

Studia Bezpieczeństwa Narodowego
Zeszyt 36 (2025)
ISSN 2028-2677, s. 81-98
DOI: 10.37055/sbn/203008

Instytut Bezpieczeństwa i Obronności
Wydział Bezpieczeństwa, Logistyki i Zarządzania
Wojskowa Akademia Techniczna
w Warszawie

National Security Studies
Volume 36 (2025)
ISSN 2028-2677, pp. 81-98
DOI: 10.37055/sbn/203008

Institute of Security and Defense
Faculty of Security, Logistics and Management
Military University of Technology
in Warsaw

BEZPIECZEŃSTWO PRODUKCJI UZBROJENIA I SPRZĘTU WOJSKOWEGO - POTWIERDZENIA METROLOGICZNE CZUJNIKÓW ZEGAROWYCH

SAFETY OF ARMAMENT AND MILITARY EQUIPMENT PRODUCTION - METROLOGICAL CONFIRMATION OF DIAL GAUGES

Monika BERNATEK

MESKO S.A.

ORCID: 0000-0002-1849-9554

Abstrakt: Uzbrojenie i sprzęt wojskowy należą do grupy wyrobów niezwykle wymagających w kontekście bezpieczeństwa produkcji, użytkowania, oddziaływania na środowisko, niezawodności i skuteczności działania. Celem artykułu jest analiza wpływu potwierdzeń metrologicznych czujników zegarowych na bezpieczeństwo produkcji amunicji i rakiet. Odniesiono się do dwóch elementów różnych wyrobów: łuski do 5,56x45 mm z rdzeniem stalowym oraz kadłuba silnika do Przenośny Przeciwlotniczy Zestaw Rakietowy Piorun. Główny problem badawczy sformułowano następująco: czy status potwierdzenia metrologicznego przyrządu pomiarowego/sprawdzianu ma wpływ na bezpieczeństwo produkowanego wyrobu oraz jaki wpływ na produkcję amunicji i rakiet ma czujnik zegarowy/sprawdzian czujnikowy? W pracy przyjęto następującą hipotezę badawczą: pomiar czujnikiem/sprawdzianem czujnikowym elementów wyrobu ma wpływ na bezpieczeństwo oraz jakość uzbrojenia i sprzętu wojskowego. Mając na uwadze metody badawcze, przeprowadzono badanie czujnika zegarowego na zautomatyzowanym stanowisku ICM 100 IP - służącym do kontroli między innymi czujników, a uzyskane wyniki porównano z wymaganiami Polskich norm oraz instrukcją wewnętrzną. Przeprowadzono analizy: norm obronnych, dostępnych dokumentów oraz wymagań jakościowych i środowiskowych dotyczących uzbrojenia i sprzętu wojskowego. Przedstawiono także zasady nadzoru metrologicznego według PN-EN ISO 10012:2004 - System zarządzania pomiarami i wyposażeniem pomiarowym. W wyniku przeprowadzonego badania autor zauważa, że zastosowanie czujników zegarowych spełniających wymagania metrologiczne eliminuje błędy związane z grubością ścianki łuski i grubością dna osadzenia spłonki oraz gwarantuje sprawdzenie poprawności bicia na kadłubie silnika rakiety. Ma istotny wpływ na poprawne wykonanie pomiarów elementów wyrobu oraz uzyskanie właściwych parametrów na każdym etapie produkcji i kontroli elementów - zgodnie z dokumentacją techniczną, oddziałując tym samym na bezpieczeństwo wyrobu. Zarówno łuska do amunicji 5,56x45 [mm] jak i kadłub silnika PPZR Piorun są znaczącym ogniwem stabilności

całego wyrobu, od których zależy jego sprawność i niezawodność. Zdaniem autora, wszelkie badania i analizy dotyczące przeplatających się obszarów jakości i bezpieczeństwa wyrobów są niezbędne w celu: usprawnienia procesów produkcji, zmniejszenia kosztów późniejszych reklamacji, a nade wszystko zapewnienia bezpieczeństwa użytkownikom sprzętu.

Abstract: Armaments and military equipment belong to a group of products that are extremely demanding in terms of: production safety, use, environmental impact, reliability, and performance. The purpose of the article is to analyze the impact of metrological confirmations of dial sensors on the safety of production and use of ammunition and rockets. Reference was made to two components of various products: the shell for 5.56 x45 mm steel-core and the engine hull for the Lightning Portable Anti-Aircraft Rocket Set. The main research problem was contained in the questions: does the metrological confirmation status of a measuring instrument/checker have an impact on the safety of the manufactured product and what impact does a dial gauge/sensor gauge have on the production of ammunition and rockets? The research hypothesis was defined as follows: measuring with a dial gauge/sensor gauge the components of a product has an impact on the safety and quality of armaments and military equipment. With the research methods in mind, a dial sensor test was carried out on an automatic ICM 100 IP bench used for inspecting sensors, among other things, and the results obtained were compared with the requirements of the Polish standards and the internal instruction. Analyses were carried out of: defense standards, available documents, and quality and environmental requirements for weapons and military equipment. The principles of metrological supervision according to PN-EN ISO 10012:2004 - Measurement and measurement equipment management system are also presented. As a result of the study, the author notes that the use of dial sensors that meet metrological requirements eliminates errors related to: the thickness of the shell wall, the thickness of the bottom of the primer seating, and guarantees the verification of the correctness of runout on the hull of the rocket motor. It has a significant impact on the correct measurement of product elements and obtaining the correct parameters at each stage of production and inspection of elements - in accordance with the technical documentation, thus affecting the safety of the product. Both the shell for 5.56x45 [mm] ammunition and the hull of the PPZR Piorun engine are a significant link in the stability of the entire product, on which its efficiency and reliability depend. In the author's opinion, all research and analysis of the intertwined areas of product quality and safety are necessary in order to: improving production processes, reducing the cost of subsequent complaints, and, above all, ensuring the safety of equipment users.

Słowa kluczowe: sprzęt wojskowy, wyrób, czujnik zegarowy, potwierdzenie metrologiczne, produkcja.

Keywords: military equipment, product, dial indicator, metrological confirmation, production.

Wprowadzenie

Produkcja uzbrojenia i sprzętu wojskowego w Rzeczypospolitej Polskiej wiąże się ze spełnieniem szeregu wymagań prawnych, normatywnych oraz wynikających z konieczności stosowania norm obronnych, specyfikacji technicznych i innych dokumentów tj. umowy z Agencją Uzbrojenia. Wyroby dostarczane na rzecz obronności i bezpieczeństwa dla Sił Zbrojnych, Policji oraz innych służb, także na potrzeby rządów innych państw, muszą być bezpieczne w użytkowaniu, bezpieczne dla środowiska, być skuteczne w działaniu, niezawodne oraz spełniać wymogi jakościowe. W przypadku zastosowania AQAP 2110:2016, każdy wyrób podlega nadzorowi od projektowania poprzez prace rozwojowe i produkcję. Zgodnie z pkt. 5.3.2 w celu zapewnienia jakości dot. nadzoru metrologicznego należy stosować normę ISO 10012:2003 - System zarządzania pomiarami i wyposażeniem pomiarowym. Wyposażenie pomiarowe używane na każdym etapie produkcji, kontroli

i odbiorów musi być wzorcowane i /lub sprawdzane przez kompetentne jednostki, w określonych przedziałach czasowych z zachowaniem spójności pomiarowej tj. powiązaniem z wzorcem jednostki miary. Dostawca musi poinformować GQAR - Rządowego Przedstawiciela Zapewnienia Jakości i/lub zamawiającego jeżeli przyrząd pomiarowy nie spełni warunków wzorcowania, o wpływie defektu na wyniki poprzednich pomiarów w odniesieniu do dostarczonych już wyrobów lub wyników weryfikacji, walidacji i akceptacji. Może żądać ponownego wykonania pomiarów z zastosowaniem urządzeń spełniających warunki wzorcowania.

Specyfikacje techniczne określają wyposażenie pomiarowe przeznaczone do potwierdzania zgodności właściwych parametrów każdego elementu wyrobu. Jednym z wielu rodzajów wyposażenia pomiarowego są czujniki zegarowe oraz sprawdziany czujnikowe, które służą sprawdzeniu parametrów takich jak: grubość dna łuski, grubość dna tulejki po różnych ciągach, grubości i różnic grubości ścianek, bicia, wysokości poszczególnych elementów różnych wyrobów. Sam czujnik zegarowy lub zastosowany w sprawdzianie musi posiadać status zgodny, przed użyciem do pomiaru elementów produkcyjnych. Jak również sprawdzian czujnikowy podlega nadzorowi metrologicznemu zwłaszcza trzpień, którego parametry są zależne od rodzaju sprawdzanej grubości i rodzaju wyrobu.

Celem artykułu jest analiza wpływu potwierdzeń metrologicznych czujników zegarowych na bezpieczeństwo produkcji amunicji i rakiet. Przedstawiono dwa różne elementy wyrobów: łuskę do wyrobu 5,56x45 [mm] z rdzeniem stalowym oraz kadłub silnika do Przenośny Przeciwlotniczy Zestaw Rakietowy Piorun. Na podstawie dostępnych dokumentów, autor udzieli odpowiedzi na pytania dotyczące problemu badawczego:

- czy status potwierdzenia metrologicznego przyrządu pomiarowego/sprawdzianu ma wpływ na bezpieczeństwo produkowanego wyrobu?
- jaki wpływ na produkcję amunicji i rakiet ma czujnik zegarowy/sprawdzian czujnikowy?

Hipotezę badawczą określono w sposób następujący: pomiar czujnikiem/sprawdzianem czujnikowym elementów wyrobu ma wpływ na bezpieczeństwo oraz jakość uzbrojenia i sprzętu wojskowego.

W artykule przeprowadzono badanie czujnika zegarowego na zautomatyzowanym stanowisku ICM 100 IP, a uzyskane wyniki porównano z wymaganiami Polskich norm oraz instrukcją wewnętrzną. Przeprowadzono analizy: norm obronnych, dostępnych dokumentów oraz wymagań jakościowych i środowiskowych dotyczących uzbrojenia i sprzętu wojskowego.

Ocena aktualnego stanu wiedzy

Analizując ogólnodostępne publikacje naukowe dotyczące omawianego tematu, zauważono pomijanie roli czujników zegarowych w produkcji uzbrojenia i sprzętu wojskowego. W ogóle temat produkcji specjalnych w powiązaniu z metrologią cieszy się niewielkim zainteresowaniem badaczy, być może ze względu na ochronę informacji w przedsiębiorstwach. Zazwyczaj poruszane kwestie dotyczą metrologii ogólnej na bazie normy 10012:2004, procedur kontroli jakości i systemów zarządzania, bądź są to badania szczegółowe związane z konkretnym wyrobem, badania dotyczą innego zakresu i pod innym kątem niż przedstawione w artykule. Mogą one jedynie obrazować ważność i złożoność niektórych procesów wpływających na uzbrojenie i sprzęt wojskowy.

Przedsiębiorstwa produkujące wyroby na rzecz obronności i bezpieczeństwa przede wszystkim są zobligowane do stosowania przepisów ustaw, rozporządzeń, norm obronnych, dokumentacji technicznych, decyzji Ministra Obrony Narodowej, AQAP, normy z rodziny ISO itd. Stąd poniżej przytoczono wybrane fragmenty, które zdaniem autora są istotne z punktu widzenia wymagań stawianych wyrobom specjalnym.

Sprzęt wojskowy według decyzji 126/MON/2019 Ministra Obrony Narodowej z dn. 16 sierpnia 2019 roku w sprawie zapewnienia jakości sprzętu wojskowego i usług, których przedmiotem jest sprzęt wojskowy – jest to wyposażenie specjalne zaprojektowane lub zaakceptowane do potrzeb wojskowych i przeznaczone do użycia jako broń, amunicja lub materiały wojenne.

Zgodnie z Normami Obronnymi aparatury, przyrządy, urządzenia i wyposażenie o przeznaczeniu wojskowym nazywane są urządzeniami. O przynależności do rodzaju uzbrojenia, jak i rodzaju sprzętu wojskowego decyduje klasa urządzenia. Klasy urządzenia dzieli się na grupy, w zależności od warunków eksploatacji. Grupy charakteryzuje się zbiorem czynników środowiskowych (mechanicznych, klimatycznych, radiacyjnych itd.), w czasie i/lub, po oddziaływaniu których urządzenie powinno być zdatne, a jego podstawowe parametry i wskaźniki powinny utrzymywać się w granicach określonych w założeniach technicznych lub warunkach technicznych np. urządzenie (wyposażenie amunicji artyleryjskiej) należy do klasy T grupy od T.I do T.7, urządzenia naziemne należą do klasy N grupy od N.I do N.14. (NO-06-A101:2005).

Uzbrojenie i sprzęt wojskowy poddawany jest wielu badaniom przed dopuszczeniem do użytkowania. Wynika to z różnych dokumentów m.in. z *Ustawy z dnia 17 listopada 2006 roku o systemie zgodności wyrobów przeznaczonych na potrzeby obronności i bezpieczeństwa państwa* OiB. Producent deklaruje na własną odpowiedzialność, że wyrób jest zgodny ze specyfikacją techniczną. Badania wykonywane są w trzech trybach, w zależności do którego trybu uzbrojenie i sprzęt wojskowy

został zakwalifikowany. Jest możliwe także wykonanie dodatkowych badań na koszt użytkownika.

Zgodnie z Podręcznikiem Normalizacji Obronnej PDNO-08-A111:2009 podczas przeprowadzanych badań środowiskowych stosowane są procedury i poziomy ostrości bardziej rygorystyczne - poziomy maksymalne, aby zapewnić poziom pewności działania, wiarygodności i bezpieczeństwa eksploatacji badanego uzbrojenia i sprzętu wojskowego. Wymagania środowiskowe określają zdarzenia, które mogą oddziaływać na funkcjonowanie uzbrojenia i sprzętu wojskowego oraz jakich należy oczekiwać w czasie całego cyklu jego eksploatacji np. Niekierowane pociski raketowe: erozja, udar spowodowany wystrzeleniem, oddzieleniem i uderzeniem w cel, wibracje powodowane pracą silnika oraz turbulencjami hydrodynamicznymi i aerodynamicznymi, przyspieszenia w czasie odpalania, nagrzewania aerodynamiczne, szum akustyczny, uderzenie pioruna itp.

Według zakresu akredytacji OiB UiSW ITWL nr 2/MON/2022 z dnia 3 sierpnia 2022 roku (załącznik do decyzji 39/WCNJiK Ministra Obrony Narodowej) grupa wyrobów 3 – amunicja do broni strzeleckiej (w tym gładko-lufowej), badane jest wiele charakterystyk wyrobu np. czas lotu na określoną odległość, hermetyczność, skupienie pocisków na tarczy, stabilizacja na torze lotu w wymaganej odległości, wytrzymałość amunicji na udary wielokrotne, zdolności penetracyjne pocisku (przebijalność). Sprawdzenie naboju podczas strzelania z broni strzeleckiej i artyleryjskiej – niezawodność działania, prawidłowość scalenia wytrzymałość zamocowania pocisku w łusce.

Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Rozwoju i Technologii z dnia 4 czerwca 2024 roku (Dz.U. 2024 poz. 839) w sprawie wykazu uzbrojenia, na obrót który jest wymagane zezwolenie – na przykład:

- LU3 to amunicja i zapalniki; obejmują m.in.: wyroby z metali lub tworzyw sztucznych, tj.: kowadełka spłonek, płaszcze pocisków, ogniwa naboje, pierścienie wiodące i metalowe elementy amunicji;
- LU4 to bomby, torpedy, rakiety, pociski kierowane, inne urządzenia i ładunki wybuchowe oraz związane z nimi wyposażenie i akcesoria oraz specjalnie zaprojektowane do nich elementy składowe.

Amunicja jest wyrobem, wobec którego stosowane są wysokie wymagania dotyczące jakości produkcji. Musi być bezpieczna w użytkowaniu, być w stałej gotowości do użycia oraz niezawodna i skuteczna w działaniu. Jej warunki eksploatacji wiążą się z oddziaływaniem na nią różnego rodzaju wymuszeń dynamicznych występujących podczas transportu oraz eksploatacji w różnych warunkach klimatycznych. Spełnienie tych wymagań powinien gwarantować system kontroli procesu produkcji producenta, MON oraz w okresie eksploatacji służby techniczne wojska (Krysiński, Nesterowicz, Zych, 2019 s. 99).

Pośrednio na obniżenie bezpieczeństwa amunicji wpływa zatarte znakowanie ponieważ uniemożliwia identyfikację i eliminowanie partii naboju, w których

stwierdzono niedopuszczalne usterki. Na obniżenie przydatności amunicji bojowej wpływają także niezgodności ujawniane podczas badań m.in.: obluźowanie pocisków w łusce, zbitcie kryz i wgniecenie łusek, które mogą uniemożliwić lub utrudnić załadowanie naboju do komory nabojoyej (Stępień, Borkowski 2010, s. 11).

Odpowiednio zaprojektowane procedury opisujące procesy kontrolne i pomiarowe, sprawnie zorganizowane i przeprowadzone operacje monitorowania procesów i produktów oraz skutecznie funkcjonujący nadzór nad wyposażeniem pomiarowym są podstawą do wykazania, że produkty są wykonywane zgodnie z wymaganiami narzuconymi i kontrolowanymi przez klienta (Grudowski, Kwintowski 2014, s. 91-98).

Odpowiedzialność za jakość sprzętu wojskowego budzi zainteresowanie wielu stron. Jest to zarówno wykonawca (dostawca wyrobów na potrzeby obronności), jak i zamawiający (gestor, klient) oraz użytkownik. Polityka NATO dotyczy całego okresu życia wyrobu od koncepcji powstania, poprzez projektowanie, produkcję, eksploatację i serwisowanie, aż do likwidacji włącznie. Kooperacja i koordynacja działań są ważnymi środkami osiągania korzyści w zakresie wspólnego systemu ochrony charakteryzującego się dużą skutecznością, funkcjonalnością i niezawodnością (Mechanik 2014 s. 651).

Podstawowy problem metrologiczny laboratoriów badawczych, oceniający system uzbrojenia, związany jest z ciągłym poszukiwaniem nowych rozwiązań, budowaniem unikatowych stanowisk badawczych, szukaniem aparatury o wyższych klasach dokładności niż oceniane wyposażenie wojskowych systemów uzbrojenia. Jest to w technologii militarnej bardzo trudne do wykonania wręcz w wielu przypadkach niemożliwe (Dorczyk, Wachowiak 2024, s. 5).

Współczesne operacje powietrzne wymagają wykorzystania zaawansowanych technologii i systemów, które zapewniają skuteczność i bezpieczeństwo bojowych statków powietrznych. Uwarunkowania techniczne obejmują szeroki zakres aspektów, od nowoczesnych systemów awioniki i uzbrojenia, przez systemy zarządzania misją, aż po systemy obronne i przeciwrakietowe (Ilczyszyn 2024, s. 137).

Obecnie przewaga rynkowa jest uzależniona od precyzji wykonania wyrobu, co ma bezpośredni wpływ na jego bezpieczeństwo i niezawodność. Błędy są kosztowne i niezależnie od utraty reputacji, dostawcy wadliwego produktu ponoszą straty wynikające z reklamacji. Systemowy nadzór metrologiczny korzystający z pionierskich rozwiązań powinien być uwzględniany w strategii każdej firmy zbrojeniowej (Bernatek, Magierski 2024 s. 48).

Metodyka badawcza

W przeprowadzonym badaniu wykonano analizę wyników pomiaru czujnika zegarowego z założonymi parametrami instrukcji wewnętrznej oraz analizę

dokumentacji pod względem wpływu działania czujnika na przedstawione w artykule elementy i wyroby. W tym celu, sprawdzian czujnikowy poddano potwierdzeniu metrologicznym. Czujnik zegarowy o zakresie pomiarowym 0-10 [mm] i działce elementarnej 0,01 [mm] umieszczono w maszynie do sprawdzania czujników Precimar ICM 100, która została wywzorcowana przez jednostkę zewnętrzną posiadającą akredytację Polskiego Centrum Akredytacji na zgodność z ISO 17025. Tym samym zachowując spójność pomiarową.

Rysunek 1. Czujnik zegarowy 0-10 [mm] podczas dokonywania potwierdzeń metrologicznych



Źródło: Archiwum autora – zdjęcie wykonane w MESKO S.A.

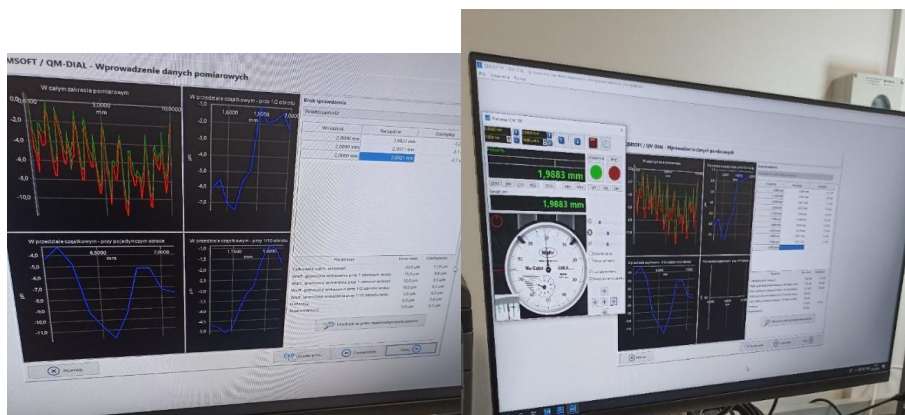
Badanie przeprowadzono w warunkach klimatyzowanych przy temperaturze 21°C. Punktem odniesienia do uzyskanych wyników były wartości wprowadzone do programu urządzenia na podstawie istniejącej wewnętrznej instrukcji sprawdzania czujników, zgodnie z Polskimi Normami. Dopuszczalne jest także powoływanie się na specyfikację techniczną producenta dla danego rodzaju czujnika.

Czujnik tarczowy mechaniczny jest to przyrząd pomiarowy, w którym osiowe przesunięcia trzpienia pomiarowego są przenoszone (i zwiększone) za pomocą

odpowiedniej przekładni mechanicznej na wskazówkę, obracającą się na tle okrągłej podziałki analogowej (PN-EN ISO 463:2007 s. 5). Zbadano następujące parametry:

- całkowitą odchyłkę wskazań,
- wartość graniczną przy 2 obrotach wskazań,
- wartość graniczną przy 1 obrocie wskazań,
- wartość graniczną przy ½ obrotu wskazań,
- wartość graniczną przy 1/10 obrotu wskazań,
- histerezę,
- powtarzalność.

Rysunek 2. Badanie czujnika na maszynie Pricimar ICM 100 IP



Źródło: Archiwum autora – zdjęcie wykonano w MESKO S.A.

Zastosowanie czujnika zegarowego jest prostym rozwiązaniem, stosowanym w strefie produkcyjnej do badań wyrobów, pozwalającym na jego szybkie zakwalifikowanie pod względem badanej cechy. Może być stosowany do różnych wyrobów i na różnych etapach produkcji, czy kontroli np. ww. został zastosowany do badania elementu wyrobu jakim jest łuska naboju 5,56x45 [mm].

Wyrób 5,56x45 [mm] - naboje karabinowe z pociskiem z rdzeniem stalowym przeznaczone są do zwalczania siły żywej i celów nieopancerzonych z:

- 5,56 mm karabinka szturmowego wz.96,
- 5,56 mm karabinka wz.96,
- innych wzorów broni dostosowanych do tej amunicji.

Wyrób obecnie jest w produkcji oraz na wyposażeniu Sił Zbrojnych RP.

Tabela 1. Charakterystyka techniczna wyrobu 5,56 x 45 mm

CHARAKTERYSTYKA TECHNICZNA	
rodzaj pocisku	rdzeń stalowy
spłonka	Berdan/Boxer
masa pocisku	$4 \pm 0,1$ g
masa ładunku prochowego	$\sim 1,66$ g (25,62 gr)
masa naboju	$11,5 \div 12,45$ g
średnia prędkość pocisku	$V_{25} = 915 \pm 12$ m/s

Źródło: MESKO S.A. [online]. Dostępne pod adresem: <https://mesko.com.pl> [dostęp: 15.01.2025].

Badany czujnik umieszczono w obudowie sprawdzianu i ustawiono zgodnie z rysunkiem technologicznym na żądane wartości. Istotnym elementem sprawdzianu jest trzpień, na który nasadzana jest badana łuska.

Rysunek 3. Sprawdzian czujnikowy podczas sprawdzania łuski do wyrobu 5,56 x45 [mm]

Źródło: Archiwum autora – zdjęcie wykonano w MESKO S.A.

Jest on odpowiednio wyprofilowany do kształtu wewnętrznego łuski, co ma olbrzymie znaczenie przy pomiarze grubości dna. Łuska musi mieć odpowiednią grubość wg z procesu technologicznego, by właściwie osadzić spłonkę. Spłonka nie może wypadać, ani też wystawać więcej niż jest to wymagane.

Zalecane jest kontrolowanie głębokości osadzenia spłonki za pomocą przyrządu z czujnikiem typu zegarowego. Przyrząd należy ustawić na powierzchni zewnętrznej dna łuski. Trzpień pomiarowy przyrządu wstawić w gniazdo spłonki i docisnąć

do oporu. Strzałka czujnika powinna się ustawić między kontrolnymi kreskami lub pokryć się z jedną z nich. Kontrolne kreski powinny odpowiadać głębokości maksymalnej i minimalnej osadzania spłonki w łusce (NO-13-A504-3:2019 s. 6).

Czujnik może także posłużyć do badania grubości łuski. Z informacji przedstawionych w tabeli 1 dotyczącej uzyskiwanych parametrów można zauważyć, że aby nabój osiągnął odpowiednią prędkość, masę ładunku prochowego itd. każdy element musi być zgodny z warunkami technicznymi. Wszelkie odstępstwa są niedopuszczalne, gdyż mogą niekorzystnie wpłynąć na cechy użytkowe i funkcjonalne. Nie jest możliwe by dopuszczać do produkcji łuskę przekraczającą parametry grubości „na plus” lub „na minus”, gdyż albo zostanie przekroczona całkowita masa pocisku lub zbyt mała masa ładunku prochowego, co może wpłynąć na uzyskiwaną prędkość.

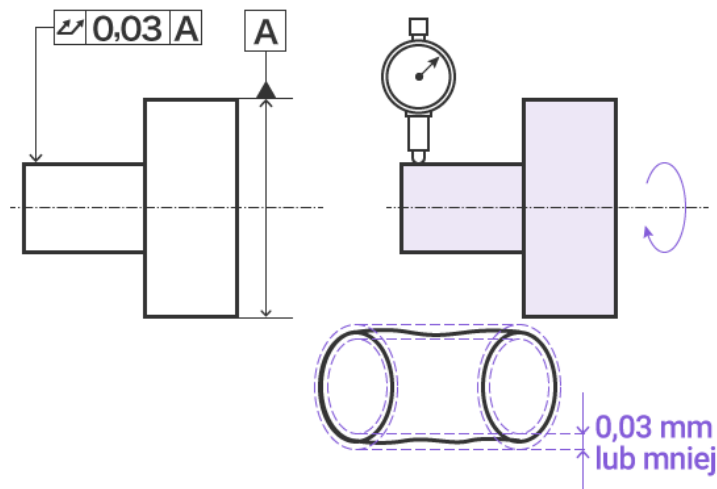
Innym przypadkiem zastosowania czujnika zegarowego jest wykorzystanie do badania bicia na kadłubie silnika rakiety. Czujnik zegarowy ze statywem jest dopuszczony zgodnie z dokumentacją technologiczną do wykonania badania.

Tabela 2. Charakterystyka techniczna wyrobu PPZR Piorun

Charakterystyka techniczna	
głowica bojowa	FRAG-HE
czujnik zbliżeniowy	tak
zakres wysokości	10 m ÷ 4000 m
zakres odległości	400 m ÷ 6500 m
średnia prędkość lotu	560 m/s
masa zestawu	19,5 kg

Źródło: MESKO S.A. [online]. Dostępne pod adresem: <https://mesko.com.pl> [dostęp: 15.01.2025]

Sprawdzanym parametrem z wykorzystaniem czujnika zegarowego może być grubość kadłuba lub bicie. Tolerancja bicia to tolerancja geometryczna określająca wahania bicia elementu obiektu, gdy obiekt (element) jest obracany na osi (wskazanej linii prostej). Do wskazania tolerancji bicia zawsze potrzebna jest baza. Bicie całkowite określa bicie całej powierzchni elementu podczas jego ruchu obrotowego. Bicie zmierzonej wartości całej powierzchni walca musi mieścić się w określonym zakresie, aby warunek bicia całkowitego był spełniony (keyence.eu).



Rysunek 4. Przykładowe wskazanie bicia promieniowego podczas ruchu obrotowego
Źródło: Keyence [online]. Dostępne pod adresem: <https://www.keyence.eu> [dostęp: 27.01.2025]

Zastosowanie czujnika zegarowego nie spełniającego wymagań metrologicznych, może prowadzić do potwierdzenia niezgodnego elementu wyrobu, który jest znaczącym ogniwem stabilności całego wyrobu. W przypadku tolerancji bicia przy uzyskiwanych prędkościach zgodnie z przedstawionymi danymi w tabeli dot. PPZR Piorun tj. 560 m/s może spowodować: brak stabilności na torze lotu, nietrafienie do celu, nieosiągnięcie wymaganego pułapu wysokości i odległości, może nawet zagrażać bezpieczeństwu innych użytkowników. Wyrób nie zostanie dopuszczony do dalszych etapów produkcji jeżeli jego parametry nie będą spełnione. Tym bardziej, że każdy element wyprodukowany jest sprawdzany przez kilka poziomów organizacyjnych i przy pomocy różnych czujników zegarowych przypisanych komórkom (nadzorowanych metrologiczne):

- pracowników produkcyjnych,
- pracowników kontroli jakości,
- Rejonowe Przedstawicielstwo Wojskowe.

Wyniki badań

W wyniku przeprowadzonego badania czujnika zegarowego stwierdzono, iż żadne

z wymaganych parametrów nie przekroczyły błędu dopuszczalnego. Czujnik może być użyty do sprawdzeń elementów wyrobów. Zgodnie z polskimi normami czujnik należy do I klasy dokładności. Występuje znaczny zapas w stosunku do błędu dopuszczalnego.

Tabela 3. Wyniki pomiaru czujnika zegarowego 0-10 [mm] i działce elementarnej 0,01 [mm]

PARAMETR	BŁĄD DO- PUSZCZALNY [μM]	ODCHYLENIE [μM]
Całkowita odchyłka wskazań	20,0	11,9
Wartość graniczna wskazań przy 2 obrotach wskazówki	15,0	9,6
Wartość graniczna wskazań przy 1 obrocie wskazówki	12,0	8,5
Wartość graniczna wskazań przy 1/2 obrotu wskazówki	10,0	6,5
Wartość graniczna wskazań przy 1/10 obrotu wskazówki	5,0	4,2
Histereza	6,0	2,4
Powtarzalność	3,0	0,1

Źródło: Opracowanie własne

Dopuszczalne błędy wskazań czujnika przy przesuwie trzpienia pomiarowego w kierunku wskazań zarówno wzrastających, jak i malejących, liczone jako różnice między największą i najmniejszą algebraiczną wartością błędów wskazań dla określonego kierunku przesuwu, nie powinny przekraczać wartości podanych w tablicy (PN-68/M-53260 s. 3).

Rysunek 5. Wykres zawierający porównanie wyników pomiarów z dopuszczalnymi błędami dla poszczególnych parametrów



Źródło: Opracowanie własne

Tabela 4. Dopuszczalne błędy wskazań i powtarzalności wskazań czujnika

klasa dokład- ności	dopuszczalne błędy				
	wskazań dla przedziału zakresu pomiaro- wego			dla całego zakresu po- miarowego	powtarzal- ność
	0,1 mm	0,5 mm	2 mm		
	µm				
I	5	10	15	20	
II	8	15	20	30	5
dopuszczalne błędy wskazań w przedziałach 0,1 oraz 0,5 i 2 mm dotyczą każdego punktu zakresu pomiarowego					

Źródło: Na podstawie PN-68/M-5326

Każdy mierzony parametr wyrobu jest istotny. Aby pomiar był wiarygodny stosowane do tego celu przyrządy pomiarowe muszą być regularnie wzorcowane/ sprawdzane, nadzorowane i monitorowane. Każda z pozoru błaha pomyłka lub zaniedbanie może rodzić poważne skutki. Produkcja uzbrojenia i sprzętu wojskowego wymaga zastosowania AQAP 2110:2016, gdzie nadzór nad procesami sprawuje Rejonowe Przedstawicielstwo Wojskowe delegowane do konkretnej umowy z ramienia Agencji Uzbrojenia. Bez potwierdzenia zgodności przez RPW żaden element nie może być dopuszczony do dalszej produkcji. Gdyby użyty czujnik zegarowy/ sprawdzian czujnikowy nie posiadał aktualnego potwierdzenia metrologicznego lub byłby niesprawny Rządowy Przedstawiciel Zapewnienia Jakości mógłby cofnąć wszystkie wyprodukowane elementy/ wyrób do ponownej weryfikacji.

Dyskusja

Dostępne źródła naukowe nie posiadają właściwych informacji, danych dotyczących wpływu potwierdzeń metrologicznych czujników zegarowych na bezpieczeństwo produkcji uzbrojenia i sprzętu wojskowego. Autor artykułu z zawodu i zainteresowania zajmuje się metrologią, stąd też prowadzi różnego rodzaju eksperymenty badawcze i obserwacje dotyczące wpływu różnych przyrządów pomiarowych/sprawdzianów na jakość oraz bezpieczeństwo wytwarzanych elementów. Jednym z celów powyższego działania jest usprawnienie procesów pomiarowych. Na podstawie wieloletniego doświadczenia oraz praktyki może stwierdzić, że czujniki zegarowe, które spełniają wymagania metrologiczne (jak egzemplarz poddany badaniu) nie przyczyniają się do powstawania braków. Jest to ważne dla przedsiębiorstwa, gdyż nie generuje to kosztów. Dodatkowo, potwierdzone wielokrotnymi badaniami wyrobu gotowego zarówno przez producenta, jak i zlecone certyfikowanym instytucjom, wyroby są bezpieczne dla użytkownika, środowiska zgodnie z założeniami. Producent uzbrojenia i sprzętu wojskowego jest zobligowany do stosowania w swoich procesach sprzętu pomiarowego wskazanego w dokumentacji technicznej, specyfikacji technicznej, normach obronnych. Do produkcji oraz kontroli każdego elementu przypisane są konkretne przyrządy uniwersalne oraz sprawdziany przewidziane do prawidłowego nadzoru i odbioru wyrobu lub jego części. Nad doбором przyrządów i sprawdzianów w procesach technologicznych czuwają technolodzy i konstruktorzy, którzy określają dokładność przyrządów pomiarowych oraz tolerancję dla kluczowych parametrów. Odbywa się to na bazie Norm Obronnych i wymagań klienta co do wykonywania badań np. środowiskowych, czy badań w zakresie obronności i bezpieczeństwa: wyboru trybu i zakresu badań. W przedstawionych przykładach badań elementów wyrobów zastosowano czujnik zegarowe zgodnie z obowiązującą dokumentacją m.in. normy obronne dot. badanych parametrów oraz zgodnie z przeznaczeniem wskazanym przez producenta sprzętu w specyfikacji technicznej. Wymagania normy PN-68/M-5326 zostały spełnione, czujnik posiada duży zapas w stosunku do dopuszczalnych błędów co obrazuje rys. 5 - wykres zawierający porównanie wyników pomiarów z dopuszczalnymi błędami dla poszczególnych parametrów. Przekroczenie jednego ze sprawdzanych parametrów skutkuje zabrakowaniem czujnika zegarowego, natomiast w przypadku sprawdzianu wymianą czujnika zegarowego, jeżeli trzpień pomiarowy spełnia wymagania określone w rysunku technologicznym. Tylko restrykcyjne przestrzeganie przepisów pozwoli uzyskać wyrób zgodny z zamówieniem.

Od potwierdzenia jakości, niezawodności, trwałości i funkcjonalności sprzętu wojskowego w eksploatacji zależy powodzenie różnych przedsięwzięć wojskowych, ale przede wszystkim zdrowie i bezpieczeństwo żołnierzy (Łagowski, Jasińska, 2022, s. 236).

Wnioski

Zgodnie z obowiązującymi przepisami metrologicznymi każdy element wyrobu musi być sprawdzony przyrządami kontrolno-pomiarowymi o zgodnym statusie. Niewłaściwe wskazanie przyrządu może zafałszować wyniki powodując powstanie braków, przy większych wyrobach jest to kosztowne. Im dłużej w procesie produkcyjnym używany jest dany przyrząd dający niepoprawne wyniki, tym koszty są większe. Czujniki zegarowe oraz sprawdziany czujnikowe są częstym i powszechnie stosowanym w produkcji sprzętem pomiarowym służącym głównie do badania grubości różnych elementów łusek, korpusów, bicia. Z przedstawionych w artykule przykładów wynika, iż ich rola w produkcji i kontroli elementów jest bardzo ważna i może znacząco wpłynąć na cechy funkcjonalne i użytkowe wyrobów. Zastosowana nowoczesna metoda potwierdzenia metrologicznego czujnika poprzez wykorzystanie stanowiska pomiarowego Precimar ICM 100 IP znacznie ułatwia i przyspiesza pracę w izbie pomiarów (Instrukcja obsługi Mahr ICM 100 IP w pełni automatycznego stanowiska kontroli czujników zegarowych, trzpieniowych, przyrządów pomiarowych, mikrokatorów i głowic indukcyjnych). Jednak istotnym, do celów produkcyjnych i kontrolnych, byłoby zastosowanie innowacyjnych, w pełni zautomatyzowanych urządzeń zastępujących tradycyjne pomiary wyrobów - czujnikiem/sprawdzianem czujnikowym.

Ograniczeniem w przeprowadzonym badaniu jest brak możliwości zasymulowania działania wyrobu gotowego po zastosowaniu niezgodnego czujnika lub sprawdzianu czujnikowego. Wyroby muszą być bezpieczne i nie można w sposób świadomy ryzykować zdrowiem uczestników badań oraz kontynuować proces produkcyjny znając przekroczenia wyników pomiaru kluczowych parametrów. Skutki działania wyrobu niezgodnego mogą być nieprzewidywalne, zwłaszcza rakiet o dużej masie, które osiągają olbrzymie prędkości. Również ze względu na koszty.

W przypadku małych pocisków stosowane są rygorystyczne procedury kontroli wyrywkowej metodą alternatywną indeksowanych na podstawie granicy akceptowanej jakości (AQL) stosowane do kontroli partii za partią, w której przy liczności partii do 10 000 do badania wybierane jest 125 sztuk pocisków, z czego tylko 1 sztuka może być niezgodna. To obrazuje jak ważne są wszystkie procesy produkcyjne i kontrolne dla osiągnięcia jakości uzbrojenia i sprzętu wojskowego.

Na podstawie przedstawionych przykładów wyrobów i możliwości wpływu pomiarów czujnika zegarowego/sprawdzianu czujnikowego na ich elementy oraz w odniesieniu do deklarowanych parametrów i warunków eksploatacji wyrobów, należy wnioskować, iż zakładana w artykule hipoteza została potwierdzona.

BIBLIOGRAFIA

1. AQAP 2110:2016 - Wymagania NATO dotyczące zapewnienia jakości w projektowaniu, pracach rozwojowych i produkcji. Wydanie D, Wersja 1.
2. Bernatek M., Magierski M., 2024. Wybrane aspekty bezpieczeństwa wyrobów w przemyśle zbrojeniowym. *Studia Bezpieczeństwa Narodowego*, 32 (2024).
3. Decyzja 126/MON Ministra Obrony Narodowej z dnia 16 sierpnia 2019 r. w sprawie zapewnienia jakości sprzętu wojskowego i usług, których przedmiotem jest sprzęt wojskowy (DzU z 2019 r., poz. 159).
4. Dorczuk, M., Wachowiak, P., 2024. Metrological problems in the study of weapon systems. *Scientific Journal of the Military University of Land Forces*, 56(1), (211), 5-25.
5. Grudowski, P., Kwintowski, A., 2014. Nadzorowanie wyposażenia do monitorowania i pomiarów wg wymagań wybranych norm oraz przepisów prawnych. *Mechanik*, 1, 91-98.
6. Ilczyszyn, D., 2024. Uwarunkowania organizacyjno-techniczne bezpiecznej eksploatacji bojowych statków powietrznych w realiach współczesnych konfliktów zbrojnych. [w:] B. Błaszczak i Ł. Kominek red. *Konceptualizacja bezpieczeństwa kryminologicznego*. Poznań: FNCE, 137.
7. Instrukcja obsługi Mahr ICM 100 IP - w pełni automatycznego stanowiska kontroli czujników zegarowych, trzpieniowych, przyrządów pomiarowych, mikroktorów i głowic indukcyjnych, 2024.
8. Keyence [online]. Dostępne pod adresem: <https://www.keyence.eu> [dostęp: 27.01.2025].
9. Krysiński, B., Nesterowicz, M., Zych, P., 2019. Bezpieczeństwo eksploatacji amunicji w świetle stwierdzonych niezgodności - wybrane przykłady. Warszawa: *Problemy Techniki Uzbrojenia*, 48, 99.
10. Łagowski, E., Jasińska, J., 2022. *Ewolucja systemów zarządzania jakością*. Warszawa: Wojskowa Akademia Techniczna.
11. MESKO S.A. [online]. Dostępne pod adresem: <https://mesko.com.pl> [dostęp: 15.01.2025].
12. NO-06-A101:2005 - Uzbrojenie i sprzęt wojskowy. Ogólne wymagania techniczne, metody kontroli i badań. *Postanowienia ogólne*.
13. NO-13-A504-3:2019 - Naboje do broni strzeleckiej. *Metody badań. Badania laboratoryjne*.
14. PN-68/M-53260 - Warsztatowe środki pomiarowe. Czujniki zębate zegarowe.
15. PN-EN ISO 10012:2004 - Systemy zarządzania pomiarami. Wymagania dotyczące procesów pomiarowych i wyposażenia pomiarowego.
16. PN-EN ISO 463:2007 - Specyfikacje Geometrii wyrobów (GPS). Sprzęt pomiarowy do wymiarów. Charakterystyki konstrukcyjne i metrologiczne czujników tarczowych mechanicznych.
17. PN-ISO 2859-1:2003 - Procedury kontroli wrywkowej metodą alternatywną. Schematy kontroli indeksowane na podstawie granicy akceptowanej jakości (AQL) stosowane do kontroli partii za partią.
18. Podręcznik Normalizacji Obronnej PDNO-08-A111:2009 - Wytyczne środowiskowe dotyczące uzbrojenia i sprzętu wojskowego (AECTP 100).

19. Rozporządzenie Ministra Rozwoju i Technologii z dnia 4 czerwca 2024 r. w sprawie wykazu uzbrojenia, na obrót którym jest wymagane zezwolenie (DzU z 2024 r., poz. 839).
20. Stępień, L., Borkowski, J., 2010. Wpływ warunków eksploatacji na stan techniczny amunicji. *Problemy Techniki Uzbrojenia*, 39, 7-14.
21. Ustawa z dnia 17 listopada 2006 r. o systemie zgodności wyrobów przeznaczonych na potrzeby obronności i bezpieczeństwa państwa (DzU z 2022 nr 235 poz. 747).
22. Wybrane aspekty zapewnienia funkcjonalności i niezawodności przeciwlotniczego zestawu raketowego. *Mechanik 7* (2014), XVIII Międzynarodowa Szkoła Komputerowego Wspomagania Projektowania, Wytwarzania i Eksploatacji, 651.
23. Zakres akredytacji OiB UiSW ITWL nr 2/MON/2022 z dnia 3 sierpnia 2022 r.