



**BADANIA PORÓWNAWCZE WYBRANYCH RODZAJÓW BOJOWEJ  
BRONI STRZELECKIEJ ORAZ JEJ SYMULATORÓW.  
CZ. I - 5,56 MM KARABINEK BERYL**

**COMPARATIVE TESTS OF CHOSEN SERVICE WEAPONS  
AND THEIR SIMULATORS - PART I - 5.56 MM BERYL ASSAULT RIFLE**

Jerzy KOWALEWSKI

Wojskowy Instytut Techniczny Uzbrojenia, ul. Pr. St. Wyszyńskiego 7, 05-220 Zielonka  
Military Institute of Armament Technology, 7 Prym. St. Wyszyńskiego St., 05-220 Zielonka, Poland  
ORCID: 0000-0002-7829-7989

DOI 10.5604/01.3001.0014.8994

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono badania porównawcze wybranych rodzajów bojowej broni strzeleckiej oraz jej symulatorów. Ta część dotyczy 5,56 mm karabinka BERYL.

Słowa kluczowe: broń strzelecka, symulator, badania

## 1. Obiekty badań i przebieg badań

Do badań wybrano następujące rodzaje broni bojowej (bb):

- 1) 5,56 mm karabinek szturmowy kbs wz. 96 BERYL (bb kbs wz. 96 BERYL),
- 2) 7,62 mm uniwersalny karabin maszynowy UKM2000P (bb UKM2000P), który opisany będzie w PTU nr 1/2021

oraz następujące rodzaje symulatorów broni (sb):

- 1) symulator 5,56 mm karabinka szturmowego kbs wz. 96 BERYL (sb kbs wz. 96 BERYL), zgodnego z patentem [1]. Karabinek szturmowy wz. 96 BERYL (5,56 mm) jest obecnie podstawowym uzbrojeniem żołnierza WP. Należy do broni lekkich, łatwo przenoszonych, z trzema nastawami rodzaju ognia: pojedynczy, krótka seria i ogień ciągły (fot. 1-4).

**Abstract:** Comparative tests of selected types of service weapons and their simulators were carried out and the paper deals with 5.56 mm BERYL assault rifle.

Keywords: small arms, simulator, testing

## 1. Objects and Course of Testing

Following types of service weapons (SW) were taken for testing:

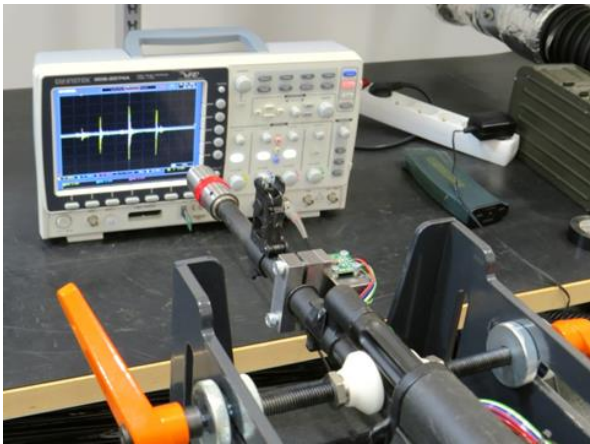
- 1) 5.56 BERYL assault rifle model 96 (SW model 96 BERYL),
- 2) 7.62 mm UKM2000P universal machinegun (SW UKM2000P) which will be presented in IAT No 1/2021

together with following types of weapon simulators (WS):

- 1) simulator of 5.56 mm assault rifle model 96 BERYL (SW model 96 BERYL) according to patent [1]. Model 96 BERYL (5.56 mm) assault rifle is a basic weapon used now by the Polish Armed Forces. It falls into the category of light, easy portable weapons having three settings of fire: singular, short series and continuous series (Photo 1-4).

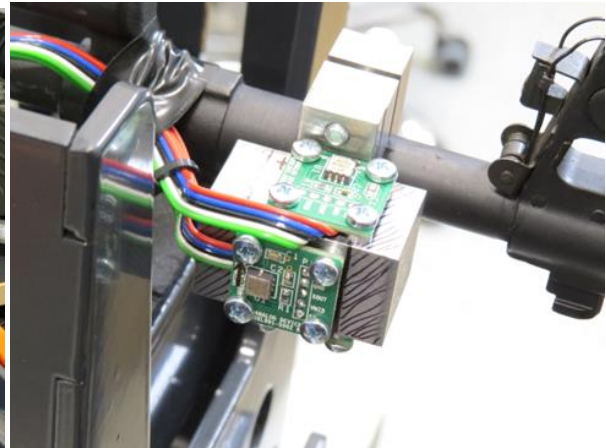
2) symulator 7,62 mm uniwersalnego karabinu maszynowego UKM2000P (sb UKM2000P), także zgodnego z patentem [1], który opisany będzie w PTU nr 1/2021. Karabin maszynowy 7,62 mm UKM2000P jest to broń dużo cięższa niż BERYL i strzela się z niego ze stanowiska stacjonarnego. Broń ta nie ma przełącznika rodzaju ognia - strzela jedynie ogniem ciągłym.

2) simulator of 7.62 mm universal machinegun UKM2000P (WS UKM2000P), according to patent [1] which will be presented in IAT No 1/2021. UKM2000P 7.62 mm machinegun is a heavier weapon than BERYL and is designated to fire from a stationary position. The weapon is not equipped with a selector of fire and can only fire in series.



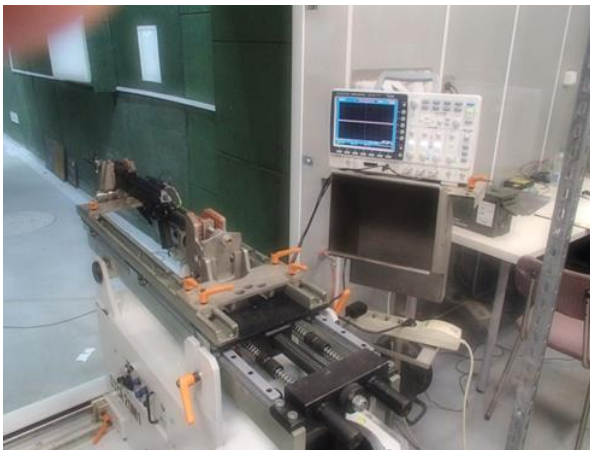
**Fot. 1.** Symulator 5.56 mm karabinka szturmowego wz. 96 BERYL zamocowany na stole badawczym

*Photo 1. Simulator of 5.56 mm model 96 BERYL fixed in a testing bed*



**Fot. 2.** Kostka z trzema czujnikami akcelerometrycznymi zamocowana na lufie symulatora

*Photo 2. Adapter with accelerometric sensors fixed to the simulator's barrel*



**Fot. 3.** Bojowy 5.56 mm karabinek szturmowy wz. 96 BERYL zamocowany na stole badawczym

*Photo 3. BERYL 5.56 mm model 96 service assault rifle fixed in a testing bed*



**Fot. 4.** Kostka z trzema czujnikami akcelerometrycznymi, zamocowana na lufie broni bojowej

*Photo 4. Adapter with three accelerometric sensors fixed to the service gun barrel*

Podczas badań układ pneumatyczny przeładowania symulatora 5,56 mm karabinka szturmowego kbs wz.96 BERYL był zasilany ze zbiornika umieszczonego w magazynku, zawierającego sprężony pod ciśnieniem 50 barów dwutlenek węgla (CO<sub>2</sub>).

W badaniach bojowego 5,56 mm karabinka szturmowego kbs wz.96 BERYL wykonano 14 prób, w tym z zamocowania na stole badawczym 3 pojedyncze strzały i 2 serie po 3 strzały oraz „z ręki” 6 pojedynczych strzałów i 2 serie 3 strzałów.

W badaniach symulatora 5,56 mm karabinka szturmowego kbs wz.96 BERYL wykonano 15 prób, w tym z zamocowania na stole badawczym 6 pojedynczych strzałów, jedna seria 3 strzałów oraz „strzał” samego kurka, natomiast „z ręki” 5 pojedynczych strzałów, dwie serie 3 strzałów.

Pomiary przyspieszeń dla poszczególnych rodzajów broni rejestrowane przez 3 kanały oscyloskopu GW INSTEK GDS-2074A były zapisywane na nośniku pamięci zewnętrznej. Kanał pierwszy (K1) rejestrował drgania wzdłuż osi lufy, kanał drugi (K2) w płaszczyźnie poprzecznej do osi lufy pionowo, a kanał trzeci (K3) w płaszczyźnie poprzecznej do osi lufy poziomo. W czasie badań zarejestrowano przebiegi zarówno podczas oddawania pojedynczych strzałów, jak i serii trzech strzałów.

## **2. Wyniki badań przyspieszenia broni bojowej i symulatorów 7,62 mm karabinka BERYL podczas strzału**

Przebiegi czasowe wibracji zarejestrowane w czasie oddawania pojedynczych strzałów z symulatora broni karabinka BERYL i analogicznej broni bojowej przedstawiono na fot. 5-8. Typowe przebiegi czasowe dla serii trzech strzałów z symulatora broni karabinka BERYL i analogicznej broni bojowej przedstawione są na fot. 9 - 12.

During the tests a reloading pneumatic system of 5.56 mm model 96 BERYL simulator was powered from a container embedded in the magazine containing the carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) under the pressure of 50 bars.

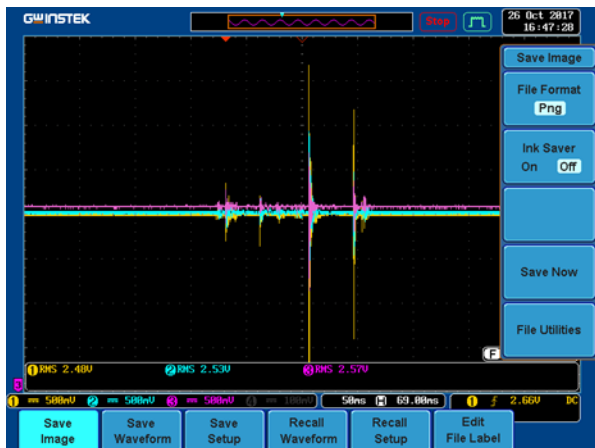
During the tests of 5.56 mm model 96 BERYL service assault rifle 14 trials were executed, including those with the rifle fixed in the testing bed comprising 3 individual shots and 2 series of 3 shots, and fired from a free hand with 6 individual shots and 2 series of 3 shots each.

At tests of simulator of 5.56 mm model 96 BERYL service assault rifle 15 trials were executed, including those with the rifle fixed in the testing bed comprising 6 individual shots and 1 series of 3 shots and a shot from the cock itself, and fired from a free hand with 5 individual shots and 2 series of 3 shots each.

The accelerations of particular types of weapons were recorded by 3 channels of GW INSTEK GDS-2074A oscilloscope and stored in an external memory. The first channel (K1) recorded the vibrations along the barrel, the second channel (K2) in the plane lateral to the barrel axis, and the third channel (K3) in the horizontal plane to the barrel axis. During the tests the signals were recorded both at firing the individual shots and the series of three shots as well.

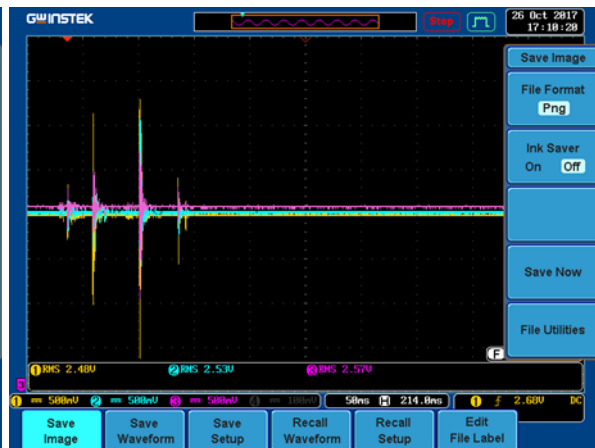
## **2. Acceleration Test Results of 7.62mm Beryl Service Gun and Its Simulator at Firing**

Time signals of vibrations recorded at firing individual shots with BERYL gun simulator and its corresponding service gun are presented in photo 5-8. Typical time signals for a series of three shots at firing with BERYL gun simulator and its corresponding service gun are presented in photo 9 - 12.



**Fot. 5. Przebieg czasowy vibracji symulatora karabinka BERYL zamocowanego podczas strzału na stole badawczym**

*Photo 5. Time vibrations of BERYL gun simulator fixed in a testing bed*



**Fot. 6. Przebieg czasowy vibracji symulatora karabinka BERYL podczas strzału „z ręki”**

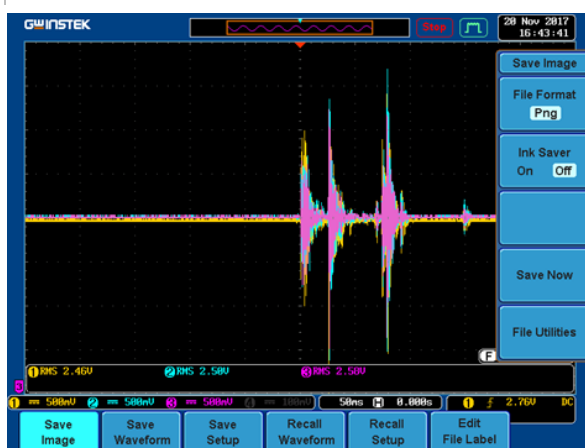
*Photo 6. Time vibrations of BERYL gun simulator at hand firing*



**Fot. 7. Przebieg czasowy vibracji bojowego karabinka BERYL zamocowanego na stole badawczym podczas strzału**

*Photo 7. Time vibrations of BERYL service gun fixed in a testing bed at firing*

Podczas pomiaru vibracji zarejestrowano wartości napięć występujących na akcelerometrach w funkcji czasu i zapisano je w arkuszu kalkulacyjnym programu EXCEL. Posłużyły one do wyliczenia wartości przyspieszeń drgań występujących podczas strzału. Wartości przyspieszeń wyliczono ze wzoru 1, uwzględniając stałe charakterystyczne dla zastosowanego akcelerometru  $U_n$  i  $c$ .



**Fot.. 8. Przebieg czasowy vibracji bojowego karabinka BERYL podczas strzału „z ręki”**

*Photo 8. Time vibrations of BERYL service gun at hand firing*

The values of voltages produced by accelerometers were recorded and stored in calculating sheets of EXCEL code. They were used to calculate accelerations of vibrations occurring at firing. The values of accelerations were calculated from relation 1 for specific constant parameters  $U_n$  and  $c$  of the used accelerometer.

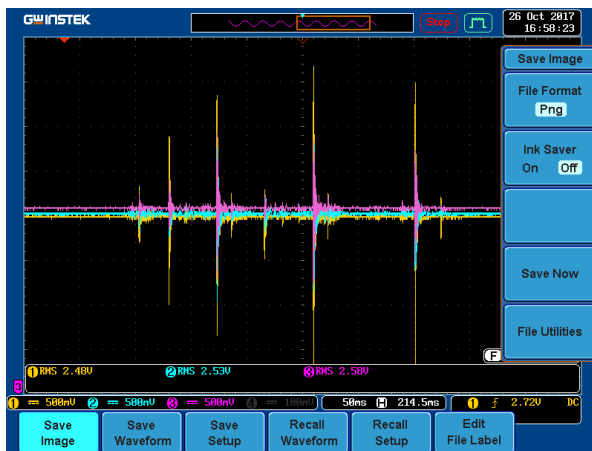
$$a = \frac{(U_w - U_n) \times 1000}{c} \quad (1)$$

gdzie:

$a$  – przyspieszenie [ $m/s^2$ ],  
 $U_w$  - napięcie na akcelerometrze [V],  
 $U_n$  - napięcie odniesienia [V], (2,5 V dla akcelerometru ADXL001-500),  
 $c$  - czułość akcelerometru [mV/g] (3,3 mV/g dla akcelerometru ADXL001-500).

where:

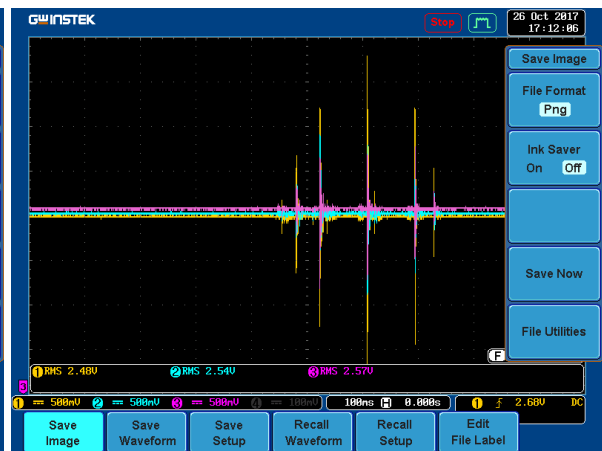
$a$  – acceleration [ $m/s^2$ ],  
 $U_w$  – accelerometer voltage [V],  
 $U_n$  – reference voltage [V], (2.5 V for accelerometer ADXL001-500),  
 $c$  - sensitivity of accelerometer [mV/g] (3.3 mV/g for ADXL001-500).



**Fot. 9.** Przebieg czasowy vibracji symulatora karabinka BERYL zamocowanego na stole badawczym podczas strzału seria (3 strzały)

*Photo 9. Time vibrations of BERYL gun simulator fixed in a testing bed at the serial firing (3 shots)*

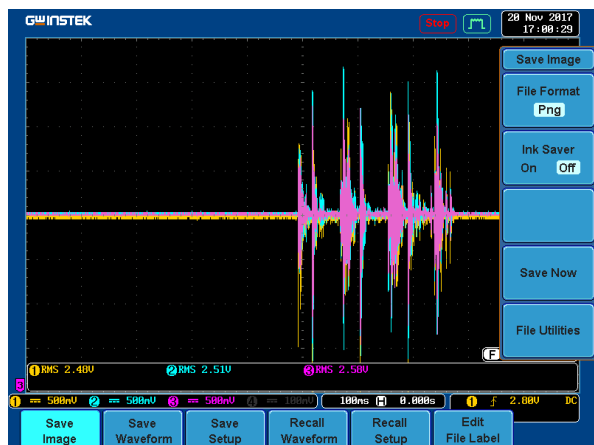
Z otrzymanych danych wyodrębniono i porównano przebiegi czasowe przyspieszeń drgań symulatorów i broni bojowej w trzech osiach: K1, K2, K3. Najwyższe wartości przyspieszenia występowały wzdłuż osi wzdłużnej (K1) zarówno w przypadku symulatorów, jak i broni bojowej (rys. 1-2).



**Fot. 10.** Przebieg czasowy vibracji symulatora karabinka BERYL podczas strzału „z ręki” seria (3 strzały)

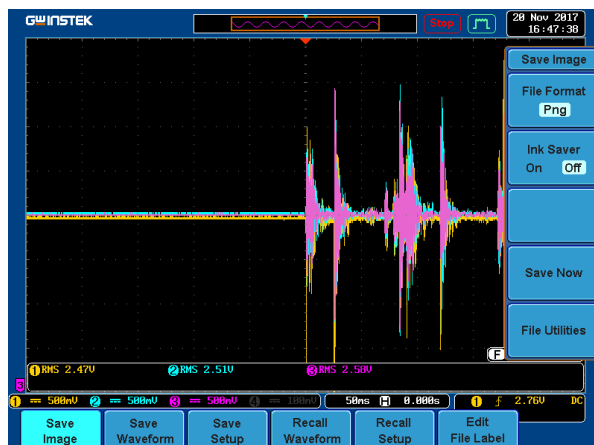
*Photo 10. Time vibrations of BERYL gun simulator kept in hands at the serial firing (3 shots)*

From the received data the time signals of accelerations were selected and compared for vibrations of simulators and service guns in three axes: K1, K2, K3. The highest values of accelerations were observed along the longwise axis (K1) both for the simulators and the service guns (Fig. 1-2).



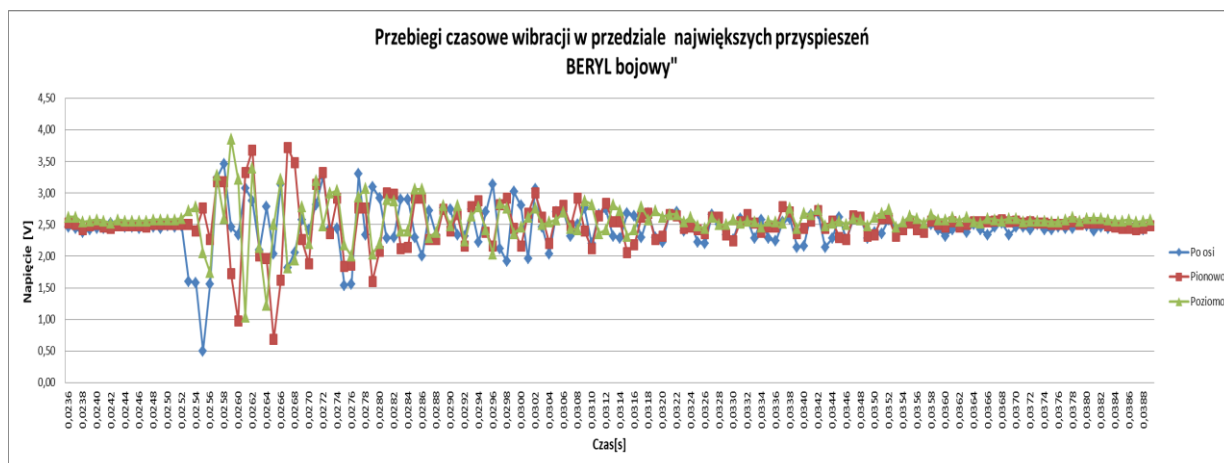
Fot. 11. Przebieg czasowy wibracji bojowego karabinka BERYL zamocowanego na stole badawczym podczas strzału seria 3 strzałów

*Photo 11. Time vibrations of BERYL service gun fixed in a testing bed at the serial firing of 3 shots*



Fot. 12. Przebieg czasowy wibracji bojowego karabinka BERYL podczas strzału „z ręki” seria 3 strzałów

*Photo 12. Time vibrations of BERYL service gun kept in hands at the serial firing of 3 shots*



Rys. 1. Wykres nałożonych przebiegów czasowych przyspieszenia w trzech osiach (K1– kolor niebieski, K2 – kolor czerwony, K3 – kolor zielony) dla bojowego karabinka BERYL w przedziale największych wartości przyspieszenia

*Fig. 1. Plots of acceleration time signals laid on each other in three axes (K1– blue, K2 – red, K3 – green) for BERYL service gun for the greatest accelerations*

Analizując otrzymane wykresy przyspieszenia drgań w funkcji czasu, można porównać dla symulatora i broni bojowej takie parametry jak:

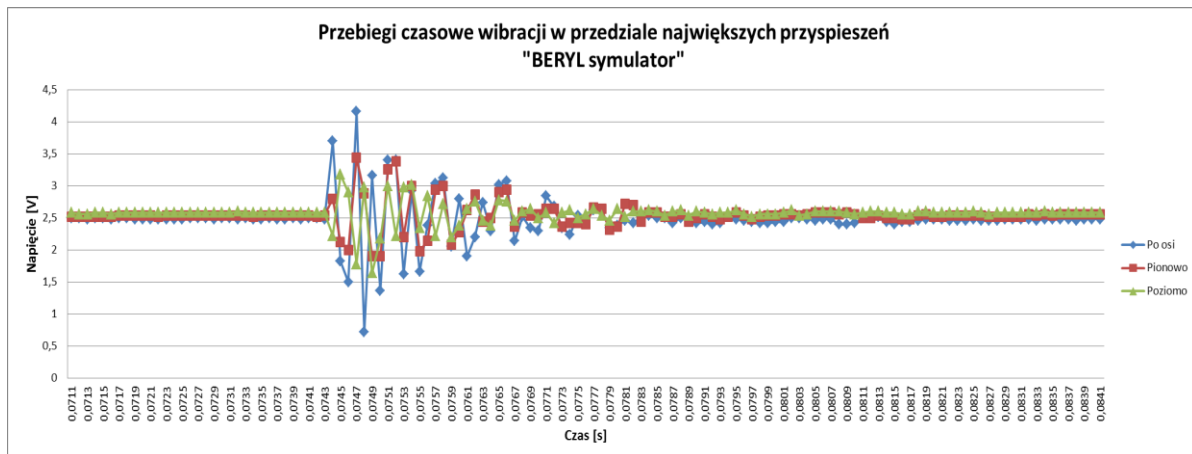
- całkowity czas trwania wibracji podczas strzału od wzbudzenia aż do wygaśnięcia –  $t$ ,
- maksymalną wartość szczytową przyspieszenia chwilowego –  $g_{max}$ ,

Following parameters of simulators and service weapons may be compared when the received plots of acceleration versus time for the vibrations are analysed:

- total duration time of vibrations from start to the end –  $t$ ,
- maximal peak value of instant acceleration –  $g_{max}$ ,

- czasy pomiędzy występowaniem pików przyspieszenia związanymi z poszczególnymi fazami zjawiska strzału  $t_n$ ,
- przemieszczenie (wychylenie) drgań,
- prędkość drgań,
- przyspieszenie drgań –  $g$ ,
- przyspieszenie skuteczne drgań danej broni  $g_{rms}$ .

- time periods between the acceleration peaks connected with particular phases of firing effects  $t_n$ ,
- amplitude (deflection) of vibrations,
- velocity of vibrations,
- acceleration of vibrations –  $g$ ,
- effective acceleration of vibrations for particular weapon  $g_{rms}$ .



**Rys. 2. Wykres nalożonych przebiegów czasowych przyspieszenia w trzech osiach (K1– kolor niebieski, K2 – kolor czerwony, K3 – kolor zielony) dla symulatora karabinka BERYL w przedziale najwyższych wartości przyspieszenia**

**Fig. 2. Plots of acceleration time signals laid on each other in three axes (K1– blue, K2 – red, K3 – green) for BERYL simulator in the range of greatest accelerations**

Ponieważ oddziaływanie siły odrzutu na strzelca związane jest z wpływem wielu czynników, a ich analiza jest bardzo złożona, zdecydowano się na doświadczalne wyznaczenie przyspieszenia skutecznego występujących drgań mechanicznych podczas strzału. Jest to wielkość, którą najczęściej stosuje się do oceny wpływu drgań mechanicznych na organizm człowieka, jako parametr najlepiej charakteryzujący stronę energetyczną procesu drganiowego. Do wyznaczania wartości skutecznej określonej w dziedzinie częstotliwości stosuje się procedury zawarte w normach [2, 3]. Wartość przyspieszenia skutecznego drgań można obliczyć stosując wzór:

Because the effect of the recoil force against a shooter depends on many factors requiring a very complex analysis, then it was decided to get an experimental value of the effective acceleration occurring at mechanical vibrations during the firing. It is a parameter which is most often used for the assessment of the effect that the mechanical vibrations exert on the body of a man, as it is the parameter which describes in a best way the energetic aspect of the vibrating process. The effective value specified in the domain of frequency is determined by the procedures contained in standards [2, 3]. The effective acceleration value of vibrations is calculated by using the equation:

$$a_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T a^2(t) dt} \quad (2)$$

Z uwagi na dyskretny charakter przeprowadzonych pomiarów – amplitudy drgań były mierzone co 0,2 ms, bardziej adekwatny jest wzór (3), który użyto do obliczenia wartości przyspieszenia skutecznego drgań badanej broni:

Due to the discreteness of measurements – the amplitudes of vibrations were sampled by 0.2 msec, the equation (3) is more adequate for calculation of the effective acceleration of vibrations for investigated weapons:

$$a_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i^2} \quad (3)$$

gdzie:

$a_i$  – Wartość przyspieszenia w  $i$ -tym pomiarze,

$n$  – liczba pomiarów.

where:

$a_i$  – value of acceleration in  $i$ -th measurement,

$n$  – number of measurements.

### 3. Przebiegi czasowe dla broni bojowej karabinka BERYL

Analizując otrzymane przebiegi czasowe przyspieszeń dla broni bojowej karabinu BERYL (rys. 3), można rozróżnić poszczególne fazy pojedynczego strzału: uderzenie kurka w iglicę i zamek oraz zainicjowanie ładunku, który spalając się jest źródłem narastającego ciśnienia wywołującego pierwszy pik przyspieszenia (odrzutu) (rys. 3 obszar A) całej broni. Następnie gazy prochowe poprzez boczny otwór w lufie działają na tłok suwadła, które zaczyna się poruszać rozryglowując zamek, wyciągający łuskę z komory nabojoyej. Kolejny mniejszy pik przyspieszeń związany jest ze zderzeniem kryzy łuski z wyrzutnikiem (odrzut) (rys. 3 obszar B). Trzeci pik związany jest z uderzeniem suwadła w tył komory zamkowej (odrzut) (rys. 3 obszar C), następnie pod wpływem siły sprężyny mechanizmu powrotnego suwadło zaczyna przemieszczać się w przeciwnym kierunku aż do zde-

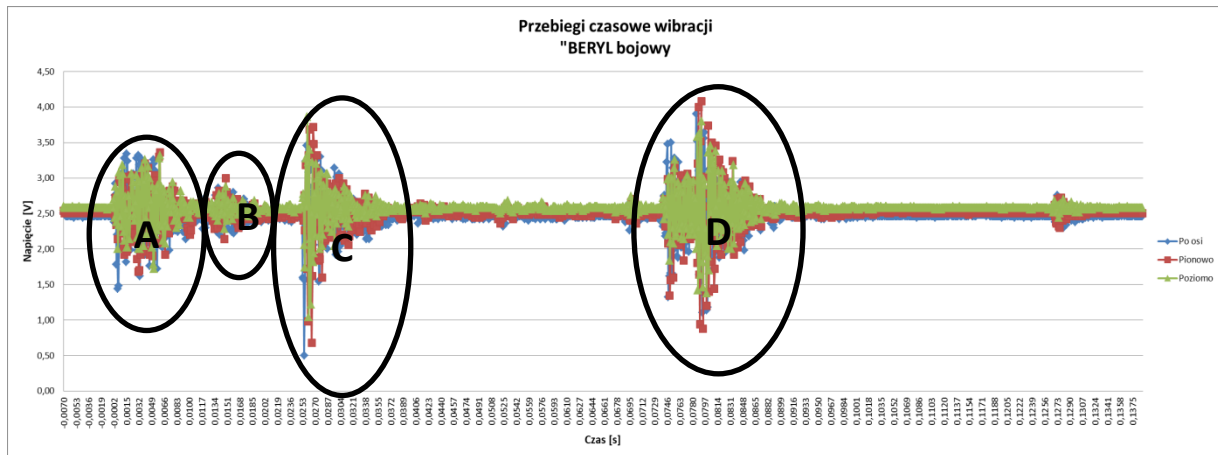
### 3. Time Signals for BERYL Service Gun

Analysis of received time signals of accelerations for BERYL service gun (Fig. 3) leads for distinguishing particular phases of a shot: strike of the cock into the needle and the bolt and initiation of the charge, combustion of which builds up the pressure and effects the first peak of the acceleration (recoil) (Fig. 3 section A) of the whole weapon. In the next step the powder gases traveling through a lateral opening in the barrel displace the piston of the slide disengaging the bolt and pulling the case from cartridge chamber. A next lower peak of acceleration is connected with a collision of case's collar with the ejector (recoil) (Fig. 3 section B). The third peak is connected with the slide impacting the rear wall of the cartridge chamber (recoil) (Fig. 3 section C), and finally the slide enforced by the spring of recuperator mechanism starts to displace in the opposite direction until striking the bolt in



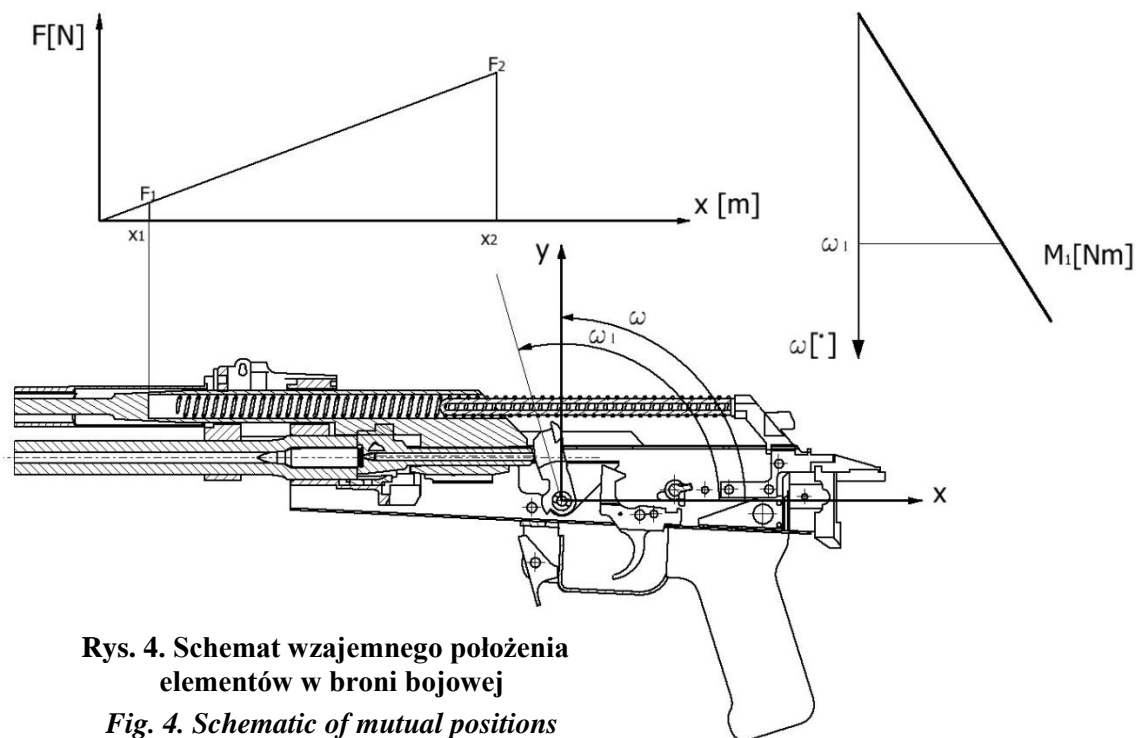
zenia w pierwszej kolejności zamka, a następnie suwadła z obsadą lufy. Obrazuje to czwarty pik związany z tym uderzeniem, a proces ten wywołuje narzut broni (rys. 3 obszar D).

the first step and consecutively the rear fixing of the barrel. It is illustrated by the fourth peak connected with this impact, and the process effects in an overjump of the gun (Fig. 3 section D).



**Rys. 3. Wykres nałożonych przebiegów czasowych przyspieszenia w trzech osiach (K1– kolor niebieski, K2 – kolor czerwony, K3 – kolor zielony) z zaznaczonymi fazami vibracji broni podczas strzału z bojowego karabinka BERYL**

**Fig. 3. Plots of acceleration time signals laid on each other in three axes (K1– blue, K2 – red, K3 – green) with marked phases of gun vibrations at firing with BERYL service gun**



**Rys. 4. Schemat wzajemnego położenia elementów w broni bojowej**

**Fig. 4. Schematic of mutual positions of components for the service gun**

Można również przeprowadzić teoretyczną analizę zjawiska strzału na podstawie obliczeń parametrów dynamiczno-kinematycznych poszczególnych zespołów i części poprzez całkowanie równań ruchu broni i elementów układu przeładowania. Wyznaczenie tą metodą przyspieszenia broni w chwili strzału jest jednak dość skomplikowane. Rysunek 4 przedstawia schemat wzajemnego położenia elementów broni bojowej i układy odniesienia działających sprężyn ( $F(x)$ -dla sprężyny powrotnej układu przeładowania i  $M_1(w)$  dla sprężyny skrętnej kurka), których charakterystyki potrzebne są do wyznaczenia równań ruchu poszczególnych części i zespołów.

W pierwszej fazie zjawiska strzału, kiedy pocisk znajduje się jeszcze przed bocznym otworem do odprowadzania gazów w lufie, równanie ruchu karabinu można opisać zależnością [4]:

$$m_b \frac{d^2 x}{dt^2} = P_c(t) \quad (4)$$

gdzie:

$x$  – droga,  $t$  – czas,  $m_b$  – masa broni,  
 $P_c(t)$  – wypadkowa siła ciśnienia gazów prochowych w funkcji czasu.

W drugiej fazie zjawiska strzału dochodzi ruch suwadła z zamkiem, który można opisać równaniem ruchu:

$$m_s \frac{d^2 x}{dt^2} = P_{cs}(t) - R_1 \frac{x}{f} - R_2 \frac{\omega_1}{\omega} - R_g \quad (5)$$

gdzie:

$m_s$  – masa całkowita suwadła i zamka,  
 $R_1$  – siła oporu ruchu suwadła z zamkiem od sprężyny powrotnej,  
 $R_2 = M_1/r$  – siła oporu ruchu suwadła z zamkiem od sprężyny kurka,  
 $M_1$  – moment siły od sprężyny skrętnej

A theoretical analysis of the effect of firing may be also carried out by calculating dynamical-kinematic parameters of particular components and parts through integration of motion equations for the gun and components of the reloading system. But such identification of gun acceleration at the moment of firing is a sophisticated method. Fig. 4 shows a schematic of mutual positions of service gun components with the reference systems of acting springs ( $F(x)$ -for recuperator spring of the reloading system and  $M_1(w)$  for the cock torsion spring), the specifications of which are needed for identification of motion equations of particular parts and units.

The first phase of the firing effect, when the projectile is still before the lateral opening, venting the gases from the barrel, the gun motion equation may be described by the dependence [4]:

where:

$x$  – displacement,  $t$  – time,  $m_b$  – mass of the gun,  $P_c(t)$  – resultant force of powder gases pressure versus the time.

The second phase of the firing effects is accompanied by the displacement of the slide with the bolt which may be described by the motion equation:

where:

$m_s$  – overall mass of the slide and bolt,  
 $R_1$  – the resistance force of motion for the slide with the bolt due to the recuperator spring,  
 $R_2 = M_1/r$  – the slide motion resistance force due to the cock spring,

kurka,

$r$  – ramię siły oporu działającej pod wpływem sprężyny skrętnej kurka działającej na zamek i suwadło,

$R_g$  – siła oporu ruchu związana z tarcieniem,

$f$  – maksymalna strzałka ugięcia sprężyny,

$\omega$  – maksymalny kąt skręcenia sprężyny kurka.

$\omega_1$  – bieżący kąt skręcenia sprężyny kurka.

Rozwiązując równania dotyczące ruchu poszczególnych elementów broni możemy wyliczyć parametry, takie jak: droga, prędkość, czasy przemieszczeń i przyspieszenia poszczególnych zespołów i części oraz wyliczyć siły związane z odrzutem broni.

#### 4. Przebiegi czasowe dla symulatora karabinka BERYL

W przypadku symulatora karabinka BERYL przebiegi czasowe przyspieszeń obrazują trzy fazy strzału (rys. 5).

$M_1$  – moment of a force due to the cock torsion spring,

$r$  – the arm of the resistance force acting due to the cock torsional spring into the bolt and the slide,

$R_g$  – resistance force due to the friction,

$f$  – spring maximal bending deflection,

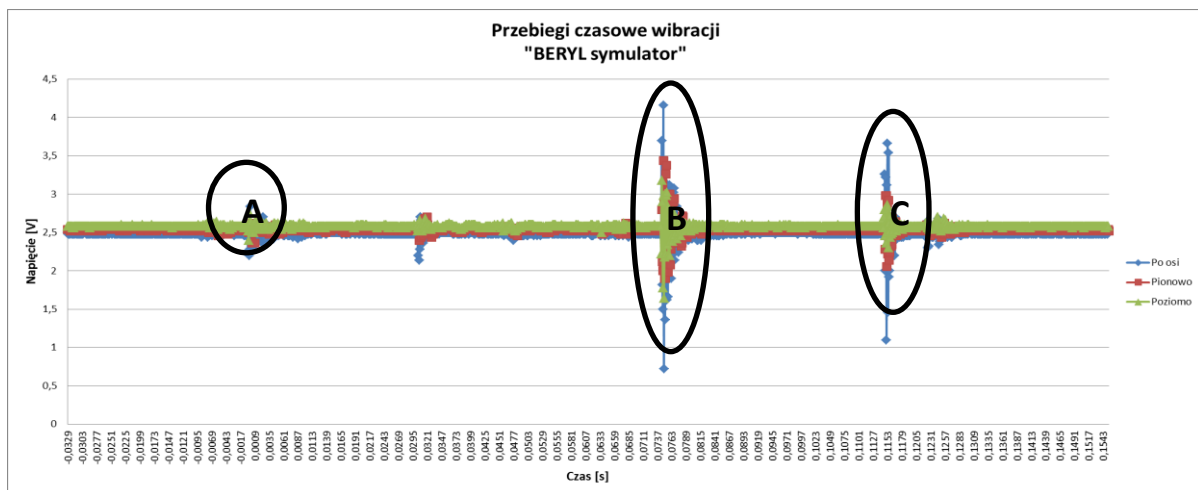
$\omega$  – maximal cock spring torsion angle,

$\omega_1$  – current cock spring torsion angle.

By finding solutions of equations describing the motions of particular components of the gun following parameters can be calculated: displacement, velocity, times of displacements and the accelerations of particular units and parts, and the forces connected with the recoil of the gun.

#### 4. Time Signals for BERYL Gun Simulator

Concerning the BERYL gun simulator the time signals of accelerations include three phases of firing (Fig. 5).

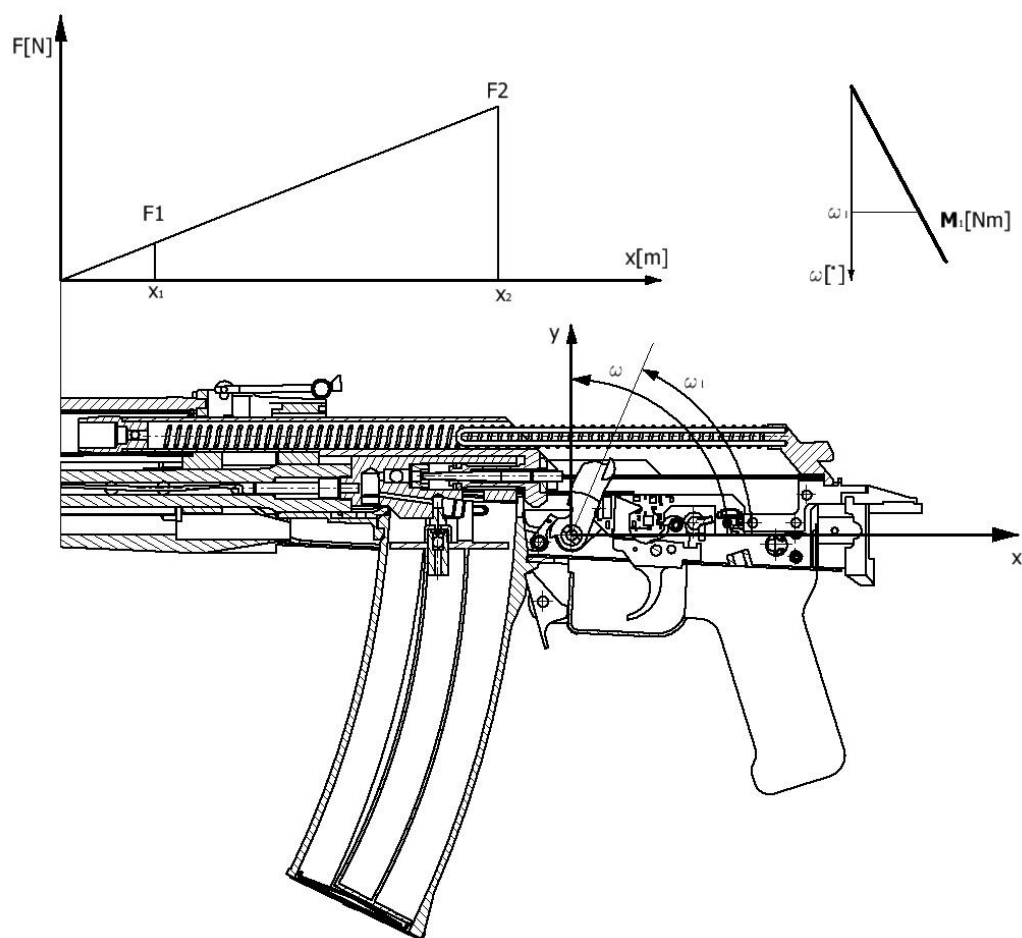


Rys. 5. Wykres nałożonych przebiegów czasowych przyspieszenia w trzech osiach (K1– kolor niebieski, K2 – kolor czerwony, K3 – kolor zielony) z zaznaczonymi fazami wibracji broni podczas strzału z symulatora karabinka BERYL

Fig. 5. Plots of acceleration time signals laid on each other in three axes (K1– blue, K2 – red, K3 – green) with marked phases of gun vibrations at firing with BERYL gun simulator

Pierwszy, mniejszy pik wartości przyspieszeń to uderzenie kurka w iglicę zaworu i suwadło specjalne (narzut) (rys. 5 obszar A), które zaczyna się poruszać pod wpływem działania ciśnienia gazu roboczego aż do uderzenia w tył komory zamkowej, co stanowi drugi pik (odrzut) (rys. 5 obszar B). Następnie, pod wpływem działania siły sprężyny powrotnej mechanizmu powrotnego suwadło specjalne zaczyna poruszać się w przeciwnym kierunku aż do uderzenia w obsadę lufy (trzeci pik - narzut) (rys. 5 obszar C).

The first lower peak of acceleration signals is at the impact of the cock into the needle of the valve and into a special slide (overthrow) (Fig. 5 section A) which starts to move under the pressure of a working gas until hitting the rear part of the bolt chamber and producing the second peak (recoil) (Fig. 5 section B). In the next step the special slide starts moving in the reverse direction under the action of the recuperator spring until hitting the fixing of the barrel (third peak - overthrow) (Fig. 5 section C).



**Rys. 6. Schemat wzajemnego położenia elementów w symulatorze broni bojowej**  
**Fig. 6. Schematic of mutual positions of components in the simulator of service weapon**

Rysunek 6 przedstawia schemat wzajemnego położenia elementów symulatora broni bojowej i układy odniesienia działających

Figure 6 shows the schematic of mutual positions of components in the simulator of service weapon with the reference systems

sprężyn (F(x)-dla sprężyny powrotnej układu przeładowania i  $M_1(w)$  dla sprężyny skrętnej kurka), których charakterystyki potrzebne są do wyznaczenia równań ruchu poszczególnych części i zespołów.

W fazie odrzutu suwadła jego ruch można opisać równaniem [6]:

$$m_{sp} \frac{d^2x}{dt^2} = P_{c1} - R_1 \frac{x}{f} - R_2 \frac{\omega_1}{\omega} - R_g \quad (6)$$

gdzie:

- $m_{sp}$  – masa suwadła specjalnego,
- $P_{c1}$  – wypadkowa siła ciśnienia gazów (stała),
- $R_1$  – siła oporu ruchu suwadła z zamkiem od sprężyny powrotnej,
- $R_2 = M_1/r$  – siła oporu ruchu suwadła z zamkiem od sprężyny kurka,
- $M_1$  – moment siły od sprężyny skrętnej kurka,
- $r$  – ramię siły oporu działającej pod wpływem sprężyny skrętnej kurka działającej na zamek i suwadło,
- $R_g$  – siła oporu ruchu związana z tarciem,
- $f$  – maksymalna strzałka ugięcia sprężyny,
- $\omega$  – maksymalny kąt skrócenia sprężyny kurka.

of acting springs (F(x)-for recuperator spring of the reloading system and  $M_1(w)$  for the cock torsion spring), the specifications of which are needed for identification of motion equations of particular parts and units.

The phase of the slide recoil movement may be described by the equation [6]:

where:

- $m_{sp}$  – mass of the special slide,
- $P_{c1}$  – gas pressure resultant force (constant),
- $R_1$  – slide and bolt motion resistance force due to the recuperator spring,
- $R_2 = M_1/r$  – slide and bolt motion resistance force due to the cock spring,
- $M_1$  – moment of a force due to the cock torsion spring,
- $r$  – the arm of the resistance force against the bolt and slide by cock torsional spring,
- $R_g$  – the friction motion resistance force,
- $f$  – spring maximal bending deflection,
- $\omega$  – cock spring maximal torsion angle.

Tabela 1. Wyniki pomiarów wybranych parametrów dla symulatora i karabinka BERYL podczas pojedynczego strzału

Table 1. Results of measurements of selected parameters for the simulator and BERYL rifle at a singular shot

Obiekt badań / Object of investigation	Czas trwania wibracji / Vibration duration time t [s]	Wartość piku I faza / Peak value I phase [m/s <sup>2</sup> ]	Wartość piku II faza / Peak value II phase [m/s <sup>2</sup> ]	Wartość piku III faza / Peak value III phase [m/s <sup>2</sup> ]	Wartość piku IV faza / Peak value IV phase [m/s <sup>2</sup> ]	Wartość skuteczna przyspieszenia / Effective acceleration value a [m/s <sup>2</sup> ]
Bojowy karabin BERYL / BERYL service rifle	0,0883	-321,2	-78,8	-606,1	424,2	<b>88,4</b>
Symulator karabinu BERYL / BERYL rifle simulator	0,1167	103,0	-539,4	-424,0	-	<b>45,1</b>

Otrzymane doświadczalne wyniki pomiarów wartości pików dla kolejnych faz oraz obliczoną wartość skuteczną przyspieszenia dla karabinu bojowego i symulatora BERYL podczas pojedynczego strzału przedstawiono w tabeli 1.

## 5. Podsumowanie

Podczas pomiarów uzyskano zadowalającą powtarzalność wyników dla wszystkich badanych parametrów. Analiza uzyskanych wartości badanych parametrów pozwala ocenić jakość zastosowanych pneumatycznych układów wymuszania ruchu w badanych symulatorach broni pod kątem ich przydatności do symulowania rzeczywistego strzału. Otrzymane w niniejszej pracy wyniki potwierdzają wyniki opinii użytkowników systemu ŚNIEŻNIK (dane nieopublikowane). Podczas strzelania rzeczywistego odczucia strzelców były zbieżne z uzyskanymi w niniejszej pracy wynikami liczbowymi.

Pomiary i wyliczenia przyspieszenia skutecznego (RMS) okazały się bardzo przydatne do wyboru optymalnego wariantu konstrukcji symulatora, akceptowalnego w symulacji strzału z broni w procesie szkolenia strzeleckiego. Wykazały, że by poprawić jakość symulacji należy wziąć pod uwagę zmianę wartości takich parametrów jak: wartość ciśnienia zasilającego układ pneumatyczny, masa elementów wykonawczych symulatora (zamek suwadło) oraz parametry sprężyn układów wymuszania ruchu mechanizmów symulatorów. Potwierdziły to przeprowadzone badania porównawcze symulatorów i broni bojowej, wskazując równocześnie, że opracowana i zastosowana metodyka badań powinna być stosowana w procesie konstruowania nowych i modernizowania już istniejących symulatorów broni strzeleckiej.

The received experimental results of measurements for consecutive phases, and calculated effective values of accelerations for BERYL service rifle and its simulator are shown in table 1.

## 5. Summary

A sufficient repeatability of results for all investigated parameters was obtained at the measurements. The analysis of received values of investigated parameters can be used to evaluate the quality of pneumatic systems used for the enforcement of motion in considered simulators of weapons regarding the aspects of their suitability for simulating a real shot. The results received in the presented work are confirmed by the opinions of SNIEŻNIK system users (unpublished data). At real firing the impressions of the shooters were similar to the results calculated in the paper.

The measurements and calculation of the effective acceleration (RMS) have proved to be very useful at selection of an optimal option of simulator's design which could be accepted for simulation of shots with the guns at the training process of firing. They proved that the improvement of the simulation quality may be done when changes of following parameters are considered: value of pressure powering the pneumatic system, mass of executive components of the simulator (bolt, slide) and parameters of springs used in systems enforcing the motion of simulators' mechanisms. The above was confirmed by the comparative tests of simulators and service guns, and it also indicated that the developed and used methodology of testing shall be employed at designing the new, and upgrading the existing, simulators of small arms.

### **Literatura / Literature**

- [1] Patent RP nr 226734 na wynalazek. Hłosta P., Głogowski T., Kowalewski J., Stępiak S., Całka R., Piątek B., Szablowski K., Merda T. Symulator karabinu samoczynno-samo-powtarzalnego.
- [2] PN-91/N-01352.
- [3] PN-EN ISO 5349.
- [4] Wilniewicz P. 1958. Broń samoczynna. Warszawa, MON.

