



**POMIAR NEGATYWNEGO CIŚNIENIA GAZÓW PROCHOWYCH
PODCZAS STRZELANIA 120 MM AMUNICJĄ CZOŁGOWĄ
ZGODNIE Z NORMĄ STANAG 4493**

***MEASUREMENT OF NEGATIVE POWDER GAS PRESSURE
DURING SHOOTING WITH 120 MM TANK AMMUNITION
IN ACCORDANCE TO STANAG 4493***

Piotr BIENIEK, Przemysław ŚNIOŚ

Wojskowy Instytut Techniczny Uzbrojenia, ul. Wyszyńskiego 7, 05-220 Zielonka
Military Institute of Armament Technology, 7 Wyszyński St., 05-220 Zielonka, Poland
Author's e-mail address: bieniekp@witu.mil.pl.; ORCID: 0000-0002-7351-1552

DOI 10.5604/01.3001.0014.2715

Streszczenie: Artykuł przybliży zagadnienie pomiaru negatywnego ciśnienia gazów prochowych wykonywanego zgodnie z normą STANAG 4493. Ciśnienie negatywne jest uzyskiwane na podstawie pomiarów ciśnienia gazów prochowych na początku i na końcu komory naboju podczas strzelania 120 mm amunicją czołgową. W związku z powyższym niezbędne jest jednoczesne zastosowanie dwóch czujników piezoelektrycznych, umieszczanych w specjalnych gniazdach stanowiska balistycznego wyposażonego w 120 mm armatę L44 czołgu Leopard 2A4. Celem pomiaru jest zarejestrowanie wartości i krzywych przebiegów ciśnień, które umożliwią wykrycie ewentualnych niebezpiecznych zjawisk zachodzących w komorze naboju armaty podczas strzału i pozwolą określić poziom negatywnego ciśnienia gazów prochowych dla badanej amunicji. Zdefiniowanie wartości ciśnienia negatywnego ułatwia konstruowanie ładunku miotającego i sprzyja analizie stanu komory naboju armaty w odniesieniu do liczby oddanych strzałów.

Słowa kluczowe: ciśnienie negatywne, parametry balistyczne, 120 mm amunicja czołgowa

Abstract: The article introduces an issue of measuring a negative pressure of powder gases in accordance with STANAG 4493. The negative pressure is obtained from measurements of the pressure of powder gases at the front and the end of cartridge chamber during firing with 120 mm tank ammunition. In connection with the above, a simultaneous use of two piezoelectric sensors, placed in special sockets, is needed on a ballistic stand equipped with 120 mm L44 cannon of Leopard 2A4 tank. The purpose of the measurement is to record the values and curves of pressure allowing a detection of any dangerous phenomena occurring in the cannon's chamber during the shot and determination of the level of negative pressure of powder gases for tested ammunition. Defining the negative pressure value facilitates the construction of the propellant charge and helps to analyze the condition of the cannon cartridge chamber over many shots.

Keywords: negative pressure, ballistic parameters, 120 mm tank ammunition

1. Wytyczne normy STANAG 4493 jako kryterium oceny poziomu negatywnego ciśnienia gazów prochowych

W odniesieniu do zapisów normy, za ciśnienie negatywne uznaje się ilościową miarę nasilenia fali ciśnienia gazów prochowych w komorze nabojeowej. Wartość negatywnego ciśnienia gazów będąca liczbą ujemną stanowi wypadkową ciśnień z przetworników, których umiejscowienie powinno być określone i spójne dla konkretnego systemu armat.

Dodatkowo norma zawiera wymagania dotyczące ładunków miotających, które muszą być spełnione podczas prowadzenia badania mającego na celu ustalenie wartości ciśnienia negatywnego. W związku z powyższym, niedopuszczalne jest:

- wystąpienie niewypałów ani opóźnień w zapłonie ładunków prochowych,
- wystąpienie płomienia wtórnego,
- dopalanie się prochu w przewodzie lufy po strzale.

Wytyczne normy określają dopuszczalną maksymalną wartość negatywnego ciśnienia gazów prochowych dla 120 mm naboju termostatowanych w temperaturze normalnej (+21 °C), która powinna zawierać się w przedziale $20,7 \div 34,5$ MPa i nie przekraczać jego górnej granicy. Graniczne wielkości liczbowe z przedziału są przyporządkowane odpowiednio dla naboju termostatowanych w obniżonej i podwyższonej temperaturze. Wartości skrajnych temperatur eksploatacji są określone na podstawie rejonów, w których zarówno amunicja jak i sprzęt uzbrojenia będą wykorzystywane (NATO, 2007).

2. Istota pomiaru ciśnienia gazów prochowych za pomocą czujników piezoelektrycznych

Negatywne ciśnienie gazów prochowych jest określone na podstawie różnicy ciśnień zmierzonych na początku i na końcu komory

1. STANAG 4493 Guidelines - Referential Criterium for Powder Gases Negative Pressure

According to statements of the standard the negative pressure is a quantitative measure of a surge of powder gases wave inside the cartridge chamber. The value of negative pressure of the gases is a negative number and is a resultant value of pressures taken from sensors which have to be integrated in specific and coherent places for each particular family of guns.

Moreover, the standard includes the requirements for the projecting charges to be met during the tests aimed to find out the values of negative pressure. Regarding that it is unacceptable to have:

- any occurrence of misfiring and any delays on ignition of powder charges,
- the occurrence of a secondary flame,
- the afterburning of the powder in the barrel bore after the shot.

The standard guidelines state the maximal value of the powder gases negative pressure value for 120 mm cartridges kept at thermostatic normal temperature (+21°C) in the range of $20.7 \div 34.5$ MPa without exceeding its upper limit. The limiting numerical values of this interwall are given respectively for the cartridges kept in thermostat at the lower and higher temperatures. The values of extreme temperatures of using are determined for the regions where both the ammunition and the ordnance will be used (NATO, 2007).

2. Principle of Powder Gases Measurement by Piezoelectric Sensors

The negative pressure of powder gases is determined on the basis of a difference between the pressures measured in front and

nabojowej. Pomiary są wykonywane za pomocą dwóch czujników piezoelektrycznych o średnicy $\varphi = 12$ mm. W tym celu czujniki są montowane w specjalnie wykonanych gniazdach ścianki komory nabojowej w odległości 90 mm i 490 mm od czoła lufy (pomiar od strony komory nabojowej).

Pomiar ciśnienia czujnikami piezoelektrycznymi jest możliwy wyłącznie ze stanowiska balistycznego wyposażonego w 120 mm armatę L44 czołgu Leopard 2A4 ze względu na poprzeczne otwory wykonane w komorze nabojowej lufy (Kistler Group, 2010).

rear parts of cartridge chamber. The measurements are made by two piezo-electric sensors with diameter of $\varphi = 12$ mm. For this reason the sensors are integrated in the holes made in the wall of the cartridge chamber at distances of 90 mm and 490 mm from the front of the barrel (measured from the side of the cartridge chamber).

The measurement of the pressure by piezoelectric sensors can be only made on a ballistic testing stand with integrated 120 mm L44 gun from Leopard 2A4 tank as the lateral holes have to be made in the barrel cartridge chamber (Kistler Group, 2010).



Fot. 1. Gniazda do montażu czujników piezoelektrycznych
Photo 1. Openings housing piezoelectric sensors

Podczas strzału dochodzi do gwałtownego spalania się prochów ładunku miotającego, co skutkuje obciążeniem mechanicznym i powstaniem w zamontowanych czujnikach ładunków elektrycznych. Zjawisko to jest możliwe dzięki odpowiednio wyciętym płytkom kwarcowym, umieszczonym w czujnikach piezoelektrycznych. W wyniku rozciągania lub ściskania płytek dochodzi do wytworzenia ładunków elektrycznych na ich powierzchni. Ładunki te zosta-

During the shot the powders of the projecting charge are subjected to a violent combustion generating mechanical loads and electric charges in the integrated sensors. This effect is achieved due to quartz plates of special cutting included in the piezoelectric sensors. In effect of extension and suppression of the plates the electric charges are created on their surfaces. Then, these charges are sent to

ją następnie przesłane do wzmacniaczy, w których odbywa się przetworzenie otrzymanych sygnałów na wielkości liczbowe, określające maksymalne ciśnienia gazów prochowych (Romer, 1978; Bieniek i Weiss, 2019).

W celu uzyskania krzywych przebiegów ciśnień niezbędnych do określenia ciśnienia negatywnego, wyżej wymieniony układ pomiarowy należy doposażyć w oscyloskop cyfrowy wraz z oprogramowaniem komputerowym (Pico Technology, 2009).

the amplifiers where the received signals are transformed into numerical values describing maximal pressures of powder gases (Romer, 1978; Bieniek i Weiss, 2019).

The measurement setup described above has to be supplemented by a digital oscilloscope with computer software to get the curves of pressures needed for determination of the negative pressure (Pico Technology, 2009).



Fot. 2. Układ pomiarowy do określania ciśnienia negatywnego
Photo 2. Measurement setup for determination of the negative pressure

3. Wyniki

Zarejestrowane punkty pomiarowe z krzywych przebiegu ciśnień na początku i na końcu komory nabojeowej są umieszczane w arkuszu kalkulacyjnym na jednym wykresie, w funkcji ciśnienia od czasu. Na podstawie obliczeń opierających się na różnicy ciśnienia występującego na końcu komory nabojeowej względem ciśnienia na początku komory dla pojedynczych punktów pomiarowych (pików tworzących krzywe) uzyskuje się maksymalne negatywne ciśnienie gazów prochowych.

3. Results

The measurement points recorded from the pressure curves received at the front and rear parts of the cartridge chamber are placed in a calculating file for one graph as a function of pressure versus time. On the grounds of calculations based on the difference of pressures existing at the rear of the cartridge chamber against the pressure existing in front of the chamber for individual measurement points (peaks creating the curves) the maximal negative pressure

Wszystkie punkty pomiarowe spełniające powyższą zależność są zaliczane do krzywej przebiegu ciśnienia negatywnego.

W uproszczeniu negatywne ciśnienie gazów prochowych można przedstawić za pomocą równania:

$$P_N = P_1 - P_2$$

gdzie:

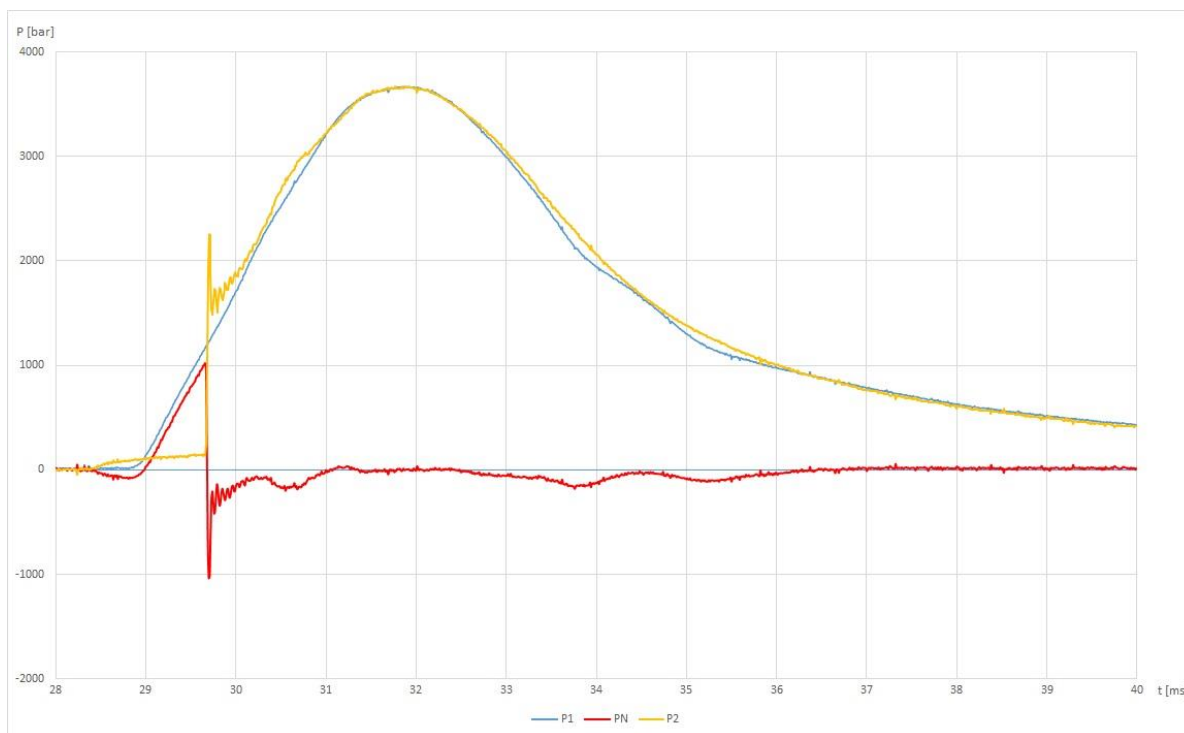
P_N – negatywne ciśnienie gazów prochowych,
 P_1 – ciśnienie gazów prochowych na początku komory nabojoyej,
 P_2 – ciśnienie gazów prochowych na końcu komory nabojoyej.

of powder gases may be received. All measurement points complying with the above dependence belong to the negative pressure curve.

In simplification, the powder gases negative pressure may be represented by:

where:

P_N – negative pressure of powder gases,
 P_1 – powder gases pressure in the front of cartridge chamber,
 P_2 – powder gases pressure at the end of cartridge chamber.



Rys. 1. Wykres przebiegu ciśnień podczas strzału nr 1

Fig. 1. Curves of pressures at shot nr 1

Pomiaru ciśnienia gazów prochowych za pomocą dwóch czujników piezoelektrycznych dokonano podczas strzelania ze stanowiska balistycznego 120 mm nabojami z balistycznymi pociskami odłamkowo-burzącymi do kulochwytu. Amunicja przeznaczona do badań

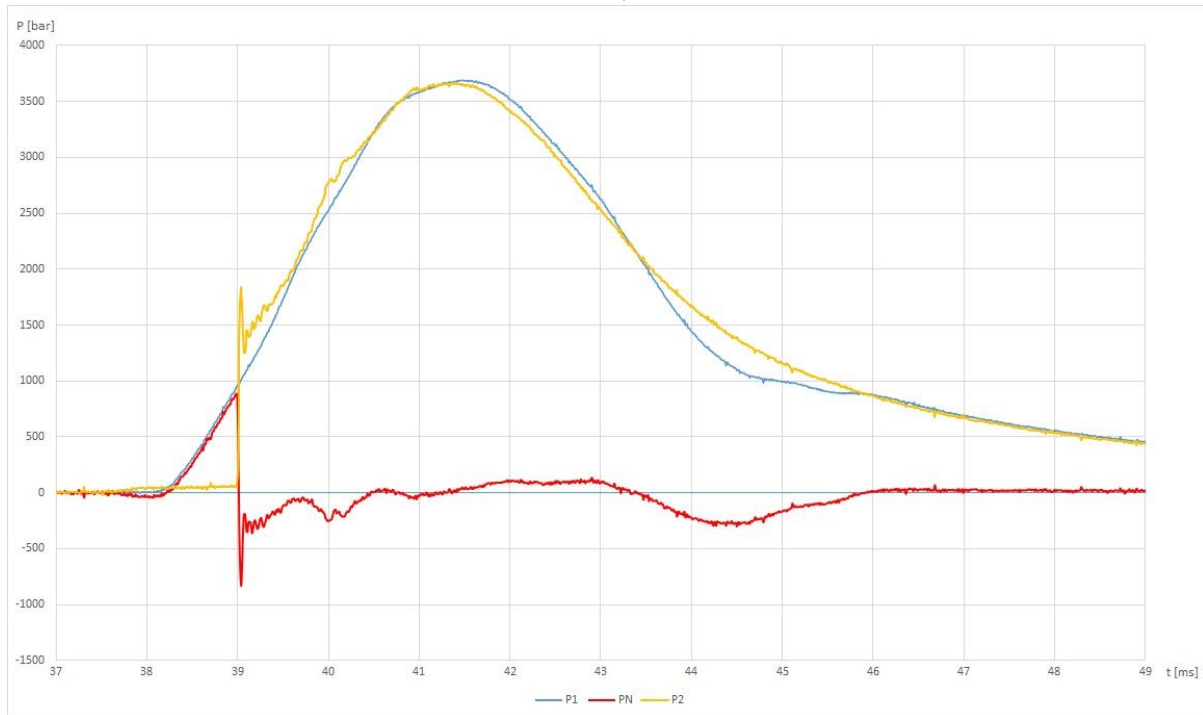
The measurement of powder gases pressure was performed by two piezoelectric sensors at firing against the bullet trap from the ballistic stand with 120 mm cartridges having the ballistic high-explosive projectiles. The ammunition designated for the trials was

była termostатовana w temperaturze $+21^{\circ}\text{C}$ przez co najmniej 48 godzin.

Na rysunkach 1 i 2 przedstawiono krzywe przebiegu ciśnienia na początku i na końcu komory naboju wraz z przebiegiem ciśnienia negatywnego.

kept in thermostat at temperature of $+21^{\circ}\text{C}$ for at least 48 hours.

The curves illustrating the course of the pressure in the front and end of the cartridge chamber, together with the negative pressure, are presented in graphs 1 and 2.



Rys. 2. Wykres przebiegu ciśnień podczas strzału nr 2

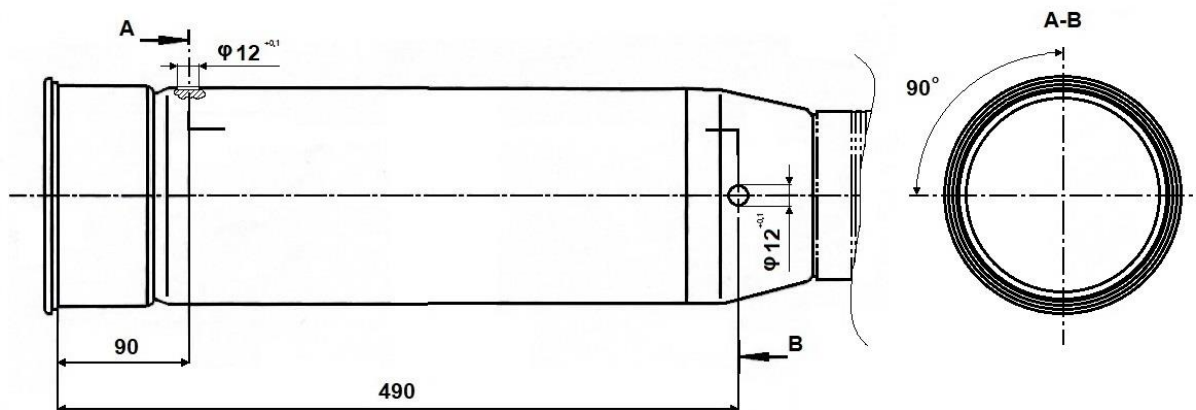
Fig. 2. Curves of pressures at shot nr 2

Otrzymany kształt krzywych przebiegu ciśnienia oraz wartości ciśnienia negatywnego wymusiły wprowadzenie dodatkowego zabiegu przed termostатовaniem amunicji. W celu poprawy wyżej wymienionych parametrów wykonano dwa otwory o średnicy $\varphi = 12\text{ mm}$ w samospalającej się łusce 120 mm naboju, w miejscach odpowiadających położeniu czujników piezoelektrycznych. Rozstaw otworów na łusce 120 mm naboju przedstawiono na rysunku 3.

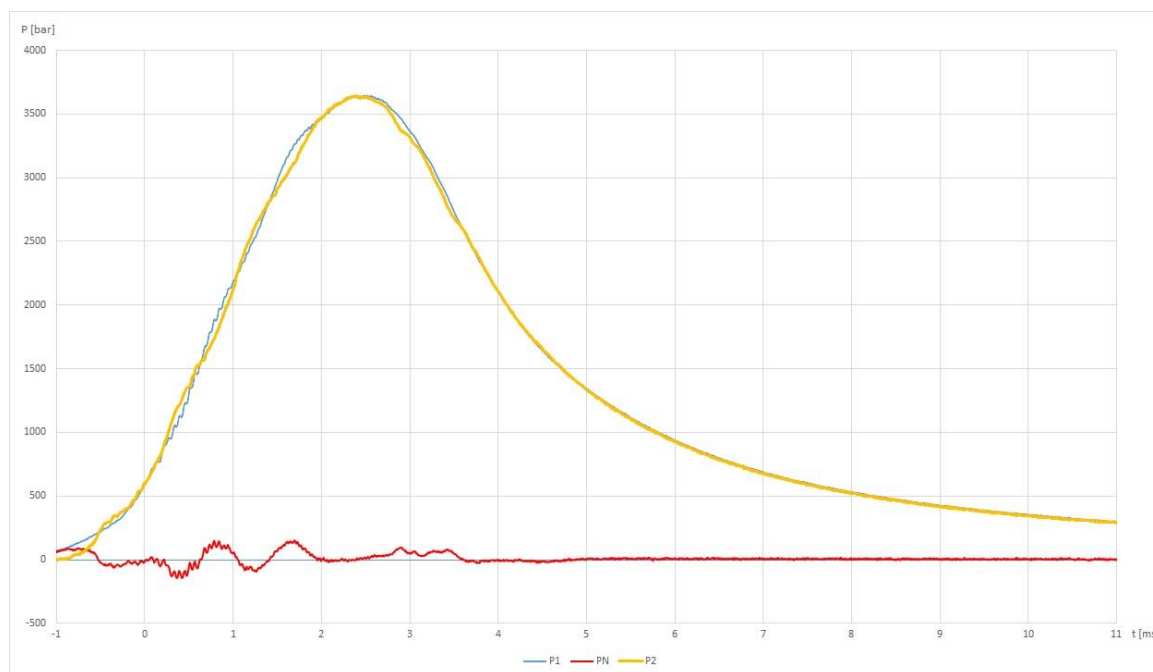
Wykresy na rysunkach 4 i 5 przedstawiają krzywe przebiegu ciśnienia dla 120 mm naboju z dwoma otworami wykonanymi w samospalającej się łusce.

Received shapes of pressure courses and the values of the negative pressure have enforced the implementation of an additional action before putting the ammunition in the thermostat. To improve the accuracy of above mentioned parameters two holes of $\varphi = 12\text{ mm}$ diameter were made in a self-combusting case of 120 mm cartridges at places corresponding to positions of the piezoelectric sensors. Positions of the holes in the case of 120 mm cartridge are shown in the picture below 3.

Figures 4 and 5 show the curves of pressure for 120 mm cartridges having two holes made in the self-combusting case.



Rys. 3. Rozmieszczenie otworów na łusce 120 mm naboju
Fig. 3. Positions of openings on the case of 120 mm cartridge



Rys. 4. Wykres przebiegu ciśnień podczas strzału nr 3
Fig. 4. Curves of pressures at shot nr 3

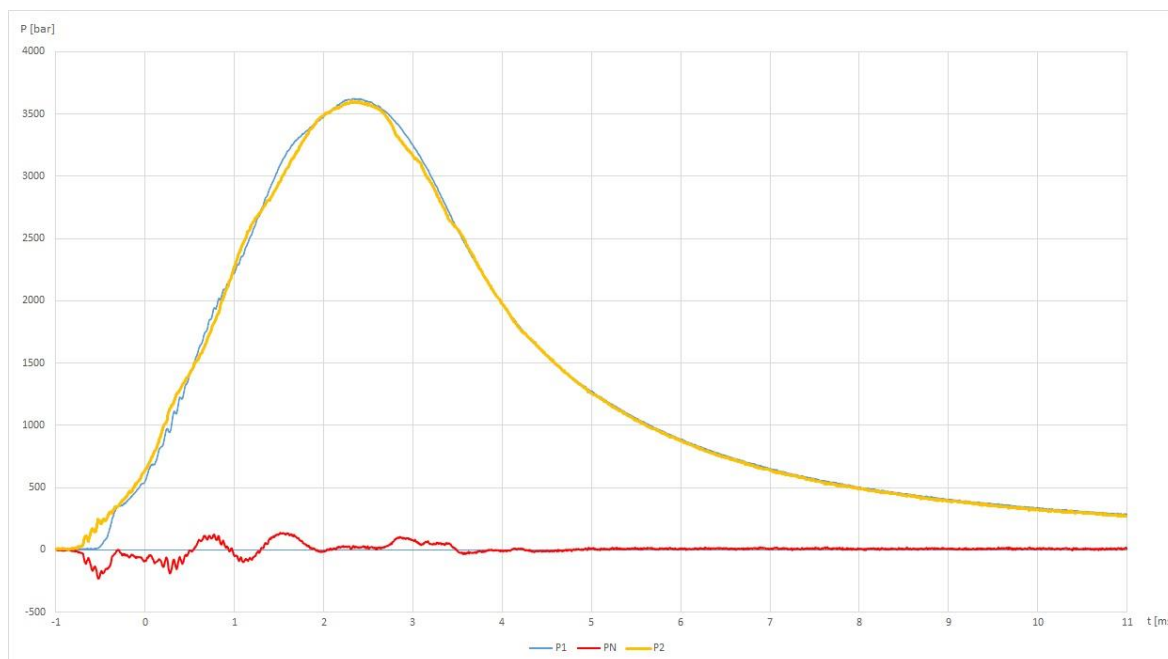
Wartości maksymalnych ciśnień gazów prochowych na początku i na końcu komory naboju oraz maksymalnego negatywnego ciśnienia dla czterech badanych strzałów zostały zamieszczone w tabeli.

Values of powder gases maximal pressures at the front and rear parts of the cartridge chamber, and the maximal negative pressures for four investigated shots are presented in the table.

Tab. 1. Wyniki maksymalnych ciśnień gazów prochowych z badanych strzałów

Tab. 1. Results of maximal pressures for powder gases at fired shots

L.p.	$P_{1 \max}$ [MPa]	$P_{2 \max}$ [MPa]	$P_{N \max}$ [MPa]
1	366,7	366,6	-103,2
2	369,1	366,6	-82,7
3	365,0	364,0	-14,3
4	362,2	360,6	-23,0



Rys. 5. Wykres przebiegu ciśnień podczas strzału nr 4

Fig. 5. Curves of pressures at shot nr 4

4. Wnioski

Na poziom negatywnego ciśnienia wpływają głównie czynniki związane z pomiarem ciśnień na początku i na końcu komory naboju wykonywane za pomocą czujników piezoelektrycznych. O końcowym wyniku (prawidłowych krzywych przebiegu ciśnienia i wartościach maksymalnego negatywnego ciśnienia) decydują pojedyncze punkty pomiarowe (piki) będące składowymi krzywych przebiegu ciśnienia z obu punktów pomiarowych komory naboju.

Aby maksymalnie zmniejszyć wartość

4. Conclusions

The level of the negative pressure depends mainly on factors connected with the measurement of pressures at the front and rear parts of the cartridge chamber by the piezoelectric sensors. The final result (correct curves of pressure and values of the maximal negative pressure) are decided by individual measurement points (peaks) which are the components of the pressure curves received from two measurement points of the cartridge chamber.

Frequent calibrations have to be applied

błędu pomiarowego, a co za tym idzie zapewnić wysoką dokładność pomiarową czujników piezoelektrycznych należy stosować częste kalibracje. Polegają one na ustalaniu czułości wykorzystywanych do badania czujników w odniesieniu do czujnika referencyjnego. Ponadto wpływ na pomiar mogą mieć przewody sygnałowe łączące czujnik ze wzmacniaczem, dlatego przed użyciem należy sprawdzać ich stan techniczny. Ważnym aspektem pomiarowym jest również stan połączenia gwintowego gniazd ścianki komory nabojeowej z czujnikami piezoelektrycznymi. Ewentualna przerwa w połączeniu może spowodować przedmuch gazów prochowych poza czujnik.

Spełnienie wszystkich wyżej wymienionych warunków właściwego pomiaru podczas prowadzonych badań pozwala na wyeliminowanie wpływu armaty i układu pomiarowego na występowanie niekorzystnych pików na jednej z krzywych przebiegu ciśnienia.

Analiza procesu spalania ładunków miotających daje podstawę do upatrywania przyczyny w konstrukcji naboju. Otwory ścianki komory nabojeowej są odizolowane od bezpośredniego styku z ziarnami prochu samospalającą łuską naboju. Podczas wystrzału dochodzi do jednoczesnego zapalenia ładunków miotających i rozpoczęcia ruchu pocisku, który zabiera za sobą i przesuwa do przodu palącą się łuskę. W wyniku tego otwór na początku komory nabojeowej jest przez krótszy czas przysłonięty przez łuskę samospalającą. W przypadku końcowej części komory nabojeowej przysłonięcie otworu trwa dłużej, co w rezultacie tłumi prawidłowy strumień fali ciśnienia na czujnik piezoelektryczny i zarazem wpływa na wystąpienie niekorzystnych pików ciśnienia.

Zastosowanie otworów w samospalającej łusce zapewnia płynne oddziaływanie strumienia fali ciśnienia na czujniki, a co za tym idzie ciągłą rejestrację procesu spalania się ładunku miotającego. Zabieg ten zapobiega

to reduce the value of the measurement error and by the same to get high accuracy of measurements for the piezoelectric sensors. They are based on setting the sensitivity of sensors used for testing against the referential sensor. Moreover, the signal leads connecting the sensor with the amplifier can affect the measurement and for this reason their technical status has to be examined before any use. Technical status of the threaded connection between the walls of the cartridge chamber and the piezoelectric sensors is also important for the measurement. Any existing leakage of the connection makes the powder gases blow by the sensor.

The fulfilment of the above mentioned conditions is needed for proper measurements at these investigations and for elimination of any impact of the gun and the measurement system on the occurrence of unwanted peaks in one of pressure curves.

The analysis of the combustion process of the projecting charges gives grounds for searching its dependence on the cartridge design. The self-combustion case of the cartridge separates the powder grains and the openings in the walls of the cartridge chamber. At the firing process the projecting charges are ignited and at the same time the projectile starts to move and takes the burning case forward. In effect, the opening in the front of the cartridge chamber is screened within a short time by the self-combustion case. For the rear part of the cartridge chamber the screening lasts longer what reduces the wave of pressure acting against the piezoelectric sensor and finally produces the unwanted peaks of the pressure.

The openings made in the self-combustion case provide correct action of the pressure wave against the sensors and in consequence the continuous recording of the combustion process for the projecting

skokom ciśnienia w pobliżu punktów pomiarowych czego dowodem są prawidłowe krzywe przebiegów ciśnienia. Uwzględniając równoczesny ruch pocisku i rozpalanie ładunku miotającego, najlepszym chociaż skomplikowanym do wykonania kształtem otworów byłyby elipsy umieszczone wzdłużnie względem osi naboju.

Określenie poziomu ciśnienia negatywnego, które niesie za sobą pomiary ciśnień na początku i na końcu komory naboju jest bardzo przydatnym parametrem, ponieważ umożliwia wykrycie niebezpiecznych zjawisk zachodzących w komorze podczas strzału. Na etapie konstruowania ładunku miotającego pozwala na szybkie reagowanie i zastosowanie odpowiednich zmian, natomiast podczas eksploatacji armaty sprzyja zbieraniu danych dotyczących stanu komory naboju w przeciągu wszystkich oddanych strzałów w odniesieniu do uzyskiwanych pozostałych parametrów balistycznych (2).

charge. It prevents the surges of pressure in the vicinity of measurement points what is proved by the correct curves of the pressure. Considering the simultaneous movement of the projectile and burning out of the projecting charge it seems that ellipses placed alongside the cartridge axis would be a best shape of the openings, although a bit complicated.

Determination of the negative pressure level through the measurement of pressures in the front and the end of the cartridge chamber is a very useful parameter as it is helpful at detection of dangerous effects taking place inside the cartridge chamber at firing. It can be used at the stage of designing the projecting charge to implement suitable improvements and changes, whereas during the gun's life time it can be used to collect data on the status of the cartridge chamber over the overall firings in relation to the remaining ballistic characteristics (2).

Literatura / Literature

- Bieniek, A. i Weiss, J. (2019). Metody pomiaru maksymalnego ciśnienia gazów prochowych stosowane podczas strzelania ze stanowiska wyposażonego w 120 mm armatę czołgu Leopard 2A4. *Problemy Techniki Uzbrojenia*, Nr 1, 85-98. Doi: 10.5604/01.3001.0013.3775.
- Kistler Group. (2010). *Kistler Charge Meter Type 5015A. Instruction manual*. Winterthur: Kistler Group.
- Ministerstwo Obrony Narodowej (MON). (2006). *Norma Obronna NO-13-A235: Amunicja artyleryjska. Naboje 120 x 570 mm do gładkolufowych armat czołgowych. Wymagania*. Warszawa: MON.
- North Atlantic Treaty Organization (NATO). (2007). *NATO - STANAG 4493. Tank ammunition, safety and suitability for service evaluation (Edition 1)*. Brussels: NATO.
- Pico Technology. (2009). *Quick Start Guide: Picoscope PC Oscilloscope*. United Kingdom.
- Romer, E. (1978). *Miernictwo przemysłowe*. Warszawa: Polskie Wydawnictwa Naukowe.

