



DOBÓR MATERIAŁÓW WYBUCHOWYCH DO WZMACNIACZA IMPULSU OGNIOWEGO UKŁADU INICJUJĄCEGO

SELECTION OF EXPLOSIVES FOR THE FIRE PULSE AMPLIFIER OF THE INITIATING SYSTEM

Piotr KASPRZAK, *kasprzakp@witu.mil.pl*, ORCID:0000-0002-8911-4682

Piotr A. BARAN, *baranp@witu.mil.pl*, ORCID: 0000-0002-4309-1278

Jacek BORKOWSKI, *borkowskij@witu.mil.pl*, ORCID: 0000-0001-8412-6003

Bogdan KRYSIŃSKI, *krysinskib@witu.mil.pl*, ORCID: 0000-0002-1469-3907

Wojskowy Instytut Techniczny Uzbrojenia, ul. Pr. St. Wyszyńskiego 7, 05-220 Zielonka
Military Institute of Armament Technology, 7 Wyszyńskiego St., 05-220 Zielonka, Poland

DOI 10.5604/01.3001.0054.4786

Streszczenie: Opracowanie modelu uniwersalnego zapłonika pirogenicznego związane jest z możliwością użycia go w wielu układach badawczych, w których jako materiał pędny stosowane jest stałe paliwo raketowe. Szeroki zakres stosowania tego typu zapłonika wynika z możliwości komponowania składników w różnych proporcjach w zależności odżądanego efektu energetycznego. Na podstawie wieloletniego doświadczenia związanego z badaniami istniejących oraz opracowaniami nowych elementów zapłonowych, zaprojektowano układ inicjujący do nowoprojektowanego zapłonika dla stałych paliw raketowych. Układ ten składa się z podzespołu zapłonowego, który inicjuje proces zapłonu poprzez wygenerowanie impulsu ogniowego i podzespołu wzmacniającego ten impuls. Przedmiotem badań było porównanie wybranych parametrów działania trzech wariantów ładunku wzmacniającego wchodzącego w skład podzespołu wzmacniającego impuls ogniowy.

Słowa kluczowe: strumień ogniowy, impuls ogniowy, układ inicjujący, ładunek wzmacniający, podzespół zapłonowy, podzespół wzmacniający, zapłonnik

1. Wstęp

Proces spalania stałego paliwa raketowego [1], [2], [3] zostaje zapoczątkowany

Abstract: The development of a model of a universal pyrogenic igniter is related to the possibility of using it in a number of test systems where rocket solid fuel is used as a propellant. The wide range of application of this type of igniter is due to the possibility of composing the components in different proportions depending on the desired energetic effect. On the basis of many years of experience related to the study of existing and the development of new ignition components, an initiator system was designed for a newly designed rocket fuel igniter. This system consists of an ignition subassembly that initiates the ignition process by generating a fire pulse and a subassembly that amplifies this pulse. The subject of the study was the comparison of selected performance parameters of three variants of the amplifying charge included in the fire pulse amplifying subassembly.

Keywords: fire jet, fire pulse, initiating system, booster charge, ignition component, booster component, igniter

1. Introduction

The process of combustion of a solid rocket propellant [1], [2], [3] is initiated

oddziaływaniem produktów spalania [4], [5] zespołu pirotechnicznego (ładunku wzmacniającego) stanowiącego końcowy element łańcucha ogniowego powstałego w wyniku zadziałania zapłonika [6]. Oddziaływanie to musi być skuteczne, gdyż w przeciwnym razie może nastąpić niestabilna praca silnika raketowego [7], [8] a w konsekwencji brak wykonania zadania bojowego. Współcześnie stosowane zapłoniki do niekierowanych pocisków raketowych posiadają łańcuch ogniowy, składający się z kilku kolejno inicjowanych podzespołów generujących coraz silniejszy strumień produktów spalania [9], [10]. Podzespołem zapłonika, w którym pojawia się płomień jest podzespół zapłonowy [11]. W starszych typach zapłoników były to z reguły dwie elektryczne spłonki zapalające [12] skierowane w przeciwległe strony, wokół których znajdowały się luźno ułożone ziarna prochu czarnego stanowiące końcowy element ogniowy zapłonika [13].

W nowszych rozwiązaniach, elektryczne spłonki zapalające były umieszczane w małym woreczku wypełnionym luźno ułożonymi ziarnami prochu czarnego (9CH227). Płomień z elektrycznych spłonek zapalających inicjował ziarna prochu znajdujące się w woreczku. Wokół woreczka znajdował się zasadniczy ładunek pirotechniczny zapłonika w postaci prochu czarnego umieszczonego w worku lub wsypanego luzem [14], [15]. Produkty zapłonowe powstałe wskutek palenia się prochu w woreczku, zapalały ładunek zasadniczy, którego produkty spalania powodowały rozerwanie korpusu zapłonika i zapłon paliwa w silniku raketowym [16], [17]. Ze względu na dynamikę procesu spalania prochu czarnego, impuls ogniowy był silny, lecz krótki [18]. Zapłon ziaren prochowych następował w kanale paliwa od strony zapłonika i szybko rozprzestrzeniał się na całą powierzchnię wewnętrzną kanału.

by an action of combustion products [4], [5] of a pyrotechnic unit (boosting charge) representing a terminal component of the firing train, and created by the activation of an igniter [6]. This action has to be efficient because in opposite case the rocket motor may work without stability [7], [8] threatening in consequence the fulfilment of a combat mission. Presently used igniters for unguided rocket projectiles have the fire train consisting of a few subunits which are subsequently initiated to generate a more powerful jet of combustion products [9], [10]. An ignition subunit is this subunit of the igniter where the fire pulse is produced [11]. In the older types of igniters there usually were two electric igniting primers [12] oriented in opposite directions and surrounded by loose grains of black powder creating a terminal fire component of the igniter [13].

In the newer solutions, the electric igniting primers were placed inside of a little bag filled with loose black powder grains (9CH227). The fire pulse from the electric igniting primers provides the initiation of powder grains inside the bag or placed loosely [14], [15]. The igniting products generated by the combustion of powder inside the bag cause the ignition of the main charge and the products of its combustion break out the igniter body effecting the ignition of rocket motor propellant [16], [17]. Due to the dynamics of the black powder combustion process the fire pulse was strong but short [18]. The ignition of powder grains started in a propellant channel from the side of the igniter and was spreading rapidly over the whole inner surface of the channel.

In the new rocket motors the main ignition charge of the igniter is made of pressed bits (presswork) [19], [20], [21]

W nowych silnikach raketowych zasadniczy ładunek zapłonowy zapłonika stanowią pastylki (wypraski) [19], [20], [21] wykonane z mieszaniny charakteryzującej się, między innymi, wysoką temperaturą spalania oraz długim czasem trwania impulsu energetycznego. Wypraski te są zapalane przez produkty spalania [22], [23] elementu inicjującego układu zapłonowego. Gazowe produkty spalania elementu inicjującego [24] i części masy pastylek, powodują wyrzucenie palących się pastylek w kanał paliwa raketowego. Wypraski te rozkładają się wzdłuż całej długości kanału powodując zapłon paliwa na wewnętrznej powierzchni kanału.

2. Wykonanie oraz badanie wariantów ładunku wzmacniającego układu inicjującego

Prace nad układem inicjującym do zapłonika raketowego prowadzono przy założeniach:

- ładunek wzmacniający podzespołu wzmacniającego impuls ogniowy musi być niezawodnie pobudzany impulsem ogniowym generowanym przez podzespół zapłonowy;
- ładunek wzmacniający powinien generować impuls ogniowy o takich parametrach, które zapewnią zainicjowanie wyprasek pirotechnicznych znajdujących się w zasobniku zapłonika;
- elementy pirotechniczne układu inicjującego muszą być produkowane przez przemysł krajowy lub powinno być możliwe szybkie uruchomienie ich produkcji w kraju.

2.1. Opis stanowiska badawczego

W celu przeprowadzenia badań układu inicjującego zawierającego wybrane warianty ładunku wzmacniającego zaprojektowano i ukompletowano stanowisko badawcze (Rys. 1).

received from a composition which is characterised among others by a high temperature of combustion and a long time of duration of the energetic pulse. The presswork cubes are ignited by the products of combustion [22], [23] of the ignition unit initiating component. Gaseous products of combustion of the initiating component [24] and a part of the mass of the cubes bring about the ejection of burning bits into the rocket propellant channel. The bits of presswork are decomposed along the whole length of the channel effecting the ignition of propellant on the inner surface of the channel.

2. Preparation and Testing of Booster Charge Variants for Initiating System

Following assumptions were taken at the work over the initiating system for the rocket igniter:

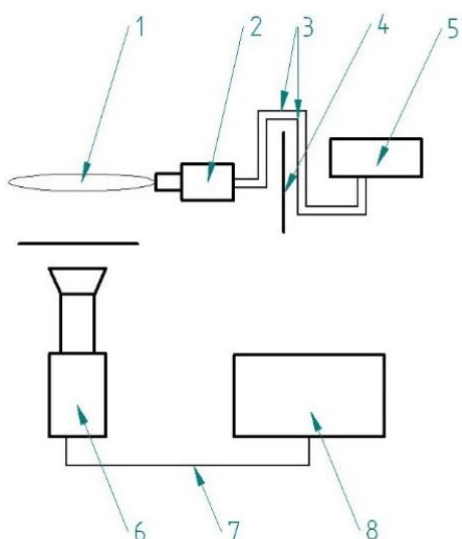
- The booster charge of a subunit enhancing the fire pulse must be reliably initiated by the fire pulse produced by the ignition subunit;
- The booster charge has to generate the fire pulse with parameters allowing for initiation of bits of pyrotechnic presswork placed inside the igniter's bag;
- Pyrotechnical components of the initiating system have to be manufactured, or rapidly implemented into production, by the country industry.

2.1. Description of Testing Setup

A testing setup was designed and completed to investigate the initiating system containing selected variants of booster charge (Fig. 1). The efficiency of the charges

Wykonano badania efektywności ładunków poprzez pomiar wielkości płomienia i czasu jego oddziaływania przy użyciu kamery. W tym celu mierzono powierzchnię (średnicę) płomienia oraz czas impulsu zarejestrowany kamerą i analizowany na wykonanych zdjęciach. W dalszej części artykułu przedstawiono schemat układu inicjującego (Rys. 2) oraz zdjęcia stanowiska wraz z jego opisem.

was tested by using a camera to measure the size of fire pulse and the time of its action. For this reason the surface (diameter) and duration of the fire pulse was measured and analysed on recorded pictures. In the further parts of the paper a scheme of an initiating system is presented (Fig. 2) together with pictures and description of the setup.

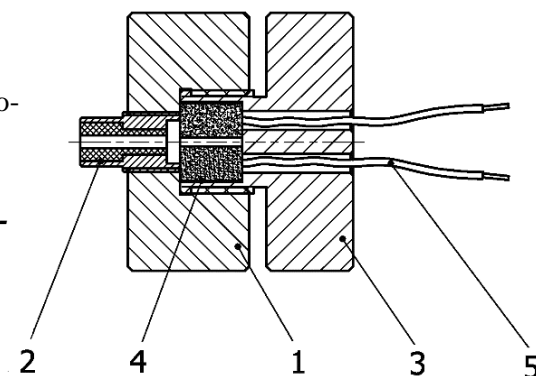


Rys. 1. Schemat stanowiska do badania elementów inicjujących układu zapłonowego: 1) efekty działania ładunku wzmacniającego układu inicjującego, 2) układ inicjujący, 3) przewody elektryczne, 4) przesłona zabezpieczająca - przezroczysta, 5) generator sygnału inicjującego - zasilacz, 6) kamera do zdjęć szybkich, 7) przewód sygnałowy, 8) komputer rejestrujący przebieg eksperymentu

Fig. 1. Scheme of the setup for testing initiating components of the ignition system: 1) effects of the booster charge operation in the initiating system, 2) initiating system, 3) electric wires, 4) transparent protective screen, 5) generator of initiating pulse – supply, 6) high speed camera, 7) signal wire, 8) computer recording the execution of experiment

Rys. 2. Układ inicjujący do zapłonika pocisku raketowego: 1) obsada ładunku wzmacniającego, 2) ładunek wzmacniający w obudowie, 3) obsada spłonki zapalających, 4) spłonka zapalająca elektryczna, 5) przewody elektryczne spłonki)

Fig. 2. Initiating system for the igniter of rocket projectile: 1) fitting of the booster charge, 2) booster charge in the fitting, 3) fitting of ignition primers, 4) electric ignition primer, 5) electric wires of the primer



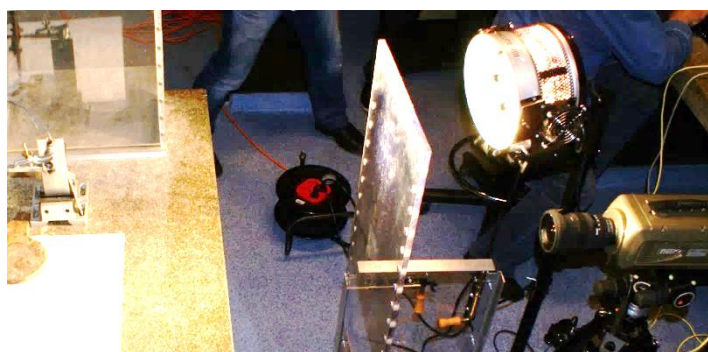
Rys. 3. Układ inicjujący do zapłonika pocisku raketowego

Fig. 3. Initiating system for the igniter of rocket projectile

Układ inicjujący z badanym ładunkiem wzmacniającym był umieszczany w uchwycie, który zapewniał stabilne i bezpieczne jego położenie. Przezroczysta przesłona zabezpieczająca ustawiona za układem badawczym oraz druga, analogiczna przesłona, ustawiona przed obiektywem kamery do zdjęć szybkich, zapewniała bezpieczeństwo dla obsługi oraz chroniła aparaturę przed uszkodzeniem. Pomieszczenie, w którym przeprowadzano badania było wyposażone w wydajny system wentylacyjny.

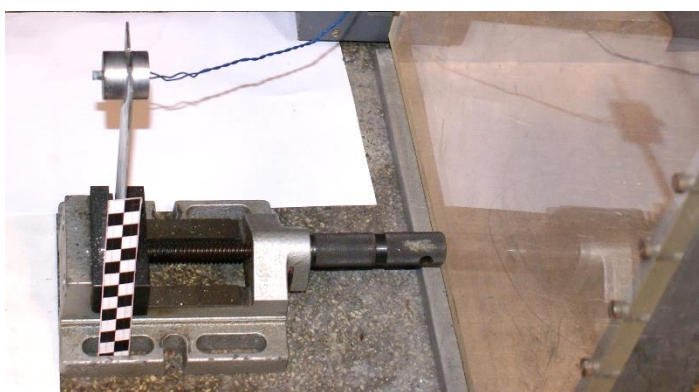
The initiating system containing the investigated booster charge was placed in a catch securing its stable and safe position. Two transparent protecting screens were set behind the experimental setup and in front of the high speed camera optics for safety of personnel and instruments. The room where the experiments were carried out was equipped with an efficient venting system.

Rys. 4. Stanowisko badawcze do badania układów inicjujących
Fig. 4. Testing setup for investigation of initiating systems



Na rys. 4, z prawej strony poniżej lampy oświetlającej, widoczna jest kamera do zdjęć szybkich ustawiona za przezroczystą przesłoną. Z lewej strony jest uchwyt z zamontowanym układem inicjującym. Za uchwycem jest umieszczona przezroczysta przesłona zabezpieczająca, za którą jest ustawiony zasilacz.

The high speed camera set behind the transparent screen can be seen in Fig.4 on the right side below the illuminating lamp. The catch with fixed initiating system can be seen on the left side. The supply is put behind the transparent protecting screen placed behind the catch.



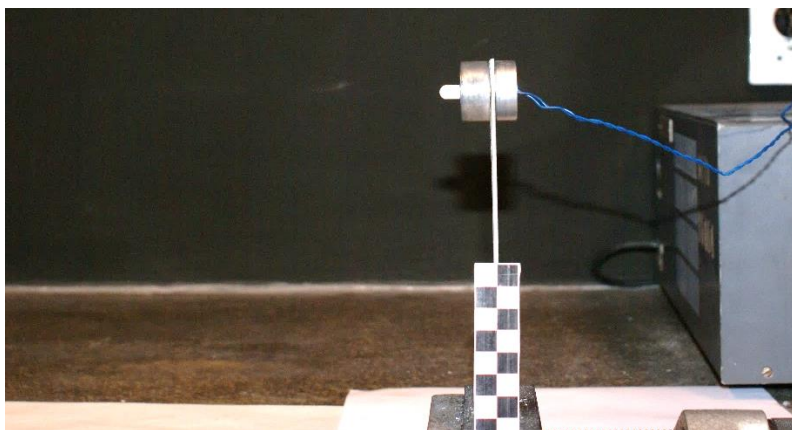
Rys. 5. Układ inicjujący przygotowany do badania (widok z góry)
Fig. 5. Initiating system prepared for testing (upper view)

Za przezroczystą przesłoną zabezpieczającą (rys. 5 i rys. 6) znajduje się uchwyt z zamontowanym układem inicjującym. Z prawej strony zamontowany jest zasilacz, z którego poda-

The catch with the fixed initiating system is placed behind transparent protecting screen (Fig. 5 and Fig. 6). The supply fixed on the right side is used to provide the elec-

wano elektryczny sygnał inicjujący działanie układu elektrycznych spłonek zapalających.

tric signal initiating operation of the system of electric ignition primes.



Rys. 6. Układ inicjujący przygotowany do badania (widok z boku)

Fig. 6. Initiating system prepared for testing (side view)

2.2. Badania ładunków wzmacniających układu inicjującego

Aby stwierdzić różnice w impulsie ogniowym generowanym przez układ inicjujący i wybrać właściwy ładunek wzmacniający, zaprojektowano i wykonano układy inicjujące z trzema wariantami ładunku wzmacniającego:

- Wariant A – proch czarny w postaci sypkiej zaelaborowany w plastikową tulejkę (rysunek 7);
- Wariant B – proch czarny zaprasowany w metalowej tulejce (rysunek 8);
- Wariant C – mieszanina pirotechniczna na bazie cyrkonu zaprasowana w metalowej tulejce (rysunek 9).

Zdjęcia badanych układów inicjujących zaprezentowano poniżej.

2.2. Investigations of Booster Charges in the Initiating System

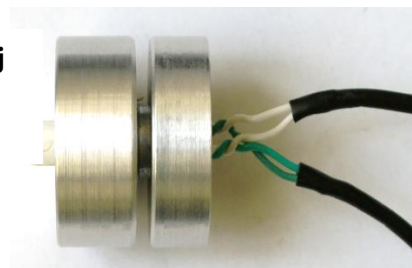
The initiating systems with three variants of booster charges were designed and prepared to find out the differences in the fire pulse produced by the initiating system, and to select a suitable booster charge:

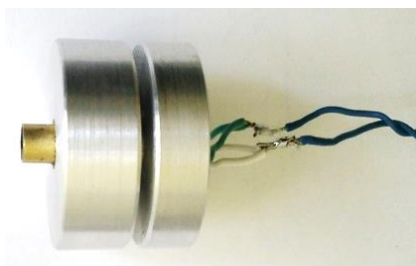
- Variant A – black powder in a loose state elaborated into a plastic tube (Fig.7);
- Variant B – black powder pressed into a metallic tube (Fig. 8);
- Variant C – pyrotechnic composition on the base of zirconium pressed into a metallic tube (Fig. 9).

Pictures of the investigated initiating systems are presented below.

Rys. 7. Układ inicjujący A – proch czarny w postaci sypkiej

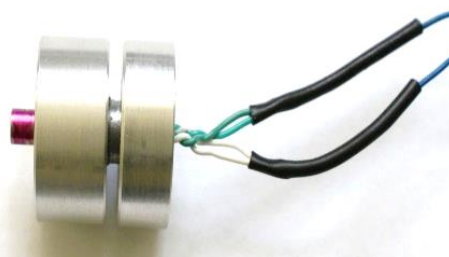
Fig. 7. Initiating system A – black powder in loose state





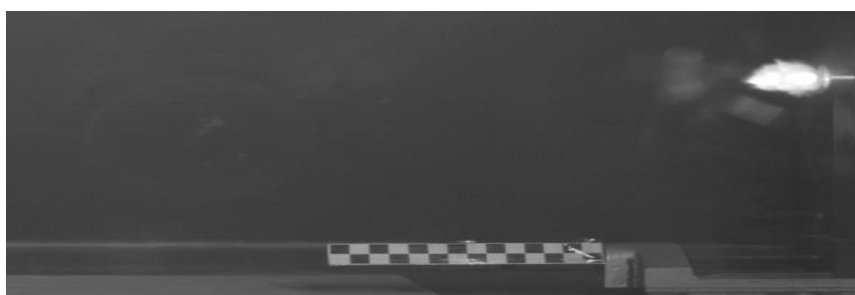
Rys. 8. Układ inicjujący B – zaprasowany proch czarny
Fig. 8. Initiating system B – pressed black powder

Rys. 9. Układ inicjujący C – zaprasowana masa pirotechniczna
Fig. 9. Initiating system C – pressed pyrotechnical composition



Kolejne fazy generowania impulsu ogniowego przez badany wariant A ładunku wzmacniającego podzespołu wzmacniającego impulsu ogniowego po czasie 100, 300 i 700 μ s przedstawiono na poniższych zdjęciach:

Consecutive phases of generation of the fire pulse enhanced by investigated variant A of the booster charge after 100, 300 and 700 μ s are presented in the pictures below:



Rys. 10. Efekt wizualny uzyskany po zapaleniu ładunku wzmacniającego z prochu czarnego w postaci sypkiej po czasie 100 [μ s]
Fig. 10. Visual effect produced after ignition of the booster charge made of the loose black powder after 100 [μ s]



Rys. 11. Efekt wizualny uzyskany po zapaleniu ładunku wzmacniającego z prochu czarnego w postaci sypkiej po czasie 300 [μ s]
Fig. 11. Visual effect produced after ignition of the booster charge made of the loose black powder after 300 [μ s]



Rys. 12. Efekt wizualny uzyskany po zapaleniu ładunku wzmacniającego z prochu czarnego w postaci sypkiej po czasie 700 [μs]

Fig. 12. Visual effect produced after ignition of the booster charge made of the loose black powder after 700 [μs]

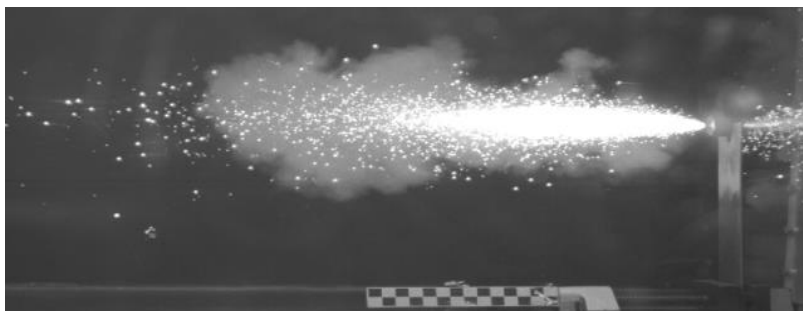
Rysunki (10-12) przedstawiają wybrane wizualne efekty dla kolejnych faz działania podzespołu wzmacniającego, zawierającego proch czarny w postaci sypkiej. Największą średnicę około 6 [cm] uzyskano dla czasu generowania płomienia wynoszącego 300 [μs]. Czas generowania płomienia wynosił 700 [μs].

Pictures (10-12) show some selected visual effects for consecutive phases of operation of the boosting subunit containing the loose black powder. The greatest diameter of ca. 6 [cm] was obtained for the time of fire generation of 300 [μs]. The fire was generated within 700 [μs].



Rys. 13. Efekt wizualny uzyskany po zapaleniu ładunku wzmacniającego w postaci zaprasowanego prochu czarnego po czasie 500 [μs]

Fig. 13. Visual effect produced after ignition of the booster charge made of pressed black powder after 500 [μs]



Rys. 14. Efekt wizualny uzyskany po zapaleniu ładunku wzmacniającego w postaci zaprasowanego prochu czarnego po czasie 10 000 [μs]

Fig. 14. Visual effect produced after ignition of the booster charge made of pressed black powder after 10 000 [μs]



Rys. 15. Efekt wizualny uzyskany po zapaleniu ładunku wzmacniającego w postaci zaprasowanego prochu czarnego po czasie 70 000 [μs]

Fig. 15. Visual effect produced after ignition of the booster charge made of pressed black powder after 70 000 [μs]



Rys. 16. Efekt wizualny uzyskany po zapaleniu ładunku wzmacniającego w postaci zaprasowanego prochu czarnego po czasie 100 000 [μs]

Fig. 16. Visual effect produced after ignition of the booster charge made of pressed black powder after 100 000 [μs]

Rysunki (13 - 16) przedstawiają wybrane wizualne efekty faz działania podzespołu wzmacniającego zawierającego proch czarny zaprasowany w metalowej tulejce – wariant B.

Największą średnicę uzyskał płomień w kształcie strumienia, o szerokości ok. 5 [cm] oraz długość ok. 30 [cm]. Ponadto oprócz płomienia odnotowano niewielką ilość palących się cząstek stałych. Czas generowania płomienia wynosił ok. 80 000 [μs].

Rysunki (17 - 20) przedstawiają wybrane wizualne efekty faz działania podzespołu wzmacniającego zawierającego mieszaninę pirotechniczną zaprasowaną w metalowej tulejce. Największą średnicę uzyskał płomień w kształcie strumienia, którego szerokość wynosiła ok. 2 [cm] a długość ok. 10 [cm].

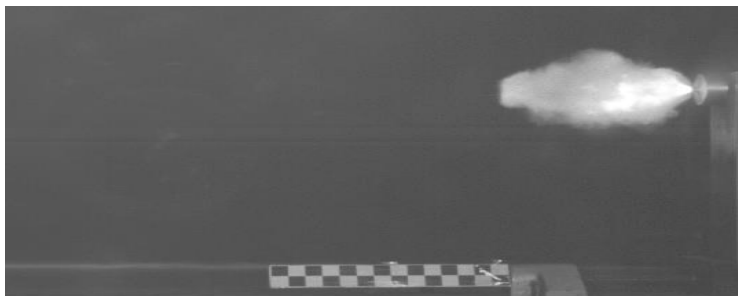
Figures (13 - 16) show some selected visual effects of operation of the booster charge containing the black powder pressed into a metallic tube – variant B.

The greatest diameter was received by the fire with a shape of a stream and the width of ca. 5 [cm], and the length ca. 30 [cm]. Moreover, beside the fire there was noted a certain number of burning solid particles. The fire was generated within ca. 80 000 [μs].

Pictures (17 - 20) show some selected effects of operation of the booster subunit containing pyrotechnical composition pressed into a metallic tube. The greatest diameter was received by the fire with a shape of a stream and the width of ca. 2 [cm], and the length ca. 10 [cm].

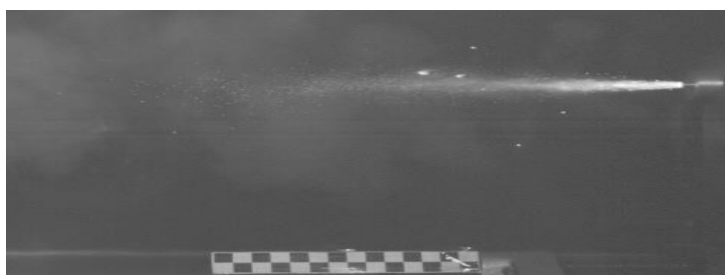
Ponadto oprócz płomienia była generowana duża ilość palących się cząstek stałych. Czas generowania płomienia wynosił ok. 100 000 [μs].

Moreover, beside the fire there was noted a great number of burning solid particles. The fire was generated within ca. 100 000 [μs].



Rys. 17. Efekt wizualny uzyskany po zapaleniu ładunku wzmacniającego w postaci zaprasowanej mieszaniny pirotechnicznej po czasie 500 [μs]

Fig. 17. Visual effect produced after ignition of the booster charge made of pressed pyrotechnical composition after 500 [μs]



Rys. 18. Efekt wizualny uzyskany po zapaleniu ładunku wzmacniającego w postaci zaprasowanej mieszaniny pirotechnicznej po czasie 10 000 [μs]

Fig. 18. Visual effect produced after ignition of the booster charge made of pressed pyrotechnical composition after 10 000 [μs]



Rys. 19. Efekt wizualny uzyskany po zapaleniu ładunku wzmacniającego w postaci zaprasowanej mieszaniny pirotechnicznej po czasie 70 000 [μs]

Fig. 19. Visual effect produced after ignition of the booster charge made of pressed pyrotechnical composition after 70 000 [μs]



Rys. 20. Efekt wizualny uzyskany po zapaleniu ładunku wzmacniającego w postaci zaprasowanej mieszanki pirotechnicznej po czasie 100 000 [μs]

Fig. 20. Visual effect produced after ignition of the booster charge made of pressed pyrotechnical composition after 100 000 [μs]

3. Omówienie wyników badań

W trakcie badań wszystkie ładunki wzmacniające zostały pobudzone impulsem ogniowym generowanym przez podzespół zapłonowy co świadczy o prawidłowym zaprojektowaniu podzespołu zapłonowego. Ponadto wszystkie elementy układu inicjującego były produkcyjne krajowej.

Wielkość płomienia generowana przez ładunek podzespołu wzmacniającego zawierającego proch czarny w postaci sypkiej znacznie różni się od płomieni generowanych przez pozostałe warianty ładunku wzmacniającego. Wpływ na ten parametr ma wiele czynników. Jednym z podstawowych jest gęstość zaelaborowanej mieszanki pirotechnicznej. W wariantach A i B proch czarny miał postać sypką i znajdował się w miękkiej obudowie z tworzywa sztucznego, a w wariantach B i C proch czarny i mieszanina cyrkonowa były zaprasowane w metalowych tulejkach. Ponadto, występują znaczące różnice w czasie generowania płomienia pomiędzy wariantem A oraz wariantami B i C. Wynikają one z charakteru przebiegu procesu spalania się badanych mieszanin pirotechnicznych, w zależności od ich gęstości. Ważną cechą procesu spalania się badanych ładunków wzmacniających jest powstawanie palących się cząstek stałych, które zaobserwowano podczas badania wariantów B

3. Discussion of Tests Results

All booster charges were activated during the tests by the fire pulse generated in the ignition subunit what proves that it was properly designed. Moreover, all components of the initiating system were produced in the country.

The size of the fire generated by the charge of booster subunit with the loose black powder is significantly different that the fires generated by the remaining variants of the booster charge. This parameter depends on many factors. Density of the elaborated pyrotechnical composition is one of the basic ones. The black powder was in a loose form put into a soft plastic bag in variant A, whereas in variants B and C the black powder and zirconium composition were pressed into the metallic tubes. Moreover, there are significant differences for the time when the fire is produced between variant A and variants B and C. They are caused by a character of combustion process in the investigated pyrotechnical compositions depending on their densities. Creation of burning solid particles which was observed at testing variants B and C is an important property of burning process for investigated booster charges. Their pres-

i C. Ich obecność ma istotne znaczenie w procesie zapłonu mieszaniny pirotechnicznej, szczególnie w przypadku konieczności zainicjowania w krótkim czasie ładunku zapalającego na dużej powierzchni. Ponadto stwierdzono, że ilość cząstek generowana w wariancie B jest znacznie mniejsza niż w wariancie C oraz że cząstki w wariancie B są wyrzucane na bliższą odległość.

Na podstawie analizy wyników badań, wariant A podzespołu wzmacniającego należy uznać za najmniej skuteczny w procesie zapłonu paliw raketowych.

4. Wnioski

1. Badania wykazały skuteczność działania podzespołu zapłonowego.
2. Element pirotechniczny wchodzący w skład podzespołu wzmacniającego impuls ogniowy powinien być prasowany w twardej obudowie.
3. Ze względu na otrzymane wyniki badania, z dalszych prac zostanie wyłączony podzespół wzmacniający z elementem wzmacniającym w postaci prochu czarnego w postaci sypkiej.
4. Należy kontynuować badania z wykorzystaniem wariantów B i C.
5. Wszystkie elementy badanych układów inicjujących były produkcji krajowej, co stwarza realne przesłanki do spolonizowania importowanych elementów zapłonników a może nawet i całych wyrobów.

ence is essential at the process of ignition of the pyrotechnical composition, especially in the case when the igniting charge has to be initiated in a short time over a large surface. Additionally, it was stated that the number of particles generated in variant B is significantly lower than in variant C, and the particles in variant B are projected at lower distances.

The analysis of received results of tests shows that variant A of the booster subunit has the lowest efficiency in the process of ignition of rocket propellants.

4. Conclusions

1. Investigations proved the efficiency of the igniter subunit operation.
2. The pyrotechnical component creating a part of the subunit enhancing the fire pulse has to be pressed into a hard case.
3. The received results of tests allowed to exclude the booster subunit with booster components in the form of loose black powder from further work.
4. Investigations employing variants B and C have to be continued.
5. All components of investigated initiating systems originated from the country production what creates real chances for Polonization of imported components of the igniters, and maybe the whole articles, as well.

Bibliografia / Bibliography

- [1] N. Latypov, A. Langlet and U. Wellmar, "Chemical compound suitable for use as an explosive, intermediate and method for preparing the compound". Patent US Patent 6 312 538 B1, 2001.
- [2] M. Miszczak and S. Gryka, "Określenie średniej prędkości spalania stałych paliw raketowych w świetle dokumentów standaryzacyjnych NATO," *Problemy Techniki Uzbrojenia*, no. 4, pp. 81-87, 2014.
- [3] A. Debnath, Y. Pal and S. N. Mahottamananda, "Unraveling the role of dual Ti/Mg metals on the ignition and combustion behavior of HTPB-boron-based fuel," *Defence Technology*, 15 July 2023.

- [4] A. A. Astratiev, A. Dashko, D. Mershin and A. Stepanov, *Russian J. Org. Chem.*, no. 729, 2001.
- [5] L. P. Ferris and A. R. Ronzio, no. 606, 1940.
- [6] H. Shubert, in *Vulnerability of Munition Proceedings of the 4th International Symposium on Explosives Technology and Ballistics*, Pretoria 1992.
- [7] J. Isler, "The Transition to Insensitive Munitions(IM)," *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*, 10 2 1999.
- [8] AOP-39, *Guidance on the development, assessment and testing of Insensitive Munitions (MURAT)*, MAS NATO, 1998.
- [9] STANAG 4240 , *Liquid Fuel Fire Tests for munitions*, MAS NATO, 1991.
- [10] STANAG 4382 , *Slow Heating Tests for munitions*, MAS NATO, 1996.
- [11] STANAG 4439, *Policy for introduction, assessment and testing for Insensitive Munitions (MURAT)*, 1998: MAS NATO.
- [12] R. Warchoł and M. Nita, "Quick-Acting Electric Initiating Blasting Caps," *Problemy Mechatroniki Uzbrojenie, Lotnictwo, Inżynieria Bezpieczeństwa*, vol. 9, no. 2 (32), pp. 111-120, 2018.
- [13] M. Held, "Initiation Phenomena with Shaped Charge Jets," in *Proceedings of the 9th Int. Symposium on Detonation*, 1989.
- [14] M. Held, "Initiation Criteria of High Explosives at different projectile or jet densities," *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*, pp. 235-237, 1 10 1996.
- [15] J. Borkowski, J. Szymanowski and E. Milewski, "Testing of Insensitive Munitions according to NATO requirements," in *Zbornik Prispjevokow 3. Pyrotehnickiej Konferencie s Medzinardnou Ucastou*, Zemplinska Sirava, 2001.
- [16] S. Cudziło, "Wojskowe materiały wybuchowe – terażniejszość i przyszłość," *Wojskowy Przegląd Techniczny i Logistyczny*, no. 4, 2001.
- [17] F. G. Fouche and G. C. von Schalkwyk, "TNT – Based Intensive Munitions," in *Proceedings of 27-th International Annual Conference of ITC*, Karlsruhe, 1996.
- [18] K. Y. Lee and M. D. Coburn. Patent US Patent 4733610, 1988.
- [19] D. Smoleński, *Teoria Materiałów Wybuchowych*, Ministerstwo Obrony Narodowej, 1954.
- [20] A. Khan, A. Q. Malik and Z. H. Lodhi, "Development and Study of High Energy Igniter/Booster Pyrotechnic Compositions for Impulse Cartridges," *Central European Journal of Energetic Material*, vol. 4, no. 14, pp. 933-951, 2017.
- [21] M. Miszczak, R. Warchoł and M. Nita, "X-ray and Visual Investigations on the Combustion Process of Curved, Low-gas, Pyrotechnic Paths Used in Self-destruction Assemblies of Missile Fusing Systems," in *Central European Journal of Energetic Materials*, 2019.
- [22] A. Książczak, "Zastosowanie analizy termicznej do badań materiałów niestabilnych," *Materiały I Szkoły Analizy Termicznej*, Zakopane, 1996.
- [23] T. Urbański, *Chemia i technologia materiałów wybuchowych*, Warszawa: Wydawnictwo Ministerstwa Obrony Narodowej, 1954.
- [24] R. Warchoł and M. Nita, "Laboratory tests of pyrotechnic delay ignition used in the rockets motors," in *30th International Symposium on Ballistics*, Long Beach, 2017.
- [25] M. Sućeska, "Test Methods For Explosives," *Springer-Verlag*, 1995.
- [26] STANAG 4241, *Bullet Attack Test for munitions*, MAS NATO, 1991.

