



## ROZWIĄZANIE KONSTRUKCYJNO-TECHNOLOGICZNE MINIMALIZUJĄCE DOSTĘP DO MATERIAŁU WYBUCHOWEGO W AMUNICJI

### *DESIGN AND TECHNOLOGICAL SOLUTION TO MINIMIZE ACCESS TO EXPLOSIVES IN AMMUNITION*

Jacek BORKOWSKI, [jacek.borkowski@witu.mil.pl](mailto:jacek.borkowski@witu.mil.pl) ORCID: 0000-0001-8412-6003

Bogdan KRYSIŃSKI, [krysinski@witu.mil.pl](mailto:krysinski@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 10.5604/01.3001.0016.1162

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono problem braku zabezpieczenia amunicji przed de-elaboracją lub zainicjowaniem przeprowadzonym w innych warunkach niż przewidziane przez konstruktorów. Zwrócono uwagę na problemy eksploatacyjne wynikające z obecności materiału wybuchowego w otworze pod inicjator. Zaproponowano wprowadzenie do konstrukcji amunicji przegrody oddzielającej materiał wybuchowy od otoczenia od strony otworu na inicjator. Rozwiązanie konstrukcyjne zilustrowano na przykładzie pocisku artyleryjskiego. Przedstawiono wstępne wyniki badań skuteczności działania przegrody.

**Słowa kluczowe:** amunicja, materiały wybuchowe, przegroda, bezpieczeństwo eksploatacji

### 1. Wstęp

Amunicja jest powszechnie stosowana na współczesnym polu walki, jak również jest przedmiotem podlegającym różnym procesom logistycznym. W amunicji głównym elementem wykonawczym jest materiał wybuchowy (MW). Jest on umieszczany z reguły w metalowych obudowach (skorupach pocisków, obudowach ładunków, obudowach min itp.) o różnej grubości ścianki. W większości typów amunicji, ze względów konstrukcyjno-techno-

**Abstract:** The article describes a lack of ammunition protection against de-elaboration or initiation carried out in other conditions than predicted by the designers. Operational problems resulting from the presence of explosive in the initiator hole have been pointed out. It was proposed to introduce a barrier into the ammunition structure, separating the explosive from the surroundings on the side of the initiator opening. The design solution is shown on the example of an artillery shell. The paper presents preliminary results of investigations on the barrier effectiveness.

**Keywords:** ammunition, explosives, barrier, operational safety

### 1. Introduction

Ammunition is not only commonly used on contemporary battlefields but is subjected to various logistic processes, as well. Explosive material (EM) is the main working component in the ammunition. It is usually placed in metallic containments (projectile's shells, charge containers, mine casings, etc.) with different wall thickness. In most types of ammunition an access to the explosive material is provided for de-

logicznych zapewnia się dostęp do materiału wybuchowego poprzez otwór w obudowie przeznaczony najczęściej do zamontowania inicjatora (np. zapalnika, zapłonika, zapału), również wykorzystywany w procesie elaboracji i utylizacji (tzw. oko pod zapalnik). Powierzchnia materiału wybuchowego w tym otworze jest pokryta cienką warstwą lakieru, która nie zabezpiecza przed bezpośrednim dostępem do materiału wybuchowego. Chroni tylko jego powierzchnię przed uszkodzeniami mechanicznymi oddziałującymi z niedużą siłą.

Oko pod zapalnik jest wykorzystywane w procesie elaboracji i utylizacji amunicji. Przez ten otwór wprowadzany jest materiał wybuchowy (elaboracja) lub wydobywany na zewnątrz (deelaboracja). Po wydobyciu, materiał wybuchowy przetwarza się i wykorzystuje w różnych działach gospodarki narodowej. Taka sytuacja stwarza możliwość wykorzystania środków bojowych lub ich elementów (przede wszystkim materiału wybuchowego) pozyskanych w nielegalny sposób do celów terrorystycznych. Dzięki łatwemu dostępowi do materiału wybuchowego można go wydobyć ze środka bojowego, jak też sam środek bojowy łatwo zdetonować poprzez przyłożenie ładunku innego materiału wybuchowego bezpośrednio do otworu (fot. 1). W tym przypadku wybuch następuje poprzez przeniesienie fali uderzeniowej z jednego materiału wybuchowego na drugi.



**Fot. 1. Improvizowany ładunek wybuchowy: zapalnik elektryczny**

**Photo 1. Improvised explosive charge: electric detonator**

W większości rodzajów amunicji, w otworach przez które jest bezpośredni dostęp do materiału wybuchowego znajduje się gwint, w który jest wkręcany inicjator. Powoduje to określone ryzyka związane z bezpieczeństwem eksploatacji amunicji.

sign-technological reasons via a hole in the casing dedicated to fix up an initiator (e.g. fuse, igniter, detonator), or to be used in the process of elaboration (filling in with EM) and utilisation of ammunition (the so-called fuse's eye). Surface of the explosive material in this hole is covered by a thin layer of paint which does not prevent against direct access to the explosive material. It only protects the surface of material against mechanical impacts of an insignificant force.

The fuse's eye is used for the elaboration and utilisation of ammunition. The explosive material is introduced through this opening (elaboration) or removed outside (de-elaboration). After extraction, the explosive material is reprocessed and used in different sectors of national economy. Such situation can be also used for implementation of combat assets, or their components (most of all the explosive material), acquired in an illegal way to terroristic purposes. Such easy access to the explosive material facilitates its extraction from the combat asset, or its mere detonation by application of other explosive charge directly to the opening (Photo 1). In this case the explosion takes place by transfer of blasting wave from the first explosive material to the second one.

In most types of ammunition the openings securing direct access to the explosive material hosts a thread for fixing an initiator. It causes some risks connected with the safe use of ammunition.

## **2. Przyczyny zastosowania przegrody**

Potrzeba zastosowania przegrody do fizycznego oddzielenia materiału wybuchowego od otoczenia wynika z kilku przyczyn. Główną z nich jest konieczność zwiększenia poziomu bezpieczeństwa w procesach logistycznych, jakim jest poddawana amunicja (np. transport, przegląd, składowanie, uzbrajanie, badania). Kolejną przyczyną jest konieczność ograniczenia możliwości uzyskania materiału wybuchowego z amunicji przez osoby nieuprawnione. Również istotną przyczyną jest zwiększenie poziomu bezpieczeństwa eksploatacji poprzez wyeliminowanie lub znaczne ograniczenie możliwości pobudzenia przez określony ładunek materiału wybuchowego przyłożony do oka na zapalnik (Krysiński i in. 2014).

### **2.1. Zwiększenie poziomu bezpieczeństwa w procesach logistycznych**

Dotychczas stosowane środki bezpieczeństwa, związane z bezpośrednim dostępem do materiału wybuchowego przez otwór przeznaczony do zamontowania inicjatora w amunicji, polegają na zabezpieczeniu otworu za pomocą korka wykonanego z tworzywa sztucznego. Po wykręceniu korka każda osoba ma bezpośredni dostęp do materiału wybuchowego. Korki w trakcie eksploatacji mogą ulec uszkodzeniu lub nawet wykręceniu np. pod wpływem drgań w trakcie transportu. Wtedy materiał wybuchowy jest narażony na bezpośrednie oddziaływanie bodźców środowiskowych jak również różnych wymuszeń eksploatacyjnych związanych z użytkowaniem amunicji (np. mechanicznych, termicznych, elektrycznych). Powoduje to zwiększone ryzyko realizacji procesów logistycznych, takich jak transport lądowy, transport morski, transport lotniczy, procesy remontowe, procesy uzbrajania czy składowanie amunicji w składach polowych.

Materiał kruszący w oku pod zapalnik naj-

## **2. Arguments for Barriers**

There are a few reasons to use a barrier for physical separation of the explosive material from the environment. The main of them is a need for increasing the level of safety in logistic processes the ammunition is subjected to (e.g. transport, overhauling, storing, arming, testing). A next reason concerns the limitation of possibilities for acquiring the explosive material from ammunition by unauthorised persons. Increasing the level of safe use by elimination, or significant limitation, of chances for initiation by a specific charge of explosive material applied to the fuse eye is also important. (Krysiński and others, 2014).

### **2.1. Increasing the Level of Safety in Logistic Processes**

The safety measures used up to now, regarding direct access to explosive material through the opening designed for fixing an initiator in the ammunition, are based on protection of the opening by a plastic plug. When the plug is screwed out everyone has a direct access to the explosive material. The plugs may be damaged at the life cycle or even unscrewed by the transport vibrations. Then, the explosive material is exposed against direct action of environmental stimuli, as well as different life cycle stimulations connected with the use of ammunition (e.g. mechanical, thermal, electric). It increases the risks at execution of various logistic processes such as the land transport, sea transport, air transport, repairing processes, and processes of arming or storing the ammunition in the depots.

The high explosive material placed in the fuse's eye is usually covered by a

część jest powlekany powłoką lakieru zapobiegającą wykruszeniu się materiału wybuchowego (fot. 2.).

paintwork protecting against crumbling of the explosive material (Photo 2.).



**Fot. 2. Widok materiału wybuchowego w skorupie pocisku artyleryjskiego po wykręceniu zapalnika**

*Photo 2. View of the explosive material inside the artillery projectile shell after unscrewing the fuse*

W procesie długoletniej eksploatacji zdarzają się przypadki uszkodzenia tej powłoki (np. popękanie i rozszczelnienie powierzchni). W następstwie tego faktu obserwujemy wykruszanie (wypylanie) materiału wybuchowego. Rodzi to problem natury bezpieczeństwa eksploatacji. Wykruszony materiał wybuchowy może dostać się na gwint, w który później wkręcany jest inicjator (np. zapalnik, zapłonnik). Podczas wkręcania lub wykręcania inicjatora, w wyniku tarcia, materiał wybuchowy może zapalić się, a proces palenia może przejść w wybuch, który doprowadzi do oddziaływania fragmentów obudowy na otoczenie. Również podczas strzału, w wyniku gwałtownego oddziaływania metalowych powierzchni na siebie (luz na gwintach zapalnika i skorupy pocisku), pomiędzy którymi znajduje się materiał wybuchowy, może nastąpić pobudzenie materiału wybuchowego. Dlatego jednym z ważnych procesów podczas przeglądu amunicji jest ocena stanu materiału wybuchowego w oku pod zapalnik.

W trakcie tego przeglądu eliminuje się amunicję z uszkodzoną powłoką lakieru oraz z wykruszeniami (wypyleniami) materiału

In the process of a long term life cycle there are cases of paintwork damage (e.g. cracking and loss of hermetic properties of the surface) and in the result of it a crumbling (dusting out) of the explosive material can be observed. It rises some concerns on the safety of use. The explosive material which is crumbled out can move into the thread which later accepts an initiator (e.g. fuse, igniter). At the screwing and unscrewing of the initiator the explosive material can start burning, and the process of burning may pass into a blast, which ends in action of fragments of the shell onto the environment. It may also happen when a shot is fired that the metallic surfaces, containing the explosive material between them, interact violently (clearance between the threads of the fuse and shell) and may initiate the explosive material. For this reason, one of important processes during the inspection of ammunition is the assessment of condition of explosive material in the fuse's eye.

Such inspection can eliminate ammunition with damaged paintwork and with crumbs (dust) of the explosive material

wybuchowego (Stępień i in., 2013).

Innym problemem związanym z eksploatacją amunicji jest przypadkowe zanieczyszczenie powierzchni materiału wybuchowego w oku pod zapalnik ciałami obcymi (np. fragmenty materiałów eksploatacyjnych: rozpuszczalnik, smar, czyściwo). Może to mieć miejsce podczas prac obsługowych prowadzonych w składnicach lub zakładach remontowych. Część tych zanieczyszczeń ma właściwości flegmatyzujące w stosunku do materiału wybuchowego (uniewrażliwiające), a część ma właściwości sensybilizujące (uwrażliwiające). Występują one w amunicji tylko podczas jej niewłaściwej eksploatacji. Należy spodziewać się, iż w eksploatacji w czasie konfliktu zbrojnego ilość takich zanieczyszczeń wzrośnie. W związku z możliwością zaistnienia takich przypadków, konieczne jest zaproponowanie rozwiązania technicznego, które zwiększy bezpieczeństwo eksploatacji amunicji.

Kolejnymi czynnikami wpływającymi na bezpieczeństwo amunicji są czynniki środowiskowe procesu eksploatacji (Stępień i in., 2013). Materiał wybuchowy znajdujący się w otworach technologicznych w amunicji jest podatny w różnym stopniu na czynniki środowiskowe (Krysiński i in., 2017). One również zmieniają się podczas eksploatacji. Zmiana pór roku, opady atmosferyczne, wysokość (a tym samym ciśnienie otaczającego powietrza), obecność soli morskiej w wilgotnym powietrzu oddziałują w różny sposób na powierzchnię materiału wybuchowego (Warchoń i in., 2014). Zmienne cykle temperaturowe, wynikające ze zmiany dobowej i rocznej temperatury powietrza oraz dobowe i roczne, zmiany wilgotności powietrza intensyfikują procesy starzenia, którym podlega powłoka lakieru na powierzchni MW oraz sam MW (Borkowski i Stępień, 2010).

(Stępień and others, 2013).

Another question connected with the ammunition lifecycle is a casual contamination of explosive material surface inside the fuse's eye by the foreign bodies (e.g. fragments of maintenance materials: solvent, lubricant, cleaning materials). It may occur at overhauling works conducted in depots and repairing plants. Some of these contaminants show phlegmatizing properties against the explosive material (desensitising), and some show sensibilisation properties (sensitising). They could appear in the ammunition only at its improper use. It can be expected that the number of such contaminations could increase during military conflict. Regarding the possibilities for such cases it is necessary to propose a technical solution which could increase the safety of ammunition life cycle.

The environmental conditions of the life cycle are the next factors affecting the safety of ammunition (Stępień and others, 2013). Explosive material which can be found in ammunition technological openings is susceptible in different degree to the environmental factors (Krysiński and others, 2017). They change during the life cycle, as well. Changes of year's seasons, precipitations, elevation (and by the same the air pressure), presence of sea salt in the wet air affect the surface of explosive material in different degree (Warchoń and others, 2014). Changeable temperature cycles resulting from day and night, and yearly fluctuations of air temperature, and day and night and yearly changes of air humidity accelerate the processes of ageing of the paintwork on the surface of EM and the EM itself (Borkowski and Stępień, 2010).

## 2.2. Wypacanie się oleju trotylowego

Olej trotylowy był opisany przez T. Urbańskiego jako zanieczyszczenie występujące w trotylu w procesie produkcji. Scharakteryzował je jako mieszaninę alfa-trójnitro-toluenu, jego izomerów, dwunitrotoluenów i innych nitrozwiązków (Urbański, 1954). Podczas eksploatacji amunicji zaeleborowanej trotylem zaobserwowano zjawisko „wypacania się” oleju trotylowego z trotylu znajdującego się w skorupie pocisku (Krysiński i Terenowski, 2016). Bezpośrednią przyczyną występowania zjawiska jest proces starzenia się trotylu, podczas którego olej trotylowy znajdujący się w trotylu po procesie produkcji migruje w ładunku trotylowym. Migracja oleju jest wywołana przede wszystkim grawitacją, ale również wpływem zmiennych cykli temperaturowych (zarówno dobowych jak i rocznych). Olej trotylowy może wydostać się („wypocić się”) poprzez oko na zapalnik na zewnątrz pocisku zanieczyszczając gwint (Krysiński i in., 2019). Z wydzielającego się oleju trotylowego, po wypłynięciu na połączenie gwintowe pocisku z zapalnikiem, może wystąpić zjawisko wtórnej, niekontrolowanej krystalizacji trotylu. W momencie strzału lub podczas odkręcania zapalnika, oddziaływanie mechaniczne na kryształy trotylu może spowodować ich pobudzenie. W związku z występowaniem tego zjawiska konieczne jest fizyczne odseparowanie ładunku trotylowego od otoczenia w szczególności w otworach technologicznych.

Jako przykład tego zjawiska przedstawiono zdjęcie zdiagnozowanej obecności oleju trotylowego w 73 mm naboju granatnikowym OG-9M. Na fot. 3 przedstawiono zastygłą warstwę oleju trotylowego na powierzchni zewnętrznej głowicy 73 mm naboju granatnikowego OG-9M. Należy zauważyć, że zjawisko to miało miejsce, gdy zapalnik był wkręcony w głowicę naboju. W tym przypadku nie doszło do wypadku, bo udało się zdiagnozować wadę przed oddaniem strzału z tej amunicji.

## 2.2. Exudation of Trotyl Oil

Trotyl oil was described by T. Urbański as a trotyl contamination occurring in the process of manufacture. It was characterised as a mixture of alfa-trinitrotoluene, and its isomers, dinitro-toluene, and other nitro-compounds (Urbański, 1954). The effect of trotyl oil exudation from the trotyl contained inside the shell was observed at the use of ammunition (Krysiński and Terenowski, 2016). A direct reason of this effect is the ageing of trotyl when the trotyl oil left after the production migrates inside a trotyl charge. Migration of the oil is caused most of all by the gravitation and in effect of changing cycles of temperature (both day and night, and annual). The trotyl oil may get out (exude) through the fuse's eye into projectile's external surface causing contamination of thread (Krysiński and others, 2019). The exuding trotyl oil found in the threaded joint between the projectile and fuse may undergo a secondary uncontrolled crystallisation of trotyl. In the moment of shot, or at unscrewing the fuse, the mechanical reaction against trotyl crystals may cause their initiation. Regarding the existence of this effect a physical separation is needed between trotyl charge and the environment, especially in technological openings.

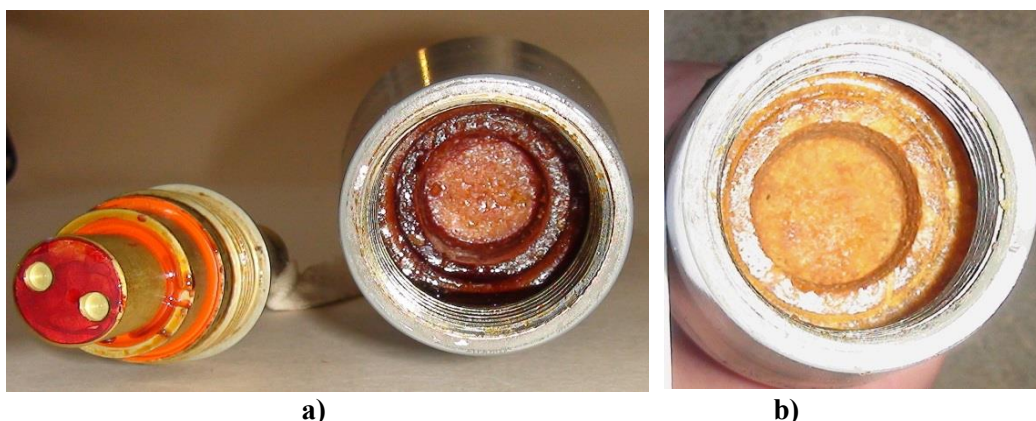
As an example of this effect a picture is presented below to show the presence of trotyl oil in 73 mm grenade launcher projectile OG-9M. Photo 3 shows a set layer of the trotyl oil on the external surface of 73 mm grenade launcher round OG-9M. It has to be noted that this effect took place when the fuse was screwed into round's head. In this case the accident was avoided because the fault was identified before firing the shot with this round.



**Fot. 3. Głowica 73 mm naboju granatnikowym OG-9M ze śladami oleju trotylowego**  
*Photo 3. Head of 73 mm grenade launcher round OG-9M with traces of trotyl oil*

Na fot. 4 przedstawiono przykład wypacania się oleju trotylowego w oku pod zapalnik i zanieczyszczony nim gwint zapalnika (a). Pokazano również trotyl w oku pod zapalnik bez wypływu oleju trotylowego (b).

Photo 4 shows an example of trotyl oil exudation causing contamination of the fuse's eye thread (a). A view of trotyl inside fuse's eye without any trotyl oil exudation is shown, as well (b).



**Fot. 4. Widok powierzchni materiału wybuchowego (trotylu) w oku pod zapalnik:**  
a) powierzchnia pokryta olejem trotylowym, który znajduje się również na gwincie zapalnika,  
b) powierzchnia materiału wybuchowego (trotylu) oraz gwintu bez zanieczyszczeń

*Photo 4. View of the explosive material surface (trotyl) in the fuse's eye:  
a) surface covered by trotyl oil which is also present in the thread of fuse,  
b) surface of explosive material (trotyl) and thread without contaminations*

Jak niebezpieczna jest obecność trotylu na gwincie w oku pod zapalnik pokazały skutki wypadku w jednej z jednostek wojskowych. Podczas analizy przyczyn wypadku stwierdzono obecność oleju trotylowego w oku pod zapalnik. Wypadek ten pokazał, iż proces starzenia się kruszących materiałów wybuchowych lub błędy produkcyjne mogą w określonych warunkach prowadzić do wybuchu. Podczas wykręcania jednego z elementów amunicji nastąpiło zatarcie trotylu znajdującego się na gwincie (stwierdzono go na gwintach in-

Consequences of an accident in one of military units illustrate how dangerous can be any presence of trotyl in the fuse's eye thread. Investigations of accident reasons showed the presence of the trotyl oil in fuse's eye. The accident proved that the process of ageing of high explosive materials or workmanship errors may cause the explosion in specific conditions. When one of ammunition components was unscrewed, the trotyl (its presence was confirmed on the threads of other rounds be-

nych pocisków z tej samej demontowanej partii amunicji artyleryjskiej), co w bezpośredni sposób doprowadziło do wybuchu. W wyniku oddziaływania odłamków (fragmentów skorupy) pocisku i fali uderzeniowej na otoczenie zostało uszkodzonych kilka osób (Goryca i Szymanowski, 2001).

### 2.3. Zabezpieczenie przed pozyskaniem materiału wybuchowego

Bezpośredni dostęp do materiału wybuchowego daje możliwość jego łatwego pozyskania przez osoby do tego nieuprawnione. Daje to możliwość wykorzystania tak zdobytych materiałów wybuchowych do produkcji ładunków wybuchowych wykorzystywanych w atakach terrorystycznych oraz w innych przestępnych zastosowaniach (Olszewski, 2020).

longing to the same lot of disassembled artillery ammunition) present on the thread get seized what triggered the explosion. In effect of impact of shell fragments and the blasting wave into the environment a few persons have suffered. (Goryca and Szymanowski, 2001).

### 2.3. Protection against Getting Access to Explosive Material

Direct access to the explosive material facilitates its acquisition by unauthorised persons. It makes the explosive materials acquired in such way can be used for preparation of explosive charges employed in terroristic attempts and in other criminal activities (Olszewski, 2020).

Tabela 1. Masy materiałów wybuchowych w wybranych środkach bojowych

Table 1. Volumes of explosive materials in some combat assets

L.p. #	Nazwa środka bojowego <i>Name of combat asset</i>	Masa środka bojowego <i>Mass of combat asset [kg]</i>	Masa materiału wybuchowego <i>Mass of explosive material [kg]</i>
1	Granat ręczny RG-42 <i>Hand grenade RG-42</i>	0,43	0,115
2	Ppanc. granat nasadkowy PGN-60 <i>Antitank capped grenade PGN-60</i>	0,58	0,23
3	Głowica naboju ppanc. PG-2 <i>Head of antitank projectile PG-2</i>	1,14	0,470
4	Głowica naboju ppanc. PG-7W <i>Head of antitank projectile PG-7W</i>	1,8	0,552
5	100 mm pocisk OF-412 <i>100 mm projectile OF-412</i>	15,6	1,46
6	100 mm pocisk ppanc.-smug BR-412 <i>100 mm antitank-traced projectile BR-412</i>	15,9	0,06
7	152 mm pocisk OF-530 <i>152 mm projectile OF-530</i>	40,0	6,93
8	Mina p panc. TM-62M <i>Antitank mine TM-62M</i>	9,5	7,0
9	Głowica OF 122 mm pocisku raketowego <i>Head OF 122 mm of rocket projectile</i>	19,35	6,35
10	Ładunek wybuchowy Toczek A <i>Explosive charge Toczek A</i>	48	40

Przykładowe ilości materiału wybuchowego znajdujące się w obecnie użytkowanych środkach bojowych przedstawiono w tabeli 1 (Ilustrowany Katalog, 1991).

Exemplary quantities of explosive materials contained in contemporary combat assets are presented in Table 1 (Illustrated Catalogue, 1991).



Pokazuje to ewentualne źródła jego pozyskiwania w zależności od przewidywanego użycia lub adaptacji danego środka bojowego do celów terrorystycznych poprzez zamontowanie w nim urządzenia pobudzającego (wykonanie tzw. IED - Improvised Explosive Device).

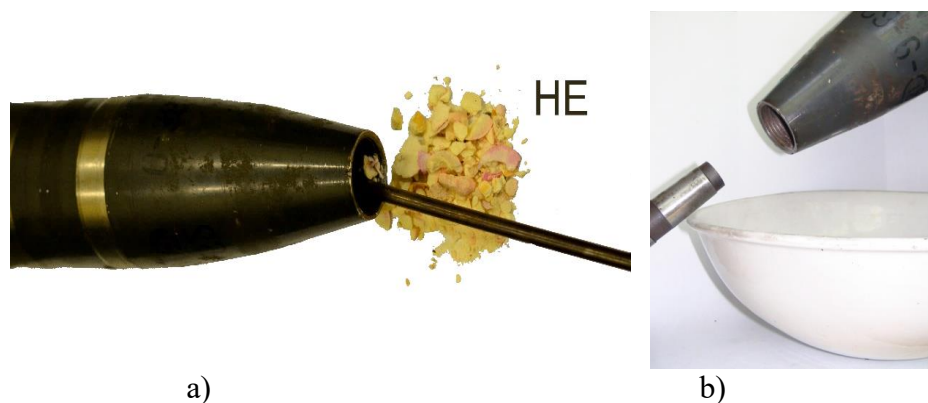
W przypadku pocisków artyleryjskich, po odłączeniu zapalnika od korpusu pocisku, dostęp do materiału wybuchowego nie jest niczym chroniony (fot. 2).

Jego wydostanie na zewnątrz w zależności od rodzaju materiału wybuchowego nie jest operacją trudną. Można tego dokonać często prostymi sposobami: mechanicznie, poprzez wykruszanie jego fragmentów ostrym narzędziem (fot. 5a) lub poprzez wytopienie za pomocą pary wodnej (fot. 5b).

It indicates potential sources of its acquisition depending on predicted use or adaptation of the specific combat asset for terroristic purposes by integration into it a detonating device (fabrication of the so-called IED - Improvised Explosive Device).

In the case of artillery projectiles the access to the explosive material after separation of the fuse from the shell is not restricted (Photo 2).

Getting it out is not difficult and depends on the type of explosive material. It can be made in different ways: mechanically when crumbling it out in fragments by a sharp tool (Photo 5a) or by melting it out by water steam (Photo 5b).



**Fot. 5. Sposoby wydobywania materiału wybuchowego kruszącego z wnętrza skorupy pocisku artyleryjskiego:** a – w sposób mechaniczny z wykorzystaniem prostych narzędzi, b – wytopienie za pomocą gorącego strumienia pary wodnej

*Photo 5. Methods of getting the high explosive material out from artillery shell: a – in mechanical way by using simple tools, b – melting out by a hot stream of water steam*

#### 2.4. Pobudzenie przez określony ładunek materiału wybuchowego

Do pobudzenia każdego materiału wybuchowego niezbędny jest określony impuls wywołujący przemianę wybuchową. Implikuje to zastosowanie określonej masy, kształtu i rodzaju ładunku materiału wybuchowego wraz z systemem inicjacji. Wyeliminowanie lub minimalizację możliwości zainicjowania reakcji wybuchowej można osiągnąć poprzez

#### 2.4. Initiation by Specific Explosive Material Charge

Initiation of each explosive material requires a specific pulse triggering the explosive transition. It implies the application of particular mass, shape and type of explosive material charge with an initiating system. Elimination or diminishment of possibilities for initiation of explosive reaction may be achieved by using special separating barri-

zastosowanie specjalnych przegród blokujących dostęp do zasadniczego ładunku. Zastosowanie zaproponowanego rozwiązania konstrukcyjno-technologicznego spowoduje, iż ładunek niezbędny do pobudzenia środka bojowego w sposób niezgodny z jego przeznaczeniem będzie musiał być inny. Zastosowanie przegrody uniemożliwi zastosowanie bezpośredniego oddziaływania materiału wybuchowego na materiał wybuchowy.

### 3. Koncepcja przegrody

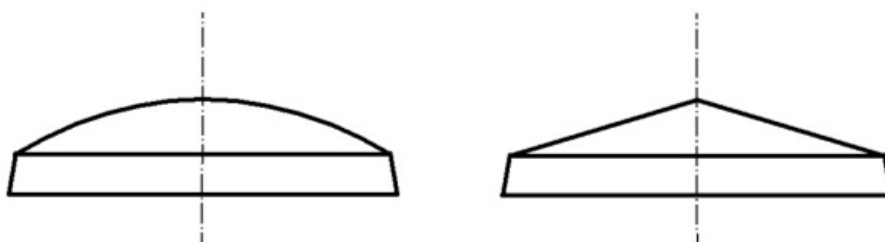
Istota sposobu zablokowania bezpośredniego dostępu do zasadniczego ładunku materiału wybuchowego polega na umieszczeniu w środku bojowym, między inicjatorem, a zasadniczym ładunkiem wybuchowym, specjalnej, szczelnej przegrody zabezpieczającej. Przegroda zabezpieczająca jest wypukłym (co najmniej jednostronnie), sztywnym elementem konstrukcyjnym wykonanym z twardego materiału, przy czym wypukła, twarda powierzchnia przegrody zabezpieczającej skierowana jest w stronę inicjatora działania środka bojowego, zaś jej powierzchnia boczna, na całym obwodzie przylega do powierzchni bocznej skorupy środka bojowego, a ponadto materiał konstrukcyjny przegrody ma strukturę jednolitą lub wielowarstwową (Borkowski i Krysiński, 2014). Dodatkowo, przegroda zabezpieczająca może być jednoelementowa albo wieloelementowa. Wykorzystanie specjalnie skonstruowanej przegrody w ww. kształcie i właściwościach materiałowych, bardzo istotnie utrudnia, praktycznie uniemożliwia wydostanie przez osoby nieuprawnione zasadniczego materiału wybuchowego poza skorupę środka bojowego, takiego jak pocisk artyleryjski, pocisk raketowy, mina, bomba. Twarda przegroda usytuowana elementem wypukłym w kierunku elementu inicjującego działanie środka bojowego jest trudna do przebicia, przewiercenia, powodując ześlizgiwanie się ostrza narzędzia oraz jego szybkie zużycie a

ers preventing the access to the main charge. Application of the proposed design-technical solution can require a change of charge needed for initiation of the combat assets in the way lying beyond its designation. Application of the barrier can prevent the employment of direct interaction of one explosive material into another explosive material.

### 3. Concept of Barrier

Essence of the method blocking direct access to the main charge of explosive material is based on application of a special tight preventive barrier in the combat asset, placed between the initiator and the main explosive charge. The preventive barrier is a convex (at least on one side) rigid structural component made of hard material, having its convex, hard surface directed towards the initiator activating the combat asset, and its side surface sticking with all circumference to the side surface of the combat asset shell, and a homogeneous or multi-layer character of structure (Borkowski and Krysiński, 2014). Additionally the preventive barrier may be of a single-segment or multi-segment type. Employment of specially designed barrier, having the shape and material characteristics mentioned above, virtually hinders, and in reality prevents, any extraction by the unauthorised persons of the main explosive material beyond the shell of combat assets such as artillery round, rocket projectile, mine, or bomb. The hard barrier with the convex part oriented towards the component initiating operation of the combat asset is difficult for puncture and drilling as the tip of a tool cannot penetrate it, and wears rapidly, or even is damaged.

nawet uszkodzenie.



Rys. 6. Przykładowe kształty przegród zabezpieczających (w bocznym przekroju)

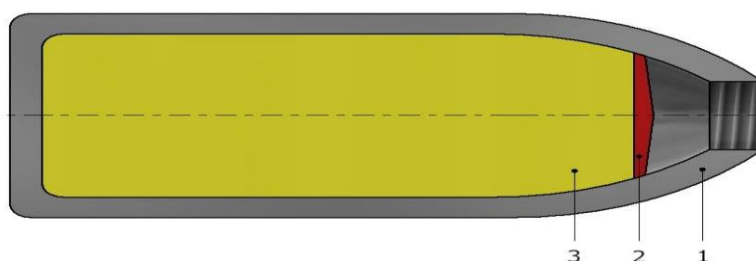
Fig. 6. Exemplary shapes of preventive barriers (side cross sections)

Aby spełnić swoje zadanie, przegroda musi charakteryzować się:

- odpowiednim kształtem, utrudniającym demontaż i perforację,
- wysoką odpornością na zniszczenie za pomocą dostępnych narzędzi skrawających lub odczynników chemicznych,
- kompatybilnością pod względem fizykochemicznym z lakierem, materiałem obudowy i MW,
- wysoką odpornością na oddziaływanie czynników środowiskowych,
- skutecznym przekazaniem impulsu pobudzającego od przewidzianego do tego środka bojowego zapalnika,
- szczelnością połączenia pomiędzy przegrodą a elementem konstrukcyjnym pocisku (zapobieganie wypacaniom oleju trotylowego),
- możliwością demontażu za pomocą specjalistycznego oprzyrządowania, trudno dostępnego poza wytypowanymi ośrodkami remontowymi.

Effective barrier has to meet following parameters:

- suitable shape hindering disassembling and perforation,
- high resistance against destruction by accessible cutting tools, or chemical agents,
- physicochemical compatibility with the paintwork, material of shell and EM,
- high resistance against action of environmental factors,
- efficient transition of the initiating pulse from the fuse dedicated to such combat asset,
- tightness of connection between the barrier and projectile's structural component (prevention against exudation of trotyl oil),
- possibility for removal by a specialistic tool which could be accessed with difficulty beyond designated specialised repair centres.



Rys. 7. Przegroda umieszczona w pocisku artyleryjskim:

1 - skorupa pocisku, 2 – przegroda zabezpieczająca, 3 – materiał wybuchowy

Fig. 7. Barrier integrated in artillery shell:

1 – projectile's shell, 2 – preventive barrier, 3 – explosive material

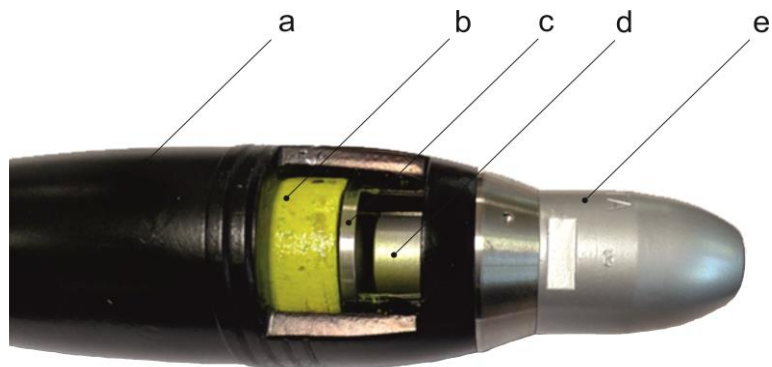
Montaż przegrody powinien być wykonywany przez producenta środka bojowego. Sposób montażu powinien zapewniać jej stałą pozycję. Przykładowe kształty przegrody przedstawiono na rys. 6, a jej położenie w pocisku na rys. 7. Na fot. 8 i 9 przedstawiono położenie przegrody w 60 mm pocisku moździerzowym.

The barrier has to be integrated by the manufacturer of the combat asset. Method of integration has to provide a fixed position to it. Exemplary shapes of barriers are shown in Fig. 6, and position in projectile in Fig. 7. Photos 8 and 9 show barrier's position in 60 mm mortar projectile.



**Fot. 8. 60 mm pocisk moździerzowy z przegrodą – widok od strony oka pod zapalnik**

*Photo 8. 60 mm mortar projectile with barrier – view from the side of fuse's eye*



**Fot. 9. Przekrój fragmentu 60 mm pocisku moździerzowego z przegrodą: a – skorupa pocisku, b – materiał wybuchowy kruszący, c – przegroda, d – pobudzacz zapalnika, e – zapalnik**

*Photo 9. Cross section of a part of 60 mm mortar projectile with barrier: a – projectile's shell, b – high explosive material, c – barrier, d – fuse's initiator, e – fuse*

#### 4. Wstępne testy przegrody

Trudność wynikająca z zastosowania przegrody, jako urządzenia zabezpieczającego przed dostępem do materiału wybuchowego, polega na zapewnieniu prawidłowego zadziałania łańcucha ogniowego i całkowitym pobudzeniu ładunku materiału wybuchowego kruszącego, znajdującego się w środku bojowym (Krysiński i Zych, 2019). Jednocześnie należy wyeliminować możliwość pobudzenia materiału wybuchowego, znajdującego się w oku pod zapalnik, przez najbardziej popularne inicjatory wykorzystywane w technice cywilnej i wojskowej.

Pierwsze testy przeprowadzono w celu oceny możliwości wyeliminowania za pomocą przegrody najpopularniejszego łańcucha ogniowego, czyli zastosowania zapalnika górni-

#### 4. Initial Tests of Barrier

There is a difficulty arising from application of the barrier as a fitting preventing against the access to the explosive material which concerns the safeguarding of correct operation of the fire train and complete initiation of the high explosive material placed in the combat asset (Krysiński and Zych, 2019). At the same time any possibility for initiation of the explosive material, present in fuse's eye, by the most popular initiators used by civilian and military technicians, has to be eliminated.

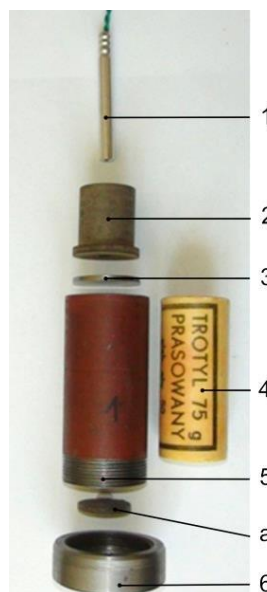
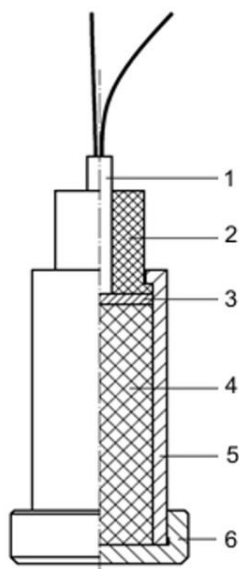
First tests were carried out to assess barrier efficiency in elimination of most popular fire trains by using a mining instantaneous fuse, and in the second case a

czego o natychmiastowym czasie zadziałania i etatowego zapalnika saperskiego do pobudzenia trotylu jako ładunku zasadniczego (są to komponenty najczęściej stosowanych improwizowanych ładunków wybuchowych).

W celu stwierdzenia możliwości zastosowania takiego rozwiązania, przeprowadzono testy praktyczne. W badaniach zastosowano metodę testu szczelinowego (gap test) (Szymańczyk i in., 2005). Metoda ta służy do określenia zdolności pobudzenia elementem pobudzającym (tzw. donorem czyli zapalnikiem) elementu pobudzanego (tzw. akceptora czyli kostki trotylu) poprzez szczelinę pomiędzy nimi wykonaną z dowolnego materiału (tzw. gap czyli proponowaną w rozwiązaniu przegrodę). Przykładowy układ badawczy do przygotowania i przeprowadzenia testu szczelinowego przedstawiono na rys. 10 i fot. 11.

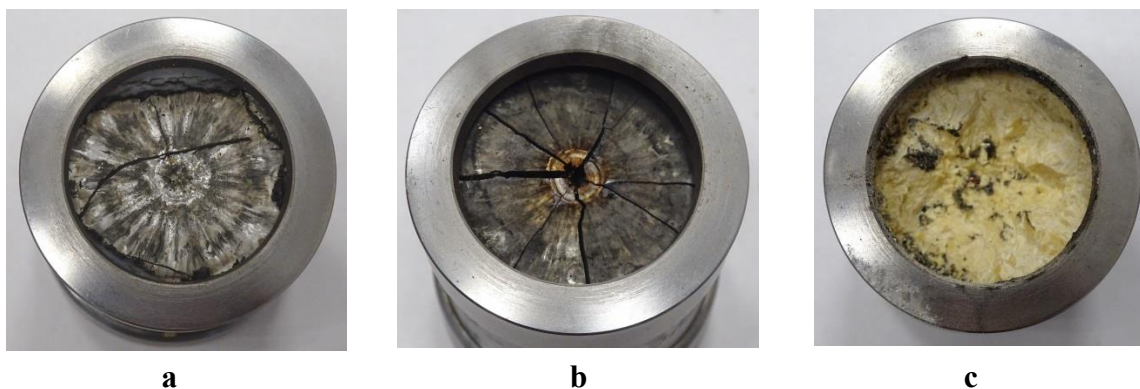
regular sapper fuse for detonation of trotyl as the main charge (components of most often used improvised explosive charges).

Some real experiments were carried out to confirm possibilities for application of such solutions. In experiments a method of gap test was used (Szymańczyk and others, 2005). The method is used to identify capabilities for detonation of an initiated component (acceptor, i.e. trotyl lump) by an initiating component (donor, i.e. fuse) through a gap between them made from different materials (the barrier discussed here). Exemplary gap testing system is shown in Fig. 10 and Photo 11.



**Rys. 10. Schemat układu badawczego. Fot. 11. Elementy układu badawczego:**  
1) zapalnik elektryczny typu ERG (donor), 2) tulejka, 3) przegroda, 4) materiał wybuchowy kruszący TNT (akceptor), 5) tuleja, 6) nakrętka, a) krążek używany w przypadku luzu pomiędzy nakrętką a TNT (tektura)

**Fig. 10. Scheme of testing system. Photo 11. Components of testing system:**  
1) electric fuse ERG (donor), 2) sleeve, 3) barrier, 4) high explosive material TNT (acceptor), 5) sleeve, 6) nut, a) cardboard disc used in the case of a clearance between the nut and TNT



**Fot. 12. Różne sposoby uszkodzenia przegrody:**  
 a) wgniecenie, b) popękanie, c) całkowita defragmentacja  
**Photo 12. Different types of barrier damage:**  
 a) indentation, b) cracking, c) complete defragmentation

W wyniku trzykrotnego badania układu z przegrodą o określonej grubości (wykonanej z określonego materiału), w żadnym przypadku nie nastąpiło pobudzenie przez donor (zapalnik ERG) akceptora (kostki TNT). Nie stwierdzono również przebicia przegrody przez strumień kumulacyjny (zapalnik ERG ma w części dennej wgłębienie kumulacyjne). Efektem działania zapalnika ERG było wybrzuszenie środkowej części przegrody i jej pęknięcia.

Na fot. 12 przedstawiono przykładowe, wstępne wyniki badań po zadziałaniu zapalnika uzyskane dla różnych grubości i różnego materiału przegrody. Na wszystkich zdjęciach widoczny jest brak zadziałania akceptora po zadziałaniu donora. Wskazuje to na właściwe zdolności ochronne przegrody przed pobudzeniem zapalnikiem saperskim lub górniczym.

## 1. Podsumowanie

Brak zabezpieczenia amunicji przed dostępem do ładunku materiału wybuchowego, znajdującego się w jej wnętrzu, jest problemem, który wymaga pilnego rozwiązania. Zagrożenia terrorystyczne wywołane przez dużą dostępność pozostałości wojennych (w Polsce przede wszystkim po II wojnie światowej) wskazują na potrzebę zmiany podejścia

The investigated systems (each time 3) were tested with the barrier of a specific thickness (made of specific material) and in each case the acceptor (lump of TNT) was not detonated by the donor (ERG fuse). The cumulative jet (ERG fuse has a cumulative dent in the base) does not penetrate the barrier, as well. In effect of ERG fuse action a bulge was created in the central part of the barrier with some cracks.

Photo 12. shows some exemplary initial results of tests received after activation of the fuse for different thicknesses and materials of the barrier. It can be seen in each picture that neither of the acceptors is activated after activation of donor. It proves that the barrier has sufficient preventive capabilities against activation by the sapper or mining fuse.

## 5. Summary

Missing protection of ammunition against access to explosive material charge placed inside is a problem which has to be dealt urgently. Terroristic threats caused by a wide accessibility of war remnants (in Poland mainly after the WWII) indicate a need for a changed approach to ammunition designs. Improvised explosive devices

w konstruowaniu amunicji. Improvizowane ładunki wybuchowe (IED) są powszechnie wykorzystywane w zamachach terrorystycznych, a do ich konstrukcji wykorzystywana jest amunicja lub jej elementy.

Konieczność poprawy bezpieczeństwa eksploatacji jest spowodowana problemami, wynikającymi z obecności materiału wybuchowego w oku pod zapalnik. Stwierdzone przypadki wypływu oleju trotylowego wskazują na potrzebę fizycznego zabezpieczenia powierzchni MW, znajdującego się w oku pod zapalnik. Wnioski te są również rezultatem badań i przeglądów amunicji. Wskazują na to podatność oka pod zapalnik na gromadzenie się zanieczyszczeń oraz stwierdzone uszkodzenia wierzchniej warstwy MW. Szczególnie ważne jest to podczas szkoleń z wykorzystaniem amunicji. Szkolenia najczęściej realizowane są w warunkach polowych, w których bardzo łatwo może dojść do zanieczyszczenia oka pod zapalnik. Wynika z tego konieczność praktycznego zastosowania przegrody w nowych opracowaniach konstrukcyjnych amunicji oraz w produkowanej amunicji.

Ze względu na konieczność poprawy bezpieczeństwa eksploatacji należałoby rozważyć wyposażenie obecnie eksploatowanej amunicji w przegrodę zabezpieczającą materiał wybuchowy przed oddziaływaniem otoczenia.

Zaproponowane rozwiązanie jest proste w wykonaniu i tanie. Wstępne badania potwierdziły zasadność wprowadzenia tego rozwiązania do amunicji.

(IED) are commonly used in terroristic attacks and ammunition or its components are used to design them.

The safety of use has to be improved as there are problems caused by the presence of explosive material inside the fuse's eye. Observed cases of trotyl oil outflows indicate for a need on physical protection of the EM surface placed in the fuse's eye. Such conclusions were also drawn after inspections and overhauls of ammunition. It is indicated by susceptibility of fuse's eye to collection of contaminations, and by observed damage of the top layer of EM. It is especially important at training sessions with the use of ammunition. Trainings often take place in field conditions where the fuse's eye can be easily contaminated. It rises a necessity for practical application of the barrier in new designs of ammunition and in ammunition which is manufactured now.

Regarding the need for improvement of the life cycle safety it could be reasonable to consider the fitting out of currently used ammunition into the barrier preventing explosive material against environmental impacts.

Proposed solution is simple in preparation and cost effective. Initial tests have confirmed that implementation of this solution in ammunition could be a reasonable step.

## Literatura / Literature

- Borkowski J., Stępień L., (2010), Wpływ warunków eksploatacji na stan techniczny amunicji, *Problemy Techniki Uzbrojenia*, Zeszyt nr 1/2010, str. 7-14.
- Borkowski J., Krysiński B., (2014), Patent PL222935, *Sposób zablokowania bezpośredniego dostępu do zasadniczego ładunku materiału wybuchowego zaalaborowanego w skorupie środka bojowego zwłaszcza pocisku za pomocą specjalnej przegrody zabezpieczającej.*
- Goryca W., Szymanowski J., (2001), *Opinia w sprawie zaistniałego wypadku, Zielonka 2001. Ilustrowany Katalog Amunicji Wojsk Lądowych* (1991), Ministerstwo Obrony Narodowej, Sygn.

- Uzbr. 2587/90, 1991.
- Kasprzak P., (2021), *Przeciwdziałanie zagrożeniom wynikającym z użycia ładunków wybuchowych wykonanych z elementów dostępnych w sprzedaży niekoncesjonowanej*, Wydawnictwo WITU, 2022.
- Krysiński B., Bazela R., Borkowski J., (2014), Methods of artillery projectiles protection from access to explosives - possible solutions, *Proceedings 28<sup>th</sup> International Symposium on Ballistics*, Atlanta 2014, str. 1689-1697.
- Krysiński B., Terenowski H., (2016), Bezpieczeństwo pracy w badaniach diagnostycznych środków bojowych., *Problemy Techniki Uzbrojenia*, Zeszyt 137 nr 1/2016, str. 95 - 110.
- Krysiński B., Nesterowicz M., Zych P., (2017), Wybrane zagadnienia z przeglądu amunicji poddanej badaniom przedłużającym OPT., *Problemy Techniki Uzbrojenia*, Zeszyt 143, nr 3/2017, str. 107-125, DOI 10.5604/01.3001.0010.6347.
- Krysiński B., Nesterowicz M., Zych P., (2019), Bezpieczeństwo eksploatacji amunicji w świetle stwierdzonych niezgodności – wybrane przykłady., *Problemy Techniki Uzbrojenia*, Zeszyt 149 nr 1/2019, str. 99- 113, DOI 10.5604/01.3001.0013.4052.
- Krysiński B., Zych P., (2019), Czynniki inicjujące działanie łańcucha ogniowego w zapalnikach artyleryjskich., *Problemy Techniki Uzbrojenia*, Zeszyt 149 nr 1/2019, str. 115- 127, DOI 10.5604/01.3001.0013.4055.
- Olszewski P., (2020), Zagrożenia związane z wykorzystaniem improwizowanych ładunków wybuchowych podczas ataków terrorystycznych - doświadczenia i rekomendacje, *Problemy Techniki Uzbrojenia*, Zeszyt 155 nr 4/2020, str. 63 - 92. DOI 10.5604/01.3001.0014.9009.
- Stępień L., Miszczak M., Borkowski J., Milewski E., Kostrow R., (2010), System badania jakości środków bojowych w procesie eksploatacji, *Problemy Techniki Uzbrojenia*, Zeszyt nr 2/2010, str. 15-22.
- Stępień L., Fonrobert P., Borkowski J., (2013), Elementy jakości, budowy i konstrukcji oraz właściwości materiałów wybuchowych środków bojowych, *Problemy Techniki Uzbrojenia*, Zeszyt nr 1/2013 str. 73-81.
- Szymańczyk L., Kutkiewicz M., Trzciniński W., (2005) Zastosowanie próby szczelinowej do badania rozwoju detonacji w materiałach wybuchowych o obniżonej wrażliwości, *Biuletyn Wojskowej Akademii Technicznej*, 2005.
- Warchoń R., Nita M., Borkowski J., (2014) Badania diagnostyczne morskich środków bojowych jako element systemu kontroli jakości i bezpieczeństwa w procesie eksploatacji, *Zeszyty Naukowe Akademii Marynarki Wojennej*, 2 (197), 2014, str. 119-136.
- Urbański T., (1954), *Chemia i technologia materiałów wybuchowych*, Wydawnictwo Ministerstwa Obrony Narodowej, 1954.

*Autorzy dziękują serdecznie Pani Aleksandrze Placha za pomoc przy edycji rysunków.*

*The authors would like to thank Mrs. Aleksandra Placha for her assistance in editing the drawings.*



