  [N·s] are significantly different, i.e. by 1.87 times, as well as the times of action are, what causes that in the second phase the long time reaction on the shooter is more intense. It has to be mentioned that in the final phase the inertia of gun caused by impact and return of the bolt also appears what elongates the process and reduces the blow of the butt into the shooter's arm.

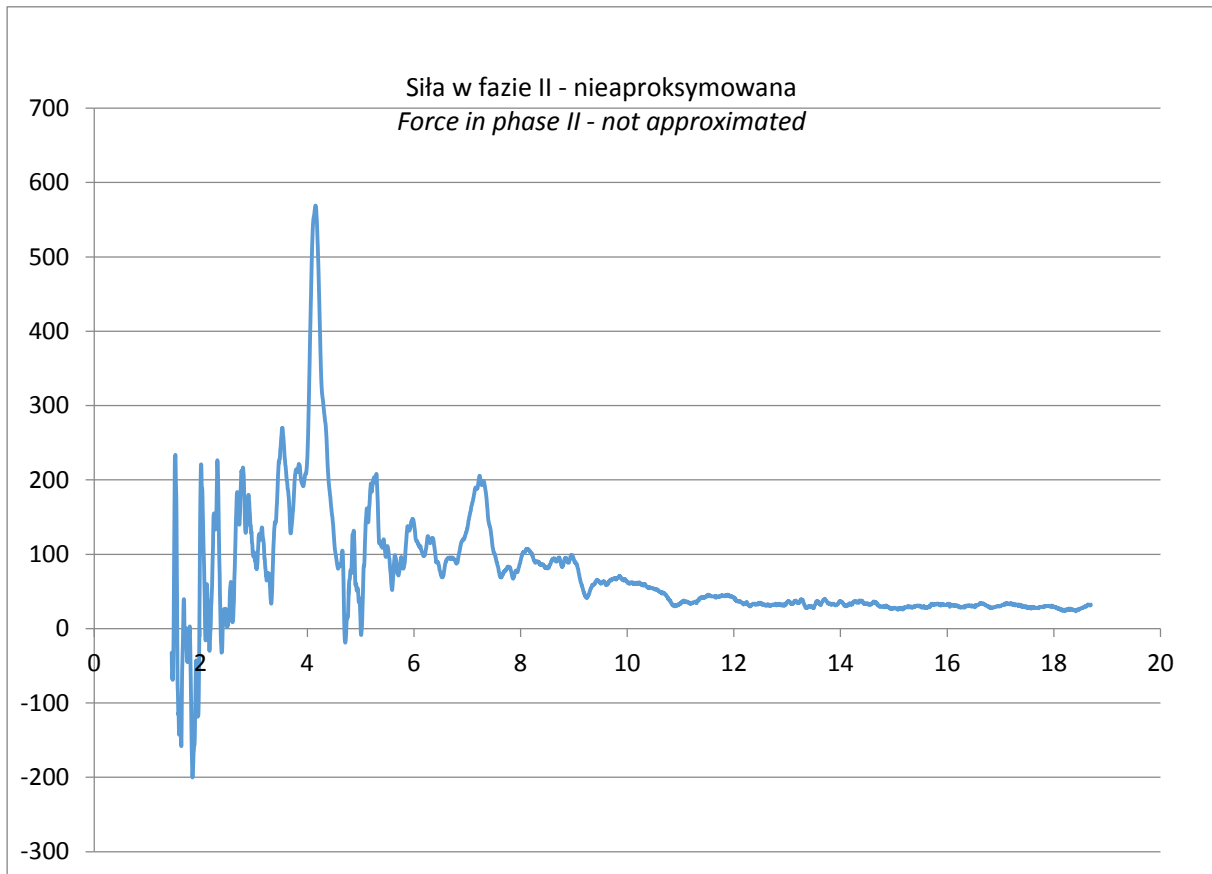
In order to get a better interpretation of received results of force versus time and especially to get a form of functional formula which is suitable for calculations the polynomial approximation on the progressive lattice was carried out for two phases of diagrams with different intensities of reaction and time of duration.



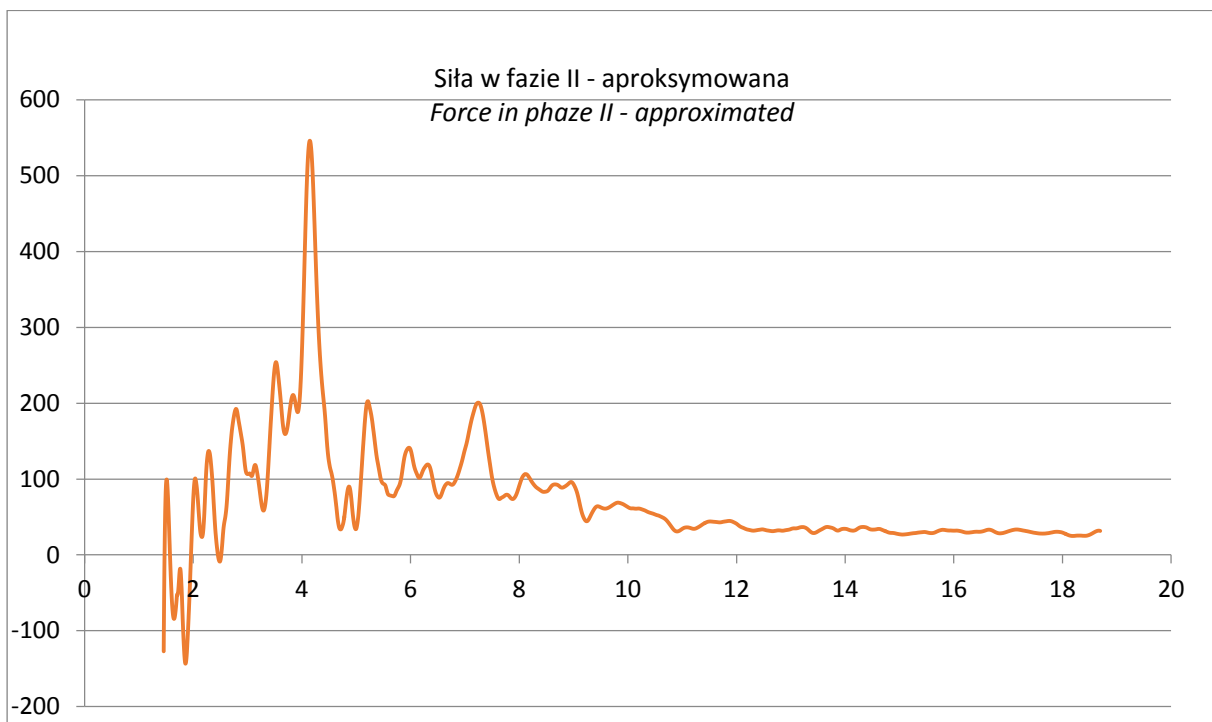
Rys. 8. Wykres siły rzeczywistej [N] w czasie strzału [ms] w pierwszej fazie strzału (1,45 ms)  
Figure 8. Real force [N] during the firing [ms] in the first phase of the shot (1.45 ms)



Rys. 9. Wykres siły aproxymowanej [N] w czasie strzału [ms] w pierwszej fazie strzału  
Figure 9. Approximated force [N] during firing [ms] in the first phase of the shot



Rys. 10. Wykres siły rzeczywistej [N] w czasie strzału [ms] w drugiej fazie strzału (17,155 ms)  
Figure 10. Real force [N] during firing [ms] in the second phase of the shot (17.155 ms)



Rys. 11. Wykres siły aproksymowanej [N] w czasie strzału [ms] w drugiej fazie strzału  
Figure 11. Approximated force [N] during firing [ms] in the second phase of the shot

## 5. Wnioski

Analizując otrzymane wyniki badań można sformułować wnioski podsumowujące:

1. Niezależnie od rodzaju broni oddziaływanie zawsze dzieli się na dwie fazy.
2. W każdym przypadku w drugiej fazie oddziaływania, impuls przekazywany na ramię strzelca jest większy niż w fazie pierwszej. Jest to dokładnie widoczne na zarejestrowanych przebiegach sił.
3. Można wnioskować, że każda z faz będzie powodować odmienne, subiektywne odczucia oddziaływania strzału przez strzelca. Odczucia te mogą być podstawą do formułowania opinii o danej broni jako przyjaznej w obsłudze lub trudniejszej do oddania celnych strzałów.
4. Zastosowanie aproksymacji jest celowe i umożliwia podjęcie analizy obliczeniowej przebiegu badanego zjawiska.

Przedstawione wyniki badań wykazują celowość dokonania podziału wykresu siły w UBS na dwie fazy.

## 5. Conclusions

Following conclusions may be drawn by analysing the received results of tests:

1. The reaction always consists of two phases independently on type of the gun.
2. In each case the impulse transferred on the shooter's arm is greater in the second phase of action than in the first phase. It is clearly visible on the recorded plots of forces.
3. Each phase may cause different and individual sensations of a shooter on the reaction of firing. These sensations may be a base for formulating opinions about a specific gun as a friendly or not in handling and firing accurate shots.
4. Use of approximation is reasonable and provides possibilities to analyse the phenomenon by calculations.

Presented results of tests prove that the division of the force in the GSS on two phases is justified.

## Literatura / Literature

- [1] Wilniewicz P.: – Broń samoczynna, Wydawnictwo MON, 1958
- [2] Kochański S.: – Małokalibrowa broń samoczynna, Wydawnictwa Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 1989
- [3] Ewertowski J.: – Analiza siły oddziaływania broni ramiennej na strzelca w czasie strzału, Biuletyn WAT, vol. LVI, nr 1, 2007
- [4] Orłow B. W.: – Projektowanie raketnych i stwolnych systemów. Maszynostrojniczo, Moskwa 1974
- [5] Brodacki J.: – Amunicja małokalibrowa, WPW, Warszawa, 1989
- [6] Białczak B.: – Podstawy budowy broni lufowej, Skrypty uczelniane Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 1988
- [7] HIS Jane's Weapons: Infantry 2012–2013
- [8] Głowacki H.: – Zasady konstrukcji automatycznej broni strzeleckiej, Wyd. Wyd. WAT, Warszawa 1966

Praca naukowa finansowana ze środków na działalność statutową w roku 2015, WIP, IMiP, Zakład Mechaniki i Techniki Uzbrojenia, Politechnika Warszawska, nr projektu: 504/02070/1101 – **"Ocena efektywności współdziałania broni lufowej i strzelca"**

*Scientific project financed from the statutory assets in 2015 of WIP, IMiP, Establishment of Mechanics and Techniques of Armament, Warsaw University of Technology, Project No: 504/02070/1101 – "Evaluation of Effectiveness for Gun and Shooter Interaction"*

