

Rola oraz zadania Laboratorium Metrologii Elektrycznej, Elektronicznej i Optoelektronicznej Instytutu Łączności w procesie zapewnienia spójności pomiarowej

Anna Warzec

Elżbieta Hercan-Sereda

Zaprezentowano podstawowe zagadnienia związane ze spójnością pomiarową. Przedstawiono rolę, jaką pełni Laboratorium Metrologii Elektrycznej, Elektronicznej i Optoelektronicznej Instytutu Łączności w zakresie zapewnienia spójności pomiarowej i zadania stojące przed resortową służbą metrologiczną.

metrologia, wzorzec jednostki miary, spójność pomiarowa, niepewność pomiaru

Wprowadzenie

Spójność pomiarowa [2] jest to właściwość wyniku pomiaru lub wzorca jednostki miary, polegająca na tym, że można je powiązać z określonymi odniesieniami, na ogół z wzorcami państwowymi lub międzynarodowymi jednostek miar za pośrednictwem nieprzerwanego łańcucha porównań, z których wszystkie mają określone niepewności. Cechami charakterystycznymi spójności pomiarowej [1] są:

- **nieprzerwany łańcuch porównań** – prowadzi on do ustalonych odniesień akceptowalnych dla stron, zazwyczaj do krajowych lub międzynarodowych wzorców (łańcuch powiązań z wzorcami pokazano na rys. 1);
- **niepewność pomiaru** – dla każdego poziomu w łańcuchu spójności pomiarowej niepewność pomiaru musi być obliczona lub oszacowana według uzgodnionych metod i ustalona, aby całkowita niepewność całego łańcucha mogła być obliczona lub oszacowana;
- **dokumentacja** – wzorcowanie na każdym poziomie łańcucha musi być wykonywane zgodnie z udokumentowanymi i powszechnie uznanymi procedurami, a wyniki muszą być zapisywane;
- **kompetencje** – laboratoria lub organizacje realizujące jeden lub więcej poziomów w łańcuchu muszą przedstawić dowody swoich kompetencji technicznych (np. dowody akredytacji);
- **odniesienie do jednostek SI** – łańcuch porównań musi, gdzie jest to możliwe, kończyć się na wzorcach pierwotnych jednostek układu SI;
- **odstęp czasu między wzorcowaniami** – wzorcowania muszą być powtarzane we właściwych odstępach czasu, których długość zależy od wielu zmiennych (np. wymaganej niepewności, częstości użytkowania, sposobu użytkowania, czy stabilności wyposażenia).

Podstawowym elementem zapewnienia spójności pomiarowej wyników pomiaru jest wzorcowanie przyrządów pomiarowych. Potwierdzeniem spójności pomiarowej jest świadectwo wzorcowania, wystawione przez kompetentne laboratorium wzorcujące.



Rys. 1. Spójność pomiarowa z wzorcami międzynarodowymi (łańcuch powiązań)

Zagadnienia spójności pomiarowej omówiono w odpowiednich normach [3, 4] oraz dokumencie [6]. W normach [3, 4] określono wymagania dotyczące zapewnienia wiarygodnych wyników, np. stwierdzono, że „tam gdzie niezbędne jest zapewnienie wiarygodnych wyników, wyposażenie pomiarowe należy wzorcować lub sprawdzać w wyspecyfikowanych odstępach czasu lub przed użyciem w odniesieniu do wzorców jednostki miary mających powiązanie z międzynarodowymi lub państwowymi wzorcami miary; jeżeli nie ma takich wzorców, należy prowadzić zapisy dotyczące zastosowanej podstawy wzorcowania lub sprawdzania...” [3, pkt 7.6], a także wskazano, że „całe wyposażenie używane do badań i/lub wzorcowań, włączając w to wyposażenie do pomiarów pomocniczych (na przykład warunków środowiskowych), które ma znaczący wpływ na dokładność lub miarodajność wyników badania, wzorcowania lub pobrania próbki, powinno być wzorcowane przed oddaniem do użytkowania. Laboratorium powinno mieć ustanowiony program oraz procedurę wzorcowania swego wyposażenia” [4, pkt 5.6.1]. Natomiast w dokumencie [6] zaprezentowano politykę Polskiego Centrum Akredytacji (PCA) w zakresie zapewnienia spójności pomiarowej.

Rola Laboratorium Metrologii Elektrycznej, Elektronicznej i Optoelektronicznej Instytutu Łączności w zakresie zapewnienia spójności pomiarowej

Najważniejszą rolę w określeniu i zapewnieniu spójności pomiarowej z wzorcami międzynarodowymi pełnią krajowe instytucje metrologiczne. Do nich należy przede wszystkim realizacja i rozpowszechnianie jednostek miar Międzynarodowego Układu Jednostek Miar (SI). Akredytowane laboratoria pomiarowe są kolejnym ogniwem w hierarchicznym łańcuchu powiązań z wzorcami.

Dzięki nieprzerwanemu cyklowi porównań i wzorcowań swoich wzorców odniesienia zapewniają one spójność pomiarową organizacjom.

Krajową instytucją metrologiczną, zajmującą się utrzymaniem wzorców państwowych i powiązaniem ich z wzorcami międzynarodowymi, jest w Polsce Główny Urząd Miar (GUM). Urząd ten nie obejmuje swoją działalnością wszystkich branż techniki i życia gospodarczego kraju. Z tego powodu od lat sześćdziesiątych (na mocy porozumienia między Głównym Urzędem Miar a Instytutem Łączności z dnia 2 lutego 1962 r.) Centralna Izba Pomiarów Telekomunikacyjnych (CIPT) Instytutu Łączności prowadziła działalność w zakresie legalizacji i uwierzytelniania wzorców oraz aparatury kontrolno-pomiarowej telekomunikacyjnej i elektronicznej. Obecnie CIPT wykonuje wzorcowania przyrządów pomiarowych [2].

W związku z nowymi wyzwaniami postawionymi służbom metrologicznym, zgodnie z wymaganiami określonymi w normach serii ISO 9000, w 1996 r. dyrektor Instytutu Łączności utworzył w strukturze CIPT Laboratorium Metrologii Elektrycznej, Elektronicznej i Optoelektronicznej (LMEEiO). Wprowadził w nim system jakości oparty na Księdze Jakości, procedurach systemowych i procedurach pomiarowych. Laboratorium stosuje się do wymagań określonych szczegółowo w normach [4, 5].

Od 1999 r. LMEEiO ma akredytację do wykonywania wzorcowań przyrządów do pomiaru wielkości elektrycznych, optoelektrycznych oraz czasu i częstotliwości. W latach 1999–2001 była to akredytacja Prezesa Głównego Urzędu Miar (numer certyfikatu A/15/1/99), a od 2002 r. Polskiego Centrum Akredytacji (numer certyfikatu AP 015). Laboratorium uczestniczy w krajowym systemie akredytacji laboratorium pomiarowego prowadzonym przez Polskie Centrum Akredytacji.

Zadania Laboratorium Metrologii Elektrycznej, Elektronicznej i Optoelektronicznej Instytutu Łączności w zakresie zapewnienia spójności pomiarowej

Laboratorium wzorcujące w zakresie zapewnienia spójności pomiarowej ma do wykonania następujące zadania: utrzymanie i wzorcowanie własnych przyrządów pomiarowych oraz powiązanie ich z wzorcami państwowymi lub międzynarodowymi, a także zapewnienie spójności pomiarowej, tzn. przeniesienie jednostki miary od wzorców odniesienia do użytkowników przez określenie hierarchicznego układu powiązań.

Najważniejszym zadaniem LMEEiO jest więc przechowywanie i utrzymywanie w ciągłej gotowości wzorców odniesienia i kontrolnych przyrządów pomiarowych. W tym celu jest niezbędne utrzymanie i okresowe wzorcowanie wzorców, w celu powiązania ich z wzorcami państwowymi lub międzynarodowymi za pośrednictwem nieprzerwanego łańcucha porównań, zgodnie z wymaganiami zawartymi w normach.

Poza okresowymi wzorcowaniami zgodnymi z harmonogramami wzorcowań, przyrządy pomiarowe podlegają dodatkowo sprawdzaniu i porównywaniu w okresach między wzorcowaniami. Zapewniona jest spójność pomiarowa dla całego posiadanego wyposażenia, takiego jak: wzorce częstotliwości, odbicia, rezystancji, pojemności i indukcyjności, kalibratory napięć stałych i przemiennych, wzorcowe ogniwa, najwyższej klasy wzorcowa aparatura kontrolno-pomiarowa (np. generatory, mierniki poziomu, tłumiki, multimetry cyfrowe, oscyloskopy cyfrowe), aparatura optoelektroniczna oraz aparatura do pomiaru częstotliwości, fazy i czasu fazowego.

Wzorcowania są wykonywane:

- w Głównym Urzędzie Miar;
- w LMEEiO przez porównanie z wzorcami odniesionymi do wzorców państwowych i międzynarodowych, zgodnie z opracowanymi metodami, procedurami pomiarowymi i instrukcjami wewnętrznymi;
- w akredytowanych laboratoriach zagranicznych.

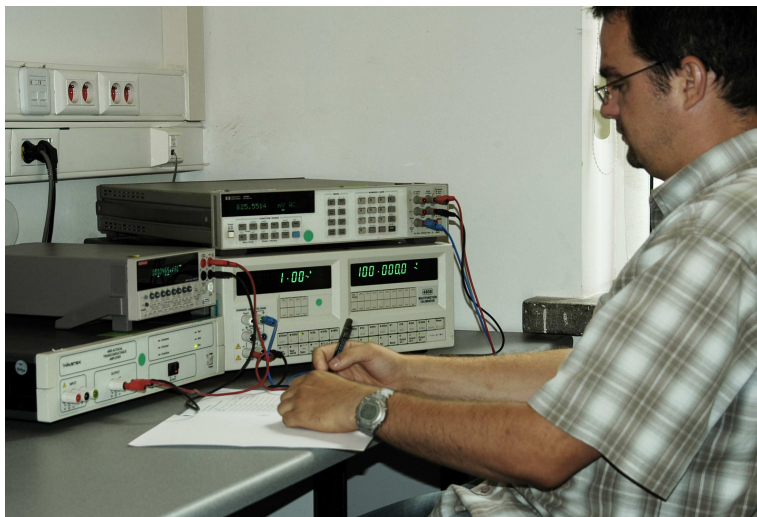
Laboratorium gwarantuje spójność pomiarową dla wzorcowanych przyrządów pomiarowych klienta, zgodnie z zakresem posiadanej akredytacji.

Zapewnienie spójności pomiarowej w zakresie wielkości elektrycznych

W zakresie akredytacji Laboratorium są wielkości elektryczne zgodnie z danymi wymienionymi w tabelicy 1.

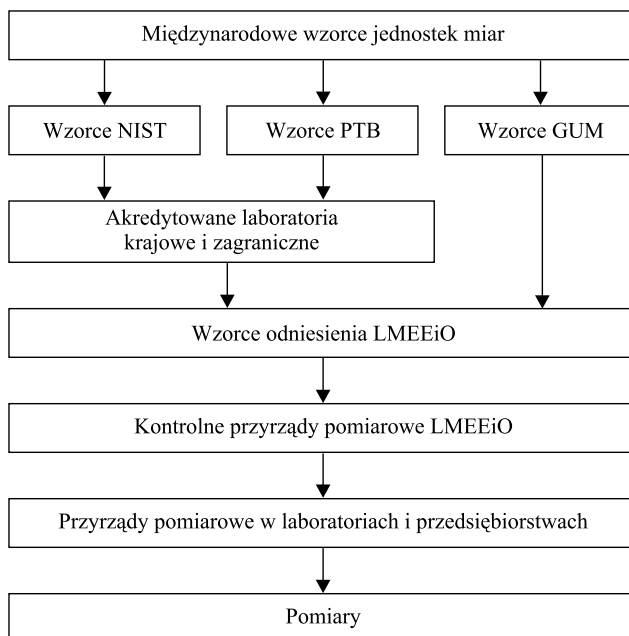
Tabl. 1. Zakres akredytacji wielkości elektrycznych

| Nazwa wielkości fizycznej | Zakres pomiarowy | Najlepsza możliwość pomiarowa | Obiekty wzorcowania |
|----------------------------------|---|---|---|
| Napięcie elektryczne stałe | 10 μ V ÷ 1000 V | 0,0003% ÷ 0,03% lub 0,5 μ V | multimetry cyfrowe (rys. 2), woltomierze i miliwoltomierze analogowe i cyfrowe, amperomierze cyfrowe i analogowe, omomierze cyfrowe i analogowe, mierniki rezystancji izolacji, kalibratory napięć, prądów i oporu, oporniki wzorcowe i dekadowe, mostki stałoprądowe, źródła napięcia i prądu stałego (zasilacze), generatory napięcia, generatory i mierniki poziomu napięcia, psofometry, oscyloskopy, tłumiki pomiarowe stałe i nastawne, mierniki (mostki) impedancji, mierniki RLC, kondensatory wzorcowe stałe i dekadowe, cewki wzorcowe stałe i regulowane, wzorce impedancji |
| Prąd elektryczny stały | 10 μ A ÷ 10 A | 0,003% ÷ 0,01% | |
| Rezystancja DC | 1 m Ω ÷ 10 M Ω 10 M Ω ÷ 1 T Ω | 0,001% ÷ 0,006% 0,01% ÷ 0,6% | |
| Napięcie elektryczne przemiennie | 100 mV ÷ 1000 V (10 Hz ÷ 1 MHz) (1 MHz ÷ 36 MHz) (36 MHz ÷ 1,1 GHz) -60 dB ÷ +30 dB | 0,005% ÷ 0,5% 0,2% ÷ 0,7% 1% ÷ 5% 0,02 dB ÷ 0,2 dB | |
| Prąd elektryczny przemienny | 10 μ A ÷ 10 A (10 Hz ÷ 100 kHz) | 0,02% ÷ 0,6% | |
| Tłumienność | 0,1 dB ÷ 60 dB 75 Ω asym. (0 ÷ 100 MHz) 150 Ω sym. (0 ÷ 2 MHz) | 0,015 dB ÷ 0,07 dB | |
| Pojemność elektryczna | 0,1 pF ÷ 100 μ F (40 Hz ÷ 100 kHz) | 0,005% ÷ 4% | |
| Indukcyjność własna | 1 μ H ÷ 10 H (40 Hz ÷ 100 kHz) | 0,03% ÷ 0,2% lub 0,07 μ H | |
| Rezystancja AC | 0,1 Ω ÷ 10 M Ω (40 Hz ÷ 100 kHz) | 0,02% ÷ 0,7% | |
| Impedancja | 1 Ω ÷ 10 M Ω (40 Hz ÷ 100 kHz) | 0,02% ÷ 0,7% 0,01% ÷ 0,2% | |



Rys. 2. Stanowisko do wzorcowania multimetrów cyfrowych

Zapewnienie spójności pomiarowej jest realizowane przez odniesienie do państwowych wzorców jednostek miar realizowanych w GUM, w Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) i National Institute of Standards and Technology (NIST), za pośrednictwem akredytowanych laboratoriów zagranicznych (rys. 3).



Rys. 3. Zapewnienie spójności pomiarowej wielkości elektrycznych

Zapewnienie spójności pomiarowej w zakresie czasu i częstotliwości

W zakresie akredytacji Laboratorium znajdują się pomiary czasu i częstotliwości zgodnie z danymi przedstawionymi w tabelicy 2.

Tabl. 2. Zakres akredytacji czasu i częstotliwości

| Nazwa wielkości fizycznej | Zakres pomiarowy | Najlepsza możliwość pomiarowa | Obiekty wzorcowania |
|---------------------------|------------------|--|--|
| Częstotliwość | 0,01 Hz ÷ 3 GHz | $5 \cdot 10^{-14} \div 3 \cdot 10^{-10}$ | częstościomierze (rys. 4), komparatory częstotliwości, wzorce częstotliwości (w tym generator częstotliwości działający w trybie swobodnym, np. generator kwarcowy, rubidowy, syntezator), generatory częstotliwości kontrolowane sygnałem radiowym (radiostacji naziemnej, GPS), mierniki interwału czasu, mierniki TIE (błędu przedziału czasu), analizatory transmisji cyfrowej PDH i SDH |
| Przedział czasu | 0,8 ns ÷ 24 h | $1 \cdot 10^{-13} \div 3 \cdot 10^{-10}$ | |

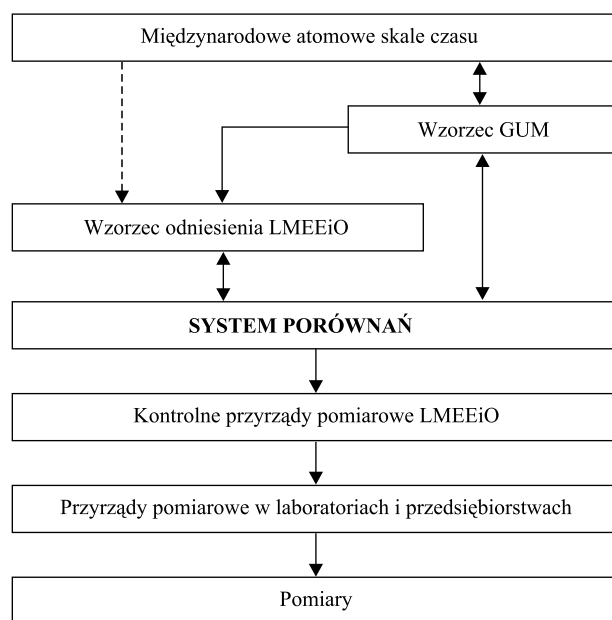


Rys. 4. Stanowisko do wzorcowania częstościomierzy

Spójność pomiarowa jest realizowana za pomocą stanowiska wzorca częstotliwości i czasu IŁ, które znajduje się w LMEEiO. Stanowisko składa się z cezowego wzorca częstotliwości, systemu przekazywania czasu oraz urządzeń dystrybucji sygnału czasu i częstotliwości wzorcowej.

Laboratorium dysponuje cezowym wzorcem częstotliwości typu 5071A (wersja *high performance*) firmy Agilent Technologies, który jest zdalnie porównywany z państwowym wzorcem jednostki miary czasu i częstotliwości, przechowywanym w GUM, za pośrednictwem sygnałów *Global Positioning System* (GPS). Porównania te polegają na pomiarze różnicy czasu fazowego dwóch skal czasu: opartej na wzorcu częstotliwości IŁ i realizowanej przez GUM skali czasu UTC(PL). W 7-dobowym przedziale czasu jest określana różnica względnych odchyień częstotliwości wzorca GUM i wzorca IŁ. Sygnał z wzorca częstotliwości IŁ jest przekazywany do urządzeń pomiarowych LMEEiO oraz do Zakładu Radiokomunikacji, Radiofonii i Telewizji IŁ w celu kontroli Krajowej Częstotliwości Wzorcowej. Za pośrednictwem wymienionych porównań, wzorzec IŁ uzyskuje odniesienie bezpośrednio do państwowego wzorca jednostki miary i pośrednio przez UTC(PL) do międzynarodowej skali czasu skoordynowanego UTC (*Universal Time Coordinated*) oraz uczestniczy w tworzeniu UTC i międzynarodowej atomowej skali czasu TAI (*International Atomic Time*).

Za pośrednictwem porównań wzorca częstotliwości IŁ metodą GPS CV (*Common View*), są wymieniane dane przez Internet z laboratoriami krajowymi posiadającymi cezowe wzorce częstotliwości. W ten sposób IŁ uczestniczy w tworzeniu Polskiej Atomowej Skali Czasu TA(PL), a jednocześnie, otrzymując dane przez Internet z laboratoriów zagranicznych (Observatoire de Paris – OP, PTB, National Physical Laboratory – NPL), wzorzec częstotliwości IŁ porównuje się z wzorcami tych laboratoriów (rys. 5).



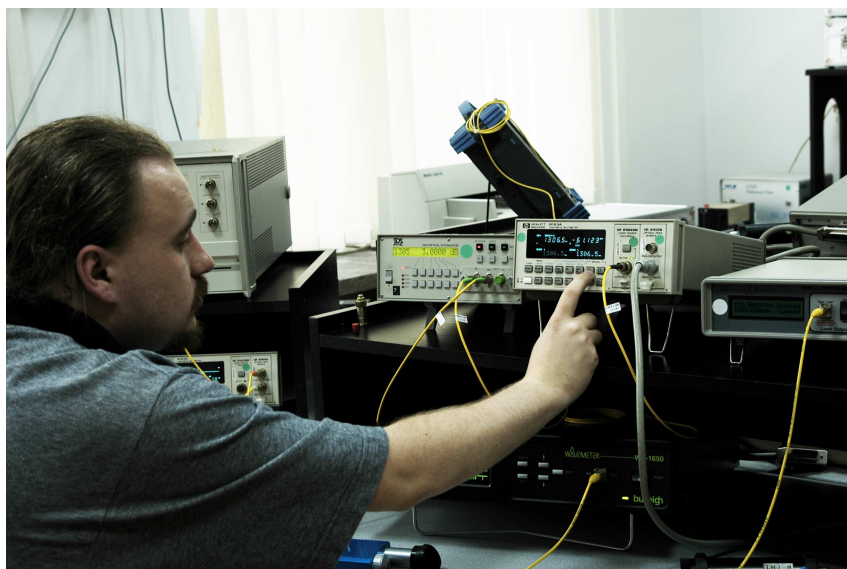
Rys. 5. Zapewnienie spójności pomiarowej czasu i częstotliwości

Zapewnienie spójności pomiarowej w zakresie wielkości optoelektronicznych

W zakresie akredytacji Laboratorium są wielkości optoelektroniczne zgodnie z danymi wskazanymi w tablicy 3.

Tabl. 3. Zakres akredytacji wielkości optoelektronicznych

| Nazwa wielkości fizycznej | Zakres pomiarowy | Najlepsza możliwość pomiarowa | Obiekty wzorcowania |
|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------|---|
| Moc promieniowania optycznego | 100 pW ÷ 500 mW | 2,5% ÷ 2,8% | mierniki mocy optycznej (rys. 6), źródła promieniowania optycznego, tłumiki optyczne, mierniki tłumienności odbicia (reflektancji), reflektometry optyczne, analizatory transmisji cyfrowej PDH i SDH |
| Długość fali | 700 nm ÷ 1700 nm | 1,15 nm | |
| Tłumienność | 0 ÷ 70 dB | 0,03 dB | |
| Długość optyczna światłowodu | SM do 250 km MM do 100 km | 0,6 m 0,4 m ÷ 1,7 m | |
| Tłumienność odbicia | 3,5 dB ÷ 50 dB | 0,32 dB | |
| | 50 dB ÷ 65 dB | 0,66 dB | |

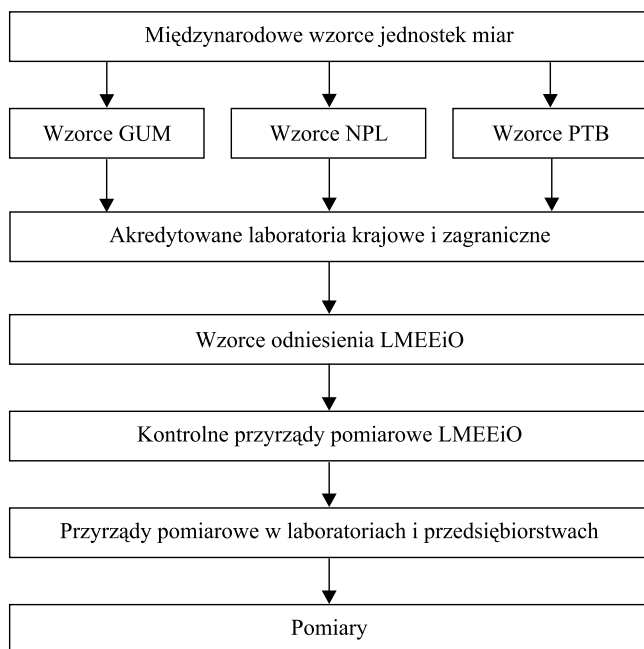


Rys. 6. Stanowisko do wzorcowania mierników mocy optycznej

Trwają prace, mające na celu rozszerzenie zakresu akredytacji o nowe przyrządy pomiarowe, takie jak: przestrajane lasery DFB, mierniki długości fali i analizatory widma optycznego. Znacznemu poszerzeniu ulegnie zakres długości fali i najlepsza możliwość pomiarowa wyniesie 0,0001 nm.

Zapewnienie spójności pomiarowej jest realizowane przez odniesienie do wzorców państwowych i międzynarodowych za pośrednictwem akredytowanych laboratoriów krajowych i zagranicznych (rys. 7).

Przyrządy firmy Agilent, stanowiące wyposażenie LMEEiO, mają spójność pomiarową z PTB, a przyrządy firmy EXFO – z NPL. Natomiast nowe przyrządy pomiarowe wdrażane w celu rozszerzenia akredytacji w LMEEiO mają odniesienie do wzorców NIST.



Rys. 7. Zapewnienie spójności pomiarowej wielkości optoelektronicznych

Podsumowanie

W Polsce istnieje sieć akredytowanych przez Polskie Centrum Akredytacji laboratoriów pomiarowych wzorcujących przyrządy pomiarowe. Do takich laboratoriów należy przedstawione Laboratorium Metrologii Elektrycznej, Elektronicznej i Optoelektronicznej Instytutu Łączności.

Warto dodać, że polski system akredytacji laboratoriów, będący częścią systemu oceny zgodności, jest kompatybilny z systemem obowiązującym w krajach Unii Europejskiej.

Bibliografia

- [1] *ILAC Policy on Traceability of Measurement Results*. ILAC-P10, 2002
- [2] *Międzynarodowy słownik podstawowych i ogólnych terminów metrologii*. Warszawa, Główny Urząd Miar, 1996
- [3] *PN-EN ISO 9001: Systemy zarządzania jakością. Wymagania*. 2001
- [4] *PN-EN ISO/IEC 17025: Ogólne wymagania dotyczące kompetencji laboratoriów badawczych i wzorcujących*. 2001
- [5] *PN-ISO 10012-1: Wymagania dotyczące zapewnienia jakości wyposażenia pomiarowego. System potwierdzania metrologicznego wyposażenia pomiarowego*. 1998

- [6] *Polityka Polskiego Centrum Akredytacji dotycząca zapewnienia spójności pomiarowej*. DA-06. Warszawa, Polskie Centrum Akredytacji, 2004
- [7] *Traceability of Measuring and Test Equipment to National Standards*. EA-4/07, 1995
- [8] *Spójność pomiarowa jako element kompetencji technicznych laboratoriów*. Materiały X Sympozjum Klubu Polskich Laboratoriów Badawczych POLLAB, 2004

Anna Warzec



Inż. Anna Warzec (1950) – absolwentka Wydziału Elektrycznego Politechniki Warszawskiej (1978); długoletni pracownik naukowy Instytutu Łączności w Warszawie (od 1972), kierownik Centralnej Izby Pomiarów Telekomunikacyjnych (CIPT) oraz kierownik Laboratorium Metrologii Elektrycznej, Elektronicznej i Optoelektrycznej Instytutu Łączności; zainteresowania naukowe: metrologia wielkości podstawowych i metrologia wspomagana komputerowo.

e-mail: A.Warzec@itl.waw.pl

Elżbieta Hercan-Sereda



Techn. Elżbieta Hercan-Sereda (1952) – absolwentka Technicznych Zakładów Naukowych Ministerstwa Przemysłu Maszynowego w Warszawie (1971); długoletni pracownik Instytutu Łączności w Warszawie (od 1976), kierownik Zespołu Metrologii Parametrów Podstawowych w Centralnej Izbie Pomiarów Telekomunikacyjnych oraz w Laboratorium Metrologii Elektrycznej, Elektronicznej i Optoelektrycznej; zainteresowania zawodowe: metrologia parametrów podstawowych i metrologia wspomagana komputerowo.

e-mail: E.Sereda@itl.waw.pl