



## BADANIA WRAŻLIWOŚCI MATERIAŁÓW WYBUCHOWYCH NA WYŁADOWANIA ELEKTROSTATYCZNE W ŚWIEITLE DOKUMENTÓW STANDARYZACYJNYCH NATO

### *INVESTIGATING EXPLOSIVE SENSITIVITY TO ELECTROSTATIC DISCHARGE ACCORDING TO NATO STANDARDIZATION DOCUMENTS*

Maciej MISZCZAK, Cezary KWIECIEN, Sławomir GRYKA  
Wojskowy Instytut Techniczny Uzbrojenia  
*Military Institute of Armament Technology*

**Streszczenie:** Artykuł zawiera przegląd metod badania w małej skali wrażliwości na wyładowania elektrostatyczne (ESD, ang. **E**lectro**S**tatic **D**ischarge) stałych materiałów wybuchowych (MW): inicjujących, pobudzających, kruszących, miotających i napędowych (prochów bezdymnych i stałych paliw raketowych) oraz mieszanin pirotechnicznych, w świetle dokumentacji standaryzacyjnej NATO obejmującej Porozumienie Standaryzacyjne (STANAG) 4490 [1], Publikację Sojuszniczą AOP-7 [2] oraz STANAG 4170 [3]. Przegląd ten wzbogacono analizami i ocenami metod oraz wynikami uzyskanymi za ich pomocą. W przeciwieństwie do badań wrażliwości MW na ESD w dużej skali, badania w małej skali nie są ujednoczone metodologicznie w ramach dokumentacji standaryzacyjnej NATO. Korzystne byłoby ich ujednoczenie. Unifikacja spowodowałaby zwiększenie wiarygodności wyników badań w zakresie wrażliwości MW na ESD, np. przeprowadzanych w ramach badań międzylaboratoryjnych.

**Słowa kluczowe:** stałe materiały wybuchowe (MW), wrażliwość na wyładowania elektrostatyczne MW, testy wrażliwości MW na wyładowania elektrostatyczne w małej skali, standardy NATO

### 1. Wstęp

Wrażliwość materiałów wybuchowych (MW) na wyładowania elektrostatyczne (ang. ESD) jest bardzo ważnym parametrem cha-

**Abstract:** Some small scale methods for testing the sensitivity against ESD (**E**lectro **S**tatic **D**ischarge) of solid explosives like primary explosives, booster explosives, high explosives, gun and rocket propellants (smokeless powders and solid rocket propellants) and pyrotechnic compositions are overviewed in the paper from the point of NATO standardisation documentation that includes Standard Agreement (STANAG) 4490 [1], Allied Ordnance Publication AOP-7 [2] and STANAG 4170 [3]. The overview is supplemented with analyses and assessments of methods and received results. ESD sensitivity tests of explosives in small scale have not been unified yet in NATO standardization documentation in contradiction to NATO large scale tests. Such unification would be beneficial as it could lead to a greater reliability of results of explosive ESD susceptibility tests performed e.g. in the frame of inter-laboratory tests.

**Keywords:** solid explosives, electrostatic discharge (ESD) sensitivity, ESD tests of explosives in small scale, NATO standards

### 1. Introduction

Sensitivity of explosives to electrostatic discharge (ESD) is a significant factor describing the safety of use of

rakteryzującym dany materiał wybuchowy pod względem bezpieczeństwa jego eksploatacji. Wysoka wrażliwość MW na wyładowania elektrostatyczne w niesprzyjających okolicznościach może mieć tragiczny skutek. Problem ten dotyczy nie tylko materiałów wybuchowych, ale także innych obszarów ludzkiej działalności, zwłaszcza przemysłu. Na przykład wybuchy pyłów w młynach, metanu w kopalniach, oparów eteru etylowego w salach operacyjnych szpitali skutkowały wieloma ofiarami śmiertelnymi i wyrządziły poważne szkody materialne. Mimo to problem wrażliwości MW na wyładowania elektrostatyczne jest często lekceważony, ignorowany. Głównym celem niniejszego artykułu jest uświadomienie czytelnikowi istotnej wagi badania wrażliwości MW na ESD w aspekcie bezpieczeństwa eksploatacji MW.

Badania wrażliwości MW na ESD za pomocą testów w małej skali są objęte Porozumieniem Standaryzacyjnym NATO STANAG 4490 [1], Publikacją Sojuszniczą AOP-7 [2] oraz STANAG 4170 [3]. Zwrócenie uwagi autorów artykułu na tego rodzaju badania w małej skali wynika z tego, iż obejmują one szerszy zakres rodzajów MW niż analogiczne badania realizowane w dużej skali (również objęte ww. dokumentami standaryzacyjnymi [1-3]). Ponadto, badania w małej skali nie są ujednoczone, w przeciwieństwie do analogicznych badań wykonywanych w dużej skali. Badania wrażliwości MW na ESD w małej skali obejmują MW kruszące, pobudzające, inicjujące, prochy bezdymne, stałe paliwa raketowe oraz mieszaniny (kompozycje) pirotechniczne, zaś badania w dużej skali obejmują MW kruszące, pobudzające, prochy bezdymne i stałe paliwa raketowe. A zatem, badania wrażliwości na ESD w dużej skali nie dotyczą MW inicjujących i mieszanin pirotechnicznych, czyli materiałów istotnych krytycznie w łańcuchach ogniowych i wybuchowych amunicji wojskowej. O ile pominięcie badań wrażliwości na ESD MW inicjujących w badaniach w dużej skali jest zrozumiałe, o tyle ich brak wobec mieszanin pirotechnicznych jest nieuzasadniony, ponieważ MW inicjujące stosowane w układach wybuchowych zawsze występują w niewielkich ilościach, zaś mieszaniny pirotechniczne mogą być stosowane zarówno w małych ilościach (np. w opóźniaczach pi-

particular types of materials. High susceptibility of explosives against electrostatic discharge may lead to serious consequences at adverse circumstances. This question relates not only to explosives but also to other types of human activities especially in the industry. The explosions of dust in mills, methane in mines and vapours of ethylene ether in operating theatres may serve as examples of events with fatal human and material losses. In spite of that the question of sensitivity of explosive against the electrostatic discharge is often ignored. The goal of the paper is to inform the readers about the significant role the testing of explosive susceptibility against ESD has for a safe use of explosives.

Small scale susceptibility tests of explosives against ESD are carried out according to NATO Standardisation Agreement (STANAG) 4490 [1], Allied Ordnance Publication AOP-7 [2] and STANAG 4170 [3]. Authors of the paper have become interested in small scale tests as they include a wider family of explosives than similar tests carried out in large scale (also included in above mentioned standardisation documents [1-3]). Moreover small scale tests are not unified contrary to similar tests carried out in a large scale. Small scale tests of explosive susceptibility to ESD include high explosive materials, primary and booster explosives, smokeless powders, solid rocket propellants and pyrotechnical mixtures (compositions) whereas the large scale tests include high explosives, primary explosives, smokeless powders and solid rocket propellants. Therefore the large scale susceptibility tests do not include booster explosives and pyrotechnical mixtures which are critical materials in firing and explosive trains of military ammunition. Even if the omission of booster explosives in large scale susceptibility tests against ESD may be understandable, as the booster explosives used in exploding systems always appear in small quantities, the lack of such tests for pyrotechnical mixtures is not justified as they may be used both in small

rotechnicznych, smuga-czach), jak i stosunkowo dużych ilościach (np. w świecach dymnych, artyleryjskich pociskach oświetlających i dymnych).

Wszystkie badania wrażliwości MW na ESD oparte na klasycznej metodzie określania minimalnej energii zapłonu (oznaczenie krajowe: MEZ;  $W_{Zmin}$ , oznaczenie NATO:  $E_{min}$ ) substancji palnych. Jest to parametr elektrodynamiczny powiązany wyłącznie z ESD i tylko w tym kontekście ma sens fizyczny oraz znaczenie praktyczne.

Idea badania wrażliwości danej substancji na ESD opiera się na częściowym albo całkowitym rozładowaniu kondensatora o znanej pojemności (możliwie małej) poprzez badaną substancję (np. mieszaninę metanu z powietrzem, rozpyloną w powietrzu mąkę, pył materiału wybuchowego inicjującego) przy pomocy wyładowania iskrowego pochodzenia elektrostatycznego. Spośród znanych rodzajów ESD w atmosferze gazowej i przy ciśnieniu zbliżonym do atmosferycznego, wyładowanie iskrowe ma największą zdolność ogrzewania w bardzo krótkim czasie niewielkiej objętości gazu znajdującego się między elektrodami. Czas ten jest rzędu  $10^{-6}$  s [4], przy tym elektrody muszą spełniać warunki zapewniające wyładowanie iskrowe. Na przykład w przypadku elektrod kulowych należy zapewnić stosunek średnicy do odstępów pomiędzy nimi mniejszy niż 5 [5]. Sytuacja ta odpowiada płaskiemu układowi elektrod. Energię naładowania elektrostatycznego ciała wyładowczego (np. ciała ludzkiego),  $W_n$  określa wzór (1).

quantities (e.g. in pyrotechnic delayers, tracers) and in relatively great quantities (e.g. smoke flares, artillery smoke and illuminating shells).

All ESD susceptibility tests for explosives are based on a classical method for measuring the minimal energy of ignition  $E_{min}$  for combustible substances. It is an electro-dynamical parameter linked exclusively with ESD and has a physical and practical meaning only in this context.

A concept of testing the susceptibility of particular substance against ESD is based on a partial or total discharge of a known capacitor (possibly low) through tested substance (e.g. a mixture of methane and air, flour sprayed in the air, the dust of primary explosive) in the form of a spark of electrostatic origin. Among all types of ESD occurring in gaseous environments pressurised to typical atmospheric conditions the spark discharge has the greatest known effectiveness for heating in very short time a small volume of gas placed between electrodes. The time is about  $10^{-6}$  s [4] and the electrodes have to meet the conditions for spark discharge. For exemplary spherical electrodes the relation between their diameter and distance has to be less than 5 [5]. This corresponds to a system of flat electrodes. The energy  $W_n$  to which an electro-statically discharging body (e.g. human body) is charged is described by formulae (1).

$$W_n = \frac{CU_p^2}{2} \quad (1)$$

gdzie:

C – pojemność elektryczna ciała wyładowczego [F];

$U_p$  – napięcie początkowe naładowanego ciała wyładowczego [V].

Minimalną energię zapłonu  $W_{Zmin}$  substancji palnej, znajdującej się między elektrodami, zwykle w praktyce określa się zależnością (2):

where:

C – electric capacity of discharging body [F]

$U_p$  – initial voltage the discharging body is charged to [V].

Minimal energy of ignition  $W_{Zmin}$  for combustible substance placed between electrodes is usually described by dependence (2):

$$W_{Zmin} = |\Delta W_c| = \left| \frac{C}{2} (U_k^2 - U_p^2) \right| \quad (2)$$

gdzie:

$\Delta W_c$  – przyrost energii kondensatora [J];  
 C – pojemność kondensatora [F];  
 $U_k$  – napięcie końcowe kondensatora [V];  
 $U_p$  – napięcie początkowe kondensatora [V]

$\Delta W_c$  jest przyrostem (zawsze ujemnym) energii kondensatora, gdyż rozładowanie kondensatora o pojemności C następuje z określonej wartości napięcia początkowego  $U_p$ , do wartości napięcia końcowego  $U_k$ . W przypadku całkowitego rozładowania kondensatora przyjmuje się, że wartość  $W_{Zmin}$  jest równa energii naładowania elektrostatycznego  $W_n$ , określonej wzorem (1). Niezależnie od tego, czy do obliczeń przyjęto wzory (1), czy (2), w rzeczywistości wartość tej energii jest znacząco zawyżona, ponieważ oprócz energii zamienionej na ciepło, wywołującej zapłon, zawiera także energię zużytą na promieniowanie elektromagnetyczne, straty ciepłe w obrębie wyładowania (nie przeznaczone na zapłon), a także na straty w obwodzie zapłonowym (rezystancja szeregową obwodu). Dodatkowo część ładunku elektrycznego przemieszcza się na elektrodę przeciwną, nie uczestnicząc w procesie zapłonu. Duże znaczenie dla wyniku pomiaru ma kształt i rozmiar użytych elektrod. Ponadto, jeśli nie jest stosowany układ próżniowy, występuje upływ kondensatora. Z wyżej wymienionych powodów można powiedzieć, że zamiast minimalnej energii zapłonu w rzeczywistości określa się energię naładowanego ciała przed ESD. Przykładowe wartości minimalnej energii zapłonu pyłów MW wymieszanych z powietrzem przedstawiono w tabeli 1 [5].

W pozycji literaturowej [4] podano minimalną energię zapłonu trotylu, również w postaci pyłu, wynoszącą 650 mJ. A zatem, minimalna energia zapłonu pyłu trotylu podana w obu ww. pozycjach literaturowych ([4], [5]) różni się o rząd wielkości.

Jest stosunkowo dużo testów na badanie wrażliwości MW na ESD w małej skali.

Różnią się one zazwyczaj budową stanowiska badawczego, w tym konfiguracją układu elektrod, pojemnościowym układem

where:

$\Delta W_c$  – increase of capacitor energy [J],  
 C – capacity [F],  
 $U_k$  – final voltage of the capacitor [V],  
 $U_p$  – initial voltage of the capacitor [V].

$\Delta W_c$  is a decrement of capacitor energy as the discharging of the capacitor occurs from the initial voltage  $U_p$  to the final voltage  $U_k$ . In case of a total discharge of the capacitor it is assumed that the value  $W_{Zmin}$  is equal to the energy of electrostatic charge  $W_n$  defined by (1). No matter which formula (1) or (2) is taken for calculations the real value of the energy is significantly greater because apart of the thermal energy transformed into heat that causes the ignition there is also the energy that is spent to electromagnetic radiation, thermal losses of the discharge (not contributing into the ignition) and also the losses of the igniting circuit (the serial resistance of the circuit). Additionally a part of electric charge moves into the opposite electrode actually beyond the process of ignition. The shape and size of used electrodes affect significantly the results of measurements. Moreover dielectric losses occur if a vacuum system is not used. For the above reasons the energy of charged body before ESD is usually determined instead of the minimal energy of ignition. Some exemplary values of minimal ignition energy for the dusts of explosives mixed with the air are presented in table 1 [5].

The minimal energy of ignition for trotyl given in publication [4], also for its dust, is 650 mJ. Then the minimal ignition energy value for the trotyl dust given in two above mentioned publications ([4], [5]) differs by the order of values.

There are relatively great numbers of tests investigating the susceptibility of explosives against ESD in the small scale.

There are relatively great numbers of tests investigating the susceptibility of explosives against ESD in the small scale. They usually differ by the design of testing setup, including the configuration of

rozładowania poprzez jedną z elektrod, zakresem napięcia naładowania kondensatora, biegunowością napięcia naładowania, sposobem przygotowania próbki, jej wielkością i postacią (w tym rozdrobnieniem) oraz wymaganiami w zakresie warunków otoczenia (środowiska otaczającego próbkę) ze szczególnym uwzględnieniem temperatury i wilgotności względnej.

electrodes, capacitive circuit of discharging through one of electrodes, values of voltage the capacitor is loaded to, polarisation of loading voltage, the way, size and form a sample is prepared (including the size of dust particles) and the environmental requirements (the environment of the sample) such as temperature and relative humidity.

Tabela 1

Materiał wybuchowy (MW) / <i>Explosive material</i>	Minimalna energia zapłonu MW / <i>Minimal energy of explosive ignition</i>
Trójnitrorezorcynian ołowiu / <i>Lead tri-nitro-resorcinol</i>	3 $\mu$ J
Azydek ołowiu / <i>Lead azide</i>	4 $\mu$ J
Tetryl / <i>Teryl</i>	7÷20 mJ
Trotyl / <i>Trotyl</i>	62 mJ
Nitrogliceryna / <i>Nitro-glycerin</i>	300 mJ

Poniżej scharakteryzowano metody badania wrażliwości MW na ESD realizowane w małej skali oraz stanowiska badawcze, a także podano dostępne wyniki dotyczące wrażliwości badanych MW na ESD, zawarte w krajowych arkuszach informacyjnych dołączonych do AOP-7 [2].

## 2. Badania wrażliwości MW na ESD realizowane w małej skali według krajowych arkuszy informacyjnych dołączonych do AOP-7

Testy na wrażliwość MW na ESD w małej skali zostały opisane w krajowych arkuszach informacyjnych AOP-7 [2] Wielkiej Brytanii (UK-30, UK-31), Stanów Zjednoczonych Ameryki Północnej (USA) (US-45, US-46, US-47, US-49 i US-50), Kanady (CN-24), Niemiec (GE-23), Czech (CZ-15), Słowacji (SK-15) oraz Szwajcarii (CH-29). Testy te nie podlegają unifikacji w skali międzynarodowej, natomiast są respektowane przez inne kraje NATO, jako reprezentatywne i oficjalne stosowane w skali kraju, który je zgłosił do AOP-7[2]. Niniejsze testy wymagane są w procesie kwalifikacyjnym MW [3], zaś ich wyniki

Below some methods for testing explosives against ESD in small scale with the setups and finally the available results of susceptibility against ESD for tested explosives included in national data sheets attached to AOP-7 are described [2].

## 2. Testing Susceptibility of Explosives to ESD in Small Scale According to National Data Sheets Attached to AOP-7

Tests of ESD susceptibility for explosives in small scale were described in national data sheets of AOP-7 [2] and in Great Britain (UK-30, UK-31), United States (US-45, US-46, US-47, US-49 and US-50), Canada (CN-24), Germany (GE-23), Czech Republic (CZ-15), Slovakia (SK-15) and Switzerland (CH-29) sheets as well. These tests are not subjected to international unification but are respected by other NATO countries as representative ones and officially used on the territory of the country which incorporated them to AOP-7[2]. Presented tests are required by a qualification process of explosives [3] and their results

muszą być podane zgodnie z arkuszem wymiany wyników (między krajami NATO), podanym w Załączniku A STANAG-u 4490 [1].

W brytyjskich arkuszach informacyjnych UK-30 i UK-31 opisano dwa rodzaje testów na badanie wrażliwości MW na ESD w małej skali, obejmujące MW kruszące, pobudzające, inicjujące, miotające i napędowe, w tym prochy bezdymne i stałe paliwa raketowe oraz mieszaniny pirotechniczne. Arkuszowi informacyjnemu UK-30 odpowiada Test Nr 6, zaś arkuszowi UK-31 odpowiada test Nr 7, opisane w brytyjskim dokumencie normalizacyjnym [6]. Kolejno w ramach Testu Nr 6 i Testu Nr 7 małe próbki MW poddawane są badaniom na ESD.

Według Testu Nr 6 pojemnik na próbki MW składa się z trzech części w postaci polietylenowych pasków o szerokości 27,5 mm i długości 200 mm, tworzących układ warstwowy. Dolny pasek zawiera folię miedzianą o grubości 0,08 mm (0,003 cala), stanowiącą dolną elektrodę. Środkowy pasek o grubości 3,17 mm (1/8 cala) ma osiem przelotowych otworów (przeznaczonych na próbki) o średnicy 6,35 mm (1/4 cala), oddalonych od siebie o 25,4 mm (1 cal). Górny pasek ma osiem kwadratowych płytek, wykonanych z miedzianej folii. Stanowią one górne elektrody, oddzielnie dla każdej próbki MW. Przed nałożeniem górnego paska na wnęki, są one wypełnione próbkami MW wyrównywanymi do górnego poziomu (bez ubijania MW). Próbki MW mogą mieć postać proszku lub granulatu, natomiast materiały o konsystencji gumowatej lub kitu są cięte na małe sześciiany o boku o długości od 1 mm do 2 mm i delikatnie ściskane (prasowane) w ww. wnękach. Pojemnik z badanymi próbkami MW kładzie się dolną elektrodą (paskiem dolnym) na platformie mosiężnej, połączonej z masą obwodu generującego ESD. Pojemnik jest podnoszony do chwili zetknięcia górnej elektrody z gorącym biegunem powyższego obwodu. Według Testu Nr 6 próbki MW poddawane są oddziaływaniu ESD (iskry elektrycznej) o energii 4,5 J. Jeśli w wyniku ESD o energii 4,5 J następuje choćby jeden zapłon próbki, to w następnym etapie badań próbka poddawana jest oddziaływaniu ESD o energii

have to be published according to data exchange sheet (in NATO countries) that is included in Annex A for STANAG 4490 [1].

British data sheets UK-30 and UK-31 describe two types of tests dedicated for testing sensitivity of explosives to ESD in small scale including high explosives, primary and booster explosives and projecting and propelling explosives or materials such as smokeless powders and solid rocket propellants and pyrotechnical mixtures. Data sheet UK-30 corresponds to Test Nr 6 and sheet UK-31 relates to test Nr 7 which are described by the British standardisation document [6]. In the frame of Test Nr 6 and Test Nr 7 small samples of explosives are subjected to tests against ESD.

According to Test Nr 6 a container for the samples of explosives consists of three parts in the form of polyethylene straps with the width 27.5 mm and length 200 mm creating a laminar system. Bottom strap includes a copper foil of 0.08 mm (0.003") thickness which is a bottom electrode. Central strap of 3.17 mm (1/8") thickness includes eight through holes (designated for samples) with diameter of 6.35 mm (1/4") separated by 25.4 mm (1"). Upper strap has eight square plates made from the copper foil. They create separated upper electrodes for each sample of explosive. Before the upper strap is put onto the holes they are filled with the samples of explosive material that tops to the upper level (without beating the sample of explosive down). The samples of explosives may have the form of the powder or grains whereas the samples with rubber or putty consistency are cut into small cubes of sides between 1 mm to 2 mm and smoothly fitted (pressed) into the holes. The bottom electrode (bottom strap) of container with tested samples of explosives is put onto a brass base which is connected with the ground of a circuit that generates the ESD. The container is lifted until the upper electrode contacts with the hot terminal of the circuit. According with Test Nr 6 the samples of explosives are subjected to action of ESD (electric spark) having the energy of 4.5 J. If in the result of action of ESD with energy of 4.5 J at least one sample is ignited then in the next testing stage the sample is

mniejszej o rząd wielkości, czyli wynoszącej 450 mJ. Jeśli zachodzi choćby jeden przypadek zapłonu w określonej liczbie prób, próbka poddawana jest oddziaływaniu ESD o energii mniejszej o rząd wielkości w stosunku poprzedniej, czyli wynoszącej 45 mJ. Przeprowadza się maksymalnie 50 prób, na podstawie, których stwierdza się brak zapłonu badanej próbki od ESD o danej energii. Próbki MW, które uległy inicjacji od ESD wynoszącej 45 mJ badane są za pomocą Testu Nr 7, w którym stosowane są mniejsze energie ESD niż 45 mJ. Typowe wyniki uzyskane w badaniu wrażliwości MW na ESD za pomocą Testu Nr 6 są podane w tabeli 2.

subjected to the action of ESD with one order smaller energy i.e. 450 mJ. If there is at least one case of ignition within a specified number of trials then the sample is subjected to the action of ESD with the energy value which is smaller by order than the previous one i.e. 45 mJ. The maximum number of trials is 50 for proving that there is the lack of ignition caused by ESD of specific energy for a tested sample. The samples of explosives which were initiated by ESD with 45 mJ are tested by Test Nr 7 where smaller energies of ESD than 45 mJ are used. Typical results received at testing the sensitivity of explosives to ESD by Test Nr 6 are given below in Table 2.

Tabela 2

Materiał wybuchowy (MW)	Reakcja MW na ESD wynoszącą 4,5 J i/lub 0,45 J
Proch bezdymny FNH	Brak zapłonu od energii 4,5 J
Stałe paliwo raketowe VU	Brak zapłonu od energii 4,5 J
Stałe paliwo raketowe ATN(D28)/47	Brak zapłonu od energii 4,5 J
Proch bezdymny NQ (nitroguanidynowy)	Brak zapłonu od energii 4,5 J
Tetryl	Brak zapłonu od energii 4,5 J i 0,45 J
Heksogen (RDX)	Brak zapłonu od energii 4,5 J i 0,45 J
Pentryt (PETN)	Zapłon od energii 4,5 J i brak zapłonu od energii 0,45 J
Kompozycja pirotechniczna SR44 (stosowana w spłonkach)	Zapłon od energii 4,5 J i brak zapłonu od energii 0,45 J
Kompozycja pirotechniczna SR65 (stosowana w opóźniaczach pirotechnicznych)	Zapłon od energii 4,5 J i brak zapłonu od energii 0,45 J

Table 2

Explosive material	Reaction of explosive to ESD with 4.5 J and/or 0.45 J
Smokeless powder FNH	No ignition at energy of 4.5 J
Solid rocket propellant VU	No ignition at energy of 4.5 J
Solid rocket propellant ATN(D28)/47	No ignition at energy of 4.5 J
Smokeless powder NQ (nitro-guanidine)	No ignition at energy of 4.5 J
Tetryl	No ignition at energy of 4.5 J and 0.45 J
Hexogen (RDX)	No ignition at energy of 4.5 J and 0.45 J
Pentryt (PETN)	Ignition with energy 4.5 J and no ignition for 0.45 J
Pyrotechnical composition SR44 (used in primers)	Ignition with energy 4.5 J and no ignition for 0.45 J
Pyrotechnical composition SR65 (used in pyrotechnical delayers)	Ignition with energy 4.5 J and no ignition for 0.45 J

W ramach testu Nr 7 wykorzystuje się dwa typy konfiguracji elektrod, tj. układ

Two configurations of electrodes such as a system of two metallic electrodes or a

dwóch elektrod metalowych albo układ złożony z elektrody metalowej i niemetalowej (gumowej). Układ dwóch elektrod metalowych symuluje ESD między naładowanymi obiektami metalowymi, zaś układ elektrody metalowej z niemetalową – między dwiema osobami. W obu ww. konfiguracjach określana jest minimalna energia inicjacji MW, przy czym w przypadku zastosowania układu elektrody metalowej z niemetalową, dodatkowo podawana jest minimalna pojemność elektryczna, przy której następuje inicjacja MW. Typowe wyniki uzyskane w badaniu wrażliwości MW inicjujących na wyładowania za pomocą testu Nr 7 są podane poniżej w tabeli 3.

system consisting of metallic and non-metallic (rubber) electrodes are used for test Nr 7. The system of two metallic electrodes simulates ESD between charged metallic objects whereas the system of metallic and non-metallic electrodes simulates ESD between the human bodies. For two above mentioned configurations a minimal energy of initiation of explosive is determined and in the case of using the combination of metallic and non-metallic electrodes there is additionally given the value of minimal electric capacity for which the initiation of explosive takes place. Typical values received at testing the susceptibility of primary explosives against discharges by using Test Nr 7 are given below in Table 3.

Tabela 3

Inicjujący materiał wybuchowy (MW)	Układ elektrod, energia wyładowania elektrostatycznego powodująca inicjację MW i opcjonalnie minimalna pojemność elektryczna, przy której zachodzi inicjacja MW
Zasadowy azydek ołowiu	Metal/metal, 2 $\mu$ J
Zasadowy azydek ołowiu	Guma/metal, 225 $\mu$ J (400 pF)
Trójnitrorezorcynian ołowiu RD 1303	Metal/metal, 25 $\mu$ J
Trójnitrorezorcynian ołowiu RD 1303	Guma/metal, 15 $\mu$ J (25 pF)

Table 3

Primary explosive	Configuration of electrodes, energy of electrostatic discharge causing the initiation of explosive and optionally minimal electric capacity of explosive initiation
Basic lead azide	Metal/metal, 2 $\mu$ J
Basic lead azide	Rubber/metal, 225 $\mu$ J (400 pF)
Lead tri-nitro-resorcinol RD 1303	Metal/metal, 25 $\mu$ J
Lead tri-nitro-resorcinol RD 1303	Rubber/metal, 15 $\mu$ J (25 pF)

W amerykańskich arkuszach informacyjnych US-45, US-46, US-47, US-49 i US-50 opisano pięć rodzajów testów na badanie wrażliwości MW na ESD w małej skali, obejmujących MW kruszące, pobudzające, inicjujące, miotające i napędowe (w tym prochy bezdymne i stałe paliwa raketowe) oraz kompozycje (mieszaniny) pirotechniczne.

W ramach pierwszego testu USA (US-45) na badanie wrażliwości na ESD MW

American data sheets US-45, US-46, US-47, US-49 and US-50 include five types of tests for investigating the sensitivity of explosives to ESD in small scale for high explosives, booster and primary explosives, projecting explosives and propelling materials (including smokeless powders and solid rocket propellants) and pyrotechnical compositions (mixtures).

In the frame of the first US test (US-45)



kruszących, inicjujących, miotających i napędowych (stałych paliw raketowych i prochów bezdymnych) oraz mieszanin pirotechnicznych, opracowanego w ośrodku badawczym ARDEC (Picatinny Arsenal), zastosowano aparaturę badawczą, składającą się z obwodu rozładowującego oraz sprężyny dociskającej ruchomą elektrodę igłową (anodę). Elektroda igłowa jest obniżana na zadaną (ustaloną wcześniej) odległość w kierunku dolnej elektrody (katody) i po wyładowaniu elektrostatycznym natychmiast unoszona do pozycji wyjściowej. Regulacja odstępów między elektrodami jest wykonywana poprzez podnoszenie albo obniżanie dolnej elektrody. Górna część dolnej elektrody ma postać cylindra wykonanego z utwardzonej stali i spełniającego rolę uchwytu na próbkę.

Do górnej powierzchni stalowego cylindra zamocowana jest podkładka z folii nylonowej lub polietylenowej o grubości  $1,25 \pm 0,36$  mm ( $0,049 \pm 0,014$  cala) i wewnętrznej średnicy z zakresu  $(3,3 \div 4,1)$  mm ( $(0,13 \div 0,16)$  cala). Próbkę MW w postaci proszku jest umieszczana we wnęce podkładki. Elektrycznie izolująca taśma o grubości około 1,9 mm ( $0,075$  cala) jest umieszczana na próbce, nad wnęką podkładki, przykrywając próbkę. Układ testujący składa się z regulowanego, wysokonapięciowego obwodu źródła zasilania (do 25 kV), obwodu ładującego niskoindukcyjny kondensator oraz woltomierza elektrostatycznego. Wybór ładowanego kondensatora odbywa się za pośrednictwem przełącznika w zakresie pojemności  $(0,25 \div 20)$  nF. Badanie składa się z dwóch etapów. Pierwszy etap ma za zadanie rozróżnić próbki małowrażliwe na ESD od względnie wrażliwych. Drugi etap wykorzystuje procedurę mającą na celu uszeregowanie MW pod względem wrażliwości na ESD lub określenie energii ESD koniecznej (wymaganej) do spowodowania inicjacji MW. MW uznaje się jako małowrażliwy na ESD jeśli w wyniku 20 prób oddziaływania ESD o energii 0,25 J (250 mJ) nie nastąpi reakcja MW (jego inicjacja).

Typowe wyniki na wrażliwość inicjujących MW na ESD uzyskane za pomocą metody ośrodka badawczego ARDEC są podane poniżej w tabeli 4.

examining the sensitivity of explosives to ESD for high explosives, primary explosives, projecting explosives and propelling materials (solid rocket propellants and smokeless powders) and pyrotechnical mixtures, that was developed by the testing and research centre ARDEC (Picatinny Arsenal), such testing instruments as a discharging circuit and a spring pressing the moving pin shape electrode (anode) have been used. The pin shape electrode is lowered for a distance (settled earlier) towards the bottom electrode (cathode) and is immediately lifted to initial position after the electrostatic discharge. The distance between electrodes is adjusted by lifting or lowering the bottom electrode.

Upper part of the bottom electrode has the form of a cylinder made from the hardened steel that plays the role of sample holder. A nylon or polyethylene cushion with thickness of  $1.25 \pm 0.36$  mm ( $0.049 \pm 0.014$ )" and internal diameter between  $(3.3 \div 4.1)$  mm ( $(0.13 \div 0.16)$ " is fixed to the upper surface of the steel cylinder. The pulverised sample of explosive is placed in the recess of the cushion. Electrical isolating tape with thickness of ca. 1.9 mm ( $0.075$ "") is placed on the sample over the cushion recess to cover the sample. Testing system consists of adjusted high voltage supply circuit (to 25 kV) and a circuit loading the capacitor of low induction, and an electrostatic voltmeter. Selection of loaded capacitor is made by a switch between capacities of  $(0.25 \div 20)$  nF. Testing is carried out in two stages. The goal of the first stage is the distinction between the samples with low and medium sensitivity to ESD. The second stage uses the procedure aimed to line the explosives in relation to their sensitivity to ESD or to determine the energy of ESD required for causing the initiation of explosive. Particular explosive is reckoned to have a low sensitivity to ESD if in the result of 20 trials with ESD having the energy of 0.25 J (250 mJ) there is no reaction of the explosive (lack of initiation).

Typical results of sensitivity to ESD for primary explosives received by the method of testing centre ARDEC are given below in Table 4.

Tabela 4 / Table 4

Inicjujący materiał wybuchowy (MW) / <i>Primary explosive</i>	Energia inicjacji [mJ] / <i>Energy of initiation [mJ]</i>
Zasadowy trójnitrorezorcynian ołowiu / <i>Basic lead tri-nitro-resorcinol</i>	Mniejsza niż 0,2 / <i>Less than 0.2</i>
Azydek ołowiu RD 1333 / <i>Lead azide RD 1333</i>	4,7
Tetrazen / <i>Tetrazene</i>	28

Materiały wybuchowe, z których wykonywane są ładunki pobudzające i zasadnicze ładunki wybuchowe, są badane na wrażliwość na ESD impulsami energii wynoszącymi 0,25 J. Jeśli próbka MW poddana działaniu takiej energii ulegnie reakcji (inicjacji), to MW klasyfikowany jest jako inicjujący.

W ramach drugiego testu USA (informacyjny arkusz krajowy US-46) na badanie wrażliwości na ESD MW kruszących, miotających (stałych paliw raketowych i prochów bezdymnych) oraz mieszanin pirotechnicznych (metoda ośrodka badawczego Naval Air Warfare Center), stosowana jest aparatura badawcza składająca się z szeregu kondensatorów, zespołu kontrolno-sterującego, zaostrej na końcu elektrody oraz uchwytu mieszczącego próbkę MW poddawaną działaniu ESD. Uchwyt usytuowany jest na płaskiej (dolnej) elektrodzie. Układ testujący tworzy konfigurację elektrod: punktowej (igłowej) i płaskiej. Igła elektrody górnej połączona jest z teflonowym prętem dociskającym (tłoczkiem), umożliwiającym jej ruch w kierunku podstawki z próbką. Wybór kondensatora wyładowczego dokonywany jest poprzez przełącznik wybierakowy. Rozładowanie określonej pojemności odbywa się poprzez elektrodę punktową, a ładowanie realizowane jest impulsem elektrycznym prądu stałego o napięciu 5 kV i natężeniu 10 mA. Około 50 mg MW umieszcza się w postaci cienkiej warstwy w uchwycie, przy czym próbki MW o zwartej konsystencji cięte są na kawałki w postaci kwadratów o boku o minimalnej długości wynoszącym ok. 15,88 mm (0,625 cala) lub krążków o średnicy ok. 15,88 mm (0,625 cala) i przycinane do grubości ok. 0,84±0,10 mm (0,033±0,004 cala). Próbki

Explosive material used for preparing booster charges and main charges is tested for sensitivity to ESD by deploying pulses with energy of 0.25 J. If a sample of explosive reacts (initiates) after being subjected to action of such energy then the explosive material is classified as primary explosive.

In the frame of the second US test (national data sheet US-46) for testing sensitivity to ESD for high explosives, projecting materials (solid rocket propellants and smokeless powders) and pyrotechnical mixtures (method of Naval Air Warfare Centre) the testing equipment includes a line of capacitors, control-monitoring panel, an electrode with pointed end and a holder for placing a sample of explosive that is subjected to action of ESD. The holder is placed on the flat bottom electrode. Testing system creates a following configuration of electrodes: a pointed one (pin) and flat one. The pin of upper electrode is connected with a Teflon pressurising rod (piston) securing its displacement towards the base with the sample. Selecting switch is used to set a discharging capacitor. Discharging of a set capacity is made through the pointed electrode and the loading is carried out by a pulse of direct current with the voltage of 5 kV and current of 10 mA. The explosive in form of a thin layer and in amount of ca. 50 mg is placed in the holder whereas the explosives in form of solid bodies are cut into pieces having the shape of squares with the side ca. 15.88 mm (0.625") or circular plates with diameter of ca. 15.88 mm (0.625") and thickness of ca. 0.84±0.10 mm (0.033±0.004"). The samples of explosive material in the form of powder are sifted

MW w postaci proszku są przesiewane w celu określenia wielkości cząstek (rozdrobienia). Higroskopijne MW w postaci granul są suszone w termostacie, w temperaturze ok. 48,9°C (120 F) w próżni, w eksykatorze w celu usunięcia wilgoci z próbek przed ich badaniami. Badania rozpoczynają się od zastosowania energii 0,25 J (przy wykorzystaniu pojemności elektrycznej 20 nF). Jeżeli wyniki są negatywne, tzn. próbka MW nie ulega reakcji, prowadzi się badania do 20 prób na działanie iskry elektrycznej, rejestrując za każdym razem zachowanie (reakcję albo brak reakcji) MW. Jeśli badana próbka zareaguje, tzn. pojawi się błysk, iskra, zapłon, zapach rozkładu termicznego MW lub dźwięk inny niż aparaturowy, tj. wynikający z reakcji samego MW, wykonywane jest kolejne badanie (do 20 prób) z zastosowaniem mniejszej energii wyładowania elektrostatycznego. W ramach testu wykorzystywane jest napięcie stałe o wartości 5 kV, przy temperaturze otoczenia mieszczącej się w zakresie od ok. 18,3°C (65 F) do ok. 32,2°C (90 F) oraz przy wilgotności względnej nie przekraczającej 40%. Próbka referencyjna (odniesienia) w postaci heksogenu (RDX) klasy piątej jest testowana wraz z próbką badaną. W ramach testu mierzona jest względna podatność na inicjację (w wyniku działania ESD) badanych MW w postaci proszków lub w postaci zwartej. Arkusz US-46 podaje przedział wartości energii wyładowania elektrostatycznego w zakresie od 0,001 J do 0,25 J przy założeniu pojemności kondensatora rozładowczego, wynoszącej 20 nF i napięciu naładowania w zakresie od 100 V do 5 kV.

Łatwo wykazać, że powyższe warunki są sprzeczne. W arkuszu US-46 podano dwukrotnie wartość pojemności  $C$  wynoszącą 20 nF, więc można przyjąć, że jest to wartość prawidłowa. Zakładając, że dolna wartość napięcia  $U_p$  (100 V) naładowania kondensatora o pojemności  $C$  (20 nF) jest prawidłowa, ze wzoru (1) na energię naładowania elektrostatycznego kondensatora  $W_n$  wynika, że dolna wartość energii  $W_n$  wynosi 0,0001 J, nie zaś jak podaje arkusz US-46, wynosi 0,001 J. A zatem wartość  $W_n$  podana w arkuszu US-46 jest błędna, zawyżona o rząd wielkości (patrz wzór (3)).

through in order to determine the size of grains (pulverisation). The hygroscopic explosives in the form of grains are dried in thermostatic conditions in temperature of ca. 48.9°C (120 F) in a vacuum exsiccator in order to remove humidity from the samples before they are tested. Tests start by using the energy of 0.25 J (by using electric capacity of 20 nF). If the results are negative, i.e. the sample of explosive material does not react, the samples are subjected to the action of the electric spark during up to 20 trials and the results are recorded each time (reaction or lack of the reaction) for the explosive. If the tested sample reacts, i.e. there is an appearance of a flash, spark, ignition, the scent of thermal decomposition of explosive material or any sound different than the regular noise of the instruments, i.e. resulting from the reaction of the same explosive, the next series of tests is performed (up to 20 trials) with the use of lower energy of electrostatic discharge. During the test the direct voltage of 5 kV is used at the ambient temperatures between ca. 18.3°C (65 F) to ca. 32.2°C (90 F) and at the relative humidity not exceeding 40%. The reference sample of hexogen (RDX) of fifth grade is tested together with the investigated sample. During the test the relative susceptibility to initiation (in the result of ESD action) is measured for investigated explosives in the solid or powder form. The sheet US-46 gives the levels between 0.001 J to 0.25 J at the assumption that the capacity of discharging capacitor is 20 nF and loaded voltage is between 100 V to 5 kV.

It is easy to show that the above conditions have a contradictory character. In the sheet US-46 the value of capacity  $C$  equal to 20 nF is given two times so it may be accepted as a correct value. Assuming that the lower value of voltage  $U_p$  (100 V) to which the capacitor  $C$  (20 nF) is loaded to is also correct then from the formulae (1), describing the energy  $W_n$  to which the capacitor is loaded by electrostatic effect, results that the lower value of energy  $W_n$  is 0.0001 J instead of 0.001 J as is given in the sheet US-46. Therefore the value  $W_n$  given in the sheet US-46 is wrong by an order of values (see formulae (3)).

$$W_n = \frac{20 \cdot 10^{-9} \cdot 100^2}{2} = 0,0001 = 100 [\mu J] \quad (3)$$

W ramach trzeciego testu USA (informacyjny arkusz krajowy US-47) na badanie wrażliwości na ESD MW kruszących, prochów bezdymnych, stałych paliw raketowych i mieszanin pirotechnicznych, opracowanego w ośrodku badawczym Naval Surface Warfare Center, zastosowano aparaturę badawczą składającą się z szeregu kondensatorów w liczbie do dwunastu, każdy o pojemności z przedziału (0,1÷500) nF, zespołu kontrolno-sterującego, zaostrzonej na końcu elektrody oraz uchwytu mieszczącego próbkę MW poddawaną oddziaływaniu ESD. Każdy kondensator był podłączony do wybierakowego przełącznika kondensatorów, pozwalającego na wyładowanie elektrostatyczne tylko z jednego kondensatora podczas jednej próby. Poprzez zmianę pojemności elektrycznej, wielkość energii iskry elektrycznej działającej na MW mogła być regulowana w zakresie trzech rzędów wielkości. Układ testujący tworzył konfigurację elektrod: igłowej i płaskiej (uziemiaonej podstawy na próbkę MW). Igła elektrody była połączona z teflonowym prętem dociskającym (tłoczkiem), umożliwiającym ruch elektrody w kierunku podstawy z próbką. Rozładowanie określonej pojemności elektrycznej odbywało się poprzez elektrodę punktową, a ładowanie realizowano impulsem elektrycznym prądu stałego o napięciu 5 kV i natężeniu 10 mA. Około 50 mg MW umieszczano w postaci cienkiej warstwy w uchwycie na próbkę. Zwarte próbki MW cięto na kawałki w postaci kwadratów o boku o minimalnej długości wynoszącym ok. 15,88 mm (0,625 cala) lub krążków o średnicy ok. 15,88 mm (0,625 cala) i grubości ok. 0,84±0,10 mm (0,033±0,004 cala). Próbki w postaci proszku były przesiewane w celu określenia wymiaru cząstek (rozdrobnienia).

Higroskopijne materiały w postaci granul suszono w termostacie w temperaturze ok. 48,9 °C (120 F) lub w próżni, w eksykatorze w celu usunięcia wilgoci

In the frame of the third US test (data national sheet US-47) on testing the susceptibility of explosives against ESD for high explosives, smokeless powders, solid rocket propellants and pyrotechnical mixtures that was developed in the Naval Surface Warfare Centre the testing equipment consisting of a line of twelve capacitors, each having the capacity between (0.1÷500) nF, control-monitoring panel, pointed pin electrode and the holder for the sample of explosive material which is subjected to action of ESD is presented. Each capacitor is connected to a switching selector of capacitors which secures that the electrostatic discharge is performed only from a single capacitor at one trial. By changing the electrical capacity the value of electric spark energy acting to explosive may be regulated within the range of three orders of values. Testing system creates the following configuration of electrodes: pin one and flat one (grounded base for the sample of explosive). The pin of the electrode is connected with a Teflon pressurising rod (piston) securing the movement of the electrode towards the base with the sample. The discharging of specific electric capacity is made through the pointed electrode and the loading is carried out by direct electric current pulse with the voltage of 5 kV and the current of 10 mA. The explosive in form of a thin layer and in amount of ca. 50 mg is placed in the holder. Explosives in form of solid bodies are cut into pieces having the shape of squares with the minimal side of ca. 15.88 mm (0.625") or circular plates with diameter of ca. 15.88 mm (0.625") and thickness of ca. 0.84±0.10 mm (0.033±0.004"). The samples of explosive material in the form of powder are sifted through in order to determine the size of grains (pulverisation).

The hygroscopic explosives in the form of grains are dried in thermostatic conditions in temperature of ca. 48.9°C (120 F) in a vacuum exsiccator in order to remove humidity from the samples before they are tested.

z próbek przed ich badaniami.

Typowe wyniki badań wrażliwości na ESD MW kruszących za pomocą powyższej metody zamieszczono poniżej w tabeli 5.

Typical results of tests of susceptibility to ESD for high explosive materials carried out by the above method are included below in Table 5.

Tabela 5

Próbka kruszącego MW	Minimalna ( progowa) energia ESD powodująca reakcję próbki MW [mJ]	Wartość energii ESD odpowiadająca połowie liczby reakcji MW w serii prób [mJ]
Oktogen (HMX) klasy 1.	165	Nie dotyczy
Heksogen (RDX) klasy 1.	95	162
Trotyl (TNT)	1720	Nie dotyczy
Pentryt (PETN)	95	Nie dotyczy

Table 5

Sample of explosive material	Minimal (threshold) energy of ESD causing the reaction of explosive sample [mJ]	Value of ESD energy corresponding to the half number of explosive reaction within a series of trials [mJ]
Octogen (HMX) grade 1	165	No concern
Hexogen (RDX) grade 1	95	162
Trotyl (TNT)	1720	No concern
Pentryt (PETN)	95	No concern

W ramach czwartego testu USA (informacyjny arkusz krajowy US-49) na wrażliwość na ESD MW, opracowanego przez firmę Hercules Radford AAP, próbka MW jest umieszczana na uziemionej metalowej płytce. Elektroda w postaci igły podłączonej do naładowanego kondensatora jest obniżana w kierunku próbki do chwili wystąpienia wyładowania elektrostatycznego. Inicjacja (reakcja) próbki MW jest rejestrowana optycznie, akustycznie lub za pomocą innych sensorów, opcjonalnie poprzez analizę IR produktów rozkładu próbki. Wartość progowa energii inicjacji MW jest określana jako energia, przy której nie zachodzi inicjacja próbki MW w 20 kolejnych próbach i jednocześnie zachodzi co najmniej jedna inicjacja próbki podczas 20 kolejnych prób przy energii ESD zwiększonej w stosunku do poprzedniej ESD. MW jest rozproszony w postaci warstwy proszku lub granul o znanej wielkości w przypadku prochów bezdymnych albo o grubości

In the frame of the forth US test (national data sheet US-49) for the susceptibility of explosives to ESD, developed by Hercules Radford AAP company, the sample of explosive material is placed on the grounded metal plate. The electrode in the form of the pin connected to the loaded capacitor is lowered towards the sample until the electrostatic discharge occurs. The initiation (reaction) of the sample of explosive is recorded optically, acoustically or by means of other sensors and optionally by the IR analysis of sample decomposition products. The threshold value of initiation of explosive material is determined as an energy for which there is no initiation of the sample of explosive material for 20 consecutive trials and at the same time there is at least one initiation of the sample during 20 consecutive trials at the ESD energy level increased against the former energy of ESD. The explosive material is applied in the form of a layer of

0,76 mm w przypadku innych, zwartych stałych materiałów miotających lub napędowych (np. stałych paliw raketowych). Typowe badania są przeprowadzane przy napięciu z zakresu (4÷5) kV, w temperaturze ok. 21,1 °C (70 F) i przy wilgotności względnej wynoszącej 50%. Typowe wyniki są następujące: większość standardowo otrzymanych granul materiałów miotających/napędowych jest inicjowanych energią ESD od 1 J do ok. 5 J w zależności od składu próbki badawczej i wielkości jej rozdrobnienia, próbki MW w postaci pyłu/proszku są inicjowane energią ESD od 0,2 J do 1,5 J w zależności od składu i wielkości rozdrobnienia MW.

W ramach piątego testu USA (informacyjny arkusz krajowy US-50), dotyczącego badania wrażliwości na ESD próbek mieszanin pirotechnicznych o masie z zakresu (20÷30) mg, zamkniętych w naczynku, z wykorzystaniem kondensatora naładowanego do napięcia o wartości nie przekraczającej 5 kV, uzyskano następujące wyniki stwierdzające reakcję MW albo jej brak. Pirotechniczna mieszanina oświetlająca Mk 45 nie zapaliła się od energii wyładowania elektrostatycznego wynoszącej 1,0 J, mieszanina pirotechniczna na bazie czerwonego fosforu nie zapaliła się od energii wyładowania elektrostatycznego wynoszącej 200 mJ, natomiast energia progowa inicjacji RDX (przy 50% prawdopodobieństwie jej wystąpienia) od wyładowania ESD wyniosła 19 mJ.

W kanadyjskim arkuszu informacyjnym CN-24 opisany jest test na badanie w małej skali wrażliwości na ESD MW kruszących, miotających oraz mieszanin pirotechnicznych. Test został opracowany przez Kanadyjskie Laboratorium Badawcze Materiałów Wybuchowych (CERL). W ramach testu, małe próbki materiałów wysokoenergetycznych są poddawane oddziaływaniu ESD. Próbki te usytuowane są między elektrodami metalowymi albo między elektrodą metalową i wykonaną z gumy przewodzącej prąd elektryczny, spolaryzowanych dodatnio albo ujemnie. Polaryzacje mogą być odwracane. Wyładowanie elektrostatyczne zachodzi z pojemności 1,0 µF, naładowanej do napięcia o wartości do 25 kV. Badane substancje MW są

the powder in case of smokeless powders or in the thickness of 0.76 mm in case of other solid projecting or propelling materials (e.g. solid rocket propellants). Typical tests are carried out at the voltages of (4÷5) kV range and temperatures of ca. 21.1 °C (70 F) and the relative humidity of 50%. Following typical results show that the most of the grains of projecting/propelling materials received in a standard way is initiated by ESD energy between 1 J to ca. 5 J depending on the composition and pulverisation level of tested sample of explosive material. The samples of explosive material in the form of dust/powder are initiated by ESD energy of 0.2 J to 1.5 J range depending on explosive material composition and level of pulverisation.

In the frame of the US fifth test (national data sheet US-50) for testing susceptibility to ESD of pyrotechnical mixtures with masses of (20÷30) mg range, which are closed in a vessel, a capacitor loaded up to 5 kV is used and the following results confirming the presence or lack of explosive's reaction are received. Pyrotechnical illuminating mixture Mk 45 has not burned on by the electrostatic discharge of 1.0 J, a pyrotechnical mixture on the base of red phosphorus has not burned on by the electrostatic discharge energy of 200 mJ whereas the threshold energy of initiation for RDX (at 50% of probability) by ESD discharge is 19 mJ.

The Canadian data sheet CN-24 describes a test for examining in a small scale the sensitivity to ESD for high explosive materials, projecting materials and pyrotechnical mixtures. The test has been developed by the Canadian Explosive Research Laboratory (CERL). During the test small samples of high energetic materials are subjected to the action of ESD. The samples are placed between polarised positively or negatively metallic electrodes or between the metallic electrode and rubber electrode that is a good conductor of electric current. The polarisation may be changed. The electrostatic discharge is provided by a capacitor of 1.0 µF loaded to voltage of 25 kV. Tested explosive materials are

klasyfikowane pod względem wrażliwości na ESD na podstawie energii, przy której nie zachodzi inicjacja w serii prób. Jeśli energia inicjacji MW jest większa niż 25 mJ, to podczas posługiwania się MW (podczas eksploatacji) wymagane są rutynowe środki zapobiegawcze (ochronne/bezpieczeństwa). Jeśli energia inicjacji MW mieści się w przedziale od 12 mJ do 25 mJ, to podczas posługiwania się MW (podczas ich eksploatacji) wymagane są antyelektrostatyczne środki zapobiegawcze (środki ochronne/bezpieczeństwa). Jeśli energia inicjacji MW jest mniejsza niż 12 mJ, to substancje te mogą być przetwarzane tylko pod warunkiem uzyskania specjalnego zezwolenia/dopuszczenia/licencji. Typowe wyniki na wrażliwość na ESD badanych MW kruszących oraz mieszanin pirotechnicznych podano poniżej w tabeli 6.

classified against their susceptibility to ESD depending to energy at which there is no initiation for a series of trials. If the energy of initiation of explosive material is greater than 25 mJ then some routine preventive (protective/safety) precautions are necessary with the use of explosive materials. If the energy of initiation of explosive material is in the range of 12 mJ to 25 mJ then some anti-electrostatic preventive means (protecting/safety means) are required with the use of explosive materials. If the energy of initiation for explosive material is smaller than 12 mJ then such material may be only processed provided that a special permission /admission/licence is received. Typical results of susceptibility to ESD for tested high explosives and pyrotechnical mixtures are given below in Table 6.

Tabela 6

Materiał wysokoenergetyczny	Energia ESD, przy której nie występuje inicjacja badanego materiału wysokoenergetycznego [mJ]
Trotyl (TNT)	Powyżej 25
Heksogen (RDX)	Powyżej 25
PETN (handlowy)	Powyżej 25
KClO <sub>3</sub> /żywica akaroidowa	12
Ba(ClO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> /żywica akaroidowa	12
Ba(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> /glin	12

Table 6

High energetic material	Energy of ESD for which there is no initiation of tested high energetic material [mJ]
Trotyl (TNT)	Above 25
Hexogen (RDX)	Above 25
PETN (traded)	Above 25
KClO <sub>3</sub> /acaroids resin	12
Ba(ClO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> /acaroids resin	12
Ba(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> /aluminium	12

W niemieckim arkuszu informacyjnym GE-23 opisano test na badanie w małej skali wrażliwości na ESD MW pobudzających, kruszących i miotających. W ramach niniejszego testu stosowano małe próbki MW, tj. o objętości ok. 25 mm<sup>3</sup>, które poddawano oddziaływaniu ESD w celu określenia ich podatności na inicjację. Badanie prowadzono

In the German data sheet GE-23 is described a small scale test of susceptibility to ESD for booster explosives, high explosives and projecting explosives. For this test small samples of explosive material with the volume of ca. 25 mm<sup>3</sup> were used and subjected to the action of ESD in order to determine their susceptibility to initiation.

przy użyciu energii ESD z przedziału od 1 mJ do 10 J na stanowisku badawczym posiadającym igłową elektrodę poruszaną za pomocą napiętej sprężyny, oraz elektrodę płaską, która podtrzymywała blok cylindryczny wykonany z Troviduru, o dużej średnicy, na którym centralnie usytuowana była podkładka teflonowa, spełniająca rolę uchwyty mieszczącego próbkę MW. Taśma izolacyjna przyczepiona do uchwyty zamykała próbkę MW, umożliwiając przepływ przez nią energii ESD. Dla danej wartości energii ESD przeprowadzano serię 10 prób. Powyższy test jest stosowany do określania najmniejszej energii ESD zdolnej do inicjacji próbki MW w danych warunkach próby.

W czeskim arkuszu informacyjnym CZ-15 opisano test na badanie w małej skali wrażliwości na ESD MW kruszących, miotających/napędowych oraz mieszanin pirotechnicznych. W ramach niniejszego testu stosowane są małe próbki, tj. o objętości  $5 \text{ mm}^3$ , umieszczane między dwiema elektrodami (zwykle w postaci zamocowanych krążków). Energia elektryczna zmagazynowana w kondensatorze o regulowanej pojemności elektrycznej w zakresie od 100 pF do 350 nF, naładowanego do napięcia od 4 kV do 10 kV ulega rozładowaniu, docierając do badanej próbki. Energia pobudzenia MW od ESD mieści się w zakresie od 0,01 mJ ( $10 \mu\text{J}$ ) do 16 J. Wykorzystując oscyloskop oraz sensory wysokonapięciowe, na elektrodach mierzona jest zależność napięcia od czasu. Za pomocą odpowiedniego oprogramowania określana jest rzeczywista energia przekazana do badanej próbki. Wrażliwość próbek na ESD jest wyrażana za pomocą energii  $E_{50}$  oraz energii  $E_{\min}$ . Energia  $E_{50}$  jest całkowitą energią dostarczaną do próbki z 50% prawdopodobieństwem wywołania jej inicjacji, zaś energia  $E_{\min}$  stanowi energię minimalną inicjacji próbki, obliczaną na podstawie pomiarów oscyloskopowych. Energia  $E_{50}$  jest określana metodą Bruceton'a, wykorzystującą tryb „wartości górnych i dolnych”. W ramach niniejszego testu dokonywany jest bezpośredni pomiar energii iskry elektrycznej przekazywanej próbce. Typowe wartości energii  $E_{50}$  dla badanych próbek kruszących MW podano poniżej w tabeli 7.

Tests were carried out by using the ESD energy ranging between 1 mJ to 10 J on the setup equipped with a pin electrode driven by a tighten spring and a flat electrode that sustained a cylindrical block of large diameter made from Trovidure material with a centrally fixed Teflon cushion as a holder for a sample of explosive material. Isolating tape stuck to the holder covered the sample of explosive and enabled the flow of ESD energy through it. For a specific value of ESD energy a series of 10 trials was carried out. The above test is used to determine the lowest ESD energy that is able to initiate the sample of explosive material for specific conditions of a trial.

The Czech data sheet CZ-15 describes a small scale test of ESD sensitivity for high explosive materials, projecting/propelling materials and pyrotechnical mixtures. In this test small samples placed between two electrodes (having the shape of fixed circular plates) with the volume of  $5 \text{ mm}^3$  are used. Electric energy stored in the capacitor with adjusted electric capacities between 100 pF to 350 nF and loaded to voltages ranging from 4 kV to 10 kV is discharged through the tested sample. The ESD activation energy for explosive material is in the range of 0.01 mJ ( $10 \mu\text{J}$ ) to 16 J. Using the oscilloscope and high voltage sensors the dependence of voltage versus time on the electrodes is measured. Special computer code is used to determine real energy transferred to a tested sample. The sensitivity of samples against ESD is expressed by energy  $E_{50}$  and energy  $E_{\min}$ . Energy  $E_{50}$  is the total energy that is delivered to a sample at 50% probability of initiation and energy  $E_{\min}$  is the minimal initiating energy for the sample that is calculated on the base of oscilloscopic measurements. Energy  $E_{50}$  is determined by Bruceton method which exploits the procedure of „upper values and bottom values”. In the frame of this test a direct measurement of electric spark energy transferred to the sample is performed. Typical values of energy  $E_{50}$  for tested samples of high explosive material are given below in Table 7.



Tabela 7

Material wybuchowy (MW) / <i>Explosive material</i>	Energia E <sub>50</sub> [mJ] / <i>Energy E<sub>50</sub> [mJ]</i>
Heksogen (RDX) / <i>Hexogen (RDX)</i>	55
Pentryt (PETN) / <i>Pentryt (PETN)</i>	30
Tetryl / <i>Tetryl</i>	83
Trotyl (TNT) / <i>Trotyl (TNT)</i>	116

Wydaje się, że dolna wartość energii wyładowania elektrostatycznego podana w arkuszu CZ-15, wynosząca 0,01 mJ jest zaniżona, biorąc pod uwagę przedstawioną poniżej argumentację.

Typowa wartość pojemności elektrycznej ciała ludzkiego mieści się w przedziale od 50 pF do 500 pF (80 % populacji ludzi ma pojemność elektryczną nie przekraczającą 100 pF) [7], [8]. Przyjęcie dolnej wartości pojemności (100 pF) wydaje się być logiczne. Jeśli przyjąć, że dolna wartość pojemności C (100 pF) oraz dolna wartość napięcia naładowania kondensatora U<sub>p</sub> podana w arkuszu CZ-15, wynosząca 4 kV, są prawidłowe, to wykorzystując wzór (1) na energię W<sub>n</sub> zgromadzoną w kondensatorze, otrzymuje się wartość W<sub>n</sub> wynoszącą 0,8 mJ (4).

It seems that the minimum value of electrostatic discharge energy equal to 0.01 mJ given in the sheet CZ-15 is too small in the face of below argumentation.

Typical value of capacity for human body ranges between 50 pF to 500 pF (for 80 % of human population the electric capacity does not exceed 100 pF) [7], [8]. Selection and acceptance of the bottom value of capacity (100 pF) seems to be justified. Assuming that the bottom value of capacity C (100 pF) and the bottom value of the voltage U<sub>p</sub> the capacitor is loaded to that is given in the sheet CZ-15 and equal to 4 kV are correct then using the formulae (1) for the energy W<sub>n</sub> stored in the capacitor the value of W<sub>n</sub> may be received to be equal to 0.8 mJ (4).

$$W_n = \frac{100 \cdot 10^{-12} \cdot 4000^2}{2} = 0,0008 = 0,8 \text{ [mJ]} \quad (4)$$

A zatem, uzyskana przy ww. założeniach, dolna wartość energii W<sub>n</sub> jest 80 razy większa od podanej w czeskim arkuszu informacyjnym CZ-15 (wynoszącej 0,01 mJ).

W słowackim arkuszu informacyjnym SK-15 opisano test na badanie w małej skali wrażliwości na ESD MW kruszących, pobudzających, inicjujących, miotających/napędowych oraz mieszanin pirotechnicznych. W ramach niniejszego testu stosowane są małe próbki, tj. o masie (2÷30) mg umieszczane między dwiema elektrodami - jednej w postaci ruchomej igły, drugiej w postaci nieruchomego krążka. Energia elektrostatyczna magazynowana w naładowanym kondensatorze o regulowanej pojemności elektrycznej maksymalnie wynoszącej 350 nF przy zastoso-

For this reason the bottom value of energy W<sub>n</sub> received at the above mentioned assumptions is 80 times greater than that given in the Czech data sheet CZ-15 (equal to 0.01 mJ).

The Slovakian data sheet SK-15 describes a small scale test of sensitivity to ESD for high explosive materials, booster and primary explosives, projecting/propelling materials and pyrotechnical mixtures. This test exploits small samples with the mass of (2÷30) mg which are placed between two electrodes – one in the form of a moving pin and the second in the form of a fixed circle. The electrostatic energy stored in the loaded capacitor of adjustable electric capacity which reaches maximal

waniu napięcia ładowania wynoszącego (4÷10) kV ulega rozładowaniu (uwolnieniu), docierając do badanej próbki. Energia bodźca mieści się w zakresie od 0,1 mJ (100 μJ) do 16 J. Wykorzystując oscyloskop oraz sensory wysokonapięciowe, na elektrodach mierzona jest zależność napięcia od czasu. Za pomocą odpowiedniego oprogramowania określana jest rzeczywista energia przekazana do badanej próbki. Wrażliwość próbek na wyładowanie elektrostatyczne jest wyrażana za pomocą energii  $E_{50}$ . Typowe wartości energii  $E_{50}$  dla badanych próbek MW kruszącego (RDX) oraz inicjującego (azydku ołowiu) podano w tabeli 8. Energie te porównywalne są z energiami ładunku elektrycznego, który może być zgromadzony na człowieku.

value of 350 nF at applied loading voltage of (4÷10) kV is discharged (released) to get into a tested sample. Stimulating energy is in the range between 0.1 mJ (100 μJ) to 16 J. Using the oscilloscope and high voltage sensors the dependence of voltage versus time on the electrodes is measured. Special computer code is used to determine real energy transferred to tested sample. The sensitivity of samples against ESD is expressed by energy  $E_{50}$ . Typical values of energy  $E_{50}$  for tested samples of high explosives (RDX) and primary explosives (lead azide) are given in Table 8. The values of this energy are comparable with the values of energy of electric charge which may be stored by a human body.

Tabela 8/ Table 8

Material Wybuchowy/ <i>Explosive material</i>	Energia inicjacji $E_{50}$ [mJ]/ <i>Initiation en.</i>
Hexogen (RDX)/ <i>Hexogen (RDX)</i>	300
Azydek ołowiu/ <i>Lead azide</i>	50

W szwajcarskim arkuszu informacyjnym CH-29 opisano badanie dotyczące wrażliwości na ESD MW inicjujących, pobudzających, kruszących, prochów bezdymnych, stałych paliw raketowych oraz mieszanin pirotechnicznych. W ramach tego badania stosowana jest aparatura składająca się z dwóch elektrod - jednej w postaci handlowo dostępnej igły z precyzyjnie określonym zakończeniem, zaś drugiej w postaci mosiężnej płytki o określonej powierzchni. Elektroniczne urządzenie sterujące reguluje wartością energii ładunku elektrostatycznego obniżanej elektrody igłowej. Substancje MW w postaci proszku przesiewane są przez sito o wielkości oka 0,5 mm. Próbki MW zwarte mają postać wiórów lub cienkich krążków. W każdym z sześciu otworów znajdujących się w uchwycie mieszczącym próbki MW, połączonym z mosiężną, płaską elektrodą (mosiężną płytką), umieszcza się po 10 mm<sup>3</sup> MW. Po wybraniu wartości energii ESD, elektroda igłowa jest przesuwana w kierunku próbki i obserwowana jest jej reakcja na oddziaływanie wyładowania. Możliwe reakcje próbki na energię ESD są sklasyfikowane następująco: „brak reakcji”, „spalanie”, „defla-

Switzerland data sheet CH-29 describes test on sensitivity to ESD for primary explosives, booster explosives, high explosives, smokeless powders, solid rocket propellants and pyrotechnical mixtures. The test exploits the equipment consisting of two electrodes – one in the form of a commercially available needle with a precisely finished end and the second in the form of a brass plate of specific surface. An electronic controller sets the value of energy of electrostatic charge for the lowered needle electrode. Explosive material in the form of powder is sifted through a sieve with meshes of 0.5 mm. Solid samples of explosives have the form of chips or thin discs. Each of six holes of the holder for samples of explosive material that is connected with the flat electrode (brass plate) includes 10 mm<sup>3</sup> of explosive material. When the value of ESD energy is selected the needle electrode shifts towards the sample and its reaction on the discharge is observed. Possible reactions of the sample on the ESD energy are classified in the following way: “lack of reaction”, “combustion”, “deflagration”

gracja” oraz „detonacja”. Do próbki MW przekazywana jest coraz mniejsza ustalona wartość energii ESD w ramach danej serii prób aż do chwili, gdy nie nastąpi reakcja próbek MW. Następnie, zwiększa się dostarczaną energię ESD tak, aby dla kolejnych sześciu próbek MW co najmniej jedna z nich zareagowała (została zainicjowana). Typowe wyniki dotyczące wrażliwości na ESD badanych MW: kruszącego - HMX, inicjującego - azydku ołowiu, nitrocelulozy - NC E 220 oraz cyrkonu - CX podano poniżej, w tabeli 9.

and “detonation”. The value of ESD energy transferred to the sample of explosive material is decreased for each next trial within a series of a test until the lack of reaction of explosive samples. Next the supplied ESD energy is increased until there is a reaction (initiation) of at least one of next six samples. Typical results of sensitivity to ESD for tested explosives: high explosive - HMX, primary explosive – lead azide, nitrocellulose – NC E 220 and zirconium - CX are given below in Table 9.

Tabela 9 / Table 9

Materiał wybuchowy (MW)	Energia ESD [mJ] oraz zachowanie MW pod wpływem ESD/ <i>Energy of ESD [mJ] and behaviour of explosive</i>
Oktogen (HMX) / <i>Octogen</i>	1000 – spalanie/ <i>Combustion</i>
NC E 220	5600 – brak reakcji/ <i>No reaction</i>
Cyrkon typu CX / <i>Zirconium type CX</i>	0,0018 – spalanie (żarzenie)/ <i>Glowing</i>
Azydek ołowiu/ <i>Lead azide</i>	0,2 – spalanie/ <i>Combustion</i>

Badania w ramach powyższej metodologii (podanej w arkuszu CH-29) umożliwiają ocenę bezpieczeństwa podczas posługiwania się MW, biorąc pod uwagę wyładowania elektrostatyczne. W zakresie badań starzeniowych MW, zmiana wrażliwości MW na działanie ESD wskazuje na przydatność MW albo jej brak z punktu widzenia bezpieczeństwa eksploatacji MW.

Tests conducted according to the above methodology (given in the sheet CH-29) provide the assessment of safety at using explosive materials in the risk of electrostatic discharges. Regarding the ageing tests of explosive materials the change of explosive sensitivity to action of ESD indicates the presence or lack of the explosive suitability for its safe use.

### 3. Podsumowanie i wnioski

Wszystkie testy w małej skali dotyczące wrażliwości MW na oddziaływanie ESD, według wymagań STANAG 4490 [1], powinny mieć jednolity arkusz wymiany wyników podany w Załączniku A do tego STANAG [1]. Arkusz taki powinien zawierać: informacje na temat miejsca, w którym przeprowadzony jest test, nazwę laboratorium, datę wypełnienia arkusza, identyfikację (nazwę) procedury badawczej podanej według AOP-7 [2], krajowego odnośnika identyfikacyjnego procedury/testu, datę przeprowadzenia badania, dane dotyczące krajowego punktu kontaktowego. Dane dotyczące próbki MW powinny obejmować jej nazwę/oznaczenie identyfikacyjne, oznaczenie handlowe materiału próbki, nazwę producenta, numer

### 3. Summary and Conclusions

According to STANAG 4490 [1] every small scale test concerning the sensitivity of explosive material to ESD has to have a unified data exchange sheet presented in Annex A to this STANAG [1]. The sheet has to include: information about the place where the test is carried out, name of the laboratory, date the sheet is filled in, identification (name) of testing procedure given according to AOP-7 [2], national identifying reference for the procedure/test, date of the test, data of national contact point. Information concerning the sample of explosive material has to include its identification name/markings, commercial marking of material of the sample, name of

partii lub numer dostawy oraz datę produkcji lub odbioru, stan fizyczny próbki, wielkość cząstek (np. parametry jej rozdrobnienia), gęstość, temperaturę, a także zawartość wilgoci w próbce. Parametry warunków prowadzenia testu powinny obejmować temperaturę otoczenia, wilgotność względną otoczenia, informacje na temat: kształtu i wykonania górnej i dolnej elektrody, odległości między nimi, uchwytu na próbkę (np. w postaci pojemnika mieszczącego próbkę), napięcia początkowego i końcowego naładowania kondensatora, jego pojemności elektrycznej, rezystancji obwodu generującego iskrę elektryczną (ESD) i opcjonalnie inne dane. Ponadto arkusz powinien zawierać wyniki badań na wrażliwość na ESD, w tym wyniki odniesione do MW wzorcowych, np., takich jak tetryl, RDX i PETN.

Wszystkie opisane metody badania wrażliwości MW na oddziaływanie ESD w małej skali opierają się na wyładowaniu iskrowym. Jednak zapewnienie krótkiego czasu wyładowania nie zawsze jest dobre. Przykładowo niektóre prochy, aby je pobudzić do zapłonu, wymagają dłuższego czasu ogrzewania, czego nie może zapewnić ESD iskrowe. Dla tych substancji powyższe metody, jako wyłączne stają się nieprzydatne, gdyż materiały takie mogą zostać zainicjowane innym rodzajem wyładowania, o mniejszej energii, lecz dłużej trwającym.

W przypadku zastosowania do badań konfiguracji elektrod ostrzowych otrzymuje się niższe wartości minimalnej energii zapłonu danego MW w stosunku do pozostałych konfiguracji, co wynika z większego natężenia pola elektrycznego na ostrym końcu elektrody [4].

Wszystkie przedstawione w krajowych arkuszach informacyjnych do AOP-7 [2] układy badania wrażliwości MW na ESD w małej skali zawierają pojemność elektryczną, naładowaną do określonej wartości napięcia. Nie zawierają natomiast rezystancji szeregowej, często obecnej w życiu codziennym. Przykładem takim jest chociażby rezystancja ciała ludzkiego, której wartość zawiera się w zakresie od 100  $\Omega$  do 100 k $\Omega$ . Rezystancja szeregową już rzędu pojedynczych kiloomów wprowadza tłumienie oscylacyjnego charakteru iskry [9], przez co pro-

manufacturer, number of the lot or number of supply and the date of manufacture or acceptance, physical condition of the sample, size of the particles (e.g. grade of pulverisation), density, temperature and the content of humidity in the sample. Characteristics describing the conditions of tests have to include the ambient temperature, relative humidity and information concerning: shape and design of upper and bottom electrodes, distance between them, the holder for the sample, (e.g. in the form of a container for the sample), initial and final capacitor charging voltage, electric capacity, resistance of the circuit generating the electric spark (ESD) and optionally other data. Moreover the sheet has to include the results of sensitivity tests to ESD with the results referred to reference explosives e.g. such as tetryl, RDX and PETN.

All described methods for testing susceptibility of explosives to ESD in small scale are based on the spark discharge. But the existence of the short discharge is not good for every case. There are for example some types of powders which require a longer time of heating for the ignition and the spark ESD cannot provide it. For these materials the above described methods are useless as they may be initiated by the other type of discharge with a lower energy but longer time of duration.

When configurations of pointed electrodes are used for tests the received values of minimal energy needed for the ignition of tested explosive are too low in comparison to other configurations what results from the higher intensity of the electric field at the pointed end of the electrode [4].

All circuits presented in national data sheets to AOP-7 [2] and designated for testing susceptibility of explosives to ESD in a small scale include electric capacity loaded to a specific voltage. But they do not include the serial resistance which exists in reality. The resistance of human body which ranges between 100  $\Omega$  to 100 k $\Omega$  may be used as an example. Even the serial resistance on the level of a few k $\Omega$

mieniowanie elektromagnetyczne zostaje zredukowane. „Zaoszczędzona” w ten sposób energia zostaje spożytkowana m.in. na ogrzewanie MW, co przekłada się na wyraźne zmniejszenie minimalnej energii zapłonu. Tak, więc brak obecności tej rezystancji w przedstawionych metodach zawyża wyniki pomiarów.

Metody badania w małej skali wrażliwości MW na ESD ze względu na różnorodność budowy stanowisk badawczych, sposobu przygotowania próbek, ich wielkości oraz postać, praktycznie uniemożliwiają rzetelne porównanie wyników badań. Często wyniki badań wrażliwości na ESD w małej skali tych samych substancji wybuchowych, otrzymane za pomocą różnych metod/procedur badawczych, stanowisk badawczych, wyrażone wartością energii ich inicjacji różnią się istotnie. Na przykład wrażliwość na ESD MW inicjującego - azydku ołowiu, podana w krajowych arkuszach informacyjnych UK-31, US-45, SK-15 i CZ-15 mieści się w zakresie od 2  $\mu$ J do 50 mJ (patrz tabele: 3, 4, 8, 9 odpowiadające ww. krajowym arkuszom informacyjnym).

W celu podniesienia poziomu bezpieczeństwa prac z wojskowymi MW podczas ich cyklu życia, tj. od wytworzenia poprzez okres eksploatacji do likwidacji, istnieje pilna potrzeba implementacji i wdrożenia w Polsce znormalizowanej metody badania w małej skali wrażliwości na ESD stałych MW, zwłaszcza inicjujących oraz mieszanin pirotechnicznych.

causes the oscillating character of the spark is damped [9] what reduces the electromagnetic radiation. The energy “saved” in this way is partially consumed for heating the explosive material what translates onto a clearly visible reduction of minimal energy of ignition. So the lack of this resistance in presented methods increases the results of measurements.

Small scale methods for testing the susceptibility of explosives to ESD do not provide possibilities for a reliable comparison of test results because of the variety of setup designs, preparation of samples and their sizes and shapes. The results of small scale tests to ESD sensitivity for identical explosive materials expressed by the values of their energy of initiation often differ significantly for various testing methods/procedures. For example the susceptibility to ESD for primary explosive – lead azide included in national data sheets UK-31, US-45, SK-15 and CZ-15 varies between 2  $\mu$ J to 50 mJ (see Tables: 3, 4, 8, 9 corresponding to the above data sheets).

In order to increase the level of safety at working with military explosives during their life cycle i.e. starting from manufacture/production to disposal there is an urgent need to implement in Poland a standardised method for small scale testing of susceptibility to ESD for solid explosives, especially primary explosives and pyrotechnical mixtures.

## Literatura / Literature

- [1] Porozumienie Standaryzacyjne NATO Nr 4490 (STANAG 4490); „Materiały wybuchowe. Badania wrażliwości na wyładowania elektrostatyczne” (Edycja 1. 2001r.);
- [2] Publikacja Sojusznicza dotycząca Środków Bojowych Zawierających Materiały Wybuchowe Nr 7 (AOP-7); „Podręcznik w zakresie badań kwalifikacyjnych materiałów wybuchowych do zastosowań wojskowych” (Edycja 2. 2003r.);
- [3] Porozumienie Standaryzacyjne NATO Nr 4170 (STANAG 4170); „Zasady i metodologia kwalifikowania materiałów wybuchowych do zastosowań wojskowych” (Edycja 3. 2008r.);
- [4] Šimorda J., Staroba J.: Elektryczność statyczna w przemyśle, Wydawnictwo WNT Warszawa 1970, s. 146, s. 157, s. 152, s. 153;
- [5] Strojny J.: Elektryczność statyczna w pytaniach i odpowiedziach, Wydawnictwo WNT Warszawa 1979, s. 84, s. 48;

- [6] Defence Ordnance Safety Group, Energetic Materials Testing and Assessment Policy (EMTAP) Committee; Ed.4, 2007r., UK; Test No.6, Test No.7;
- [7] Dokument standaryzacyjny ANSI/ESD/JEDEC JS-001-2012, Ed. 2012;
- [8] Norma wojskowa (USA) MIL-STD-883H, Method 3015.8, Electrostatic Discharge Sensitivity Classification, Ed. 2010;
- [9] Morris G.: The Ignition of Explosives by Condenser Discharges Effect of Added Circuit Resistance, s. 97 – 100.