



BADANIA ODPORNOŚCI AMUNICJI CZOŁGOWEJ 120X570 NA DRGANIA SINUSOIDALNE SYMULUJĄCE TRANSPORT TAKTYCZNY W CZOŁGU

TESTING THE RESISTANCE OF 120X570 TANK AMMUNITION AGAINST SINUSOIDAL VIBRATIONS

Piotr BIENIEK, Janusz WEISS
Wojskowy Instytut Techniczny Uzbrojenia
Military Institute of Armament Technology

Streszczenie. Artykuł przybliży zagadnienie symulacji drgań z wykorzystaniem systemu wibracyjnego, który umożliwia prowadzenie laboratoryjnych badań odporności amunicji na narażenia mechaniczne. Poprzez badania sprawdza się, w jakim stopniu badana próbka może przeciwstawić się niszcącemu działaniu wibracji oraz, czy jest zdolna do spełniania przewidzianych funkcji i zachowania parametrów w granicach dopuszczalnych wartości po zakończeniu testu. Na zagadnienie symulacji drgań wpływa wiele czynników począwszy od praw fizyki, na których oparta jest zasada działania i konstrukcja systemu, poprzez rolę poszczególnych elementów wchodzących w skład systemu, aż do sposobów unikania niekorzystnych zjawisk i zapobiegania im podczas przygotowania oraz w czasie trwania testu. Opisane w artykule badania laboratoryjne zostały przeprowadzone na 120 mm nabojach z pociskiem podkalibrowym, które poddano wibracjom sinusoidalnym w trzech osiach, a następnie przeznaczono do poligonowych badań strzelaniem.

Słowa kluczowe: symulacja drgań, wzбудnik drgań, badania laboratoryjne amunicji.

1. Wprowadzenie

Zagadnienie symulacji drgań przeprowadzanych na obiektach mechanicznych było znane w dziedzinie nauk technicznych od początku XX wieku. Obciążenia dynamiczne realizowano wieloma sposobami, w wyniku których osiągnano bardzo zróżnicowane wyniki. Początkowo do

Abstract. The article deals with an issue concerning the simulation of vibrations based on a laboratory system for testing ammunition resistance against mechanical stresses. These tests check the limits for which the sample can resist the devastating effects of vibrations and preserve the functional effectiveness and parameters after the trial. The issue concerning the simulation of vibrations depends on many different factors starting from the laws of physics behind the system operation and design, through the role of its particular components and ending on ways for avoiding and preventing undesired phenomena occurring at preparation and during the test. Laboratory tests described in the paper were carried out on 120 mm sabot shell cartridges that were subjected to sinusoidal vibrations in three axes to be tested later by firing on the proving range.

Keywords: simulation of vibrations, inductor of vibrations, laboratory tests of ammunition.

1. Introduction

Technical sciences have dealt with simulation of vibrations on mechanical objects since the beginning of XX-th century. Dynamic loads were delivered in various ways what have led to different results. At the beginning the vibrations were

symulacji drgań wykorzystywano układy mechaniczne oparte o mechanizmy krzywkowe, natomiast niektóre z badań zmęczeniowych były realizowane w specjalnie projektowanych wirówkach. W latach pięćdziesiątych, wzmożono prace nad prowadzeniem badań i rozwojem symulatorów drgań. Polegały one na zapewnieniu bardzo dokładnego odtworzenia zadanego przebiegu drgań harmoniczných, jak również na osiągnięciu możliwie najlepszej powtarzalności realizowanych prób. W wyniku tego powstały pierwsze elektrodynamiczne wzbudniki drgań, których zasada działania została oparta o ruch elementu w polu magnetycznym [1÷4].

Standardowy system do badań wibracyjnych składa się trzech głównych części:

- 1) wzbudnika drgań,
 - do wibracji pionowych, poziomych, lub w obu kierunkach (ze stołem ślizgowym),
 - do wibracji w zmiennych warunkach klimatycznych (wraz z komorą klimatyczną),
- 2) elektronicznego wzmacniacza mocy,
- 3) systemu pomiarowo - sterującego, złożonego z:
 - przyspieszoniomierzy wraz z przewodami,
 - wzmacniacza ładunku,
 - systemu sterującego służącego do zbierania i analizowania danych.

Istnieją również mniejsze, dwuczęściowe systemy, w przypadku których wzmacniacz mocy jest umieszczony w konsoli sterowania [5]. Schemat standardowej konfiguracji systemu przeznaczonego do badań wibracyjnych został przedstawiony na rysunku nr 1.

Wzbudnik drgań jest centralnym elementem systemu, który generuje drgania lub udary w odpowiedzi na wzmocniony sygnał sterujący, wytworzony w kontrolerze drgań. Zasada działania wzbudnika oparta jest o generowanie strumienia magnetycznego o dużej gęstości w pierścieniowej szczelinie powietrznej, w której zawieszony jest zespół głowicy złożony ze stolika i cewki napędowej. Dodatkowo wewnątrz wzbudnika znajdują się cewki wzbudzające podłączone do pola prądu stałego, które wytwarzają stałe pole magnetyczne za pomocą strumieni indukcji magnetycznej. Po przepuszczeniu prądu zmiennego przez cewkę napędową w przewodzie cewki powstają siły elektrodynamiczne powodujące ruch stolika w górę i w dół. Ruch stolika zależy od kilku czynników takich jak: masa stolika, masa zamocowanego obciążenia oraz od sztywności zawie-

simulacji drgań wykorzystywano układy mechaniczne natomiast niektóre z badań zmęczeniowych były realizowane w specjalnie projektowanych wirówkach. W latach pięćdziesiątych, wzmożono prace nad prowadzeniem badań i rozwojem symulatorów drgań. Polegały one na zapewnieniu bardzo dokładnego odtworzenia zadanego przebiegu drgań harmoniczných, jak również na osiągnięciu możliwie najlepszej powtarzalności realizowanych prób. W wyniku tego powstały pierwsze elektrodynamiczne wzbudniki drgań, których zasada działania została oparta o ruch elementu w polu magnetycznym [1-4].

A standard system for vibration tests consists of three main parts:

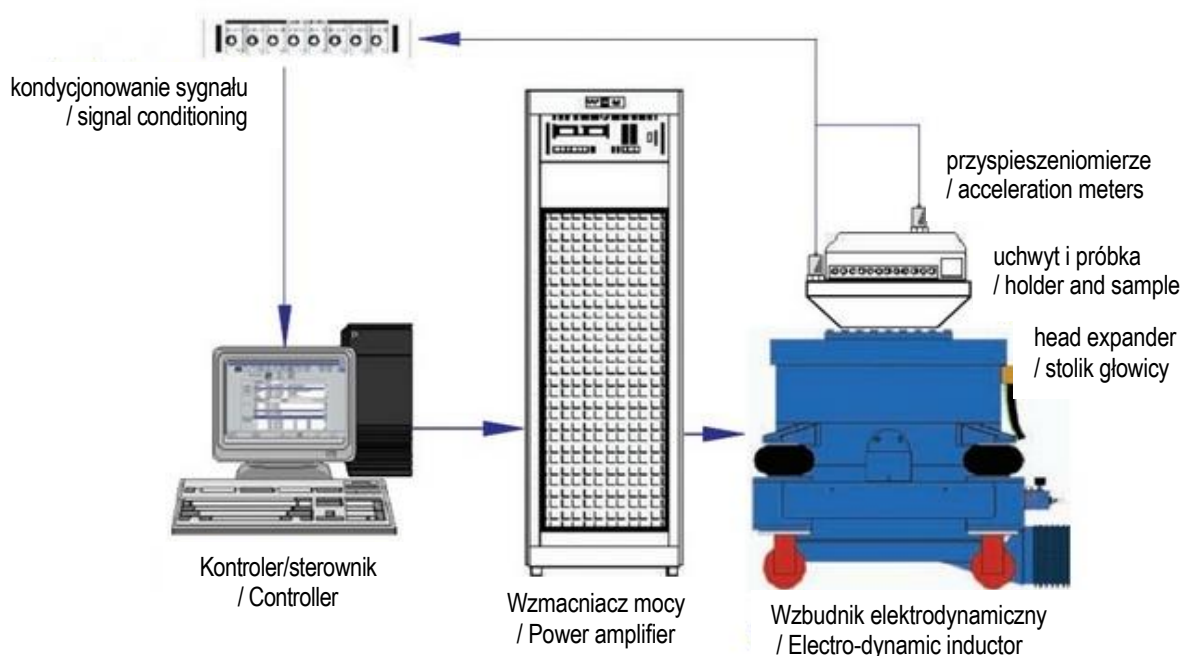
- 1) Inductor of vibrations,
 - For vertical, horizontal or two direction vibrations (with slipping table),
 - For vibrations in changing climatic conditions (with climatic chamber).
- 2) Electronic power amplifier,
- 3) Measurement-control system consisting of:
 - Meters of acceleration with cabling,
 - Charge amplifier,
 - Control system for data acquisition and analysis.

There are also compact systems consisting of two parts where the power amplifier is embedded into the control unit [5]. Diagram of a standard system configuration for vibration tests is presented in Fig. 1.

A core component of the system is the inductor generating vibrations or shocks in reaction to amplified signal created in a controller. The principle of inductor operation is based on generation of a high density magnetic flux within a circular air gap where a head consisting of the table and driving coil is suspended. Additionally inside the inductor the inductive coils connected to a direct current source are fixed to generate the permanent magnetic field flux. The alternating current flowing through the driving coil generates the electro-dynamic forces making the table move upwards and downwards. The movement of the table depends on its mass, the mass of fixed load and the rigidity of table suspension.

szenia stolika. Wzbudniki elektrodynamiczne mogą być chłodzone powietrzem lub wodą, co uzależnione jest od temperatur, jakie mogą wytworzyć prądy płynące w cewce napędowej i od wydajności chłodzenia.

Electro-dynamic inductors may be cooled by air or water depending on temperatures generated by the currents flowing in the driving coil and the cooling system efficiency.



Rys. 1. Schemat standardowej konfiguracji systemu do badań wibracyjnych

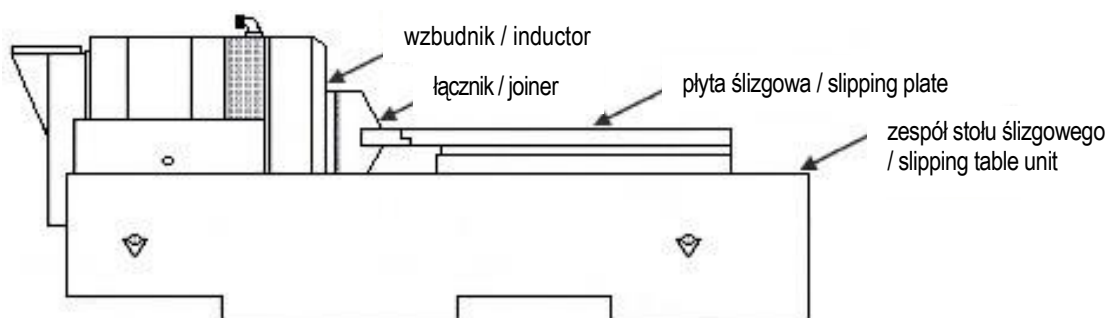
Fig. 1. Schematic diagram of a system configuration for vibration tests

W przypadku wzbudników umożliwiających prowadzenie testów w obu pozycjach, zmiana położenia z pionowej na poziomą polega na obrocie wzbudnika i połączeniu go płytą stołu ślizgowego za pomocą łącznika wykonanego ze stopu magnezu. Położenie wzbudnika, pozwalające na wibrowanie próbek w pozycji poziomej przedstawiono na rysunku 2.

Konsola sterowania służy do programowania i przeprowadzania testów wibracyjnych, koordynowania pracy czujników drgań – przyspieszeniomierzy oraz do zapewnienia bezpiecznej eksploatacji całego systemu. Kontroler otrzymuje sygnał odpowiedzi ze wzbudnika za pomocą przyspieszeniomierzy, które wykrywają ruch stołu (drgania głowicy wzbudnika) nawiązując sygnał sprzężenia zwrotnego, informujący o przebiegu zaprogramowanego testu.

Inductors with possibilities for testing in two positions require be rotating and connecting with the slipping table plate by a joiner made from a magnesium alloy to change from vertical to horizontal position. Position of the inductor to vibrate samples in horizontal position is shown in Fig. 2.

The control unit is used to program and perform vibration tests, and to coordinate the operation of vibration sensors – acceleration meters and to provide a safe use of the system. The controller receives the response signal from the inductor by acceleration meters which detect the movement of the table (the vibrations of inductor's head) providing a feedback signal that informs about the run of programmed test.



Rys. 2. Wzbudnik drgań w połączeniu z zespołem stołu ślizgowego

Fig. 2. Inductor of vibrations connected to the slipping table unit

Sygnal generowany przez kontroler może przybierać kształt wielu zróżnicowanych przebiegów, z których najważniejszymi są:

- przebiegi harmoniczne - sinusoidalne,
- przebiegi stochastyczne - losowe,
- przebiegi udarowe,
- przebiegi harmoniczne na stochastycznych,
- przebiegi stochastyczne na stochastycznych.

Wzmacniacz mocy jest przeznaczony do dostarczania niezbędnych poziomów mocy, które powstają w wyniku wzmocnienia sygnału niskiej częstotliwości. Odbywa się to za pośrednictwem modulacji szerokości impulsu (PWM), prowadzącej do uzyskania częstotliwości przełączania, która następnie jest odprowadzana przez kilka stadiów filtrowania. Wejście wzmacniacza mocy jest podłączone do kontrolera, wyjście do cewek napędu wzbudnika. Urządzenie jest skonstruowane z czterech podstawowych podzespołów w skład, których wchodzi: zasilanie, główny kontroler, moduł mocy i końcowy filtr wyjściowy, zapewniające potrzebną moc do inicjacji przepływu prądu przemiennego przez cewkę napędu, w celu wygenerowania szacowanej siły.

Działanie kondycjonera sygnału polega na pobieraniu wejściowego sygnału napięciowego, lub częstotliwościowego, przekształceniu w proporcjonalny sygnał oraz przekazaniu w żądanym analogowym formacie wyjściowym. Ponadto kondycjoner umożliwia wzmocnienie słabego sygnału, przeznaczonego do przesłania długim przewodem i izolowanie właściwego sygnału od sygnałów pozostałych urządzeń wchodzących w skład systemu. Rzadziej kondycjoner stosowany jest do tłumienia zbyt silnego sygnału urządzenia, w celu zredukowania jego poziomu dla następnego etapu procesu.

The controller may generate various shapes of signals and following ones are the most important:

- Sinusoidal signals,
- Random stochastic signals,
- Shock signals,
- Sinusoidal on stochastic signals,
- Stochastic on stochastic signals.

Power amplifier provides a required level of power as the result of amplification of low frequency signal. It is performed through the pulse width modulation (PWM) in order to get the switching frequency which is later subjected to a few stages filtering process. Power amplifier input is connected to the controller and the output to the coils of inductor drive. The system consists of four main subunits such as power supply, main controller, power module and final filter which provide the required power for initiating the flow of alternate current through the driving coil in order to generate the estimated force.

Operation of the signal conditioner is based on reception of an input voltage, or frequency, signal to convert it into proportional signal and to send it out in a required analogue format. Moreover the conditioner can be used to amplify a weak signal that has to be sent by a long wire and to separate the proper signal from other instruments being a part of the system. In some rare cases the conditioner may be also used to reduce too strong signal to the level required by the next stage of processing.

The acceleration meter is a sensor

Akcelerometr (przyspieszeniometer) jest czujnikiem, którego sygnał wyjściowy jest proporcjonalny do przyspieszenia, jakiemu został poddany poprzez zamocowanie do obiektu badanego. Zasada jego działania polega na wykorzystaniu kryształów o właściwościach piezoelektrycznych (kryształy naturalne z kwarcu lub sztuczne z ceramiki), które powodują powstawanie ładunku elektrycznego w wyniku obciążenia mechanicznego.

W związku z tym piezoelektryczne ładunkowe przetworniki przyspieszenia drgań cechują się bezawaryjnością i trwałością parametrów w czasie, co umożliwia wiarygodne pomiary nawet w warunkach skrajnych temperatur. Stosowane są przyspieszeniometry różniące się masą, czułością, zakresem pomiarowym oraz pasmem liniowego przenoszenia (rys. 3).

that provides the signal proportional to acceleration it is subjected to by being fixed to a tested object. The principle of its operation is based on the use of piezoelectric crystals (natural quartz or synthetic ceramic crystals) generating electric charges under mechanical loads.

For this reason the piezoelectric charge converters of acceleration provide a long term and reliable operation and measurements even at extreme temperatures.

There are various types of acceleration meters considering the design, mass, sensitivity and band of linear transmission and some of them are presented in Fig. 3.



Rys. 3. Przyspieszeniometry stosowane do symulacji drgań

Rys. 3. Przyspieszeniometry stosowane do symulacji drgań

Istnieje kilka sposobów montowania akcelerometru, spośród których mocowanie na wkręt jest rozwiązaniem optymalnym, jednak możliwym do zastosowania tylko na gładkiej i płaskiej powierzchni. Maksymalną sztywność otrzymuje się smarując powierzchnię pomiarową cienką warstwą smaru, co pozwala na osiągnięcie częstotliwości rezonansowej wynoszącej ok. 32 kHz, która nie odbiega od tej otrzymanej na stanowisku kalibracyjnym. Inną metodą jest przyklejenie czujnika za pomocą wosku pszczołowego, jednakże ze względu na stopniowe topnienie wosku, maksymalna temperatura pracy wynosi 40°C. Przyspieszeniometer można zamocować również za pomocą kleju, magnesu, lub przez przyłożenie ręcznej sondy.

Głowicowe płyty zwiększające powierzchnię roboczą są wykonane z lekkiego stopu magnezu, w celu zapewnienia wysokiego współczynnika wytrzymałości względem masy. zasadniczą zaletą ekspanderów jest zwiększenie powierzchni montażowej, umożliwiającej prowadzenie badań wielu przedmiotów jednocześnie, co redukuje całkowity czas pracy. Ponadto

There are a few ways for fixing the acceleration meter and even if the use of a bolt connection is the best solution it may be only used for a flat and smooth surface. The maximal stiffness is achieved by applying a thin layer of grease what secures the resonance frequency of ca. 32 kHz that is close to that one obtained on the calibrating set-up. Another method uses the bee wax for sticking the sensor but the maximal temperature is limited to 40°C because of wax melting. The acceleration meter may be also fixed by the glue, magnet or by applying a handheld probe.

Head expanders are made from a light magnesium alloy to provide a high coefficient between the strength and weight. The essential advantage of the expander lies in an increased surface of fixing and in testing a lot of objects simultaneously to save the time. Moreover the magnesium alloy used for design of expanders provides more effective absorption of vibrations what facilitates the designing of holders for fixing

stop magnezu, z którego wykonuje się ekspandy jest materiałem zapewniającym skuteczniejsze tłumienie drgań, co ułatwia projektowanie uchwytów do mocowania próbek.

Dobrze zaprojektowany uchwyt umożliwi szybką reakcję dynamiczną na zmianę parametrów, co ułatwia kontrolowanie systemu, jak również zapewnia odpowiednie przepływy ponad zakresem częstotliwości testu. Pomimo tego, każdemu testowi towarzyszą węzły, karby i rezonanse pojawiające się przy zastosowaniu nawet najbardziej solidnych uchwytów. Węzły pojawiają się wówczas, gdy poziom wibracji sięga zera przy konkretnej częstotliwości, karby, jeśli sygnał jest dużo mniejszy niż ten widziany w pozostałych punktach systemu, zaś rezonans kiedy sygnał jest wielki w odniesieniu do innych punktów. Jeśli przyspieszeniometer kontrolny zostanie zamocowany na węźle, lub na karbie, sterownik będzie dotąd napędzał system wzbudnika, aż utrzyma poziom odniesienia. Stąd też ułożenie przyspieszeniometry oraz strategia kontroli są bardzo ważne w trakcie obsługi systemu wibracji. Występowanie niekorzystnych zjawisk podczas testu można zredukować zachowując poniższe wytyczne, dotyczące wyboru uchwytu i sposobu jego zamocowania:

- 1) unikać stosowania cienkich płyt, które mogą zachowywać się jak amortyzatory, zamiast nich używać solidnych uchwytów o mniejszej powierzchni,
- 2) używać magnezu, który jest materiałem lżejszym od aluminium, co pozwala na użycie grubszej, a zarazem sztywniejszej płyty,
- 3) mocować uchwyt możliwie największą liczbą śrub, rozmieszczonych blisko siebie,
- 4) używać jednoczęściowych uchwytów, lub złożonych z jak najmniejszej liczby złączy,
- 5) projektować uchwyty tak, aby dobrana waga nie stanowiła maksymalnego ciężaru dopuszczalnego przez wydajność systemu [6].

2. Wytyczne normy obronnej NO-06-A107:2005 jako kryterium oceny odporności amunicji na narażenia mechaniczne

Norma obronna NO-06-A107:2005 [7] zawiera szereg rodzajów badań odporności na narażenia mechaniczne, jednakże z punktu widzenia symulacji drgań najistotniejszymi są:

tested samples.

A well designed holder provides a rapid dynamical reaction to the change of parameters what facilitates the control of the system and also secures suitable transmissions beyond test frequency band. In spite of using the holders of the highest stiffness each test faces the noughts, beatings and resonances. The noughts appear when the level of vibration reaches zero for a specific frequency, and the beatings appear when the signal is significantly lower than in other places of the system and the resonance corresponds to a situation when the signal is greater than in other points. If a control acceleration meter is fixed in a spot of nought or beating then the controller boosts the inductor system until it keeps the reference level. For this reason the locations of acceleration meters and strategy of control are very important at using the vibration system. In order to reduce the adverse effects during the test caused by selection of the holder and way of its fixing the testing personnel has to:

- 1) Avoid the use of too thin plates, as they may behave as shock absorbers, instead of stiff holders with lower surface.
- 2) Use the magnesium which is lighter than aluminium what enables the use of a thicker and more rigid plate.
- 3) Fix the holder by using the greatest possible number of bolts placed close to each other.
- 4) Use holders of monolithic structure or with possible low number of joints.
- 5) Design the holders in a way preventing the weight to approach the maximal value permitted by the efficiency of the system [6].

2. Guidelines of Defence Standard NO-06-A107:2005 as a Criterion Evaluating Resistance of Ammunition to Mechanical Threats

Defence standard NO-06-A107:2005 [7] includes a lot of resistance tests against mechanical threats but following ones are important for simulation of vibrations:

- badanie odporności na drgania sinusoidalne,
- badanie odporności na drgania losowe,
- badanie odporności na udary mechaniczne.

Wiele spośród drgań występujących w rzeczywistości można w przybliżeniu traktować, jako drgania harmoniczne (sinusoidalne). Tak samo jest w przypadku drgań dowolnego rodzaju, bardziej i mniej złożonych, które przedstawiane są w postaci sumy drgań sinusoidalnych o różnych częstotliwościach oraz amplitudach. Badanie odporności na drgania sinusoidalne wymaga zastosowania uchwytu w pełni oddającego warunki magazynów wozów bojowych, w których badana amunicja będzie przewożona. Przed badaniem próbka bez opakowania etatowego jest pojedynczo mocowana do ruchomych części wzbudnika za pośrednictwem uchwytu. Dla grupy urządzeń, w skład której wchodzi amunicja, w teście przyjmowane są jedne z najwyższych wartości narażeń (tab. 1).

- Resistance to sinusoidal vibrations,
- Resistance against random vibrations,
- Resistance against mechanical shocks.

A lot of real vibrations may be treated as approximate sinusoidal vibrations. The same happens for more or less sophisticated vibrations of any type which may be represented by a sum of sinusoidal vibrations of different amplitudes and frequencies. In order to test the resistance against sinusoidal vibrations a holder that fully represents the conditions the ammunition is transported in a combat vehicle magazine must be used. Before testing, the sample without transport packing is individually fixed to movable parts of the inductor by using the holder. For the group of equipment such as ammunition the values of test threats are reckoned to the most demanding. These values are presented in table 1.

Tabela 1. Wymagane wartości narażeń podczas badań odporności na drgania sinusoidalne
 Table 1. Required values of threats at testing the resistance against sinusoidal vibrations

Grupy urządzeń i grupy wykonania / Groups of equipment and workmanship	Zakres częstotliwości / frequency band	Częstotliwość przejścia / frequency of transition	Amplituda przemieszczenia / amplitude of displacement	Amplituda przyspieszenia / amplitude of acceleration
	Hz	Hz	mm	m/s ²
T.1 – T.4	10 – 2000	32	2,5	100

Czas oddziaływania wibracji sinusoidalnych w każdym podzakresie częstotliwości powinien być wystarczający dla sprawdzenia parametrów, podanych w programie badań i warunkach technicznych dla danego rodzaju badań, lecz nie krótszy niż 2 min.

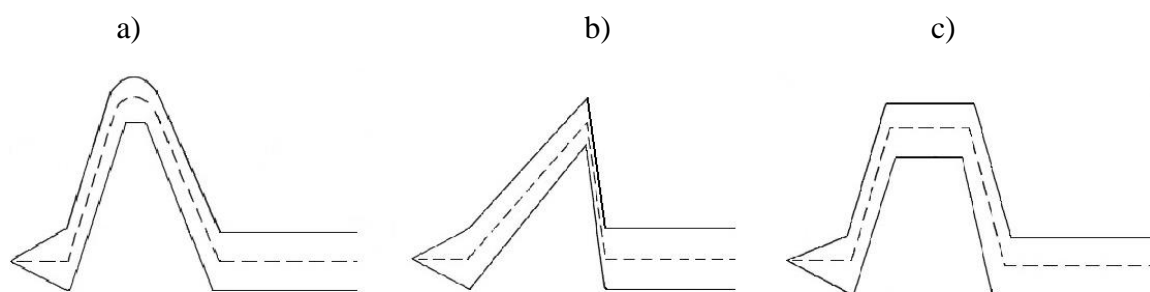
Podstawowym badaniem odporności na drgania losowe jest sprawdzenie wytrzymałości i odporności amunicji na transport. Uchwyt do tego typu testu musi być zaprojektowany tak, aby zapewniać stabilne zamocowanie próbki, umieszczonej w opakowaniu etatowym w postaci skrzynki lub pojemnika. Istnieje kilka wariantów testów transportowych. Kryterium podziału jest rodzaj przebytej drogi, która odpowiada transportowi po nawierzchni: twardej i równej, brukowej, a także gruntowej.

The time of action of sinusoidal vibrations on each frequency sub-band has to be sufficient for checking the parameters given in the Test Program and Technical Requirements for a specific type of tests but not shorter than 2 min.

The main test of resistance against random vibrations is the checking of durability and resistance of ammunition at transport conditions. The holder used for this type of test must be designed in a way that secures a stable fixing of the sample in transport packing in the form of box or container. A few options of transport tests exist. The classification criterion is based on the type of covered road corresponding to air, hard, cobbled or ground roads transport.

Badanie odporności na udary mechaniczne przeprowadza się na amunicji umieszczonej w opakowaniu etatowym, bądź bezpośrednio zamocowanej w uchwycie. Charakter testu zależy głównie od kształtu impulsu udaru, który dzieli się na półsinusoidalny, trójkątny (piłokształtny) i trapezowy. Podczas testu próbki poddawane są działaniu, co najmniej 20 uderów w każdym kierunku, jeśli w programie badań i warunkach technicznych nie podano większej ich liczby. Czas trwania impulsu udaru dobierany jest indywidualnie dla danej kategorii próbki, przy czym norma zawiera dwa rodzaje czasów: dopuszczalny i zalecany. Poszczególne kształty impulsów udaru zostały przedstawione na rys. 4.

Resistance against mechanical shocks is tested for the ammunition within the transport packing or fixed directly into the holder. The character of the test depends mainly on a shape of shocking pulse which may be in half-sinusoid, triangular (saw teeth) and trapezoidal form. Samples are tested to the action of at least 20 shocks in each direction provided that in the Test Program and Technical Requirements the greater number is not given. Duration time of a shock pulse is matched individually for each category of samples whereas the standard includes two types of times: permitted and recommended. Particular types of shocking pulses are presented in Fig. 4.



Rys. 4. Kształty impulsów udaru: a) półsinusoidalny, b) trójkątny, c) trapezowy

Fig. 4. Shapes of shock pulses: a) half-sinusoidal, b) triangular, c) trapezoidal

Podsumowując: głównym celem przeprowadzania laboratoryjnych badań odporności na różnego rodzaju drgania jest sprawdzenie, czy badana amunicja jest odporna na niszczące działanie wibracji oraz, czy spełnia przewidziane funkcje po zakończonych testach. Głównym kryterium oceny jest prawidłowe funkcjonowanie naboju załadowanego, wyjście pocisku z lufy i trafienie w cel. Parametry balistyczne mierzone podczas badania strzelaniem są wynikami fakultatywnymi.

3. Zestawienie wyników przeprowadzonych badań

Wyniki badań zostały oparte o testy naboju 120 mm z pociskami podkalibrowymi, z których każdy poddano narażeniom sinusoidalnym w trzech osiach. W celu identyfikacji kierunku testu i położenia amunicji względem ruchomych części wzbudnika, badana próbka została schematycznie przedstawiona w układzie

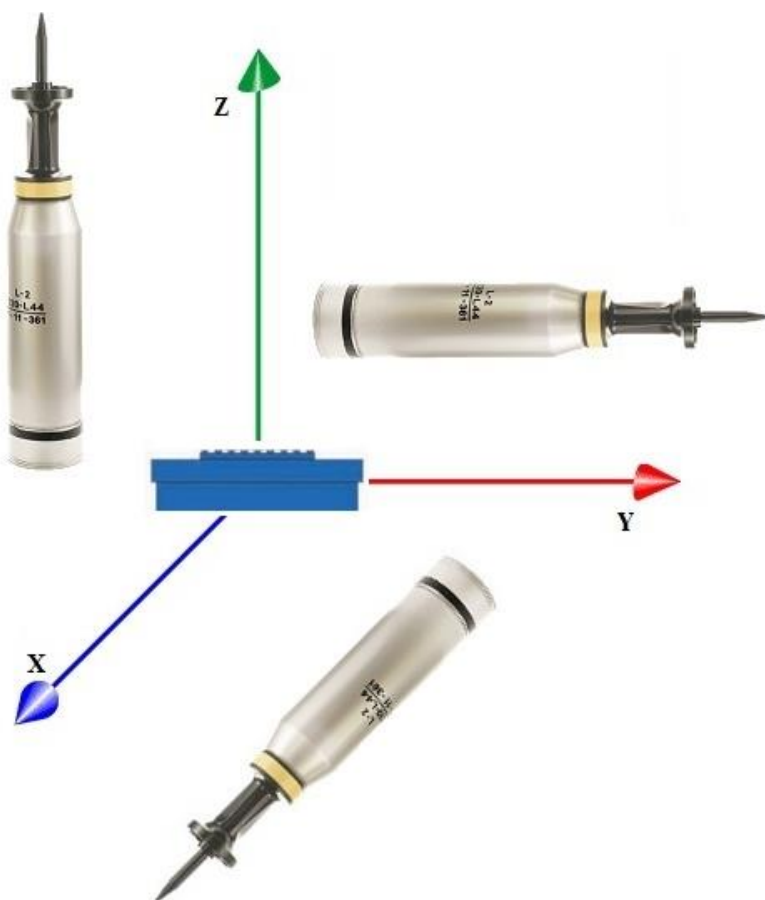
Summing up, the main purpose of laboratory tests for resistance against different types of vibrations is to check if the tested ammunition can resist the devastating action of vibrations, and operate according to predicted functions after completing the tests. The main criterion of evaluation is a proper action of ammunition at loading, leaving the barrel and hitting a target. Ballistic characteristics measured by firing tests are the facultative results.

3. Presentation of Test Results

The results of tests concern 120 mm sabot shells which were subjected to sinusoidal stimulations in three axes. Tested sample is schematically presented in the below figure by using Descartes' coordinate system to identify the direction of test and location of the ammunition in ref-

kartezjańskim na poniższym rysunku.

erence to movable parts if the inductor.



Rys. 5. Możliwe kierunki prowadzenia testu odporności na drgania sinusoidalne

Fig.5. Possible directions of testing the resistance against sinusoidal vibrations

Każdy nabój jest obiektem osiowo symetrycznym ze względu na swój cylindryczny kształt, w związku z tym rzeczywistymi kierunkami narażeń są wibracje wzdłużne i poprzeczne.

Badania były prowadzone w temperaturach: -40°C , $+15^{\circ}\text{C}$ i $+50^{\circ}\text{C}$, przy czym poszczególne naboje termostatowano przed testem w komorze klimatycznej w powyższych temperaturach przez co najmniej 48 godzin. Do testów użyto dwa akcelerometry, z których jeden był czujnikiem kontrolnym. Testy wibracyjne przeprowadzono na 120 mm nabojach z pociskami podkalibrowymi, których ułożenie względem wzbudnika i przebiegi zostały przedstawione odpowiednio w postaci fotografii stanowiska do badań (fot. 1 - 4) i wykresów będących zależnością przyspieszenia od napięcia w danym zakresie częstotliwości (rys. 6 - 9).

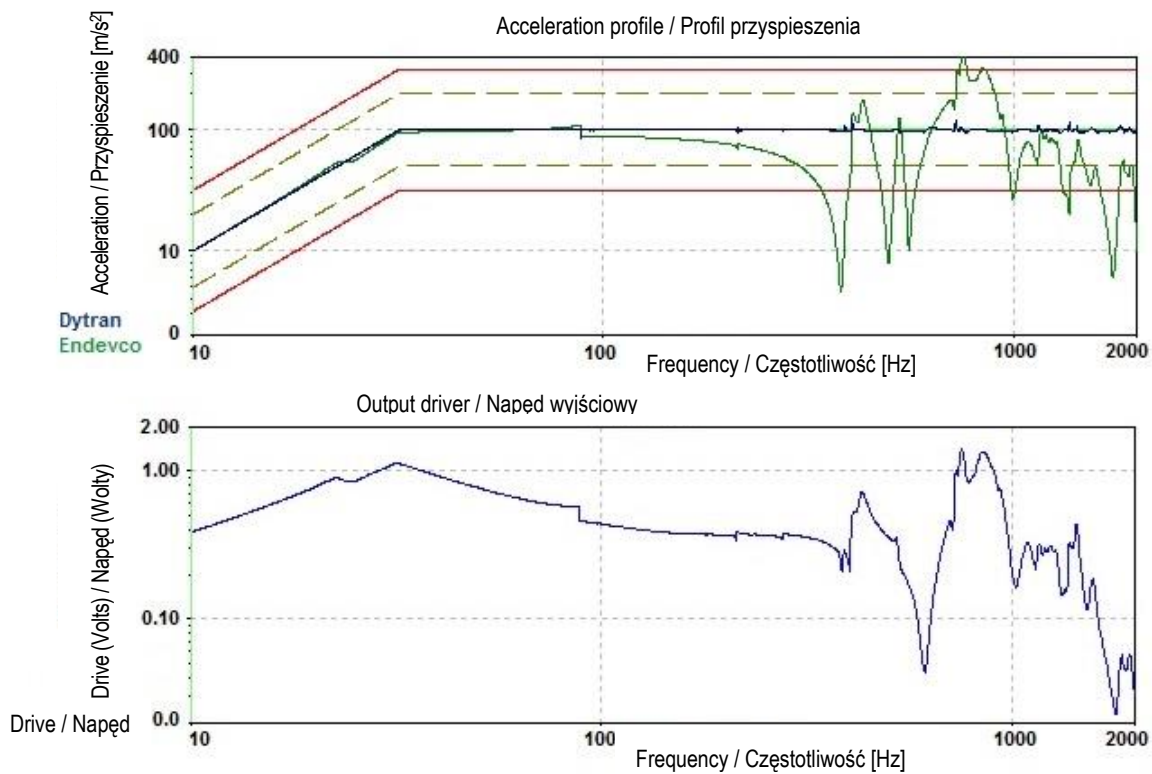
Nevertheless as each cartridge is an object with axial symmetry, because of its cylindrical shape, then the real directions of threats are in alongside and crosswise directions.

Tests were carried out at temperatures of -40°C , $+15^{\circ}\text{C}$ and $+50^{\circ}\text{C}$ and particular cartridges had been conditioned before the test in these temperatures in a climatic chamber for at least 48 hours. Tests were carried out for 120 mm sabot shell cartridges by using two acceleration meters and their positions in reference to the inductor and received signals are presented respectively on photos 1 – 4 for the set-ups and figures 6 – 9 for diagrams describing the dependence of acceleration on the voltage on a specific frequency band.



Fot. 1. Test wibracyjny wykonany w osi Z, (wzdłużnie do ruchomych części wzбудnika) w temperaturze -40°C przy zastosowaniu stołu ślizgowego i komory klimatycznej

Photo. 1. Vibrating test made along Z axis (along with the movable parts of inductor) at temperature -40°C by using the slipping table and climatic chamber



Rys. 6. Wykres zależności przyspieszenia od napięcia odpowiadający testowi na fot. 1
Fig. 6. Dependence of acceleration on the voltage corresponding to the test presented in photo 1

Testy wibracyjne naboji w osi Y, w poszczególnych temperaturach przeprowadzono na stole ślizgowym (poprzecznie do ruchomych części wzbudnika) bez, lub z zastosowaniem komory klimatycznej.

Po zakończonych badaniach laboratoryjnych, naboje poddane narażeniom wibracyjnym zostały przeznaczone do badań poligonowych w celu sprawdzenia ich wytrzymałości i funkcjonowania. Amunicja do badań strzelaniem została dodatkowo poddana wcześniejszemu termostатовaniu w temperaturze $+50^{\circ}\text{C}$, przez co najmniej 48 godzin.

Podczas badania wszystkie naboje wysztrzelone ze 120 mm stanowiska balistycznego funkcjonowały prawidłowo, co oznacza, że:

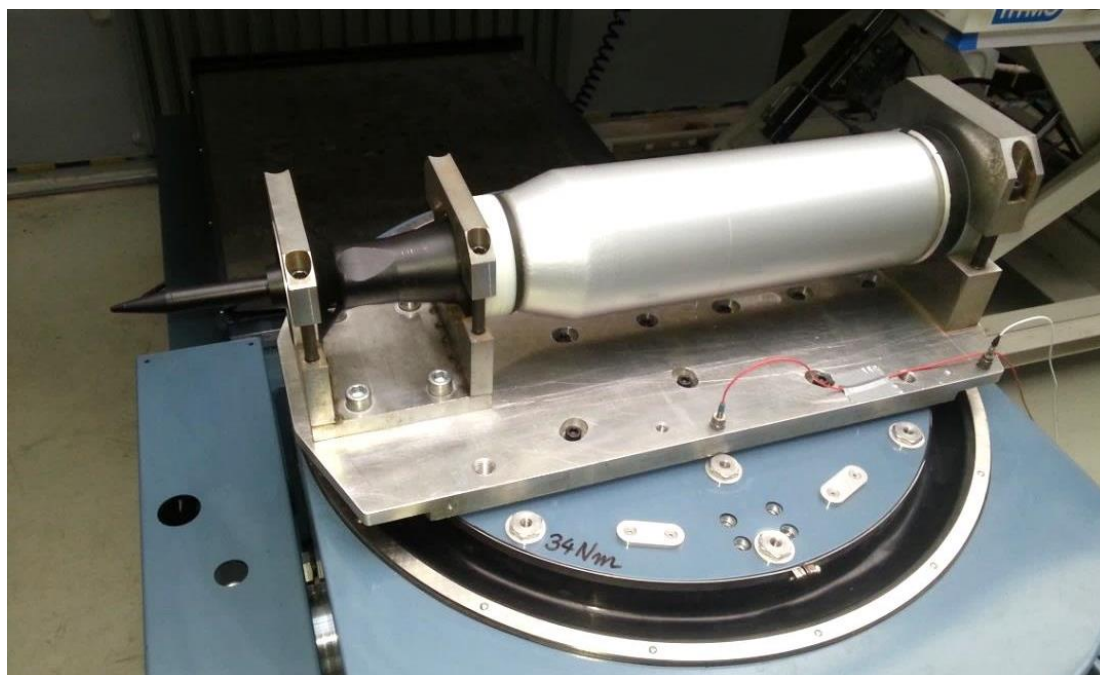
- nie napotkano na utrudnienia podczas ładowania amunicji,
- segmenty sabotu symetrycznie oddzieliły się od pocisku,
- ślad przejścia pocisku został prawidłowo utrwalony na tarczy oddalonej o 1000 m od wylotu lufy.

Vibration tests of cartridges were carried out along Y axis on the slipping table (crosswise to movable parts of the inductor) with or without climatic chamber.

After completing the laboratory tests the cartridges subjected to vibrating threats were designated for testing on the proving ground to check their ballistic characteristics, strength and functionality. The ammunition designated for firing tests has been additionally kept in thermostat at temperature $+50^{\circ}\text{C}$ for at least 48 hours.

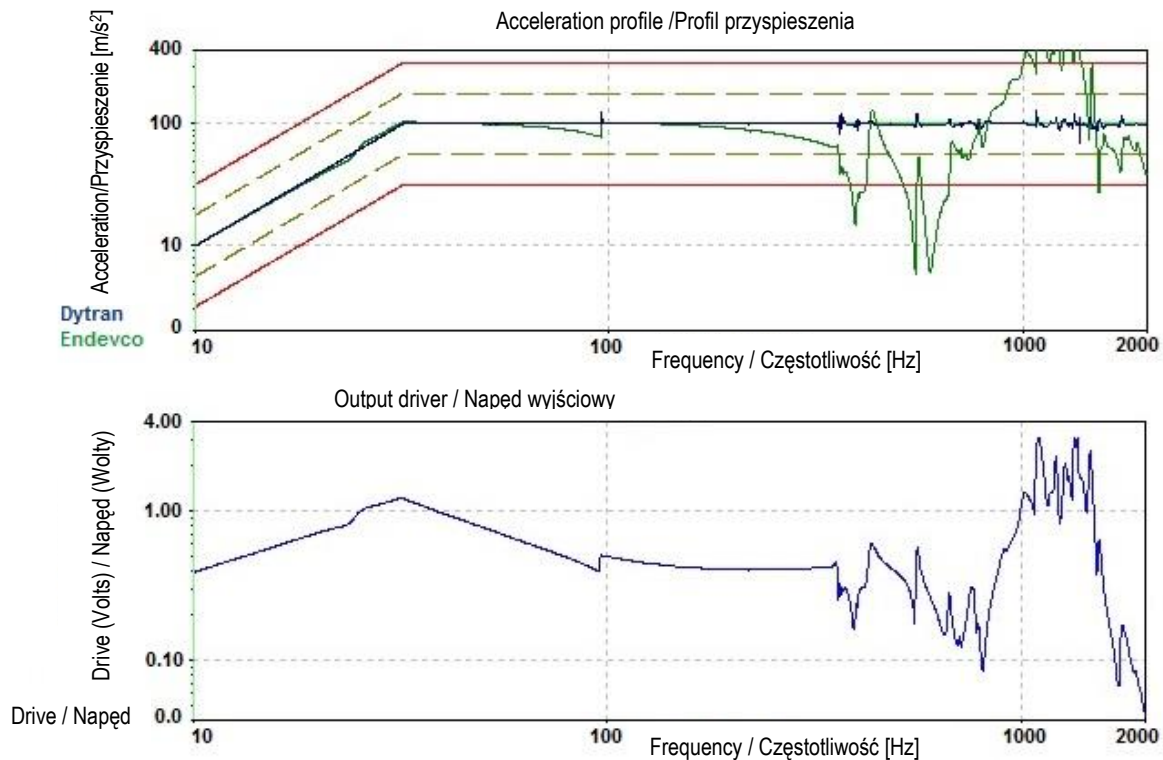
During the test all cartridges fired with 120 mm ballistic set-up operated properly what means that:

- The loading of ammunition was made properly,
- Segments of sabot have separated from the projectile symmetrically,
- Trace left after passing the projectile through the target placed 1000 m from the muzzle was properly recorded.



Fot. 2. Test wibracyjny przeprowadzony w osi X, (poprzecznie do ruchomych części wzbudnika) na naboju przednio termostатовanym w temperaturze $+15^{\circ}\text{C}$

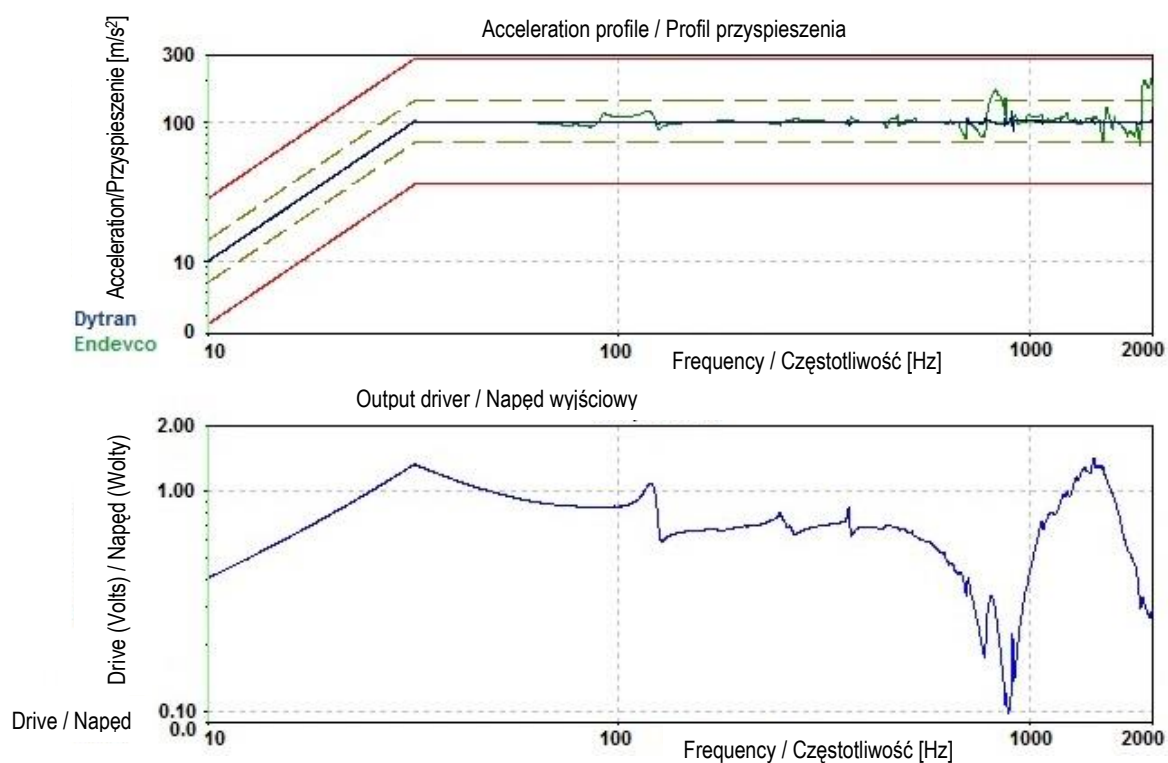
Photo. 2. Vibration test carried out along X axis (crosswise to movable parts of the inductor) for a cartridge that was previously conditioned at temperature $+15^{\circ}\text{C}$



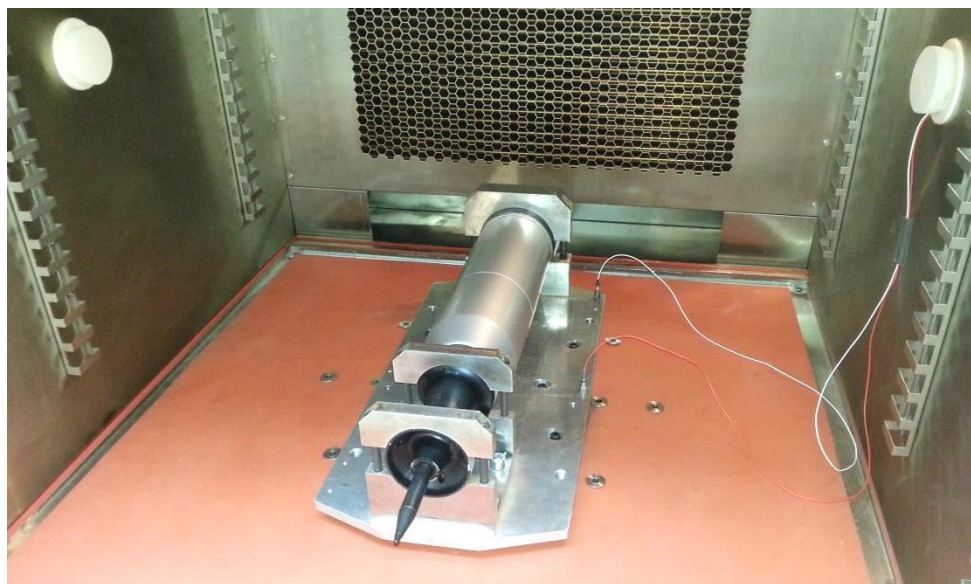
Rys. 7. Wykres zależności przyspieszenia od napięcia odpowiadający testowi na fot. 2
Fig. 7. Dependence of acceleration on the voltage corresponding to the test presented in photo 2.



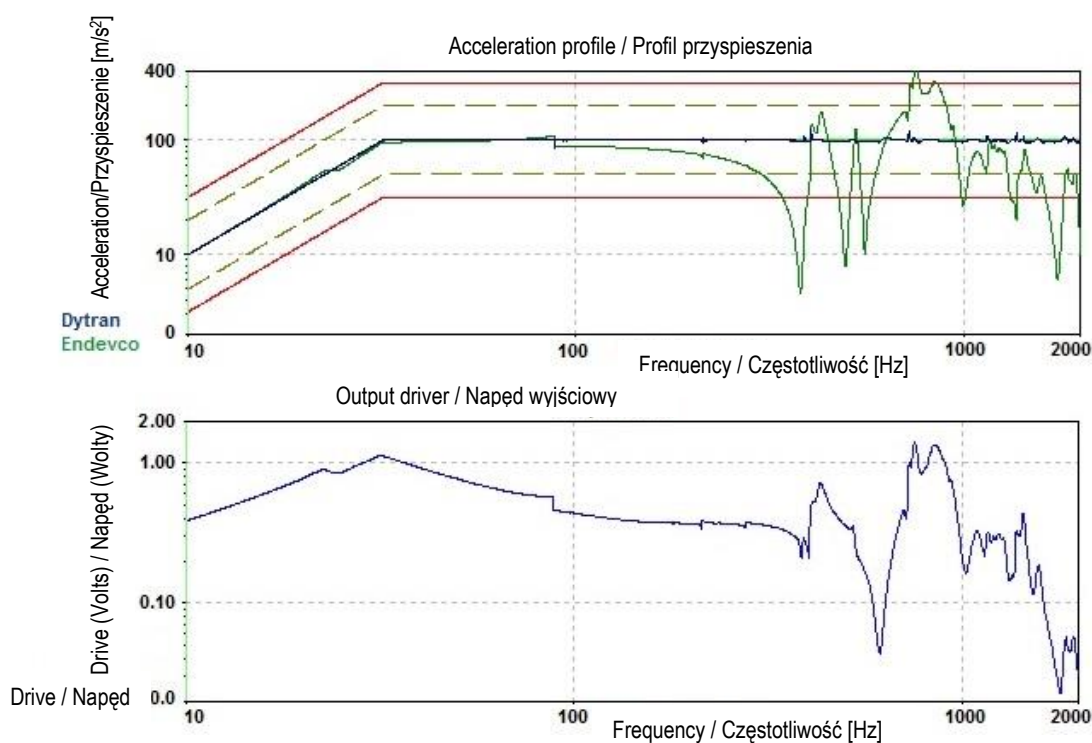
Fot. 3. Test wibracyjny wykonany w osi Z, (wzdłużnie do ruchomych części wzbudnika) na naboju uprzednio termostatowanym w temperaturze +15°C przy zastosowaniu stołu ślizgowego
Photo. 3. Vibrating test made by using the slipping table along Z axis (along with the movable parts of inductor) for the cartridge that was previously conditioned at temperature +15°C



Rys. 8. Wykres zależności przyspieszenia od napięcia odpowiadający testowi na fot. 3
Fig. 8. Dependence of acceleration on the voltage corresponding to the test presented in photo 3



Fot. 4. Test wibracyjny przeprowadzony w osi X, (poprzecznie do ruchomych części wzbudnika) w temperaturze +50°C przy zastosowaniu komory klimatycznej
Photo. 4. Vibration test carried out along X axis (crosswise to movable parts of the inductor) at temperature +50°C by using the climatic chamber



Rys. 9. Wykres zależności przyspieszenia od napięcia odpowiadający testowi na fot. 4

Fig. 9. Dependence of acceleration on the voltage corresponding to the test presented in photo 4

Parametry balistyczne 120 mm nabozi z pociskami podkalibrowymi uzyskane podczas badań strzelaniem, po wcześniejszych testach odporności na drgania sinusoidalne w temperaturze -40°C , nieznacznie odbiegały od parametrów uzyskanych po testach w temperaturach $+15^{\circ}\text{C}$ i $+50^{\circ}\text{C}$.

Parametry balistyczne nabozi bez narażeń mechanicznych, termostatowanych w temperaturze $+50^{\circ}\text{C}$ zawierają się w przedziale: $1720 \div 1726$ m/s prędkości początkowej pocisku oraz $516 \div 533$ MPa, jeśli chodzi o ciśnienie maksymalne gazów prochowych w przewodzie lufy.

4. Wnioski

Z uwagi na złożoność zagadnienia symulacji drgań oraz ilości czynników mających wpływ na prawidłowy przebieg badań laboratoryjnych, nasuwające się wnioski trudno sklasyfikować według spójnego kryterium

W związku z tym wnioski dotyczące całości prac, mających na celu przygotowanie i prowadzenie testów zostały zebrane w jedną całość i przedstawione poniżej:

Ballistic parameters of 120 mm kinetic ammunition received at firing tests for the cartridges which were earlier tested to resistance against sinusoidal vibrations at temperature -40°C show a slight deviation from parameters received for cartridges tested at temperatures $+15^{\circ}\text{C}$ and $+50^{\circ}\text{C}$.

The ballistic parameters of ammunition without mechanical threats and after thermostatic conditioning at $+50^{\circ}\text{C}$ are within $1720\text{-}1726$ m/s for muzzle velocity and $516\text{-}533$ MPa for barrel powder gases maximal pressure.

4. Conclusions

It is difficult to categorise the conclusions according with a clear criterion as the issues of simulation of vibrations are of a complex character and depend on many various factors.

For this reason the conclusions concerning the preparation and conducting the tests were collected into one part and presented below:

- 1) Symulacja drgań na wzbudniku umożliwia łatwiejsze zorganizowanie badania i znaczne obniżenie kosztu przypadającego na pojedyncze badanie w porównaniu z przeprowadzeniem rzeczywistego transportu w wozie bojowym.
 - 2) Proces symulacji drgań jest aproksymacją rzeczywistych warunków z tego względu, że podczas testów wibracyjnych badana próbka jest sztywno zamocowana w uchwycie i nie odbiera dodatkowych bodźców zewnętrznych, stąd w celu zapewnienia jak najlepszej odtwarzalności stanu faktycznego przewidziany czas narażeń jest odpowiednio dostosowany.
 - 3) Możliwość symulacji w kierunkach pionowym i poziomym ułatwia prowadzenie testów amunicji w trzech osiach i pozwala na zastosowanie tego samego uchwytu, łączącego badaną próbkę z ruchomym elementem wzbudnika, co redukuje koszt wykonania niezbędnego oprzyrządowania.
 - 4) Podczas prowadzonych testów, w zakresie wyższych częstotliwości, czujnik kontrolny napędzał intensywniej system wzbudnika po to, aby czujnik odniesienia nie opuścił granic testu i nie doszło do przerwania badania, stąd zróżnicowany przebieg jednej z krzywych na wykresach zależności przyspieszenia od napięcia.
 - 5) Testy prowadzone na stole ślizgowym przebiegały łagodniej niż na głowicy z tego względu, że uchwyt zamocowany na stole był podparty na całej powierzchni, natomiast w przypadku mocowania na głowicy końce uchwytu wystawały poza jej obrys, w wyniku tego test był bardziej narażony na powstawanie rezonansu.
 - 6) Poziome testy są łatwiejsze do uzyskania, jeśli badana próbka i czujnik kontrolny znajdują się na końcu płyty ślizgowej, z dala od ruchomych części wzbudnika.
 - 7) W celu uniknięcia błędów pomiarowych należy wybierać czujniki o maksymalnym zakresie częstotliwości i stosować odpowiednie filtry dolnoprzepustowe.
 - 8) Prawidłowe ustawienie akcelerometru występuje wówczas, gdy oś jego czułości pokrywa się z kierunkiem mierzonych drgań, a przewody przebiegają prosto, zwłaszcza w pobliżu czujnika i są zamocowane taśmą, co
- 1) Simulation of vibrations by the inductor facilitates and reduces the costs of an individual test comparing to real transportation of ammunition in a combat vehicle.
 - 2) Simulation of vibrations is an approximation of real conditions as during these tests the sample is rigidly fixed in the holder and is separated from additional external stimulations and for this reason the best reconstruction of real situation requires that the time of threats has to be suitably matched.
 - 3) The possibility for simulation in vertical and horizontal directions facilitates the tests of ammunition in three axes and makes possible the same holder can be used to connect the sample and the inductor movable part what reduces the cost of hardware.
 - 4) During the tests on higher frequencies the control sensor had been driving the inductor system more intensively to prevent the reference sensor leaves the limits of testing and the test is interrupted and this is a reason for a different shape of a plot illustrating the dependence of acceleration on voltage.
 - 5) Tests carried out on the slipping table were a bit smoother than on the head as the holder fixed on the table was supported by the whole surface and in the case of fixing on the head the ends of the holder stuck out over its contour and the test was more threatened by resonance effects.
 - 6) It is much easier to get the levels of tests if a sample and the control sensor are placed at the end of slipping plate away from the inductor movable parts.
 - 7) In order to minimise measurement errors it is recommended to use sensors operating on possibly wide frequency band and down-band passing filters.
 - 8) The meter of acceleration is set properly if the axis of its sensitivity

- zapobiega zakłóceniom tryboelektrycznym.
- 9) Nieodpowiednie mocowanie przyspieszoniomierza wpływa na wyniki pomiarów drgań i prowadzi do obniżenia częstotliwości rezonansowej, co z kolei równoznaczne jest ze zmniejszeniem użytecznego zakresu częstotliwości czujnika.
 - 10) Uchwyty przeznaczone do badań wibracyjnych powinny być wykonane z grubej, sztywnej i zarazem lekkiej płyty stąd, aby sprostać tym wymaganiom należy użyć odpowiedniego materiału do konstrukcji uchwytu jakim jest stop magnezu.
 - 11) Do zamocowania próbki w uchwycie i uchwytu na wzbudniku należy stosować możliwie największą ilość śrub mocujących, rozmieszczonych blisko siebie i dokręconych odpowiednią siłą, aby zapobiec występowaniu rezonansu na zespole zaciskowym.
 - 12) W celu zwiększenia sztywności układu mocującego należy stosować jednoczęściowe uchwyty, lub te złożone z najmniejszej liczby złączy, których płaskie powierzchnie stykowe mogą być wspomagane warstwą smaru silikonowego, wpływającego na lepszą przyczepność, szczególnie przy wysokich częstotliwościach.
 - 13) Nawisające uchwyty nie mogą przekroczyć 50 mm ponad średnicę głowicy wzbudnika, ponieważ będą kolidować z jego powierzchnią obudową stąd w razie przekroczenia dopuszczalnej granicy nawisania uchwyt należy podciąć minimalnie o 13 mm lub w przypadku braku możliwości zmodyfikowania istniejącego uchwytu zastosować podkładki dystansowe o grubości równej wartości podcięcia.
 - 14) Poluzowane otwory mocujące lub znajdujące się w nich resztki materiałów mogą wpływać na zniekształcenie fali przyspieszenia, stąd przed każdym zamocowaniem uchwytu należy sprawdzić stan powierzchni przeznaczonej do montażu.
 - 15) Po każdym przeprowadzonym teście należy sprawdzić stan dokręcenia śrub mocujących za pomocą klucza dynamometrycznego o momencie dokręcania równym 34 Nm, w celu zapewnienia bezpiecznego przebiegu kolejnego testu.

W przyszłości planowane są badania po-

is in line with the direction of measured vibrations and the wires go straight especially in the vicinity of the sensor and are fixed by a tape to eliminate tribo-electric interferences.

- 9) A wrongly fixed meter of acceleration influences the results of vibration measurements and decreases the resonance frequency what results in a decreased effective frequency band of the sensor.
- 10) The holders designated for vibration tests have to be made with a thick, rigid and light plate what prefers the use of magnesium alloys.
- 11) Possibly great number of bolts, placed close to each other and tightened by a right force, has to be used for fixing the sample into the holder and the holder on the inductor in order to eliminate the resonance effect of the fixing system.
- 12) The rigidity of the fixing system may be increased by using the holders consisting of one part or possibly limited number of connectors and by applying silicone grease at their flat contact surfaces to increase the keeping force at higher frequencies.
- 13) The holders have not to stretch out more than 50 mm beyond the diameter of the inductor as they may collide with the top cover of the inductor and if it is not a case then the fragments of the holder must be undercut by minimum 13 mm or distance spacers with thickness of the undercut applied.
- 14) The fixing holes which are loosened or filled with the remains of stuff may influence into the distortion of accelerating wave and for this reason the conditions of contact surfaces of the holder have to be checked before its assembling.
- 15) After each trial the tightening of fixing bolts has to be checked by a torque wrench set at 34 Nm to secure the safe run for the next test.

The comparison tests of weapon sys-

równawcze amunicji, jej elementów i sprzętu uzbrojenia w warunkach laboratoryjnych (na wzbudniku drgań) oraz w warunkach rzeczywistych (transport w wozie bojowym) w celu pełnej weryfikacji ich stanu technicznego po przebytych narażeniach. Wykonanie takiego sprawdzenia w pełni umożliwi stosowanie i ocenę badań wykonanych za pośrednictwem dotychczas używanej normy NO-06-A107.

tems and ammunition and its components are planned to be carried out in the future at laboratory conditions (on the inductor of vibrations) and in real conditions (transport within a combat vehicle) in order to do a complete verification of their technical status after applied threats. This verification may be helpful for efficient use and evaluation of tests performed according with currently bidding standard NO-06-A107.

Literatura / Literature

- [1] Den Hartog J. P.: *Mechanical Vibrations (Third Edition)*, McGraw - Hill Book Company, New York and London 1947.
- [2] Giergiel J.: *Thumienie drgań mechanicznych*, PWN, Warszawa 1990.
- [3] Harris C. M., Piersol A. G.: *Harri's Shock and Vibration Handbook (Fifth Edition)*, McGraw – Hill Book Company, New York 2002.
- [4] Osiński Z.: *Teoria drgań*, PWN, Warszawa 1980.
- [5] Starczewski Z.: *Drgania mechaniczne*, Warszawa 2010.
- [6] Żółtowski B., Łukasiewicz M.: *Diagnostyka drganiowa maszyn*, Wydawnictwo Naukowe ITE – PIB, Bydgoszcz 2012.
- [7] Norma Obronna NO-06-A107: *Uzbrojenie i sprzęt wojskowy; Ogólne wymagania techniczne, metody kontroli i badań; Metody badań odporności całkowitej na działanie czynników środowiskowych*, MON, Warszawa 2005.

