



Kontrola metrologiczna wojskowego sprzętu optoelektronicznego w Centralnym Wojskowym Ośrodku Metrologii

MARCIN BOCIEK¹, ANDRZEJ DŁUGASZEK²

¹Centralny Wojskowy Ośrodek Metrologii, Zespół Badań i Opracowań Metrologicznych,
00-908 Warszawa, ul. Radiowa 2, m.bociek@metrologia.wp.mil.pl

²Centralny Wojskowy Ośrodek Metrologii, Zakład Kalibracji Przyrządów Pomiarowych
Wielkości Fizycznych, 00-908 Warszawa, ul. Radiowa 2, cwom@metrologia.wp.mil.pl

Streszczenie. Przedstawiony poniżej artykuł opisuje stanowiska pomiarowe do odtwarzania i przekazywania jednostek wielkości optoelektronicznych. Autorzy opisali trzy główne działy wielkości optoelektronicznych, których kontrola metrologiczna możliwa jest w Centralnym Wojskowym Ośrodku Metrologii w Warszawie.

Słowa kluczowe: kalibracja, metrologia, optoelektronika, wzorzec

1. Wstęp

Rozwój technologiczny w zakresie optoelektroniki oraz modernizacja sprzętu wojskowego wymusza na wojskowych laboratoriach metrologicznych rozwój własnej bazy wzorców pomiarowych. Siły Zbrojne RP dysponują coraz większą ilością sprzętu wojskowego wyposażonego w różnego rodzaju przyrządy, których zasada działania opiera się na pomiarze parametrów optoelektronicznych, jak oświetlacze celu, wykrywacze opromieniowania, kamery termowizyjne, pirometry czy testery światłowodowych torów optycznych. Na dzisiejszym polu walki nowoczesne wyposażenie żołnierza coraz częściej składa się z przyrządów wykorzystujących falę elektromagnetyczną o bardzo wysokiej częstotliwości, czyli światło. Celowniki laserowe czy gogle noktowizyjne są wyposażeniem standardowym, które podlega kontroli u użytkownika przy pomocy specjalnych zestawów testujących. Zestawy te również powinny podlegać kontroli.

Centralny Wojskowy Ośrodek Metrologii (CWOM) jest instytucją utrzymującą wzorce odniesienia najwyższej klasy dla większości jednostek układu SI oraz przyrządów pomiarowych wykorzystywanych w resorcie Obrony Narodowej. Dotyczy to sprzętu pomiarowego techniki laserowej, światłowodowej jak również podczerwieni.

2. Technika laserowa

Laboratorium optoelektroniki CWOM w Warszawie wyposażone jest w dwa podstawowe wzorce techniki laserowej. Umożliwiają one kontrolę metrologiczną przyrządów pomiarowych do pomiaru mocy i energii promieniowania laserowego. Wzorce te odniesione są do niemieckich wzorców państwowych utrzymywanych w PTB.

Wzorzec pierwszy nosi nazwę Wzorca Roboczego Energii (WRE) i przeznaczony jest do odtwarzania i przekazywania jednostki energii impulsowego promieniowania laserowego (rys. 1).

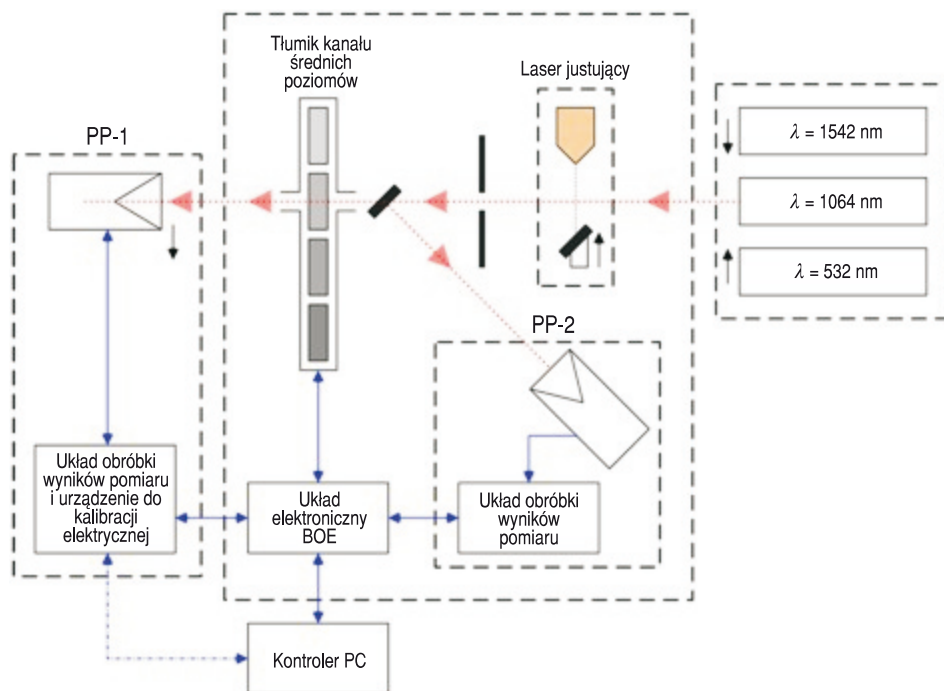
Możliwości techniczne urządzenia pozwalają na kontrolę metrologiczną mierników energii promieniowania laserowego w trzech zakresach spektralnych oraz trzech zakresach energetycznych (tab. 1). Ogólny schemat blokowy urządzenia przedstawiony jest na rysunku 2.

Zasada pracy urządzenia polega na porównaniu wskazania wartości energii impulsu wygenerowanego ze wzorca i zmierzonego przez przetwornik pomiarowy wewnątrz bloku optoelektronicznego z wartością impulsu zmierzonego przez przyrząd kalibrowany. Niepewność związana z odtworzeniem oraz przekazaniem jednostki nie przekracza wartości 1%.

Drugim wzorcem stosowanym w laboratorium jest Wzorzec Roboczy Mocy (WRM) średniej promieniowania laserowego (rys. 3).



Rys. 1. Wzorzec Roboczy Energii



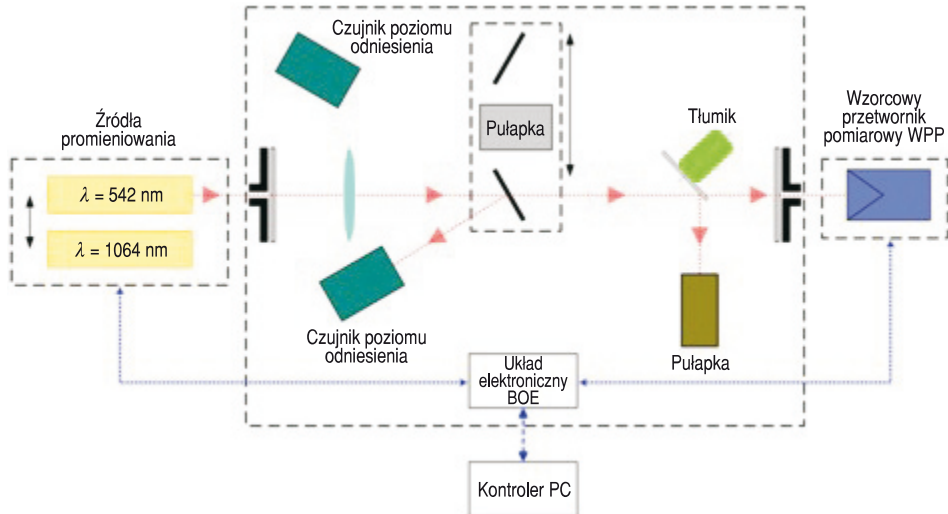
Rys. 2. Schemat blokowy wzorca WRE



Rys. 3. Wzorec Roboczy Mocy

Urządzenie pozwala na obsługę metrologiczną przyrządów do pomiaru mocy na dwóch długościach fali: 532 nm oraz 1064 nm. Wartość mocy regulowana jest płynnie w zakresie podanym w tabeli 1. Ogólna zasada działania jest identyczna jak we wzorcu energii. Schemat blokowy przedstawiony jest na rysunku 4.

Podobnie jak w przypadku wzorca roboczego energii, kalibracja przyrządów do pomiaru mocy realizowana jest na zasadzie porównania wskazań wzorcowego przetwornika pomiarowego umieszczonego wewnątrz bloku optoelektronicznego,



Rys. 4. Schemat blokowy wzorca WRM

ze wskazaniami przyrządu kalibrowanego. Niepewność pomiarowa związana ze wzorcem określana jest na poziomie ok. 1%.

W obydwu urządzeniach w procesie kalibracji wyznaczane są współczynniki kalibracji k dla poszczególnych przetworników. Współczynnik wyznaczany jest ze wzoru (1). W większości przypadków ilość pomiarów wynosi 10.

$$k = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{E_{WRE_i}}{E_{x_i}}}{n}, \quad (1)$$

gdzie: E_{WRE_i} — energia impulsu wskazana przez wzorec WRE w i -tym pomiarze;
 E_{x_i} — energia impulsu wskazana przez przyrząd pomiarowy kalibrowany w i -tym pomiarze;
 n — ilość pomiarów.

W laboratorium optoelektroniki CWOM, oprócz wspomnianych dwóch wzorców, stosowane są również dodatkowe dwa lasery firmy Sacher Lasertechnik oraz miernik mocy i energii promieniowania laserowego firmy Standa. Całość uкомплектовania laboratorium umożliwia kontrolę metrologiczną sprzętu wojskowego, takiego jak oświetlacze laserowe, mierniki opromieniowania czy dalmierze laserowe, ale również kontrolę laboratoryjnych przyrządów do pomiaru mocy i energii promieniowania laserowego.

3. Kontrola metrologiczna sprzętu pomiarowego w systemach światłowodowych

Przydatność i sprawność elementów i urządzeń w systemach światłowodowych jest oceniana na podstawie pomiarów zgodności ich parametrów fabrycznych z aktualnie eksploatowanymi.

Do pomiaru podstawowych parametrów traktów światłowodowych stosowane są obecnie standaryzowane metody optyczne, takie jak pomiary całkowitej mocy optycznej i jej rozkładu przestrzennego, reflektometria optyczna, pomiary stanu polaryzacji i inne. Obecnie wiele z tych metod jest obsługiwanych przez systemy komputerowe gromadzące i przetwarzające dane oraz wizualizujące wyniki wraz z oceną ich niepewności pomiarowych.

Aktualnie wykorzystywany sprzęt pomiarowy służący do diagnozowania sieci światłowodowych zależy w głównej mierze od jego stosowania w liniach telekomunikacyjnych lub sieciach komputerowych. Wiele współczesnych przyrządów łączy w sobie różne funkcje, które do niedawna były dostępne tylko w specjalistycznym sprzęcie pomiarowym.

W CWOM zostało opracowane stanowisko pomiarowe, którego głównym zadaniem jest kalibracja stosowanego w wojsku optoelektronicznego sprzętu użytkowego oraz pomiarowego w obszarze techniki światłowodowej. Do tego rodzaju sprzętu, wymagającego okresowej kalibracji, należy zaliczyć m.in.: pomiarowe źródła światła, tłumiki mocy optycznej, mierniki mocy optycznej, multimetry optyczne, reflektometry, testery światłowodowe. Nazwy wielkości fizycznej i rodzaj przyrządu pomiarowego, zakresy pomiarowe oraz najlepsze możliwości pomiarowe na stanowisku przedstawiono w tabeli 1.



Rys. 5. Widok stanowiska pomiarowego do kalibracji reflektometrów

Podstawowymi urządzeniami do pomiaru parametrów linii światłowodowych są testery światłowodowe. Tester taki składa się z pomiarowego źródła światła, miernika mocy optycznej oraz dodatkowo z regulowanego tłumika mocy optycznej.

Pomiarowe testery jako elementy składowe stanowisk do kalibracji urządzeń muszą charakteryzować się dużą stabilnością parametrów i niezawodnością pracy. Powinny również umożliwiać podłączenie różnego typu złączy, takich jak: FC, SC, ST, DIN i inne.

Urządzeniami pomiarowymi stosowanymi przy budowie oraz eksploatacji sieci światłowodowych są reflektometry optyczne, zwane często miernikami OTDR. Pomiar reflektometryczny polega na na wysłaniu impulsu światła do światłowodu oraz analizie w funkcji czasu mocy jego sygnału wstecznego. Pozwala określić: odległość między zdarzeniami, długość trasy, straty na złączach, zgięciach, przewęzeniach, tłumienność jednostkową włókna, odbicia, jednorodność, wtrącenia i pęknięcia. Moc rozproszoną impulsu wyraża się równaniem reflektometrycznym, które ma postać:

$$P_b(t) = (P_0 S \alpha_s W v / 2) \exp \{-2\alpha(vt/2)\}, \quad (2)$$

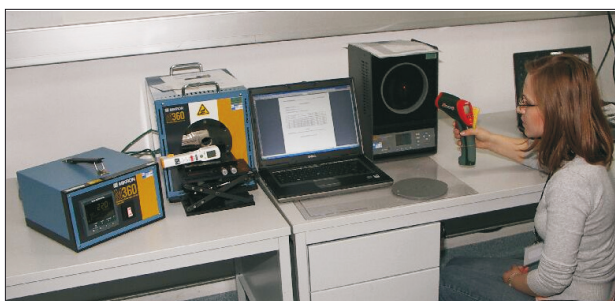
gdzie: P_b — rozproszona wstecznie moc Rayleigha;
 P_0 — szczytowa moc impulsu optycznego;
 S — współczynnik przechwyty wstępnie rozproszonej mocy Rayleigha do włókna;
 α_s — współczynnik tłumienia (mocy optycznej) wywołanego rozpraszaniem Rayleigha;
 v — szybkość impulsu światła we włóknie;
 $\alpha(vt/2)$ — tłumienie całkowite na odległości;
 $vt/2$ — odległość;
 t — czas;
 W — czas trwania impulsu ($W \ll 2/\alpha v$).

Do kalibracji elementów składowych testerów światłowodowych oraz reflektometrów wykorzystywane są wzorce robocze, kontrolne przyrządy pomiarowe oraz robocze i pomocnicze urządzenia pomiarowe będące na wyposażeniu CWOM. Zalicza się do nich wzorcowy reflektometr AQ 7275, miernik mocy optycznej MO-2, stabilne źródła promieniowania optycznego jednomodowe LO2-13HP i LO2-15HP oraz wielomodowe DO-2 SC, zestawy kalibrowanych stałych oraz regulowanych tłumików VOA-5 SM i VOA-5 MM, a także światłowodowe referencyjne jednomodowe i wielomodowe trakty złożone z odcinków 0,1 km; 1,0 km; 2,0 km i 5,0 km. Wzorce robocze kalibrowane są w akredytowanych laboratoriach, GUM oraz NPL.

Analiza potrzeb w zakresie kalibracji światłowodowego sprzętu pomiarowego wskazuje na niewystarczające skupienie się tylko na kalibracji wymienionego w artykule sprzętu. Niezbędna jest rozbudowa obecnej bazy metrologicznej o analizatory widma oraz wydłużenie wzorcowych jednomodowych i wielomodowych traktów światłowodowych o odcinki 20 km.

4. Kontrola metrologiczna sprzętu pomiarowego stosowanego w technice podczerwieni

W związku z dynamicznym rozwojem techniki podczerwieni oraz coraz szerszym stosowaniem jej do celów militarnych jak i w życiu codziennym, konieczne było stworzenie w CWOM odpowiednich stanowisk pomiarowych dających możliwość kalibracji przyrządów pomiarowych związanych z techniką podczerwieni w pierwszej kolejności — pirometrów, a następnie obserwacyjnych urządzeń termowizyjnych. Do kalibracji tego typu przyrządów aktualnie stosowane są dwa wzorce promieniowania temperaturowego. Wzorce te to kalibratory Fluke 4180 oraz Mikron M360, które pozwalają na przeprowadzenie kontroli metrologicznej w zakresie temperatur $(-15 \div +1100)^\circ\text{C}$ (tab. 1). Wzorce robocze kalibrowane są w akredytowanych laboratoriach, GUM oraz FLUKE Holandia.



Rys. 6. Widok stanowiska pomiarowego do kalibracji pirometrów

TABELA 1

Możliwości CWOM w zakresie kontroli metrologicznej optoelektronicznych przyrządów pomiarowych

Wielkość fizyczna i rodzaj kontrolowanego przyrządu pomiarowego	Zakres pomiarowy	Najlepsza możliwość pomiarowa
Energia (lasera) Mierniki energii lasera; Dalmierze laserowe; Czujniki promieniowania; Oświetlacze i osłepiacze; Systemy naprowadzania i sterowania.	$(3 \div 65)$ mJ dla λ — 532 nm; $(3 \div 210)$ mJ dla λ — 1064 nm; $(4 \div 120)$ mJ dla λ — 1540 nm	niepewność standardowa odtwarzania jednostki $\leq \pm 1,0\%$
Moc (lasera) Mierniki mocy lasera; Dalmierze laserowe; Czujniki promieniowania; Oświetlacze i osłepiacze; Systemy naprowadzania i sterowania.	$(0,01 \div 1)$ W dla λ — 532 nm; $0,01 \div 1$ W dla λ — 1064 nm	niepewność standardowa odtwarzania jednostki $\leq \pm 1,0\%$

cd. tabeli 1

Moc (promieniowania optycznego) Mierniki mocy optycznej; Multimetry optyczne; Testery światłowodowe; Źródła promieniowania optycznego.	(+10÷-70) dBm	±0,10 dB
Tłumienność (optyczna — tłumienie) Tłumiki optyczne jedno- i wielomodowe; Reflektometry optyczne; Testery światłowodowe; Reflektometry optyczne; Multimetry optyczne.	(0,0÷30,0) dB wielomodowy (0,0÷60,0) dB jednomodowy	±0,10 dB ±0,20 dB
Długość (światłowodu, stref) Reflektometry optyczne; Testery światłowodowe.	(s.m.÷9000) m s.m. — strefa martwa	±2,0 m dla λ — 850 nm; ±0,6 m dla λ — 1300 nm;
Odległość (zdarzeń w światłowodzie) Reflektometry optyczne; Testery światłowodowe.		±0,8 m dla λ — (1310 i 1550) nm
Temperatura (podczerwień) Pirometry	Fluke 4180 -15÷+120°C Mikron M360 +50÷+1100°C	±0,40°C ±1,00°C

W praktyce na pomiary temperatury obiektów rzeczywistych metodami bezstykowymi wpływa wiele czynników, których udział jest trudny do oszacowania. Do urządzenia podczerwieni dociera bowiem nie tylko promieniowanie podczerwone pochodzące od obserwowanego obiektu, lecz także promieniowanie pochodzące z otoczenia, odbite (rozproszone) od powierzchni obiektu. Dodatkowo atmosfera jest źródłem promieniowania i jednocześnie w pewnym stopniu tłumí wszystkie składowe promieniowania docierającego do obiektywu kamery czy pirometru. W przypadku wykonywania pomiarów w warunkach laboratoryjnych możemy przy odpowiednich założeniach wykluczyć czynniki, które nie wpływają znacząco na wyniki pomiarów.

Równanie pomiaru z uwzględnieniem poprawek (3) ma postać:

$$\Delta T = \overline{T}_p - T_k + p_{p(\text{rozdz})} - p_{k(\text{stabil})} - p_{k(\text{rownom})}, \quad (3)$$

gdzie: ΔT — błąd podstawowy temperatury;
 \overline{T}_p — średnia arytmetyczna wartości temperatur zmierzonych pirometrem;
 T_k — wartość poprawna temperatury kalibratora;
 $p_{p(\text{rozdz})}$ — poprawka z rozdzielczości pirometru;
 $p_{k(\text{stabil})}$ — poprawka ze stabilności temp. kalibratora;
 $p_{k(\text{rownom})}$ — poprawka związana z nierównomiernością temperaturą promiennika kalibratora.

Analizując dane techniczne użytych pirometrów, łatwo zauważymy różnice w zakresach mierzonych temperatur, a co za tym idzie także w zakresach widmowych pracy i dokładnościach pomiaru. W większości pirometrów istnieje możliwość ustawienia wartości współczynnika emisyjności, co umożliwi minimalizację wpływu różnic emisyjności mierzonych obiektów. Natomiast problemy stwarzają pirometry o przypisanych na stałe wartościach tego współczynnika dla mierzonych obiektów. Wraz ze wzrostem temperatury obiektu mierzonego wzrasta błąd podstawowy temperatury ΔT , jednak dominujący wpływ na wartość tego błędu mają współczynniki emisyjności. Uzyskane różnice błędu podstawowego temperatury wskazują na konieczność wyliczania poprawek związanych z różnicą współczynników emisyjności pirometru i wzorca. W celu uzyskania poprawnych wartości temperatur mierzonych przy kalibracji pirometrów o stałych współczynnikach emisyjności niezbędne jest dodanie do odczytywanych wartości temperatury wyliczonych poprawek.

Analiza potrzeb w zakresie obsługi metrologicznej urządzeń pomiarowych w podczerwieni wskazuje, że nie wystarczy skupić się tylko na kalibracji pirometrów. Niezbędna jest rozbudowa obecnej bazy metrologicznej o stanowiska do pomiaru parametrów optoelektronicznych urządzeń obserwacyjnych, termowizyjnych, noktowizyjnych, kamer TV — LLLTV, przyrządów wskazywania i określania położenia celów oraz zintegrowanych platform, modułów i głowic obserwacyjno-pomiarowych. Aktualnie opracowywana jest koncepcja stanowiska do pomiaru podstawowych parametrów oraz charakterystyk obserwacyjnych urządzeń termowizyjnych opisujących zdolność urządzenia do prowadzenia skutecznej obserwacji: minimalna rozróżnialna różnica temperatur MRT, minimalna wykrywalna różnica temperatur MDT, funkcja przenoszenia modulacji MTF, funkcja przenoszenia sygnału SiTF, jednorodność obserwacyjna, rozdzielczość temperaturowa NETD.

Obsługa metrologiczna wojskowego sprzętu optoelektronicznego w CWOM wykonywana jest w klimatyzowanych laboratoriach zapewniających stałe warunki odniesienia wraz z możliwością ich kontroli. Po stwierdzeniu, że kalibrowany lub sprawdzany przedmiot spełnia wymagania podane we własnych instrukcjach pomiarowych lub danych producenta, poświadczą się to w dzienniku eksploatacji lub wystawia świadectwo kalibracji.

Nazwy wielkości fizycznej i rodzaj kontrolowanego przyrządu pomiarowego, zakresy oraz najlepsze możliwości pomiarowe CWOM przedstawiono w tabeli 1.

5. Podsumowanie

Centralny Wojskowy Ośrodek Metrologii jest instytucją utrzymującą wzorce odniesienia najwyższej klasy większości jednostek układu SI dla przyrządów pomiarowych wykorzystywanych w resorcie ON. Dotyczy to również sprzętu optoelektronicznego techniki laserowej, światłowodowej oraz techniki podczerwieni.

Ciągły rozwój optoelektroniki powoduje pojawienie się na uzbrojeniu wojska nowego lub modernizację istniejącego sprzętu wyposażonego w elementy i urządzenia, w którym niepośrednią rolę odgrywa promieniowanie optyczne. Analiza potrzeb w zakresie kontroli metrologicznej wojskowego sprzętu optoelektronicznego wskazuje na niewystarczające skupienie się tylko na kalibracji lub sprawdzaniu wymienionego w artykule sprzętu. Istnieje również konieczność objęcia obsługą metrologiczną każdego nowego lub zmodernizowanego sprzętu, zwiększenia dokładności metod i środków w szerokim zakresie pomiarowym.

Znajomość występującego w siłach zbrojnych sprzętu optoelektronicznego oraz jego trendy rozwojowe wymagają ciągłej modernizacji i rozbudowy obecnej bazy metrologicznej w Centralnym Wojskowym Ośrodku Metrologii. Zapewnia to właściwą kontrolę metrologiczną wojskowego sprzętu użytkowego i pomiarowego w celu jego prawidłowej i wiarygodnej eksploatacji.

Artykuł wpłynął do redakcji 13.06.2011 r. Zweryfikowaną wersję po recenzji otrzymano w czerwcu 2011 r.

LITERATURA

- [1] B. ZIĘTEK, *Optoelektronika*, Wydawnictwo Uniwersytetu Mikołaja Kopernika, Toruń, 2005.
- [2] J. SIUZDAK, *Wstęp do współczesnej telekomunikacji pomiarowej*, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa, 1997.
- [3] A. SMOLIŃSKI, *Optoelektronika światłowodowa*, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa, 1985.

M. BOCIEK, A. DŁUGASZEK

Calibration of military optoelectronic equipment at the Central Military Calibration Laboratory

Abstract. This paper presents measuring installation to reproduce and transfer optoelectronics values. Authors present three major optoelectronics sections which calibrations are possible at the Central Military Calibration Laboratory in Warsaw.

Keywords: calibration, metrology, optoelectronic, standard