



Cechy charakterystyczne zapalników do amunicji małowrażliwej

Rafał BAZELA, Bogdan KRYSIŃSKI*, Marcin NITA,
Radosław WARCHOŁ

*Wojskowy Instytut Techniczny Uzbrojenia,
ul. Prymasa St. Wyszyńskiego 7, 05-220 Zielonka
* autor korespondencyjny, e-mail: bogmakry@op.pl*

Artykuł wpłynął do redakcji 06.06.2014. Zweryfikowaną wersję po recenzji otrzymano 04.03.2015

DOI: 10.5604/20815891.1185952

Streszczenie. W artykule przedstawiono analizę cech łańcucha ogniowego w aktualnie używanych zapalnikach artyleryjskich. Omówiono również wymagania stawiane elementom zapalnika zawierającym materiały wybuchowe pod kątem użycia w amunicji małowrażliwej. Przystawiono też propozycje prowadzenia kierunków prac mających na celu opracowanie konstrukcji nowych zapalników, bezpieczniejszych w użytkowaniu, o wysokiej skuteczności działania i mogących znaleźć zastosowanie w amunicji małowrażliwej.

Słowa kluczowe: zapalniki, materiały wybuchowe, amunicja małowrażliwa

1. WSTĘP

Warunki eksploatacji amunicji, szczególnie jej odporność na czynniki występujące na polu walki, stawiają przed jej konstruktorami coraz to nowe wyzwania. Analiza strat osobowych i materialnych spowodowana niekontrolowanym zadziałaniem amunicji pod wpływem oddziaływania

Artykuł został opracowany na podstawie referatu prezentowanego podczas X Międzynarodowej Konferencji Uzbrojeniowej nt. „Naukowe aspekty techniki uzbrojenia i bezpieczeństwa”, Ryn, 15-18 września 2014 r.

termicznych i dynamicznych wymuszeń zewnętrznych dała sygnał do podjęcia prac związanych z podniesieniem odporności amunicji na te czynniki przy zachowaniu jej wartości bojowej. Efektem tych działań było opracowanie norm pozwalających określać dany typ amunicji mianem „amunicji małowrażliwej” (w literaturze fachowej jest ona określana skrótem IM – *Insensitive Munition*). Pierwsze prace dotyczące opracowania specjalizowanego materiału wybuchowego kruszącego charakteryzującego się zmniejszoną podatnością na incydentalne zainicjowanie rozpoczęto w USA po koniec lat 70. [1]. W WITU prace nad takim materiałem rozpoczęto w 1999 roku. Przerwano je w roku 2007, ze względu na brak zainteresowania ze strony krajowych producentów amunicji.

Do dziś nie udało się opracować kruszącego materiału wybuchowego, który nie stwarzałby zagrożenia wybuchem podczas wytwarzania, manipulacji, transportu itd., a jednocześnie charakteryzowałby się wysokimi parametrami detonacyjnymi. Obecnie opracowywane są jedynie specjalizowane substancje wybuchowe (indywidua chemiczne lub mieszaniny) wymagane w danym układzie aplikacyjnym [2]. Z tego powodu do napełniania skorup pocisków o skomplikowanych kształtach stosuje się niskotopliwe materiały wybuchowe. Produkcja pobudzaczy bazuje na substancjach charakteryzujących się między innymi niewielką średnicą krytyczną i wysokim ciśnieniem detonacji. Ładunki kumulacyjne zawierają głównie flegmatyzowany heksogen i oktogen [3]. W obecnie popularnej amunicji małowrażliwej stosuje się substancje wybuchowe, które wykazują mało zaznaczoną zdolność przejścia do detonacji pod wpływem incydentalnego bodźca inicjującego. Dotyczy to zarówno materiału wybuchowego znajdującego się w zapalniku, jak i zasadniczego ładunku wykonanego z kruszącego materiału wybuchowego. Zadania stawiane współczesnym materiałom wybuchowym wykorzystywanym do produkcji pobudzaczy amunicji małowrażliwej to między innymi wysoka zdolność pobudzania ładunku zasadniczego materiału wybuchowego kruszącego, przy jednocześnie niewielkiej wrażliwości na bodźce mechaniczne, termiczne, wyładowanie elektrostatyczne. Materiały te powinny również wykazywać podatność do pobudzenia za pomocą umiarkowanie intensywnej fali uderzeniowej. Praktycznie do tej pory ładunki pobudzaczy zawierały głównie pentryt, heksogen, oktogen lub tetryl. Za wyjątkiem tetrylu wymienione materiały nierzadko zawierały też niewielki dodatek flegmatyzatora, np. wosku i odpowiedni barwnik. Mimo zadowalającej zdolności do pobudzenia zasadniczego ładunku kruszącego MW, materiały te wykazują nadmierną wrażliwość na incydentalne zainicjowanie i są wypierane głównie przez kompozycje typu PBX. Obecnie produkowane pobudzacze bazują na materiałach takich, jak HMX, RDX, ale również TATB, CL-20 oraz substancjach pomocniczych, np. syntetycznych elastomerach – często fluorowanych, woskach syntetycznych oraz barwnikach.

Materiały wybuchowe stosowane do produkcji kompozycji typu PBX powinny charakteryzować się między innymi odpowiednimi rozmiarami, kształtem i porowatością kryształów [4]. Sam proces ich ewentualnej flegmatyzacji prowadzony jest znacznie dokładniej, co gwarantuje zapewnienie odpowiednio niskiego poziomu wrażliwości.

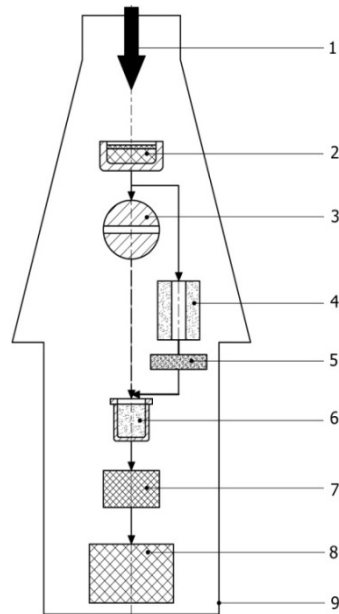
Literatura poruszająca zagadnienie amunicji małowrażliwej wskazuje, że większość badań amunicji tego typu dotyczy wrażliwości materiału wybuchowego (MW) zaelaborowanego do głowicy bojowej pocisku. Zestawienie procedur badawczych niezbędnych do nadania amunicji statutu IM znajduje się w normie STANAG 4439 i obejmuje wiele testów opisanych szczegółowo w następujących normach STANAG:

- 4241 (badanie zachowania amunicji w wyniku przestrzelenia pociskiem),
- 4240 (badanie zachowania amunicji w wyniku szybkiego ogrzewania),
- 4382 (badanie zachowania amunicji w wyniku powolnego ogrzewania),
- 4496 (badanie zachowania amunicji w wyniku przestrzelenia odłamkiem),
- 4396 (badanie zachowania amunicji w wyniku detonacji sąsiedniej sztuki amunicji),
- 4526 (badanie zachowania amunicji w wyniku przestrzelenia strumieniem kumulacyjnym).

Brakuje natomiast normy adekwatnej do normy STANAG 4439 i dotyczącej sposobów badań samych tylko zapalników do amunicji małowrażliwej.

Znajdujące się na uzbrojeniu WP zapalniki nie były badane pod względem przydatności testów przeprowadzanych dla oceny stopnia wrażliwości amunicji na przypadkowe wymuszenia zewnętrzne zgodnie z normą STANAG 4439. Należy bowiem pamiętać, że znaczna liczba stosowanych w RP konstrukcji zapalników posiada łańcuch ogniowy częściowo zabezpieczony, a te, które posiadają łańcuch ogniowy w pełni zabezpieczony (np. RGM-6), posiadają w pobudzaczu klasyczny materiał wybuchowy kruszący (np. tetryl) [5].

W sytuacjach występowania intensywnych wymuszeń termicznych i mechanicznych, na które musi być odporna amunicja małowrażliwa, stosowane zabezpieczenia nie przeciwdziałają pobudzeniu przez zapalnik ładunku zasadniczego. Klasyczny schemat łańcucha ogniowego zapalnika artyleryjskiego przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Klasyczny schemat łańcucha ogniowego zapalnika:
 1 – impuls inicjujący, 2 – spłonka zapalająca, 3 – zawór, 4 – opóźniacz,
 5 – wzmacniacz, 6 – spłonka pobudzająca, 7 – wzmacniacz, 8 – pobudzaczy,
 9 – korpus zapalnika

Fig. 1. Classic diagram of firing chain:
 1 – initiate impulse, 2 – igniferous cap, 3 – valve, 4 – delayer, 5 – amplifier,
 6 – detonating cap, 7 – amplifier, 8 – booster, 9 – fuze body

2. ŁAŃCUCH OGNIOWY – PROPOZYCJE ZMIAN

Do niedawna w WP stosowana była tylko klasyfikacja zapalników obowiązująca w państwach należących do Układu Warszawskiego, a zaczerpnięta wprost z nomenklatury rosyjskiej, która definiuje zapalniki następująco:

- a. z całkowitym (pełnym) zabezpieczeniem – spłonka zapalająca jest odizolowana od spłonki pobudzającej, a ta z kolei jest odizolowana od pobudzacza,
- b. z częściowym zabezpieczeniem – izolowana jest tylko spłonka zapalająca,
- c. bez zabezpieczenia – żadna ze spłonek nie jest odizolowana od pobudzacza.

Po wstąpieniu Polski do struktur NATO obowiązuje nas także nowa klasyfikacja zgodna ze STANAG 4187. Norma obronna [6] rozróżnia zapalniki:

- A. z przerywanym łańcuchem ogniowym [*Interrupted Explosive Train*], w którym istnieje konstrukcyjna możliwość wytworzenia przerwy między elementami go tworzącymi,

B. z łańcuchem ogniowym, w którym nie ma możliwości wytworzenia fizycznej (ogniowej) przerwy między elementami go tworzącymi.

W zapalniku posiadającym łańcuch ogniowy z częściowym zabezpieczeniem spłonka pobudzająca jest umieszczona bezpośrednio nad lub w ładunku materiału wybuchowego zespołu pobudzacza. Zadziałanie spłonki pobudzającej powoduje zadziałanie pobudzacza zapalnika i w konsekwencji zadziałanie ładunku zasadniczego znajdującego się w głowicy pocisku. W zapalniku posiadającym pełne zabezpieczenie łańcucha ogniowego zadziałanie spłonki pobudzającej nie spowoduje zadziałania pobudzacza zapalnika. W tym układzie wrażliwym ogniwem jest znajdujący się w zespole pobudzacza klasyczny kruszący materiał wybuchowy, który charakteryzuje się wysoką wrażliwością na wiele różnorodnych bodźców (np. tetryl, pentryt).

Najprostszym z punktu widzenia „konfiguracji” i najbardziej efektywnym z punktu widzenia czasu działania łańcuchem ogniowym jest łańcuch składający się z wysokonapięciowej spłonki pobudzającej (elektroiskrowej spłonki pobudzającej), łącznika pobudzającego oraz pobudzacza. Ma on jednak dość istotne wady, do których należy zaliczyć:

- konieczność zapewnienia źródła wysokiego napięcia,
- niebezpieczeństwo zadziałania wysokonapięciowej spłonki pobudzającej od zewnętrznego ładunku elektrostatycznego.

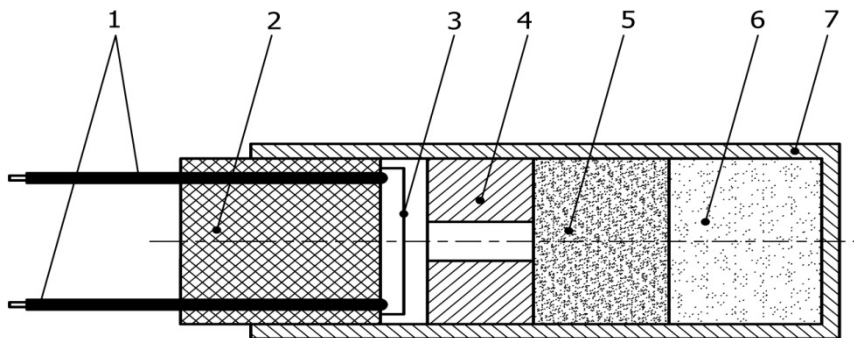
Mniej efektywny z punktu widzenia czasu działania (zwłaszcza powtarzalności czasu działania) jest łańcuch ogniowy składający się z elektrycznej, niskonapięciowej spłonki zapalającej, ewentualnego opóźniacza pirotechnicznego (ścieżki pirotechnicznej), płomieniowej spłonki pobudzającej i pobudzacza. Jest on praktycznie niewrażliwy na przypadkowe zadziałanie od ładunku elektrostatycznego, ale również wymaga zastosowania w zapalniku źródła zasilania.

Również mniej efektywny z punktu widzenia czasu działania a równocześnie bardziej skomplikowany z punktu widzenia „konfiguracji”, ale pozbawiony ww. wad jest łańcuch ogniowy składający się z nakłuciowej spłonki zapalającej, opóźniacza prochowego (ścieżki pirotechnicznej), płomieniowej spłonki pobudzającej i pobudzacza.

Wydaje się, że zwiększenie przydatności zapalników do zastosowań w amunicji małowrażliwej może zostać osiągnięte na drodze:

1. wprowadzenia inicjowania działania elementów łańcucha ogniowego energią elektryczną,
2. miniaturyzacji elementów zawierających materiały wybuchowe z jednoczesnym stosowaniem elementów przerywających skutecznie łańcuch ogniowy,
3. elaborowania w elementach zapalnika małowrażliwego materiału wybuchowego.

Wprowadzenie zasilania elementów wykonawczych łańcucha ogniowego zapalnika energią elektryczną skutkuje rezygnacją z bardzo wrażliwych elementów, jakimi są klasyczna spłonka zapalająca i pobudzająca. Zawarty w nich materiał wybuchowy inicjujący jest często bardzo czuły na działanie bodźców mechanicznych, np. tarcia i uderzenia. Rozwiązaniem tego problemu wydaje się użycie elektrodetonatorów typu EBW lub EFI (odpowiednio *Exploding Bridge Wire* i *Exploding Foil Initiator*). W układach tych bezpośrednim (EBW) lub pośrednim (EFI) czynnikiem inicjującym detonację klasycznego kruszącego materiału wybuchowego jest fala uderzeniowa powstała w wyniku elektrowybuchu przewodnika elektrycznego (rys. 2) [7]. Rozwiązanie to powinno zwiększyć bezpieczeństwo eksploatacji zapalników zawierających takie elektrodetonatory, jak również znacznie skrócić czas zadziałania zapalnika po uderzeniu pocisku w cel.



Rys. 2. Elektrodetonator EFI:

1 – przewody elektryczne, 2 – izolator, 3 – przewodnik foliowy, 4 – tuleja,
5 – materiał wybuchowy kruszący, 6 – materiał wybuchowy kruszący, 7 – korpus

Fig. 2. Slapper type detonator EFI:

1 – power cables, 2 – isolator, 3 – conducting foil, 4 – tube, 5 – high explosive,
6 – high explosive, 7 – body

3. NOWOCZESNE ELEMENTY INICJUJĄCE

Płomieniowe spłonki pobudzające używane w zapalnikach w pełni inicjują detonację materiału wybuchowego pobudzacza bez konieczności zastosowania łącznika (wzmacniacza) pobudzającego. Zdolność spłonki do spowodowania pełnej detonacji materiału pobudzacza określa się, badając przebicie płytki ołowianej o grubości 4 mm.

Ze względu na potrzebę zapewnienia bezpieczeństwa podczas eksploatacji, z zasady odizolowuje się spłonkę zapalającą od płomieniowej spłonki pobudzającej (od wzmacniacza pirotechnicznego w zapalnikach rozcalających), a także płomieniowej spłonki pobudzającej od pobudzacza.

Funkcję tę realizuje się poprzez przesunięcie na odpowiednio dużą odległość spłonki zapalającej od płomieniowej spłonki pobudzającej oraz płomieniowej spłonki pobudzającej od pobudzacza lub też przez oddzielenie tych elementów pirotechnicznych odpowiednio wytrzymałą „przegrodą” metalową odpowiedniej grubości, co w konsekwencji skutkuje koniecznością rozbudowy zapalnika.

Aby tego uniknąć, należałoby stosować w nowo opracowywanych zapalnikach elementy łańcucha ogniowego zawierające materiały wybuchowe o możliwie najmniejszych gabarytach.

Dotychczas w kraju nie produkowano spłonek małogabarytowych. Do wstępnych badań pilotażowych można rozważyć wykorzystanie produkowanej przez firmę Eagle Picher elektrycznej spłonki pobudzającej o nazwie handlowej „micro-detonator M-100”. Jest to konstrukcja typu EFI, przy czym jednocześnie bazuje na stosunkowo wrażliwym inicjującym materiale wybuchowym, jakim jest azydek ołowiu (3 mg). W kolejnych etapach badań należałoby rozważyć użycie innego elektrodetonatora. Atutem M-100 są natomiast niewielkie gabaryty – średnica $2,54^{+0,10}$ mm i wysokość $6,35^{-0,5}$ mm.

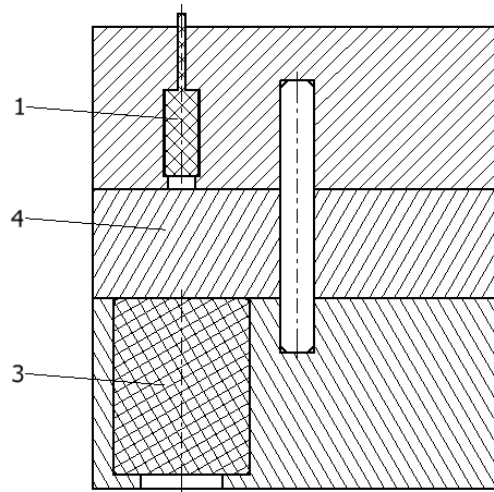
Może ona, wg prospektu reklamowego firmy EaglePicher, niezawodnie zainicjować detonację ładunku (pobudzacza) wykonanego z oktogenu (HMX) lub z kompozycji PBXN-5. Czas działania spłonki M-100 nie przekracza 300 mikrosekund, co jest czasem bardzo długim jak na układ typu EFI.

Prawidłowe inicjowanie spłonką M-100 klasycznego materiału wybuchowego pobudzacza (zabezpieczonego przed wpływem czynników atmosferycznych folią aluminiową o grubości nie większej niż 0,05 mm) może nastąpić nie tylko przy bezpośrednim styku spłonki z materiałem wybuchowym, ale również poprzez szczelinę powietrzną o szerokości do 6,35 mm.

Do sprawdzenia skuteczności pobudzenia klasycznego materiału wybuchowego celowe wydaje się wykonanie dwu wersji (wersja A i B) łańcucha ogniowego z użyciem łączników pobudzających zapożyczonych ze sprawdzonych w produkcji seryjnej zapalników: w wersji A wykorzystano ładunek przekaźnikowy z części dennej zapalnika WP-9, natomiast w wersji B – ładunek przekaźnikowy z części dennej zapalnika W-15.

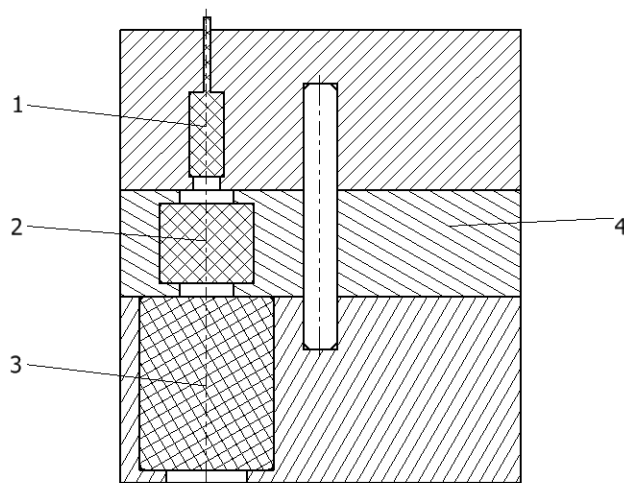
Ponadto, mając na uwadze oferowaną przez producenta spłonki M-100 jej zdolność do pobudzania materiałów wybuchowych, należałoby sprawdzić łańcuch ogniowy bez łącznika pobudzającego (wersja C). W wersji C zamiast obsady łącznika pobudzającego przewidziano płytkę stalową o grubości nie przekraczającej 5 mm i mającą otwór o średnicy $2,6^{+0,1}$ mm, umożliwiający przekazanie fali uderzeniowej od spłonki detonującej M-100 bezpośrednio do pobudzacza (w stanie uzbrojonym zapalnika).

Schematy łańcucha ogniowego w wersjach A, B i C przedstawiono na rysunkach 3-6.



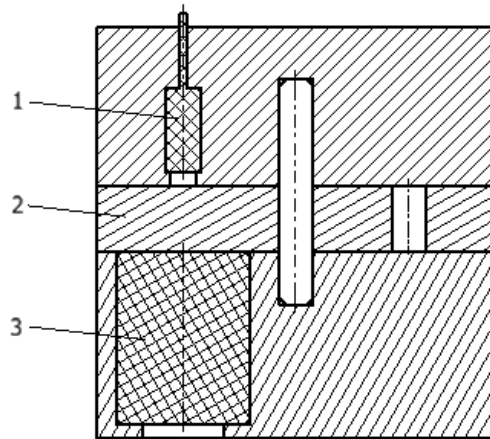
Rys. 3. Schemat łańcucha ogniowego w zapalniku nieuzbrojonym:
 1 – elektryczna spłonka pobudzająca M-100, 3 – pobudzacze lub pirotechniczny ładunek rozcalający, 4 – obsada łącznika pobudzającego

Fig. 3. Classic diagram of firing chain in non-armed fuze:
 1 – electric detonating cap M-100, 3 – booster or pyrotechnical ejection charge,
 4 – lead charge holder



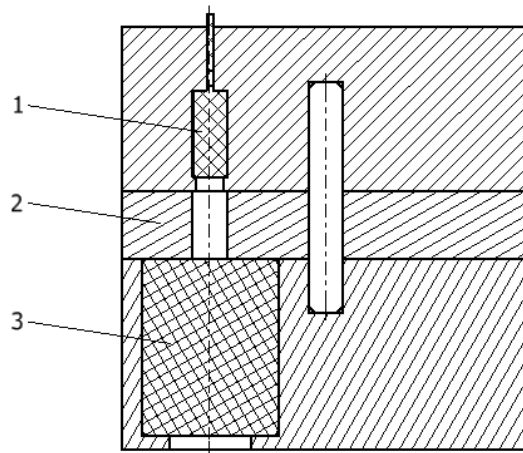
Rys. 4. Schemat łańcucha ogniowego w zapalniku uzbrojonym:
 1 – elektryczna spłonka pobudzająca M-100, 2 – łącznik pobudzający (wersja A lub B),
 3 – pobudzacze lub pirotechniczny ładunek rozcalający,
 4 – obsada łącznika pobudzającego

Fig. 4. Classic diagram of firing chain in armed fuze:
 1 – electric detonating cap M-100, 2 – lead charge, 3 – booster or pyrotechnical ejection charge, 4 – lead charge holder



Rys. 5. Schemat łańcucha ogniowego (bez łącznika pobudzającego – wersja C) w zapalniku nieuzbrojonym:
1 – elektryczna spłonka pobudzająca M-100, 2 – płytka stalowa, 3 – pobudzac

Fig. 5. Diagram of firing chain (without lead charge – version C) in non-armed fuze:
1 – electric detonating cap M-100, 2 – steel plate, 3 – booster



Rys. 6. Schemat łańcucha ogniowego (bez łącznika pobudzającego – wersja C) w zapalniku uzbrojonym:
1 – elektryczna spłonka pobudzająca M-100, 2 – płytka stalowa, 3 – pobudzac

Fig. 6. Diagram of firing chain (without lead charge – version C) in armed fuze:
1 – electric detonating cap M-100, 2 – steel plate, 3 – booster

4. NOWE MATERIAŁY WYBUCHOWE W POBUDZACZU

Zastąpienie klasycznego materiału wybuchowego w zespole pobudzacza materiałem wybuchowym o mniejszej podatności na incydentalne zainicjowanie, może znacznie przyczynić się do zwiększenia bezpieczeństwa eksploatacji amunicji uzbrojonej w taki zapalnik. W Wojskowym Instytucie Technicznym Uzbrojenia (WITU) prowadzone są między innymi badania nad otrzymaniem nowoczesnego materiału wybuchowego typu PBX mogącego znaleźć zastosowanie przy produkcji różnorodnych pobudzaczy, np. zapalników artyleryjskich do amunicji małowrażliwej.

Jednym z takich materiałów opracowanych w WITU jest PBX-NR1. Charakteryzuje się znacznie mniejszą wrażliwością na tarcie i uderzenie w stosunku do materiałów stosowanych dotychczas (odpowiednio > 350 N i 9 J). Jego wrażliwość na uderzenie jest więc prawie dwukrotnie mniejsza niż czystego heksogenu i oktogenu, natomiast wrażliwość na tarcie porównywalna z wrażliwością trotylu, który jest uważany za małowrażliwy na ten rodzaj bodźca.

Prędkość detonacji PBX-NR1 to około 7300 m/s przy gęstości 1,5 g/cm³. Ogrzewany z prędkością 5°C/min nie wykazuje oznak rozkładu do temperatury 200°C. Umieszczony w stalowej rurze o średnicy zewnętrznej 32 mm, wewnętrznej 22 mm i poddany działaniu strumienia powstałego z detonacji ładunku kumulacyjnego na bazie PMW-10M i średnicy 35 mm nie ulega reakcji detonacji ani deflagracji. W tych samych warunkach ładunek zawierający trotyl ulega deflagracji. Pobudzenie ładunku wykonanego z PBX-NR1 za pomocą zapalnika elektrycznego typu ERG owocuje jego pełną detonacją.

Dodatkową zaletą opracowanego w WITU materiału jest możliwość wykonywania na jego bazie ładunków metodą zalewania formy lub metodą prasowania. Badania wstępne PBX-NR1 wskazują, że materiał ten z powodzeniem może zostać użyty w roli bezpieczniejszego w użytkowaniu zamiennika materiałów wybuchowych stosowanych dotychczas do produkcji pobudzaczy.

5. WNIOSKI

1. WITU widzi potrzebę rozpoczęcia prac konstrukcyjnych nad zapalnikiem do amunicji małowrażliwej.
2. Zapalnik do amunicji małowrażliwej musi posiadać pełne zabezpieczenie łańcucha ogniowego.
3. Należy opracować nowoczesne elementy do zapalnika małowrażliwego:
 - a. małowrażliwe układy inicjujące wykorzystujące np. technologię EBW lub EFI,
 - b. materiał wybuchowy o obniżonej podatności na incydentalne zainicjowanie,

- c. nowe konstrukcje osłony między pobudzacza innymi o zwiększonej termoizolacyjności.

LITERATURA

- [1] *The History of Insensitive Munitions by Raymond L Beauregard* <http://www.insensitivemunitions.org/history/introduction/>(2014).
- [2] Nair U.R., Asthana S.N., Subhananda Rao A., Gandhe B.R., Advances in high energy materials, *Defence Science Journal*, vol. 60, no. 2, pp. 137-151, 2010.
- [3] Agrawal J.P., *High Energy Materials, Propellants, Explosives and Pyrotechnics*, VILEY-VCH, Cornwall 2010.
- [4] Van der Heijden A.E.D.M., Creighton Y.L.M., Marino E., Bouma R.H.B., Scholtes G.J.H.G., Duvalois W., Roelands M.C.P.M., Energetic materials: crystalization, characterization and insensitive plastic bonded explosives, *Propellants, Explosives Pyrotechnics*, vol. 33, no. 1, pp. 25-32, 2008.
- [5] *Amunicja Wojsk Lądowych – Podręcznik*, Uzbr. 2307/83.
- [6] *Zapalniki. Wymagania ogólne dotyczące bezpieczeństwa*, Norma Obronna, NO-10-A500-2005.
- [7] United States Patent nr 2,275,105.

Characteristics of the Fuzes for Insensitive Ammunition

Rafał BAZELA, Bogdan KRYSIŃSKI, Marcin NITA,
Radosław WARCHOŁ

Abstract. This article presents an analysis of the characteristics of a firing chain in the currently used artillery fuzes. It also discusses the requirements for fuze elements containing explosives for the use in insensitive ammunitions. Moreover it presents new directions of work aimed at developing construction of new safer for fuzes which may be applied in insensitive munition.

Keywords: fuzes, explosives, insensitive munition

