

## **BADANIA KOMPATYBILNOŚCI ELEKTROMAGNETYCZNEJ UZBROJENIA W ŚWIELE WYMAGAŃ USTAWY OIB**

**Streszczenie:** W referacie przedstawiono stan prawny w obszarze wyrobów dla wojska, z punktu widzenia kompatybilności elektromagnetycznej. Omówiono główne zasady badań kompatybilności elektromagnetycznej Uzbrojenia i Sprzętu Wojskowego (UiSW), w tym zwłaszcza z obszaru wojskowej techniki morskiej. Zwrócono szczególną uwagę na możliwości wykorzystania zdolności badawczych laboratorium dla trzech różnych obszarów: badania odporności na pole elektromagnetyczne z wykorzystaniem komory rewerberacyjnej, badania odporności na zaburzenia przewodzone w postaci impulsu quasiprostokątnego oraz badania odporności wyrobów na ESD.

## **ARMAMENT ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY TESTS ACCORDING TO OIB ACT**

**Abstract:** The article covers the legal status of armament in the area of electromagnetic compatibility. The main rules of electromagnetic tests of UiSW are included there. The main areas of laboratory activity include: radiated electromagnetic field immunity tests in reverberation chamber, conducted quasi-rectangle pulses immunity and ESD immunity tests.

### **1. Wstęp**

Ustawa z dnia 17 listopada 2006 r. o systemie oceny zgodności wyrobów przeznaczonych na potrzeby obronności i bezpieczeństwa państwa (OIB) (Dz. U. z dnia 19 grudnia 2006 r.) określa między innymi zasady przeprowadzania oceny zgodności wyrobów przeznaczonych na potrzeby obronności i bezpieczeństwa państwa ze specyfikacjami technicznymi. Celem ustawy jest:

- 1) zapewnienie ochrony interesów państwa w zakresie obronności i bezpieczeństwa przez ustalenie zasad dotyczących oceny zgodności wyrobów przeznaczonych na potrzeby obronności i bezpieczeństwa państwa;
- 2) zapewnienie warunków do przeprowadzania oceny zgodności wyrobów przeznaczonych na potrzeby obronności i bezpieczeństwa państwa przez kompetentne i niezależne podmioty, w zakresie spełnienia wymagań zawartych w specyfikacjach technicznych;
- 3) zapewnienie warunków do eliminowania zagrożeń stwarzanych przez wyroby przeznaczone na potrzeby obronności i bezpieczeństwa państwa dla życia i zdrowia użytkowników oraz dla środowiska.

W ustawie ilekroć jest mowa o dokumentacji technicznej, należy przez to rozumieć dokumenty zawierające dane niezbędne do wyprodukowania wyrobu lub wykonania prac, określające jednoznacznie wyrób, jego części składowe i warunki techniczne, jakie ma spełniać, oraz umożliwiające dokładną identyfikację wyrobu.

Jednym z wymogów ustawy OiB są badania kompatybilności elektromagnetycznej wyrobów. Obowiązek badania kompatybilności elektromagnetycznej wyrobów wynika również z konieczności stosowania postanowień Dyrektywy 2004/108/EC dotyczącej kompatybilności elektromagnetycznej. Techniczne wymagania zawarte są natomiast w normach zharmonizowanych z Dyrektywą. W obszarze UiSW zastosowanie mają dodatkowo Normy Obronne oraz NATO'wskie dokumenty normalizacyjne typu STANAG. Podstawowym dokumentem opisującym wymagania kompatybilności elektromagnetycznej dla UiSW są normy obronne NO-06-A200:2008 [1] oraz NO-06-A500:2008 [2], w której zawarto metody badań. Badaniom w myśl tych dokumentów podlega całe elektryczne i elektroniczne Uzbrojenie i Sprzęt Wojskowy (UiSW).

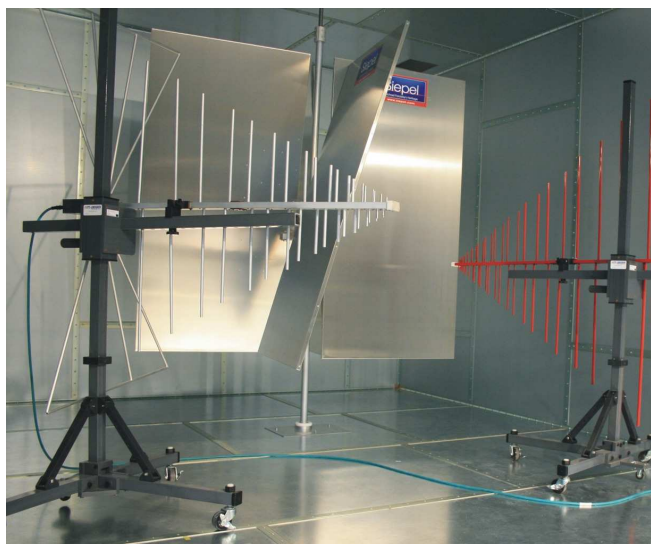
W zakresie badań i certyfikacji wyrobów w obszarze kompatybilności elektromagnetycznej OBR CTM S.A. uzyskał status jednostki notyfikowanej o nr 2075 w zakresie Dyrektywy 2004/108/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 15 grudnia 2004r. w sprawie zbliżenia ustawodawstwa Państw Członkowskich odnoszących się do kompatybilności elektromagnetycznej (EMC), zgodny z zakresem autoryzacji udzielonym decyzją Ministra Infrastruktury Nr 5/AU/KE/08. OBR CTM S.A. jest przygotowany do realizacji badań wyrobów objętych tajemnicą służbową i państwową. Poufność realizowanych badań deklaruje Ośrodek poprzez uzyskane w 2006 roku Świadectw Bezpieczeństwa Przemysłowego: I Stopnia Nr 41/I-21/T-OBP/2006 oraz II Stopnia Nr 3/II-2/NS/OBP/2006. Dzięki dofinansowaniu z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego OBR CTM S.A. zakupił komorę rewerberacyjną do Laboratorium Kompatybilności Elektromagnetycznej pozwalającą na wykonywanie badań: emisji zaburzeń elektromagnetycznych, odporności na zaburzenia elektromagnetyczne w zakresie częstotliwości do 18 GHz oraz pomiary tłumienności pola elektromagnetycznego obiektów ekranujących. Na przykładzie trzech wybranych stanowisk z obszaru kompatybilności elektromagnetycznej (badania odporności na pole elektromagnetyczne z wykorzystaniem komory rewerberacyjnej, badania odporności na zaburzenia przewodzone w postaci impulsów quasiprostokątnych) oraz badania odporności na wyładowania elektryczności statycznej *ESD* pokazano możliwości badawcze laboratorium kompatybilności do badania UiSW.

## **2. Komora rewerberacyjna**

### **2.1 Zastosowanie komory do badań kompatybilności elektromagnetycznej**

Komora rewerberacyjna jest opisana jako stanowisko do badania odporności na pole elektromagnetyczne przez takie dokumenty normatywne, jak: PN-EN 61000-4-21:2003 [9], RTCA/DO-160E:2004 [6], MIL-STD 461E:1999 [4], której odpowiednikami w Polsce są Normy Obronne [1] oraz [2]. Użyteczne pasmo częstotliwości wynosi od 100 MHz do 40 GHz, pomimo że obliczona z wymiarów komory wartość dolnej częstotliwości granicznej LUF (*Low Useful Frequency*) wynosi 146 MHz. Komora zapewnia skuteczność ekranowania pola elektrycznego na poziomach, powyżej 110 dB do 18 GHz i 80 dB w zakresie częstotliwości od 18 GHz do 40 GHz.

Środowisko w komorze jest statystycznie jednorodne i statystycznie izotropowe. W komorze rewerberacyjnej poprzez rotację metalowego mieszadła (patrz rysunek 1) uzyskuje się rozkład pola elektromagnetycznego różnorodnego, co do polaryzacji i kąta padania. Mieszadło może obracać się w trybie ciągłym (całkowity obrót mieszadła o  $360^{\circ}$ ) albo w trybie krokowym (z określoną liczbą kroków). Do sterowania pracą mieszadeł wykorzystuje się program komputerowy. Wizualizacja zachowania się UiSW podczas badań odbywa się poprzez kamerę wideo/audio.



**Rys. 1. Widok wnętrza komory rewerberacyjnej**

Zalety komory rewerberacyjnej są jak następuje:

- zdolność do wytworzenia natężenia pola elektromagnetycznego o dużej wartości (w zakresie tysięcy V/m) do częstotliwości dziesiątków GHz.
- opromieniowanie badanych wyrobów ze wszystkich kierunków i polaryzacji (badanie odporności),
- duża w porównaniu z wymiarami komory przestrzeń pomiarowa,
- niewielki koszt komory rewerberacyjnej – komora nie wymaga szerokopasmowych absorberów na ścianach pomieszczenia ekranowanego i wymaga proporcjonalnie mniejszych mocy zastosowanych wzmacniaczy/generatorów.

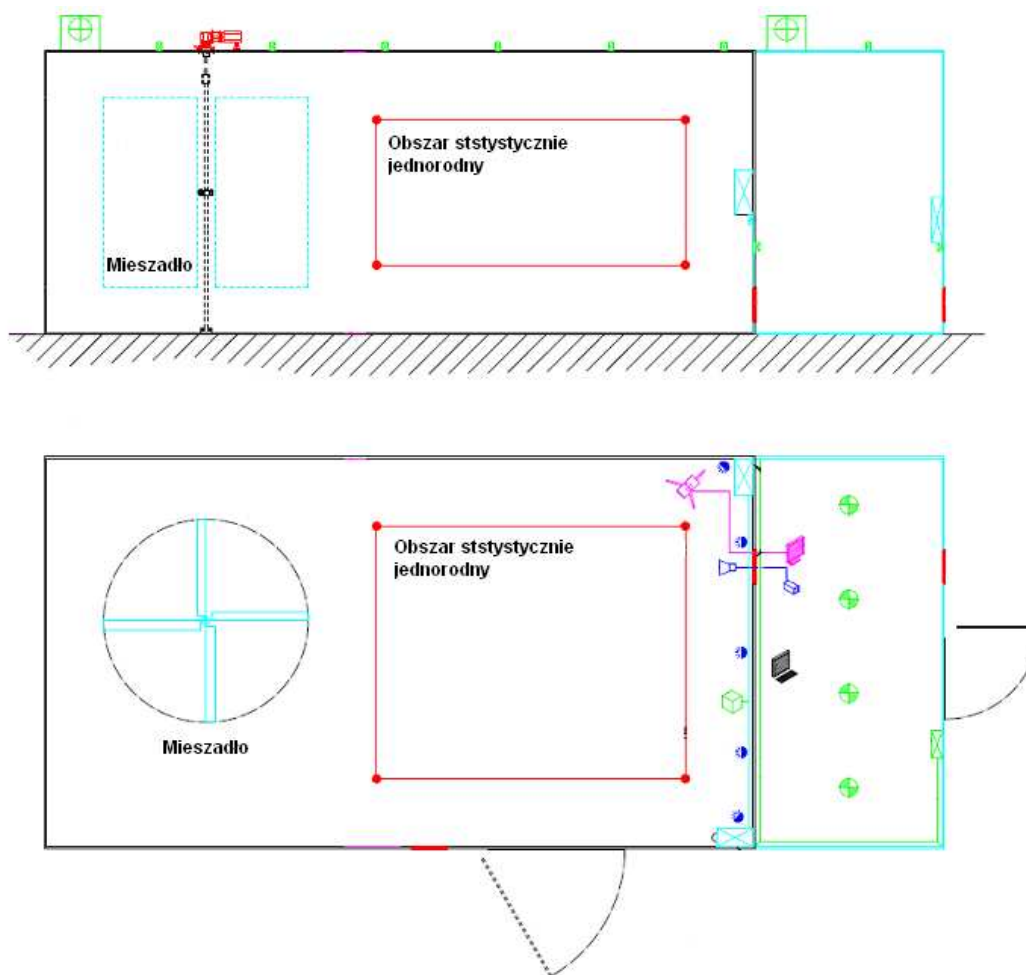
Wadą w wykorzystaniu komory rewerberacyjnej w badaniach kompatybilności elektromagnetycznej jest LUF (około 100 MHz) i brak możliwości wykonywania pomiarów współczynnika antenowego.

## **2.2 Badania odporności na zaburzenia promieniowane**

Przed przystąpieniem do badań komorę kalibruje się. Proces kalibracji komory rewerberacyjnej przeprowadza się, aby wykazać, że komora spełnia wymagania dotyczące jednorodności pola elektromagnetycznego wewnątrz przestrzeni pomiarowej zdefiniowane w odpowiednich standardach. W komorze rewerberacyjnej można wykonywać badania na zgodność z wymaganiami normy NO-06-A500, procedura PRS-02 w zakresie częstotliwości do 18 GHz i o wymaganej przez KRS-02 maksymalnej wartości natężenia pola wynoszącej 200 V/m. Typowa konfiguracja stanowiska pomiarowego z komorą rewerberacyjną do badań UiSW powinna być tak, jak to pokazano na rysunku 2. Do badania UiSW należy użyć tych samych anten, które były wykorzystane w kalibracji.

Procedura badawcza powinna przebiegać następująco:

- 1) Przed rozpoczęciem badań włącza się zasilanie wyposażenia pomiarowego na czas niezbędny do uzyskania właściwej stabilności;
- 2) Dla częstotliwości początkowej badań nastawia się modulację impulsową źródła sygnału z częstotliwością modulacji 1 kHz i o współczynniku wypełnienia 50 %;
- 3) Ustawia się wartość szczytową mocy dostarczanej zgodnie z wartością obliczoną. Pomiędzy punktami kalibracji pola komory rewerberacyjnej należy zastosować interpolację wyników w wymaganym zakresie częstotliwości;



**Rys. 2. Konfiguracja komory rewerberacyjnej do badań UiSW**

- 4) Celem sprawdzenia, czy odpowiednie pole elektromagnetyczne zostało wytworzone mierzy się odbiornikiem pomiarowym sygnał odebrany anteną odbiorczą;
- 5) Obraca się mieszadło o kąt  $360^\circ$ , stosując jak najmniejszą określoną liczbę kroków. W danym położeniu mieszadło powinno zatrzymać się na minimalny określony czas. Podczas obrotu mieszadła utrzymuje się moc dostarczaną niezbędną do wytworzenia poziomów pola elektrycznego dla stosowanych wartości dopuszczalnych, jak zostało to określone podczas kalibracji;
- 6) Przechodząc częstotliwość pracy generatora przeprowadza się badania w wymaganym zakresie częstotliwości zgodnie z krokami przechodzenia i określonymi czasami pomiaru. Kontroluje się poprawność pracy UiSW pod kątem odporności na narażenia pola elektrycznego.

### **3. Badania odporności UiSW na zaburzenia przewodzone w postaci ciągu impulsów quasiprostokątnych**

Badania na ciągi impulsów quasiprostokątnych rekomendowane są przez [2] jako wymagane dla obwodów kabli sygnałowych i obwodów zasilania urządzeń lub zestawów urządzeń wchodzących w skład lotniczych, kosmicznych oraz do bezwzględnego przestrzegania w odniesieniu do obiektów naziemnych użytkowanych przez: wojska lądowe, marynarkę wojenną i wojska lotnicze. Wymaganie może mieć także zastosowanie w odniesieniu do urządzeń instalowanych na okrętach nawodnych i podwodnych, jeżeli zostało

określone to w warunkach technicznych. Impulsy quasiprostokątne mają charakter zaburzeń przejściowych i w swojej naturze podobne są do zaburzeń pochodzących od łączeniowych stanów przejściowych. Stany takie pojawiają się na ogół podczas przerywania zasilania obciążenia indukcyjnego (silników, transformatorów) oraz w trakcie odbić styków przekaźnika.

Badania odporności na ciągi impulsów quasiprostokątnych wykonuje się narażając urządzenie lub zestaw urządzeń przez czas 1 minuty ciągiem impulsów quasiprostokątnych o przebiegu jak na rysunku 11, wg [1], powtarzanych z częstością  $30s^{-1}$ . Badania prowadzi się na stanowisku badawczym skonfigurowanym tak jak to pokazano na rysunku 3, przy czym sondę monitorującą umieszcza się w odległości 5 cm od badanego UiSW zaś sondę iniekcyjną w odległości 5 cm od sondy monitorującej. W przypadku, gdy nie ma możliwości umieszczenia sondy w odległości 5 cm od UiSW, wówczas umieszcza się ją tak blisko jak to jest tylko możliwe. Stanowisko do badania odporności na ciągi impulsów quasiprostokątnych dla konsoli wielofunkcyjnej przedstawiono na rysunku 3.



**Rys. 3. Przykładowe badania odporności obwodów zasilania konsoli wielofunkcyjnej na ciągi impulsów quasiprostokątnych**

Wynik badania przedstawiany jest w formie spełnia/nie spełnia wymaganie KCS-07 wg [1]. Dodatkowo wymaga się umieszczania w raporcie z badań:

- fotografii lub rysunków przedstawiających zestaw UiSW,
- rezultatów uwierzytelniania torów pomiarowych nadawczych i odbiorczych,
- współczynników korekcyjnych przyrządów stosowanych do badań,
- wyniku końcowego w formie orzeczenia: UiSW spełnia/nie spełnia wymaganie.

## **4. Badania ESD (Electrostatic Discharge)**

### **4.1 Zagrożenia powodowane ładunkiem elektrostatycznym**

Współczesne uzbrojenie zawiera w sobie przynajmniej jedno elektrycznie aktywowane urządzenie zapalające, które wykorzystuje się do zainicjowania rozmaitych funkcji, takich jak: zapłon silnika raketowego, detonacja głowicy, pobudzenie naboju, materiału wyrzutnika itp. W trakcie zwykłego cyklu logistycznego uzbrojenie przechodzi różne fazy obsługi, takie jak pakowanie w skrzynie, rozpakowanie, pakowanie w plastik ochronny lub inne pokrycie, przenoszenie z tych pokryć ochronnych, składanie, transportowanie, ładowanie wyładowanie itp. Procesy te mogą powodować w efekcie pojawienie się elektryczności statycznej od personelu obsługującego, wyposażenia transportowego, kontenerów, od samych systemów uzbrojenia i amunicji lub od innego nieuziemionego obiektu. Jeżeli ten elektryczny

ładunek lub napięcie zostaną przekazane do amunicji lub systemu uzbrojenia, to może być wystarczające do zmiany stanów logicznych, powodującej zniszczenie elementów lub w przypadku przekroczenia wartości progowych poziomów granicznych przekraczających EED (*Elektro Explosive Device*) do ich zadziałania. Tego typu wyładowanie może w rezultacie spowodować wadliwe działanie lub niezadziałanie amunicji lub systemu uzbrojenia lub spowodować katastrofalny zapłon materiału napędowego lub innej eksplozji w zależności od funkcji narażonych elementów składowych lub EED.

Zastosowanie materiałów plastikowych lub plastikopodobnych (powszechnie wiadomo o ich zdolności do wytwarzania i gromadzenia ładunków elektrostatycznych) w celu ochrony środowiskowej w czasie przesyłania i przechowywania powoduje wzrost zagrożenia elektrycznością statyczną podczas obsługiwaną zwłaszcza nowoczesnej amunicji i systemów uzbrojenia. Wypadki udowodniły, że jest to cecha przypisana stosowaniu plastików w bezpośredniej bliskości systemów uzbrojenia. Równie niebezpieczne jest stosowanie włókien syntetycznych, takich jak nylon i poliester stosowanych na odzież noszoną przez personel obsługujący amunicję. Innym czynnikiem, który jest źródłem zagrożenia wyładowaniem elektrostatycznym, jest stosowanie śmigłowców w pionowym uzupełnianiu zapasów.

Podwyższone parametry środowiska elektrostatycznego, wysokie poziomy ładunków/wyładowań mogą wystąpić z powodu stosowania materiałów (sprzętu) a zwłaszcza z powodu obsługiwaną, transportowania lub działań wojennych sił zbrojnych NATO amunicji i systemów uzbrojenia zawierających EED.

Tam, gdzie to możliwe przy ustalaniu wartości narażeń korzysta się z poziomów znormalizowanych oraz ze znormalizowanych metod badawczych ([7], [8] oraz [9]). W pozostałych przypadkach każdorazowo przed przystąpieniem do badań niezbędnym jest ustalenie poziomów narażeń w programie badań wyrobu. Poziomy te ustala się biorąc za podstawę szereg takich czynników jak:

- zachowanie środków bezpieczeństwa użytkowania,
- środowisko, w którym ma pracować wyrób,
- złożoność wyrobu,
- wielkość produkcji.

#### **4.2 Wytyczne dotyczące doboru poziomów narażeń ESD**

W praktyce często dzieje się tak, że wymagania instalacyjne albo konstrukcja wyrobu wyklucza połączenie z jakimkolwiek systemem uziemiającym. Przykładem takich wyrobów są urządzenia przenośne, zasilane bateryjnie lub urządzenia z izolacją zaliczaną do II klasy ochronności. Innym wziętym z obszaru wojskowego, przykładem takich wyrobów jest uzbrojenie zawierające elektrycznie aktywowane urządzenia zapłonowe (EED). W przypadku urządzeń nieuziemionych (np. EED) lub nieuziemionych części urządzeń (np. amunicja) nie może wystąpić rozładowanie samoistne jak w przypadku urządzeń klasy I ochronności. Przy braku uziemienia, z uwagi na fakt, że ładunek nie jest odprowadzany przed wystąpieniem następnego wyładowania to wyrób może być narażony na napięcie przewyższające nawet dwukrotnie napięcie probiercze. Na skutek akumulacji ładunków z kilku wyładowań zwłaszcza w pojemności izolacji może zgromadzić się nadmiernie duży ładunek, a po osiągnięciu napięcia przebicia izolacji wystąpić rozładowanie o energii dużo większej od zamierzonej. Ma to szczególne znaczenie w badaniach wyrobów wg NO-06-A211 [7], gdzie poziomy narażeń rzędu 25 kV czy też 30 kV mogą w efekcie prowadzić do znacznych kumulacji ładunku.

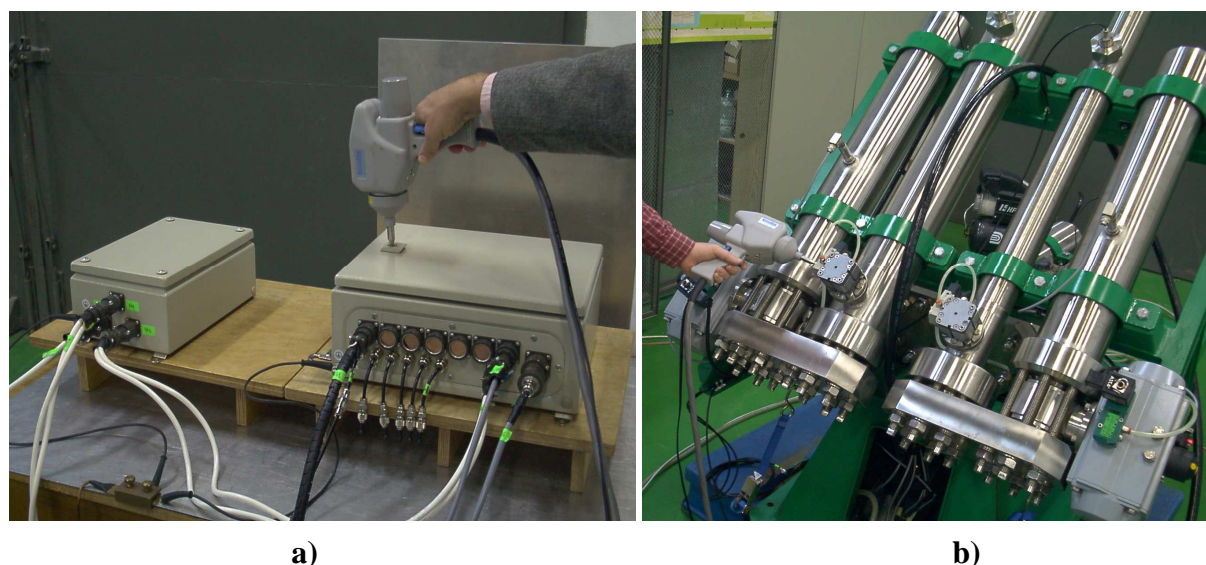
W badaniach odporności wyrobów nieuziemionych na ESD (zarówno metodą wyładowania w powietrzu, jak i metodą wyładowania kontaktowego) istotnym jest, więc aby odprowadzać ładunki z badanego wyrobu przed każdym generowanym wyładowaniem. Pomimo, że to zagadnienie od niedawna porusza wdrożona norma PN-EN 61000-4-2:1999/

A2:2003, do badań urządzeń nieziemionych zawsze stosowano w laboratorium metodykę z odprowadzaniem ładunku. Właściwie przy badaniach amunicji na poziom rzędu 25 kV, jeżeli nie stosowano odprowadzenia ładunku po każdej serii wyładowań, na skutek gromadzenia się ładunku wszystkie próby badań kończyły się wynikiem negatywnym. Poziomy narażeń elektrycznością statyczną w zależności od zastosowania wyrobów przedstawiono w tabelicy 1.

**Tablica 1 – Poziomy narażeń ESD**

Zastosowanie	Potencjał [kV]	Pojemność kondensatora [pF]	Rezystancja [Ω]	Indukcyjność [μH]
Personel - Krytyczne bezpieczeństwo	± 25 kV	500	500 5000	< 5
Personel - Bezpieczeństwo nie jest krytyczne	± 8 kV ± 15 kV	150	330	< 5
Helikopter (transportowanie)	± 300 kV	1000	≤ 1	< 20

Przykładowe badanie odporności na wyładowanie elektrostatyczne przedstawiono na przykładzie Systemu Uzbrojenia Okrętowego w skład, którego wchodziła Wielofunkcyjna Konsola Operatorska, Urządzenie Sterowania Wyrzutnią (rys. 4a) oraz Wyrzutnia (rys. 4b).



**Rys.4. Badanie odporności na wyładowanie elektrostatyczne systemu uzbrojenia okrętowego**

W trakcie wyładowań elektrostatycznych do zamka Urządzenia Sterowania Wyrzutnią obserwowano zawieszanie sterownika umieszczonego pod pokrywą. Taki stan pracy systemu powodował całkowite jego wykluczenie z działania. W rzeczywistych warunkach bojowych mogło to doprowadzić do zagrożenia bezpieczeństwa okrętu i załogi z uwagi na brak obrony czynnej okrętu. Podjęto środki zaradcze polegające na połączeniu galwanicznym pokrywy

urządzenia z jego obudową oraz poprzez zastosowanie filtrów na przewodach sygnałowych wejścia/wyjścia Urządzenia Sterowania Wyrzutnią.

## 5. Wnioski

OBR CTM S.A. wychodząc naprzeciw możliwościom spełnienia przez organizacje wytwarzające na potrzeby obronności i bezpieczeństwa państwa wymagań specyfikacji technicznych, uzyskał certyfikat nr 28/MON/2008 Ministerstwa Obrony Narodowej w zakresie Ustawy OiB. W zakresie badań i certyfikacji wyrobów w obszarze kompatybilności elektromagnetycznej OBR CTM S.A. posiada również status jednostki notyfikowanej o nr 2075 w zakresie Dyrektywy 2004/108/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 15 grudnia 2004r. w sprawie zbliżenia ustawodawstwa Państw Członkowskich odnoszących się do kompatybilności elektromagnetycznej (EMC).

Wdrożone w laboratorium kompatybilności elektromagnetycznej metody pomiarowe są zgodne z wymaganiami Norm Obronnych (np.: NO-06-A500, NO-06-A211) z dziedziny kompatybilności elektromagnetycznej.

Wykorzystując komorę rewerberacyjną istnieją potencjalne możliwości badania odporności wyrobów na promieniowane pole elektromagnetyczne, pomiarów emisji pola elektromagnetycznego oraz pomiarów skuteczności ekranowania kabli, złącz, falowodów i pasywnych komponentów mikrofalowych, pomiarów skuteczności ekranowania uszczelk, materiałów ekranujących i pomiarów skuteczności ekranowania przez obudowy.

Zaletą komory rewerberacyjnej jest jej zdolność do opromieniowania wyrobów ze wszystkich stron polem elektromagnetycznym o wartości do tysiący V/m i zakresie częstotliwości dziesiątek GHz.

Badanie odporności na zaburzenia impulsowe w postaci impulsu quasiprostokątnego może być wykorzystywane jako uzupełniające w odniesieniu do badań odporności wyrobów na pole elektromagnetyczne od wybuchu jądrowego oraz do badania urządzeń ochronnych przed zaburzeniami przewodzonymi HEMP.

Badania odporności na wyładowania elektrostatyczne (ESD) stosuje się w celu określania, czy EED i/lub systemy elektroniczne wchodzące w skład amunicji lub z systemem związanym będą bezpieczne i przydatne do stosowania po wystawieniu na oddziaływanie warunków wyładowania elektrostatycznego podobnych do spotykanych podczas operacji NATO.

## Literatura

- [1] NO-06-A200:2008 *Kompatybilność elektromagnetyczna – Dopuszczalne poziomy emisji ubocznych i odporność na narażenia elektromagnetyczne*
- [2] NO-06-A500:2008 *Kompatybilność elektromagnetyczna – Procedury badań zaburzeń elektromagnetycznych i odporności na narażenia elektromagnetyczne*
- [3] EN 61000-4-21:2003 *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-21: Testing and measurement techniques – Reverberation chamber test methods*
- [4] MIL-STD-461E/F:2007 *Requirements for the Control of Electromagnetic Interference Characteristics of Subsystems and Equipment*
- [5] PN-V-90008:2004 *Technika wojskowa Charakterystyki interferencji elektromagnetycznej podsystemów i wyposażenia Wymagania*
- [6] RTCA/DO-160E:2004 *Environmental Conditions and Test Procedures for Airborne Equipment*



- [7] NO-06-A211:2005 *Kompatybilność elektromagnetyczna – Odporność uzbrojenia na wyładowania elektrostatyczne – Wymagania i metody badań*
- [8] AECTP 500:2006 *Electrical/Electromagnetic Tests*
- [9] PN-EN 61000-4-2:1999/A2:2003 *Kompatybilność elektromagnetyczna – Badanie odporności na wyładowania elektrostatyczne*