



## **ANALIZA WYBRANYCH PARAMETRÓW BOJOWEJ BRONI STRZELECKIEJ WAŻNYCH W ASPEKCIE KONSTRUOWANIA SYMULATORÓW**

### ***ANALYSIS OF CHOSEN PARAMETERS OF COMBAT WEAPONS IMPORTANT FOR DESIGNS OF SIMULATORS***

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*  
*Author's e-mail address: kowalewskij@witu.mil.pl; ORCID: 0000-0002-7829-7989*

DOI 10.5604/01.3001.0014.4883

**Streszczenie:** Broń treningowa pracująca w systemie powinna spełniać określone wymagania odnośnie symulacji strzału. Wszystkie czynności przygotowawcze do oddania strzału powinny być takie, jak dla prawdziwej broni bojowej: podłączenie magazynka z amunicją, odbezpieczenie broni, przeładowanie, wprowadzenie nastawy celownika, oddanie strzału poprzez naciśnięcie spustu. Żołnierze strzelający wirtualnymi pociskami muszą mieć zapewnioną możliwość identyfikacji swojego strzału nie tylko wizualną czy dźwiękową, ale również poprzez odczuwanie pracy broni treningowej. Analiza parametrów broni bojowej pozwoliła na wyłonienie tych najważniejszych w procesie symulowanego strzału, którymi są: masa broni, siła odrzutu związana z odrzutem broni, podrzut lufy podczas strzału, rozrzut wystrzelonych z lufy pocisków, celność, trwałość mechaniczna oraz szybkostrzelność.

Słowa kluczowe: broń strzelecka, odrzut, celność, symulator

#### **1. Symulatory broni treningowej i ich charakterystyka**

Integralną częścią systemów szkolno-treningowych jest broń treningowa wykorzystywana do prowadzenia symulowanych

**Abstract:** Weapons used for training within a system have to meet special requirements concerning the simulation of a shot. All preparatory actions for firing the shot have to be the same as for a real combat weapon: attaching the magazine, arming the weapon, reloading, entering the settings of the sight, and delivering the shot by pressing the detent. Soldiers firing with the virtual projectiles have to identify their shots not only by visual or acoustic ways, but by sensing the operation of the training weapon, as well. The analysis of the combat weapons parameters has indicated the most important of them for the process of simulated shooting: the mass of gun, the force of gun recoil, the jump of barrel at shooting, the scatter of projectiles fired with the barrel, the accuracy, the mechanical durability and rate of fire.

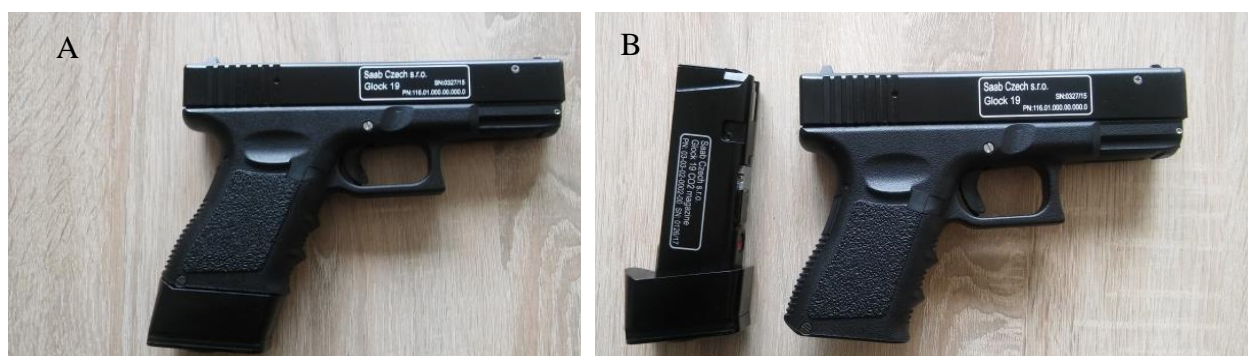
Keywords: small arms, recoil, accuracy, simulator

#### **1. Simulators of Training Guns and Their Characteristics**

Training weapon is an integral part of training-practicing systems used for simulated firings. These weapons cannot be used

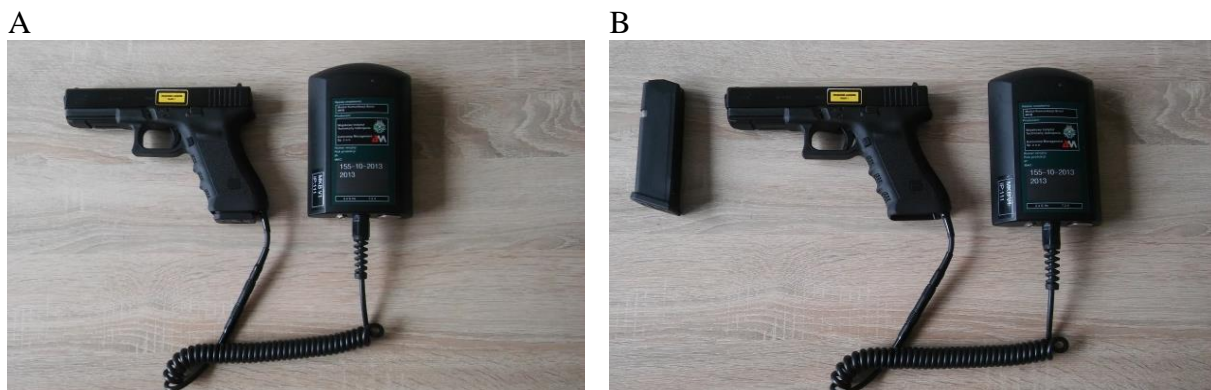
strzelań. Z broni tej nie można prowadzić strzelań poza systemem. Dotychczas, dla systemu ŚNIEŻNIK, opracowano ponad 20 rodzajów broni treningowej na bazie broni bojowych pozbawionych możliwości oddania strzału amunicją bojową. Wszystkie te opracowania bazują na patencie RP nr 225347 [1]. Lista zaczyna się od pistoletów, np. symulator 9 mm pistoletu GLOCK 17 (fot. 1 i 2) oraz symulator 9 mm pm PM84 (fot. 3), poprzez karabinki np. symulator 5,56 mm karabinu szturmowego wz. 96 BERYL (fot. 4 i 5) (podstawowa broń żołnierzy) oraz symulator 7,62 mm karabinka automatycznego AKMS (fot.6), a następnie karabiny maszynowe np. symulator 7,62 mm km PK (fot. 7) i 7,62 mm ukm UKM 2000P (fot. 8). Dalej mamy karabiny wyborowe, np. symulatory karabinów wyborowych 7,62 mm kw BOR (Fot.9), 7,62 mm kbw SWD (fot. 10) oraz symulator 12,7 mm wielkocalibrowego karabinu wyborowego TOR (fot. 11), aż po granatniki np. symulatory 40 mm granatnika podwieszanego GPBO-40 (fot. 12) [2] i 40 mm granatnika automatycznego MK-19 (fot. 13) [3], czy ręcznego granatnika ppanc. RPG 7 (fot. 14).

beyond the system. Up to now, more than 20 types of training weapons were developed for SNEZNIK system on the basis of combat weapons deprived of possibilities for firing with the live ammunition. All these developments are based on the patent RP nr 225347 [1]. The list starts from pistols, for instance simulator of 9 mm pistol GLOCK 17 (Photo 1 and 2) and simulator of 9 mm light machinegun PM84 (Photo 3), through the rifles like simulator of 5.56 mm assault rifle model 96 BERYL (Photo 4 and 5) (the main gun for soldiers) and simulator of 7.62 mm automatic gun AKMS (Photo 6), and next the machineguns such as simulator of machineguns 7.62 mm PK (Photo 7), and 7.62 mm UKM 2000P (Photo 8). There are also sniper's guns, for instance 7.62 mm gun BOR (Photo 9), 7.62 mm gun SWD (Photo 10) and simulator of large calibre sniper's gun 12.7 mm TOR (Photo 11), and finally the grenade launchers like simulator of 40 mm suspended grenade launcher GPBO-40 (Photo 12) [2], and 40 mm automatic grenade launcher MK-19 (Photo 13) [3], or portable antitank grenade launcher RPG 7 (Photo 14).



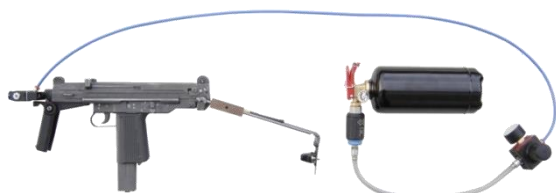
**Fot. 1. Replika symulatora pistoletu GLOCK 19 firmy SAAB z przyłączonym magazynkiem (A) oraz z odłączonym magazynkiem (zbiornik CO<sub>2</sub>) (B)**

***Photo 1. Replica of simulator for GLOCK 19 pistol of SAAB company with attached magazine (A) and detached magazine (CO<sub>2</sub> tank) (B)***



**Fot. 2. Symulator pistoletu GLOCK 17 wykonany na bazie broni bojowej (WITU, AUTO-COMP MENAGEMENT Sp. z o. o.) z przyłączonym magazynkiem (A) oraz z odłączonym magazynkiem (zbiornik CO<sub>2</sub>) (B)**

*Photo 2. Simulator of GLOCK 17 pistol made on the basis of combat gun (MIAT, AUTOCOMP MANAGEMENT Sp. z o. o.) with attached (A) and detached magazine (CO<sub>2</sub> tank) (B).*



**Fot. 3. Symulator 9mm pm PM84**  
*Photo 3. Simulator of 9mm light machinegun PM84*



**Fot. 4. Układ elektro-pneumatyczny wymuszania ruchu mechanizmów w 5.56 mm kbs BERYL: 1 – siłownik, 2 – elektro-zawór, 3 – przewody gazowe, 4 - butla, 5 – reduktor**

*Photo 4. Electropneumatic system enforcing the movements of mechanisms in 5.56 mm kbs BERYL: 1 – servomechanism, 2 – electro-valve, 3 – gas pipes, 4 - bottle, 5 – reductor*



**Fot. 5. Układ mechaniczno-pneumatyczny wymuszania ruchu mechanizmów w 5.56 mm kbs BERYL: 1 – siłownik specjalny, 2 – zbiornik gazu**

*Photo 5. Mechanical-pneumatic system enforcing the motion of mechanisms in 5.56 mm kbs BERYL: 1 – special servo, 2 – gas tank*



**Fot. 6. Symulator 7,62mm karabinka automatycznego AKMS**  
*Photo 6. Simulator of 7.62 mm automatic rifle AKMS*

Ostatnio opracowany został także symulator 12,7 mm wielkokalibrowego karabinu maszynowego wkm NSW [4].

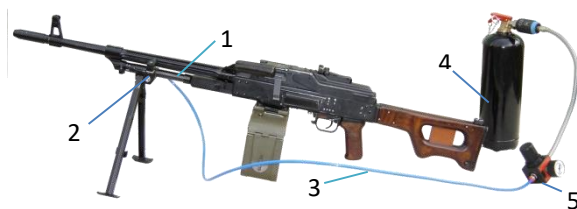
Broń treningowa pracująca w systemie powinna spełniać określone wymagania odnośnie symulacji strzału [5]. Wszystkie czyn-

Recently, the simulator of 12.7 mm heavy machinegun wkm NSW was developed, as well [4].

The training weapon operating within the system has to fulfil particular requirements concerning the simulation of the shot

ności przygotowawcze do oddania strzału powinny być takie, jak dla prawdziwej broni bojowej: podłączenie magazynka z amunicją, odbezpieczenie broni, przeładowanie, wprowadzenie nastawy celownika, oddanie strzału poprzez naciśnięcie spustu. Żołnierze strzelający wirtualnymi pociskami muszą mieć zapewnioną możliwość identyfikacji swojego strzału nie tylko wizualną czy dźwiękową, ale również poprzez odczuwanie pracy broni treningowej. Jest to szczególnie ważne w systemach przeznaczonych do jednoczesnego szkolenia większej liczby żołnierzy np. drużyny.

[5]. All actions preparing for delivering the shot have to be identical as for the real combat weapon: attachment of magazine with ammunition, arming the gun, reloading, introduction of sight's setting, delivering the shot by pressing the trigger. Soldiers who shoot the virtual bullets have to identify their shots not only by visual or acoustic means, but by sensing the operation of the training gun, as well. It is especially important in systems dedicated for training a certain number of soldiers, for instance a team.



**Fot. 7. Układ elektro-pneumatyczny wymuszania ruchu mechanizmów 7.62 mm km PK:**

1 – siłownik, 2 – elektrozawór, 3 – przewody gazowe, 4 – butla, 5 – reduktor

**Photo 7. Electropneumatic system enforcing the movement of mechanisms in 7.62 mm km PK:** 1 – servo, 2 – electro-valve, 3 – gas pipes, 4 – bottle, 5 – reductor



**Fot. 8. Układ mechaniczno-pneumatyczny wymuszania ruchu mechanizmów 7.62 mm UKM2000P:** 1 – siłownik, 2 – przewody gazowe

**Photo 8. Mechanical-pneumatic system enforcing the motion of mechanisms in 7.62 mm UKM2000P:** 1 – servo, 2 – gas pipes



**Fot. 9. Symulator karabinu wyborowego 7,62 mm kw BOR**

**Photo 9. Simulator of sniper's gun 7.62 mm kw BOR**

W związku z powyższym, opracowując system do nauki celowania i strzelania należy przyjąć pewne założenia prowadzenia ognia z broni treningowej. Na podstawie analizy wymagań pozyskanych od potencjalnych użytkowników systemu treningowego przyjęto, że ćwiczący żołnierz oddając wirtualny strzał powinien mieć wrażenie, że mechani-



**Fot. 10. Symulator karabinu wyborowego 7,62 mm kw SWD**

**Photo 10. Simulator of sniper's gun 7.62 mm kw SWD**

Referring to the above, some assumptions have to be made over firing with the training weapons before development of a system for training of aiming and shooting. Basing on the analysis of requirements received from potential users of the training system it was accepted that a trainee, when firing a virtual shot, has to have an impres-

zmy jego broni działają tak, jak podczas rzeczywistego strzału, a dynamika ich działania odwzorowuje możliwie najbardziej realne warunki pracy elementów broni podczas strzelania z wykorzystaniem amunicji bojowej. Dlatego też, symulacja funkcjonowania mechanizmów broni realizowana jest przez zastosowanie specjalnych urządzeń, takich jak siłowniki pneumatyczne, dźwignie, ciągnia itp. Dzięki nim możliwe jest najważniejsze dla realnego odwzorowania działania wymuszanie ruchu mechanizmów broni treningowej. Co więcej, istotne jest, aby trenujący wykonał wszystkie czynności związane z przygotowaniem broni do strzelania, identycznie jak w przypadku prawdziwej broni bojowej. Na symulację funkcjonowania mechanizmów broni składają się także takie procesy, jak przełączanie bezpieczników, przełączników rodzaju ognia, ustawianie celowników mechanicznych, przeładowanie broni, a nawet załadowanie do broni naboju w przypadku granatnika RPG-7, albo taśmy z nabojami do 7.62 mm km PK. Kontrolę tych czynności uzyskuje się dzięki umieszczonym w symulatorze czujnikom.

Wymuszanie ruchu mechanizmów broni treningowej następuje w chwili oddania symulowanego strzału. W broni treningowej dotyczy ono ruchu:

- suwadła lub zamka,
- mechanizmu uderzeniowo-spustowego.

Praktycznym rozwiązaniem wymuszania ruchu mechanizmów broni treningowej są odpowiednie układy elektro-pneumatyczne lub mechaniczno-pneumatyczne co ilustrują fotografie 4, 5, 7, 8.

Ponieważ dobór parametrów układów ruchu mechanizmów broni treningowej, a także wielu innych parametrów, pod kątem jak najbardziej odwzorowania rzeczywistych warunków strzelania (np. odrzutu, celności, szybkostrzelności), uznaje się za najistotniejszy, zaistniała potrzeba opracowania metodyki badań symulatorów broni strzeleckiej dla urządzeń szkolno-treningowych. Niezbędnym

jest to, aby mechanizmy broni działały w ten sam sposób, jak podczas rzeczywistego strzału, a dynamika ich ruchów odwzorowuje możliwie najbardziej realne warunki pracy elementów broni podczas strzelania z wykorzystaniem amunicji bojowej. Dlatego też, symulacja funkcjonowania mechanizmów broni realizowana jest przez zastosowanie specjalnych urządzeń, takich jak siłowniki pneumatyczne, dźwignie, ciągnia itp. Dzięki nim możliwe jest najważniejsze dla realnego odwzorowania działania wymuszanie ruchu mechanizmów broni treningowej. Co więcej, istotne jest, aby trenujący wykonał wszystkie czynności związane z przygotowaniem broni do strzelania, identycznie jak w przypadku prawdziwej broni bojowej. Na symulację funkcjonowania mechanizmów broni składają się także takie procesy, jak przełączanie bezpieczników, przełączników rodzaju ognia, ustawianie celowników mechanicznych, przeładowanie broni, a nawet załadowanie do broni naboju w przypadku granatnika RPG-7, albo taśmy z nabojami do 7.62 mm km PK. Kontrolę tych czynności uzyskuje się dzięki umieszczonym w symulatorze czujnikom.

Enforcement of movement for training weapon mechanisms takes place when the simulated shot is fired. For the training weapon it relates to movement of the:

- slider or bolt,
- striking-triggering mechanism.

Relevant electropneumatic or mechano-pneumatic systems are used in practical solutions enforcing the movement of mechanisms in training weapons, what is shown in photos 4, 5, 7, 8.

As matching the parameters of systems of the training weapon mechanism movement, and many other parameters as well, for the most faithful reconstruction of real conditions of shooting (e.g. recoil, accuracy, rate of fire) seems to be the most important, then a need has appeared for developing a methodology over testing the small arms simulators for training-practicing sys-

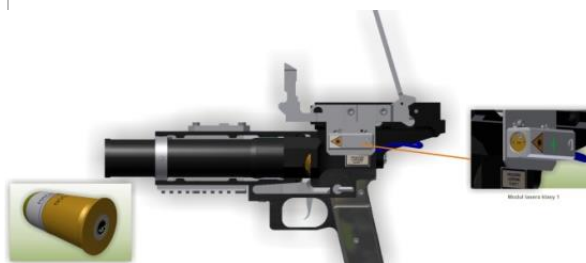
także było opracowanie odpowiedniego stanowiska badawczego, które posłuży inżynierom-konstruktorom symulatorów broni strzeleckiej do weryfikacji parametrów wybranych dla danego typu broni, podczas opracowywania nowych wzorów.



**Fot. 11. Symulator 12,7mm wielkokalibrowego karabinu wyborowego TOR**

*Photo 11. Simulator of 12.7mm large calibre sniper's gun TOR*

tems. It was also necessary to develop a relevant testing setup for designers of small arms simulators in order to verify the parameters selected for a specific type of the weapon at developments of new models.



**Fot. 12. Symulator 40mm granatnika podwieszanego GPBO-40**

*Photo 12. Simulator of 40mm suspended grenade launcher GPBO-40*



**Fot. 13. Symulator 40 mm granatnika automatycznego MK-19**

*Photo 13. Simulator of 40 mm automatic grenade launcher MK-19*



**Fot. 14. Symulator ręcznego granatnika przeciwpancernego RPG 7**

*Photo 13. Simulator of 40 mm automatic grenade launcher MK-19*

## 2. Opis i analiza wybranych parametrów bojowej broni strzeleckiej

Jednym z pierwszych zadań badawczo – konstruktorskich podczas opracowywania symulatorów jest identyfikacja parametrów, które są najistotniejsze w procesie symulacji strzału z danego rodzaju symulatora broni. Dlatego poniżej omówiono najważniejsze parametry charakteryzujące broń, takie jak: masa broni, siła pchnięcia związana z odrzutem broni, podrzut lufy podczas strzału, roz-

## 2. Description and Analysis of Selected Parameters of Small Arms

Identification of parameters playing the most important role at simulation of shots with a specific type of weapon simulator is one of the first tasks for designers. For that, below are described the most important parameters of weapons such as: the mass of weapon, pushing force connected with the weapon recoil, the jump of the barrel at shooting, the scatter of bullets fired with the

rzut wystrzelonych z lufy pocisków, celność oraz trwałość mechaniczna.

## 2.1. Masa broni

Jednym z parametrów opisujących broń jest jej masa. Parametr ten jest bardzo ważny, ponieważ ma wpływ na:

- parametry odrzutu broni,
- mobilność broni tzn. łatwość jej przemieszczania,
- łatwość posługiwania się bronią,
- łatwość ustawiania na stanowisku strzeleckim,
- szybkość wycelowania i oddania strzału,

a także w sposób pośredni na celność.

Biorąc to pod uwagę, masa broni bojowej musi być zachowana w symulatorze tej broni. Dlatego też w metodyce badań symulatora musi być uwzględniony pomiar jego masy w odniesieniu do broni bojowej.

## 2.2. Siła odrzutu związana z odrzutem hamowanym broni

Podczas strzału z broni strzeleckiej iglica inicjuje spłonkę w łusce, a ta ładunek prochowy, który spalając się wytwarza gazy o dużym ciśnieniu. Wyrzucają one pocisk nadając mu prędkość i energię. Proces ten dotyczy nie tylko pocisku ale także broni, lecz w przeciwnym kierunku, powodując jej odrzut. Wynika to z ogólnie znanych praw mechaniki [6]. Obowiązuje zasada zachowania pędu wyrażona wzorem:

$$m_p v_p = m_b v_b \quad (1)$$

gdzie:  $m_p$  – masa pocisku,  $v_p$  – prędkość pocisku,  $m_b$  – masa broni,  $v_b$  – prędkość broni.

Równanie związane z działaniem sił na zespół lufy i karabinu oraz na pocisk przemieszczający się w lufie można również przedstawić w postaci:

barrel, the accuracy and mechanical durability.

## 2.1. Mass of Weapon

The mass is one of parameters describing the weapon. This parameter is very important as it affects:

- Weapon recoil parameters,
- Mobility of weapon, i.e. easiness for its transporting,
- Easiness for using the gun,
- Easiness for mounting at the firing post,
- Quickness for aiming and firing a shot,

and also in an indirect way the accuracy.

Considering that, the mass of the weapon must be preserved in its simulator. For this reason the methodology on testing the simulator has to include the measurement of its mass in relation to the service weapon.

## 2.2. Recoil Force of Gun's Damped Kick

At the firing, a pricker initiates a cap in the case, which detonates a powder charge, and its combustion produces high pressure gases. They project the bullet out giving to it the velocity and energy. This process refers not only to the bullet but to the gun as well, but in opposite direction, generating its recoil. It is the result of generally known laws of mechanics [6]. The binding principle of momentum conservation is expressed by the equation:

where:  $m_p$  – bullet's mass,  $v_p$  – bullet's velocity,  $m_b$  – gun's mass,  $v_b$  – gun's velocity.

The equation connected with action of forces against the system of barrel and rifle, and the bullet moving in the barrel, may be also presented in the form:

$$m_p a_p = m_b a_b \quad (2)$$

gdzie:  $a_p$  – przyspieszenie pocisku,  $a_b$  – przyspieszenie broni.

Wyżej przedstawione równania są uproszczone dla zobrazowania samej zasady, natomiast w czasie rzeczywistego strzału masa broni nie jest wielkością stałą, a szczegółowe równania można znaleźć w literaturze z zakresu balistyki wewnętrznej opisującej dynamikę zjawiska [7].

Strzelec, podczas oddawania strzału, dociskając broń do ramienia odczuwa oddziaływanie odrzutu w postaci siły pchnięcia działającej na ramię. Miary odrzutu są różne co w swoich pracach przedstawiało wielu autorów [6, 8÷13]. W swoich pracach, autorzy zwracali uwagę na to, że wyliczanie energii odrzutu swobodnego nie jest miarodajne do określenia np. granicznej energii odrzutu, którą może znieść strzelec podczas strzału bez szkody dla zdrowia - ta sama energia odrzutu może wywoływać różne skutki. Inne będą w przypadku uderzenia w ramię, a inne w przypadku pchnięcia hamowanego, występującego, gdy kolba karabinu przyłożona jest bezpośrednio do ramienia strzelca.

Energię odrzutu swobodnego broni  $E_b$  można wyliczyć ze wzoru ogólnego:

$$E_b = \frac{m_b v_b^2}{2} \quad (3)$$

Zdecydowanie bardziej miarodajną miarą odrzutu jest jednak wartość energii przypadająca na określoną powierzchnię trzewika kolby, co przekłada się na wartość siły odrzutu. W przypadku konstruowania symulatora broni ważnym parametrem będzie właśnie siła odrzutu działająca na ramię strzelca. Można ją określić znając masę broni i przyspieszenie jakiego broń doznaje podczas strzału. Dlatego, w metodyce badań

where:  $a_p$  – bullet's acceleration,  $a_b$  – gun's acceleration.

The above equations are presented in a simplified form to illustrate the principle, whereas at the real firing the mass of gun is not a constant parameter, and the detailed equations may be found in proceedings related to internal ballistics describing the dynamics of the phenomenon [7].

A shooter at firing pressures the gun against his arm and feels the reaction of the kick as a pushing force acting against the arm. The measures of the kick are different what was presented in proceedings of many authors [6, 8÷13]. The works of these authors have pointed out that calculation of the free recoil energy is not a reliable way for instance to determination of a limit of the recoil energy which can be accepted by a shooter at firing without any harm for the health – the same energy of recoil can provide different effects. They are different in the case of impacting the arm, and different in the case of a dampened push occurring when the rifle's butt sticks directly to the shooter's arm.

The energy of the gun free recoil  $E_b$  may be calculated with a general expression:

But the level of energy corresponding to a specific surface of the butt's shoe is a much more reliable measure of the kick as it translates into the value of recoil force. At designing a gun's simulator the force of recoil acting against the arm of a shooter is the important parameter. It may be established knowing the mass of weapon and acceleration of the weapon at firing. Therefore, the measurement of acceleration



symulatorów powinien znaleźć się pomiar przyspieszeń broni w osi lufy zarówno symulatora jak i, dla porównania, pomiar dla broni bojowej. Porównując siłę odrzutu w danej broni bojowej i symulatorze należy zastanowić się jaka siła odrzutu będzie zadawalająca dla symulatora podczas symulowanych strzelań. Wiadomo jest, że stosując w symulatorze inne niż pirotechniczne układy, np. pneumatyczne do wymuszania ruchu mechanizmów broni, i zachowując gabaryty odpowiadającej mu broni bojowej oraz określone warunki bezpieczeństwa na pewno nie uzyskamy takiej samej siły odrzutu wynikającej z odrzutu jak w przypadku broni bojowej. Do nauki celowania i strzelania będzie potrzebna jedynie minimalna siła konieczna do przeładowania i wywołania ruchu mechanizmów broni oraz powodująca wybiecie strzelca z właściwej linii celowania i zapewniająca „wrażenie” odrzutu. Oprócz siły wynikającej z odrzutu, zadziała siła podrzutu broni.

### **2.3. Podrzut lufy podczas strzału**

Środek ciężkości broni z reguły nie leży w osi lufy natomiast wypadkowa siły oporu hamowanego zwykle ma położenie poniżej osi lufy. Dlatego też, podczas strzału broń porusza się nie tylko do tyłu, ale także koniec lufy broni może się odchylać w pionie i poziomie. Jest to ruch złożony do góry i nazywany jest podrzutem. Badacze, którzy analizowali podrzut [8] wykazali, że wielkość podrzutu zmienia się przy każdym strzale i trudno jest to ująć określonym wzorem. Pomimo podrzutu oddanie celnego strzału jest możliwe, ponieważ przemieszczenie lufy jest małe w stosunku do drogi pocisku, natomiast w pewnym przybliżeniu, stosunek mas pocisku i broni jest odwrotnie proporcjonalna do stosunku ich przemieszczeń [8]. Podrzut broni przy prawidłowym złożeniu strzelca nie ma większego wpływu

along the barrel axis both for the service gun and simulator has to be included in the methodology of tests for simulators. Comparing the force of recoil for a specific service gun and the simulator it has to be considered what level of the recoil force could be acceptable for the simulator at simulated firings. It is well known, that using in the simulator other than pyrotechnical systems, for instance the pneumatic ones, enforcing the motion of gun mechanisms, and preserving the overall sizes of a corresponding service weapon, and securing conditions of safety, it is for certain that the force of recoil produced by the kick cannot reach the levels existing in the service gun. For the learning of aiming and shooting only a minimal force is needed for reloading and putting the gun mechanisms into the motion, and for throwing the shooter off the aiming line by providing an expression of the kick. Apart of the force effected by recoil, there is a force of gun jump.

### **2.3. Barrel Jump at Firing**

The centre of gravity is usually placed beyond the axis of barrel, whereas the resultant of damped resistance force is usually located below the axis of barrel. For this reason the weapon at shooting moves not only backwards, but the muzzle may be deflected in vertical and horizontal directions. It is a complex upward displacement and is defined as the jump. Investigators who studied the jump [8] have proved that the amplitude of the jump is different for each shot and it is difficult to describe it by an expression. Despite the jump, it is possible to fire an accurate shot because displacement of the barrel is small in relation to the projectile's travel, whereas the approximate ration of masses for bullet and weapon is a reverse proportion of their displacements ratio [8]. The jump of the gun at

na celność przy pojedynczych strzałach, natomiast ma istotne znaczenie podczas strzelania ogniem ciągłym, kiedy celność szybko spada wraz z kolejnym strzałem. W skrajnych przypadkach celny może być jedynie pierwszy strzał.

#### 2.4. Rozrzut

Cechą charakterystyczną dla każdej broni palnej jest zjawisko rozrzutu. Polega ono na tym, że podczas strzelania, nawet zachowując podobne warunki strzału, tory pocisków poszczególnych strzałów nie pokrywają się ze sobą [8]. W przypadku strzelania do celu pionowego, np. tarczy, część przestrzelin będzie znajdowała się powyżej, a część poniżej punktu celowania (rozrzut wwyż ( $R_w$ )). Co więcej, część przestrzelin będzie po prawej, a część po lewej stronie punktu celowania (rozrzut w szerz ( $R_s$ )). Podobnie jest w przypadku strzelania w terenie, gdzie część przestrzelin również będzie po prawej lub po lewej stronie od punktu celowania (rozrzut w szerz ( $R_s$ )) oraz bliżej lub dalej w głąb od punktu celowania (rozrzut w głąb ( $R_g$ )). Rozrzut punktów trafień jest zależny przede wszystkim od amunicji i rodzaju broni, ale również od zmiennych warunków atmosferycznych czy błędów celowania popełnianych przez strzelca.

Każdy wystrzelony pocisk ma własny indywidualny tor lotu, co dokładnie zostało opisane między innymi w pracy [8]. Upraszczając ostatni odcinek toru lotu pocisku tj. traktując go jako linię prostą można zapisać prostą zależność między rozrzutem w wwyż ( $R_w$ ) i w głąb ( $R_g$ ), oznaczając kąt upadku pocisku jako  $\theta$ .

$$R_w = R_g * \operatorname{tg} \theta \quad (4)$$

Czyli rozrzut charakteryzują dwie wielkości ( $R_w$ ) i ( $R_s$ ) lub ( $R_g$ ) i ( $R_s$ ).

Rozrzut jest cechą charakterystyczną każdej broni palnej i ponieważ charakteryzuje

proper position of the shooter influences insignificantly the accuracy of single shots, whereas at a series firing it essentially deteriorates the accuracy of each next shot. In the extreme cases only the first shot may become the accurate one.

#### 2.4. The Scatter

The scattering effect is a specific feature of each firearm. The point is that at firing the trajectories of bullets are not identical for particular shots even if similar conditions of firing are preserved [8]. For firings at a vertical object like a target a part of the pattern will be placed above and a part below the aiming point (vertical scatter ( $R_w$ )). What's more the pattern will be also located from the left and the right side of the aiming point (lateral scatter ( $R_s$ )). Similarly, for the terrain shooting some patterns are also placed on the left or the right side from the aiming point (lateral scatter ( $R_s$ )), or closer or further from the aiming point (distance scatter ( $R_g$ )). The scatter of patterns depends most of all on the ammunition and type of weapon, but also on changeable atmospheric conditions or the aiming errors committed by the shooter.

Each fired bullet has its own individual flying path what was precisely presented above all in proceedings [8]. Making a simplification of the terminate section of the bullet path by a straight, a simple relation may be made between vertical ( $R_w$ ) and distance scatters ( $R_g$ ) when the bullet incidence angle is marked by  $\theta$ .

Then, the scatter is characterised by two parameters ( $R_w$ ) and ( $R_s$ ), or ( $R_g$ ) and ( $R_s$ ).

The scatter is a specific feature of each firearm and as it characterises the system of

układ broń – pocisk jego wielkość podawana jest w tabelach strzelniczych dla danej broni. Istnieją różne sposoby liczbowego przedstawiania rozrzutu [14]. W przypadku broni bojowej, jednym ze sposobów określania rozrzutu jest obliczenie uchylenia średniego poprzez pomiar współrzędnych punktów trafień względem dowolnie wybranych osi odniesienia, a następnie sumując te współrzędne (np. pionowe i oddzielnie poziome) i dzieląc przez liczbę strzałów otrzymuje się średni (teoretyczny) punkt trafienia. Odejmując współrzędne średniego punktu trafienia od współrzędnych każdej przestrzeliny (odpowiednio pionową od pionowej i poziomą od poziomej) otrzymujemy współrzędne przestrzelin odniesione do średniego (teoretycznego) punktu trafienia. Podobnie jak poprzednio sumując te współrzędne i dzieląc przez liczbę oddanych strzałów (przestrzelin) otrzymujemy parametr charakteryzujący rozrzut – uchylenie średnie. Dokładniej, wielkość rozrzutu można określić poprzez obliczenie uchylenia średniego kwadratowego. Wielkość ta obliczana jest poprzez zsumowanie kwadratów uchyień poszczególnych strzałów i podzielenie ich przez ich liczbę, a następnie z wyniku wyciągamy pierwiastek kwadratowy. Dla małej liczby strzałów średni punkt trafienia można wyznaczyć geometrycznie, co obrazują rys. 15 i 16.

Innym sposobem określenia rozrzutu jest pomiar promienia koła zawierającego połowę przestrzelin znajdujących się jak najbliżej średniego punktu trafienia (rys. 17), jest to najczęściej stosowany sposób do określania rozrzutu broni ręcznej [14].

Kolejnym sposobem określania rozrzutu jest wyznaczenie rozrzutu prawdopodobnego i uchylenia prawdopodobnego [14] (rys.18). Można to wykonać poprzez podział tarczy na dwa obszary wyznaczone pionową (Y) lub poziomą (X) linią, tak aby każdy zawierał połowę przestrzelin. Następnie te obszary dzielimy ponownie pionowymi lub pozio-

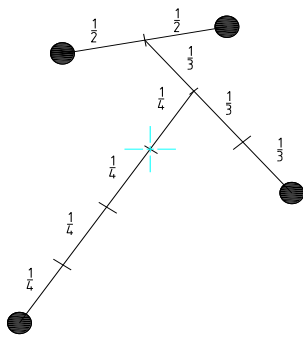
weapon-bullet then it is presented in firing tables of a specific weapon. There are various methods for numerical representation of the scatter [14]. For the service weapons, one of the methods for scatter identification uses the calculation of an average deviation by measuring the coordinates of hits against any reference axes which are next added up (e.g. vertical and separately the horizontal ones) and divided by the number of shots to get an average (theoretical) hitting point. Subtracting the coordinates of the average hit from the coordinates of each hit (respectively the vertical one from vertical and the horizontal from the horizontal one) the coordinates of patterns referred to the average (theoretical) hit can be received. Similarly as before, adding these coordinates up and dividing them by the number of shots (hits) we can get a parameter describing the scatter – the average deviation. The level of the scatter may be calculated more accurately through calculation of the average square deviation. This parameter is calculated by summing up the squares of deviations for particular shots and dividing them by number of shots to take the square root from the result. For a low number of shots the average hit may be determined by a geometrical method illustrated in Fig. 15 and 16.

Another method determining the scatter uses the measurement of a circle radius comprising a half of hits located in the nearest vicinity of the average hit (Fig. 17) and it is usually applied for determination of the scatter of small arms [14].

Determination of the probable scatter and probable deviation is another method of scatter identification [14] (Fig. 18). It may be done by division of the target on two areas separated by vertical (Y) or horizontal (X) line and each of them containing the half of patterns. In the next steps these areas are again divided in halves by hori-

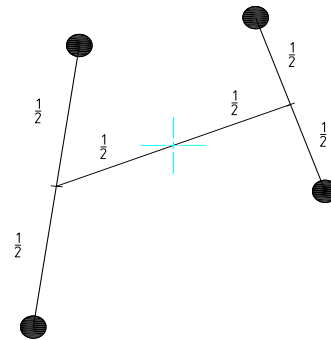
mymi liniami, tak aby każdy nowo wyznaczony obszar zawierał połowę przestrzelin obszaru dzielonego. W ten sposób wyznaczone są pasy zawierające po 25% przestrzelin w pionie lub poziomie. Dwa środkowe pasy pionowe lub poziome (A-B) zawierają po 50% przestrzelin. Szerokość tych pasów jest rozrzutem prawdopodobnym, a szerokość pojedynczego pasa np. X-A jest uchyleniem prawdopodobnym  $U_p$ .

zontal or vertical lines and each of them has to contain the half of hits from the divided area. In such way the strips are received each containing 25% of hits along the vertical or horizontal directions. Two central vertical or horizontal strips include 50% of hits each. The width of these strips is the probable scatter, and the width of an individual strip, e.g. X-A, is the probable deviation  $U_p$ .



**Rys. 15. Określanie średniego punktu trafienia (dla małej liczby strzałów) z czterech przestrzelin**

*Fig 15. Determination of the mean hit position (for small number of shots) for four hits*



**Rys. 16. Określanie średniego punktu trafienia (dla małej liczby strzałów) z czterech przestrzelin**

*Fig 16. Determination of the mean hit position (for small number of shots) for four hits*

Między poszczególnymi rodzajami uchyień charakteryzującymi rozrzut zachodzą następujące zależności, potwierdzone teoretycznie i praktycznie (o czym pisze w swojej pracy między innymi Wilniewicz, 1955). Opisuje to wzór:

There are following dependencies between different types of deviations relating to the scatter which are confirmed theoretically and practically (what is above all included in the proceedings of Mr. Wilniewicz, 1955). It is described by relation:

$$U_p = 0,845xU_{sr} = 0,674xU_{sr.kw} \quad (5)$$

Promień koła  $r_{50}$  zawierającego połowę przestrzelin bliższych średniemu punktowi trafienia wynosi:

The radius of circle  $r_{50}$  containing the half of patterns closest to the mean hit is equal to:

$$r_{50} = 1,76xU_p \quad (6)$$

lub/or

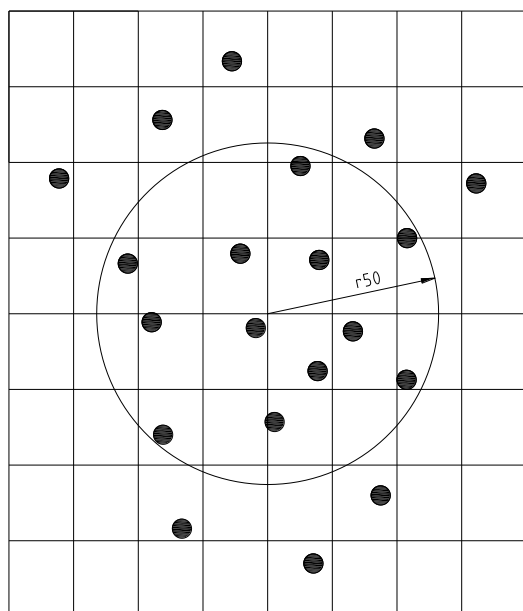
$$r_{50} = 1,76x(U_{ps} + U_{pw})x0,5 \quad (7)$$

gdzie:

where:

$U_{\acute{s}r}$  – uchylenie średnie  
 $U_{\acute{s}r.kw}$  – uchylenie średnie kwadratowe  
 $U_{ps}$  – uchylenie prawdopodobne w szerz  
 $U_{pw}$  – uchylenie prawdopodobne w wzyż

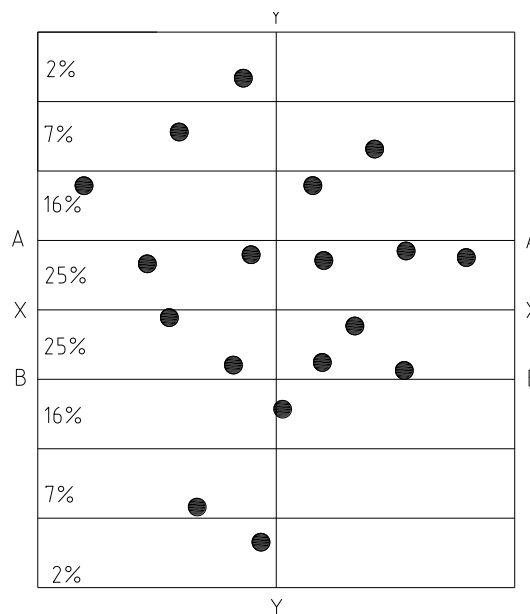
$U_{\acute{s}r}$  – the mean deviation  
 $U_{\acute{s}r.kw}$  – the mean square deviation,  
 $U_{ps}$  – probable lateral deviation,  
 $U_{pw}$  – probable vertical deviation.



**Rys. 17.** Wyznaczanie promienia  $r_{50}$  koła zawierającego 50% przestrzelin znajdujących się jak najbliżej średniego punktu trafienia

**Fig. 17.** Determination of circle radius  $r_{50}$  including 50% of patterns located in the nearest vicinity of the mean hit position

Analizując metody określania wartości rozrzutu dla bojowej broni strzeleckiej można wysnuć wniosek, że w przypadku badania symulatora odpowiadającego tej broni, do scharakteryzowania wartości rozrzutu strzałów, można zastosować analogiczne metody strzelając do tarczy obrazowanej na ekranie – rejestrować przestrzeliny wirtualnych pocisków i wyznaczać np. uchylenie średnie. Pamiętać jednak trzeba o tym, że rozrzut punktów trafień, w przypadku laserowego symulatora broni, zależy przede wszystkim tylko od błędów celowania popełnianych przez strzelca.



**Rys. 18.** Wyznaczanie rozrzutu prawdopodobnego i uchylenia prawdopodobnego w pionie

**Fig. 18.** Determination of the probable scatter and the probable deviation in vertical direction

By analysing the methods used for determination of the scatter for the service firearms it may be concluded that in the case of testing the simulator corresponding to a specific firearm the identical methods could be used for identification of the scatter by firing at the target pictured on the screen and recording the patterns of virtual bullets for calculating, for instance, the mean deviation. But it has to be remembered that the scatter of hits in the case of a laser simulator of the gun depends most of all on the aiming errors of the shooter.

### 2.5. Celność

Celność jest właściwością broni, którą charakteryzują dwa parametry: skupienie i dokładność. Skupienie jest zasadniczo odwrotnością rozrzutu, ponieważ im mniejszy jest rozrzut przestrzelin na tarczy tym skupienie jest większe. Miarą dokładności jest odchylenie średniego punktu skupienia od punktu celowania. Na dokładność wpływa prawidłowe przystrzelenie broni, to znaczy regulacja przyrządów celowniczych muszki i szczerbinki w stosunku do osi lufy karabinu.

W przypadku każdego symulatora karabinu, w metodyce jego badań należy przewidzieć sprawdzenie mechanicznej regulacji przyrządów celowniczych względem toru promienia laserowego, uwzględniając odchyłki wynikające z toru balistycznego wirtualnych pocisków. Zwykle w systemie informatycznym, z którym współpracuje dany symulator broni, istnieje możliwość elektronicznego wprowadzania poprawek współrzędnych punktu trafienia, jeżeli przystrzelenie mechaniczne przyrządów celowniczych obciążone jest błędem stałym. Jednakże, system elektronicznego wprowadzania poprawek współrzędnych punktu trafienia sprawdza się przy niewielkich wartościach błędu korekcji mechanicznej pozycji muszki. W przypadku większych błędów, np. powyżej kilkudziesięciu pikseli (co można sprawdzić na ekranie podczas wyświetlania punktów kontrolnych), należy przeprowadzić ponowną regulację mechaniczną muszki lub pozycji lasera.

### 2.6. Trwałość mechaniczna

W przypadku broni bojowej, jej trwałość mechaniczną wyznacza przede wszystkim wytrzymałość lufy, która podczas strzału najbardziej narażona jest na działanie negatywnych czynników, takich jak: wysokie ciśnienie

### 2.5. The Accuracy

Accuracy is the gun's characteristics described by two parameters: concentration and precision. In general, the concentration is a reverse of the scatter as the lower scatter of the pattern gives the higher concentration. The deviation of the mean point of concentration from the aiming point is a measure of the precision. The precision depends on correct boresighting of the weapon relating to adjustment of sighting devices of a gunpoint and a back sight referring to the axis of the rifle barrel.

The methodology of testing for each weapon simulator has to contain the checking of mechanical adjustment of sighting devices against the laser beam and the consideration of deviations effected by the ballistic trajectories of virtual bullets. In typical cases the computerised system working together with the weapon simulator has a possibility for introduction of corrections for the coordinates of hits if the mechanical boresighting of aiming devices is burdened by a permanent error. But the system of corrections for coordinates of hits which may be entered electronically works properly at small values of gunpoint's mechanical correction errors. In the case of greater errors, e.g. above a few dozen of pixels, (what may be checked on the screen by displaying the reference points) a new mechanical adjustment of the gunpoint or the laser position has to be done.

### 2.6. Mechanical Resistance

Mechanical resistance of service weapons is defined in general by the wear of the barrel which is in the greatest degree exposed at firing against negative effects such as: high pressure of powder gases and ac-

nie gazów prochowych, towarzysząca mu wysoka temperatura i kontakt lufy z przemieszczającym się pociskiem. To wszystko powoduje po pewnym czasie zmianę właściwości materiału lufy i jej trwałe odkształcenia geometryczne. Uniemożliwia to z czasem oddanie strzałów, dla których tory lotu pocisku powinny być stabilne i powtarzalne. W takich przypadkach stosuje się określenie „zużycie lufy”. Przykładowo, dla karabinów 5,56 mm kbs wz. 96 BERYL trwałość mechaniczną lufy ocenia się na 10 do 15 tys. strzałów. W przypadku symulatora tej broni, gdzie z lufy nie wylatuje żaden pocisk, trwałość mechaniczną będzie wyznaczać wytrzymałość mechaniczna układów, narażonych najbardziej na uszkodzenia, czyli układ wymuszania ruchu mechanizmów broni, w skład którego wchodzi zwykle: siłownik z tłoczyskiem i elementami zderzakowymi oraz zespół spustowy inicjujący strzał (kurek, sprężyna napędowa kurka, element popychający kulkę zaworu zastępujący iglicę lub iglica). W niektórych rozwiązaniach symulatorów występuje elektrozawór. Dodatkowo, w każdym symulatorze występują elementy elektroniczne, które są poddawane drganiom mechanicznym. Odporność tych elementów na przeciążenia również wyznacza wytrzymałość mechaniczną symulatora. W metodyce badań symulatorów trzeba uwzględnić pomiar wartości przeciążeń, działających na elementy elektroniczne symulatora oraz pomiar ilości cykli odpracowania układów wymuszania ruchu, do wystąpienia uszkodzeń elementów mechanicznych i elektronicznych, uniemożliwiających dalszą eksploatację symulatora.

## **2.7. Szybkostrzelność**

Ważnym parametrem broni strzeleckiej jest szybkostrzelność. Wyróżniamy szybkostrzelność teoretyczną i praktyczną [15]. Szybkostrzelność teoretyczna (N) broni to maksymalna liczba strzałów jaką można od-

panied high temperature, or a contact between the barrel and a moving bullet. All these effects change after some time the material properties of the barrel and cause its permanent geometrical deformation. It later prevents the firing of shots with repeatable and stable trajectories of bullets. Such cases are described as the barrel wearing. For instance, the mechanical resistance of the barrel for rifles 5.56mm kbs wz. 96 BERYL is assessed on the level of 10 to 15 thousand shots. In the case of the simulator of such weapon, where there is no bullet leaving the barrel, the mechanical resistance will be defined by the mechanical resistance of units which are exposed against damage in the greatest degree and which contain the weapon mechanisms enforcement system comprising typically a servomechanism with a piston and buffers, and detent system initiating the shot (cock, cock driving spring, a component replacing the pricker or the pricker pushing the ball of the valve). Some solutions of simulators include an electric valve. In addition, each simulator has some electronic parts which are subjected to mechanical vibrations. The resistance of these parts also defines the mechanical resistance of simulator. The methodology for testing the simulators has to consider the measurement of overloads acting against electronic components of the simulator, and measurement of a number of working cycles for the motion enforcement systems before the appearance of defects in mechanical and electronic components which stop the further use of the simulator.

## **2.7. Rate of Fire**

The rate of fire is important parameter of firearms. There is theoretical and practical rate of fire [15]. Theoretical rate of fire (N) of weapon is a maximal number of shots that could be fired with the weapon

dać z danej broni w jednostce czasu ogniem ciągłym (nie uwzględniamy czynności manipulacyjnych), zgodnie z wzorem:

$$N = \frac{60(n-1)}{t_{serii}} \quad [\text{strz./min}] \quad (8)$$

gdzie:  $n$  - liczba strzałów w serii,  
 $t_{serii}$  - czas trwania serii w sekundach

Szybkostrzelność praktyczna uwzględnia czynności przygotowawcze do oddania strzału. Symulator broni powinien mieć zbliżoną lub taką samą szybkostrzelność, jak broń bojowa, dlatego metodyka badań symulatorów broni musi zawierać pomiar szybkostrzelności teoretycznej.

### 3. Podsumowanie

Analiza rodzajów symulacji działania broni strzeleckiej [16] wykazała, że ze względów konstrukcyjnych i użytkowych do wybranych wzorów broni metody symulacji ich działania należy dobierać indywidualnie, w zależności od możliwości technicznych wykonania układów wymuszających ruch mechanizmów.

Analiza parametrów broni bojowej pozwoliła na wyłonienie tych najważniejszych w procesie symulowanego strzału, którymi są: masa broni, siła odrzutu związana z odrzutem broni, podrzut lufy podczas strzału, rozrzut wystrzelonych z lufy pocisków, celność, trwałość mechaniczna oraz szybkostrzelność. Pomiar parametrów podczas badania symulatorów broni, takich jak masa czy rozrzut wirtualnych pocisków, trwałość mechaniczna czy celność, nie wymagają specjalnych stanowisk badawczych. Można je wykonać używając wagi lub systemu informatycznego wchodzącego w skład całego systemu treningowego. Natomiast do pomiaru siły odrzutu, a właściwie do pomiaru

within the time unit at series firing (manipulating activities are not considered), and is expressed by:

where:  $n$  - number of shots in a series,  
 $t_{serii}$  - the series duration time in seconds

The practical rate of fire considers the preparation actions for delivering the shots. The weapon simulator has to have similar or identical rate of fire as the service weapon, and therefore, the methodology of testing the weapon simulators must include the measurement of theoretical rate of fire.

### 3. Summary

The studies over the types of solution simulating the operation of firearms [16] have proved that because of design and handling reasons for specific types of weapons the methods simulating their operation have to be selected individually depending on technical capacities for execution of systems enforcing the motion of mechanisms.

The analysis of service weapons parameters has pointed out the most important of them for the process of simulated shooting: the mass of weapon, the force of recoil connected with the weapon kick, the jump of barrel at firing, the scatter of fired bullets, accuracy, mechanical resistance and the rate of fire. Measurements of such parameters of weapon simulators testing as the mass or the scatter of virtual bullets, mechanical resistance or the accuracy do not require special testing setups. They may be performed by using a weighing device or the computerised subsystem being a part of the whole training system. The force of



przyspieszeń wywoływanych przez układy wymuszania ruchu mechanizmów broni treningowej podczas strzału, zaprojektowano specjalne stanowisko badawcze. Dzięki niemu można było uzyskać dane do wyliczenia wartości skutecznej przyspieszenia i porównać uzyskane wyniki dla symulatorów z wynikami dla broni bojowej. Jest to bardzo przydatne w ocenie jakości symulacji strzelań. Wyniki te zostaną przedstawione w kolejnych publikacjach.

recoil, or more precisely the acceleration effected by the systems enforcing the motion of mechanisms for training weapon at the firing, was measured by a specially designed testing setup. It could provide data needed for calculation of the effective value of acceleration and compare the results received for simulators and for the service weapons. It is very useful at the assessment of quality of firings simulation. These results will be presented in next papers.

### **Literatura / Literature**

- [1] Patent RP nr 226734 na wynalazek. Hłosta P., Głogowski T., Kowalewski J., Stępnia S., Całka R., Pątek B., Szablowski K., Merda T. Symulator karabinu samoczynno-samopowtarzalnego.
- [2] Patent RP nr 225347 na wynalazek Hłosta P., Głogowski T., Kowalewski J., Stępnia S., Nowicki J., Wójcik Z. : Symulator broni.
- [3] Kowalewski J., Chrobot W. 2013. *Symulator 40 mm granatnika automatycznego MK - 19*. Problemy Techniki Uzbrojenia, WITU, Zeszyt 128, s. 65÷72.
- [4] Kowalewski J., Chrobot W. 2017. *Symulator 12,7 mm wkm NSW do systemu Śnieżnik* Problemy Techniki Uzbrojenia, WITU, Zeszyt 141, nr 1/, s. 41÷54, ISSN 1230-3801.
- [5] Kowalewski J., Hłosta P. 2004. Adaptacja bojowej broni strzeleckiej do symulowanych strzelań treningowych. Problemy Techniki Uzbrojenia, WITU, Zeszyt 92, s. 85÷91.
- [6] Wilniewicz P. 1958. Broń samoczynna. Warszawa, MON.
- [7] Wrzeński Z. 2018. Balistyka wewnętrzna klasycznych broni lufowych. Warszawa, OWPW, ISBN: 978-83-7814-774-9.
- [8] Wilniewicz P. 1955. Broń strzelecka. Łódź, Warszawa, PWN.
- [9] Chodkiewicz L. 1956. Działanie odrzutu broni ramiennej na strzelca. Przegląd Techniki Specjalnej, nr 2, Warszawa, IMP.
- [10] Dwojak S. 1958. Uwagi o oddziaływaniu broni ramiennej na strzelca. Przegląd Techniki Specjalnej, nr 6, , Warszawa, IMP.
- [11] Warren Page. 1959. Boom-boom-boom in goose guns. Field and Stream, vol. LXIV, nr 7.
- [12] Kochański S. 1980: Odrzut ręcznej broni strzeleckiej, Wojskowy Przegląd Techniczny, nr 2.
- [13] Kochański S. 1978. Problemy rozwoju broni strzeleckiej. Wojskowy Przegląd Techniczny, nr 6.
- [14] Norma Obronna NO-10-A500-2. 1997 . Broń strzelecka - Metody badań - Badania poligonowe, MON.

- [15] Norma Obronna NO-10-A500-4.1997. Broń strzelecka - Metody badań – Bezpieczeństwo użytkowania, MON.
- [16] Kowalewski J., Głogowski T. 2006. Wymuszanie ruchu mechanizmów broni w symulatorach broni strzeleckiej urządzeń szkolno-treningowych. Problemy Techniki Uzbrojenia, WITU, Zeszyt 98, s. 79÷86.

*Analysis of Chosen Parameters of Combat Weapons Important for Designs of Simulators*



