

# FOTOMETRIA RADIOMETRIA

PRZEWODNIK PO DZIEDZINIE

Autorzy: Jolanta Gębicka  
Sylvia Górnik  
Łukasz Litwiniuk  
Grzegorz Szajna  
Alicja Zydorowicz

Redaktor: Paweł Fotowicz

Zdjęcia: Archiwum GUM



*niepodlega*

ul. Elektoralna 2  
00-139 Warszawa  
godziny pracy: 8:00-16:00

tel. 22 581 93 99 (centrala)  
fax: 22 581 93 92  
e-mail: gum@gum.gov.pl

Materiał opracowano w Biurze Strategii Głównego Urzędu Miar.

Główny Urząd Miar (GUM) jest krajową instytucją metrologiczną. Działa na rzecz zagwarantowania zdolności pomiarowych niezbędnych dla zrównoważonego rozwoju gospodarki, zapewnienia odpowiedniego poziomu jakości życia społeczeństwa oraz zabezpieczenia interesów obywateli.

Zadania GUM obejmują szerokie spektrum zagadnień związanych z metrologią, jednostkami miar, ich definicjami, jak również zaawansowanymi technologicznie wzorcami pomiarowymi oraz tematyką ochrony bezpieczeństwa gospodarczego i technicznego państwa.

# Spis treści

I	Wstęp.....	5
II	Potrzeby społeczne i gospodarcze.....	6
III	Historia rozwoju dziedziny w Głównym Urzędzie Miar .....	10
IV	Plany rozwojowe.....	11
V	Krajowy system metrologiczny w dziedzinie fotometrii i radiometrii .....	19
VI	Wykaz dokumentów związanych z dziedziną fotometrii i radiometrii .....	29
VII	Wykaz publikacji w latach 2004–2017 .....	31
	Załącznik 1 – stanowiska pomiarowe.....	35
	Załącznik 2 – klasyfikacja czynności metrologicznych w dziedzinie fotometrii i radiometrii.....	60



# I Wstęp

Fotometria i radiometria to określenie stosowane dla tej części pomiarów, które wykorzystują promieniowanie elektromagnetyczne od dalekiego nadfioletu (UV-C) do dalekiej podczerwieni (IR-C). Przyjmuje się, że zakresy widmowe poszczególnych przedziałów wyrażane długościami fali promieniowania są następujące [1]:

- UV-C: (100 ÷ 280) nm – daleki nadfiolet,
- UV-B: (280 ÷ 315) nm – średni nadfiolet,
- UV-A: (315 ÷ 400) nm – bliski nadfiolet,
- VIS: (360–400 ÷ 780–830) nm – promieniowanie widzialne,
- IR-A: (780 ÷ 1400) nm – bliska podczerwień,
- IR-B: (1,4 ÷ 3) mm – średnia podczerwień,
- IR-C: (3 ÷ 1000) mm – daleka podczerwień.

Fotometria obejmuje swoim zainteresowaniem wielkości charakteryzujące promieniowanie dostrzegane przez „uśrednione” ludzkie oko, czyli oceniane zgodnie z przyjętą funkcją względną widmowej skuteczności świetlnej  $V(\lambda)$  – dla widzenia w warunkach dziennych i  $V'(\lambda)$  – dla widzenia w warunkach nocnych.

Radiometria ocenia promieniowanie również poza obszarem widzianym przez człowieka, a także wykorzystuje inne funkcje względną widmowej skuteczności widmowej, np. opisującej wrażliwość ludzkiej skóry na promieniowanie nadfioletowe obecne w świetle słonecznym lub też dotyczące hodowli roślin z punktu widzenia przyrostu masy zielonej, w zależności od składu widmowego zastosowanego doświetlania.

Najważniejszymi międzynarodowymi gremiami, w których wypracowuje się dokumenty normalizacyjne, formułuje dokumenty programowe lub prowadzi prace rozwojowe w dziedzinach fotometrii i radiometrii są:

- Commission Internationale de l’Eclairage – CIE (organizacja zrzeszająca krajowe Komitety Oświetleniowe krajów członkowskich, firmująca powstające w powoływanych ad hoc Komitetach Technicznych zalecenia i normy, m.in. z dziedziny pomiarów promieniowania optycznego),
- Consultative Committee for Photometry and Radiometry – CCPR (Doradczy Komitet Międzynarodowego Komitetu Miar, wypowiadający się w sprawach odnoszących się do wzorców wielkości fotometrycznych i radiometrycznych),
- Komitet Techniczny EURAMET ds. Fotometrii i Radiometrii – TC-PR (jeden z dziesięciu dziedzinowych komitetów Europejskiego Stowarzyszenia Krajowych Instytutów Metrologicznych, grupujących przedstawicieli europejskich odpowiedników Głównego Urzędu Miar, wspierający wykonywanie zadań zapisanych w Porozumieniu o wzajemnych uznawaniu państwowych wzorców jednostek miar oraz świadectw wzorcowania i świadectw pomiarów wydawanych przez krajowe instytucje metrologiczne, CIPM MRA).

## II Potrzeby społeczne i gospodarcze

### 1. Potrzeby zidentyfikowane międzynarodowo

W rozdziale VI przedstawiono wykaz publikacji CIE (międzynarodowej Komisji Oświetleniowej), dotyczących aspektów związanych z pomiarami wielkości fotometrycznych i radiometrycznych [2]. Część z tych zaleceń to dokumenty wprost przywoływane w dokumentacji jakościowej pracowni zajmujących się w GUM pomiarami w tej dziedzinie, a wszystkie one stanowią odpowiedź specjalistów skupionych w CIE na potrzebę ujednoczonego podejścia do pomiarów fotometrycznych i radiometrycznych w dziedzinach, w których występuje na nie konkretne rynkowe zapotrzebowanie.

W dokumencie strategicznym CCPR [3] dotyczącym kierunków rozwoju fotometrii i radiometrii wymieniono następujące tematy, które zdaniem autorów wychodzą naprzeciw pojawiającym się obecnie potrzebom ogólnoświatowym na precyzyjne pomiary w tej dziedzinie:

- uwzględnienie w definicji podstawowej jednostki SI – kandeli – stałej Plancka ze względu na możliwość zastosowań w technologiach opartych o pomiary kwantowe,
- wzrost znaczenia energooszczędnych źródeł światła, zwłaszcza opartych na diodach emitujących światło (LED), które w najbliższych latach mogą osiągnąć skuteczność świetlną dwa razy wyższą od źródeł świetłówekowych, co wiąże się ze zmianą podejścia w pomiarach opartego o tradycyjne źródła światła,
- konieczność stosowania spójnych z SI pomiarów parametrów mierzonych w badaniach klimatycznych, środowiskowych, parametrów używanych do oceny jakości życia i tych dotyczących ziemskich zasobów naturalnych,
- rosnące potrzeby w zakresie spójnych z SI pomiarów wielkości fotobiologicznych,
- potrzeba podjęcia prac nad wprowadzeniem wzorców opartych na zjawiskach kwantowych do zastosowań w metrologii pojedynczych fotonów.

CCPR stosując klucz „najważniejszych wyzwań” wskazuje na następujące problemy metrologiczne w poniższych obszarach.

- Potrzeby przemysłu: opomiarowanie „postrzegalności obiektów” (appearance), nowe czujniki fotoniczne/optyczne do monitoringu różnych procesów, wsparcie technik światłowodowych w telekomunikacji, metrologia wspierająca litografię wykorzystującą skrajnie daleki nadfiolet.
- Energia: fotowoltaika (pomiary wydajności, spójność w pomiarach ogniw), LED i OLED (normalizacja metod i rozwój nowych metod pomiarowych), systemy zasilania wykorzystujące promieniowanie słoneczne (wzorce do oceny wydajności, porównywalność wskazań czujników).
- Zdrowie i nauki przyrodnicze: diagnostyka i terapia w medycynie, biotechnologie, pomiary na poziomie komórkowym.
- Środowisko i klimat: nowe czujniki do obserwacji powierzchni Ziemi, kontroli temperatury oceanów i atmosfery, spójność w rozproszonych systemach obserwacji satelitarnych, wzorce i przyrządy do pomiarów radiometrycznych w przestrzeni kosmicznej, spójne do SI pomiary w stacjach w zdalnie obsługiwanych naziemnych stacjach meteorologicznych.
- Bezpieczeństwo: wykorzystanie pasma terahercowego, kryptografia kwantowa.

- Nowe technologie: nanotechnologia, pomiary na rzecz nowych materiałów (metamateriały, materiały hybrydowe), innowacje techniczne (metody i wzorce w skrajnych zakresach widma optycznego).

EURAMET i jego poszczególne Komitety Techniczne są źródłem opracowań znanych jako mapy drogowe [4], ukazujące spodziewane i pożądane kierunki rozwoju technik pomiarowych, wynikające z europejskich i ogólnoswiatowych potrzeb gospodarczych i społecznych. W dziedzinach fotometrii i radiometrii zostały przygotowane cztery mapy drogowe z poniższymi celami szczegółowymi.

- „Basic Science – Quantum Optics” – łatwo dostępne wzorce transferowe o wysokiej dokładności, fotonika do pomiarów pojedynczych molekuł, normalizacja w zakresie systemów bezpiecznej transmisji danych, rozwój metod pomiarowych opartych o techniki kwantowe, źródła pojedynczych fotonów.
- „Optical Radiation: Sustainable growth in a climate changing World” – zachowanie spójności w pomiarach klimatycznych, rozproszone pomiary czujnikowe, np. jakości powietrza, zmniejszenie niepewności w długookresowych pomiarach zmian temperatury, wprowadzenie systemu pełnego monitoringu naziemnego i satelitarnego zmian klimatu.
- „Improve Energy Effectivity by High Quality Solar Cells and Modern Lighting” – dokładniejsze pomiary w fotowoltaice dla zwiększenia efektywności ogniw słonecznych.

## 2. Potrzeby krajowe

Co roku do pracowni zajmujących się pomiarami z dziedziny fotometrii i radiometrii zgłasza się ze swoimi potrzebami wzorcowania ponad 300 różnych klientów. Cennik usług dostępny na stronie internetowej GUM obejmuje ponad 400 pozycji, tworzących różne warianty wzorcowań, które, biorąc pod uwagę zróżnicowanie przyrządów i wzorców pomiarowych, można pogrupować jak poniżej.

Lp.	Przyrząd pomiarowy
<b>L61 Pracownia Wzorców Spektrofotometrycznych</b>	
1.	Wzorce (achromatyczne i barwne) gęstości optycznej widmowego współczynnika przepuszczenia kierunkowego
2.	Spektrofotometry (dla gęstości optycznej widmowego współczynnika przepuszczenia kierunkowego)
3.	Wzorce (achromatyczne i barwne) widmowego współczynnika przepuszczenia kierunkowego
4.	Spektrofotometry (dla widmowego współczynnika przepuszczenia kierunkowego)
5.	Wzorce długości fali
6.	Spektrofotometry (dla długości fali)
7.	Wzorce składowych trójchromatycznych i współrzędnych chromatyczności
<b>L62 Pracownia Wzorców Fotometrycznych i Radiometrycznych</b>	
8.	Wzorce światłości (lampy żarowe)
9.	Wzorce strumienia świetlnego (lampy żarowe)
10.	Wzorce temperatury barwowej najbliższej (lampy żarowe)
11.	Luksomierze cyfrowe
12.	Mierniki luminancji

Lp.	Przyrząd pomiarowy
13.	Kolorymetry trójchromatyczne do pomiaru chromatyczności źródeł światła
14.	Wzorce czułości widmowej (przy długościach fali promieniowania laserowego 488 nm, 514 nm, 632 nm)
15.	Materiały fotoluminescencyjne (pomiar luminancji i czasu zaniku)
16.	Połyskomierze
17.	Wzorce luminancji
18.	Wzorce czułości widmowej (promieniowanie monochromatyczne od 380 nm do 1600 nm)
19.	Mierniki mocy promienistej (promieniowanie monochromatyczne od 380 nm do 1600 nm)
20.	Mierniki mocy promienistej przy wybranych długościach fali promieniowania laserowego
21.	Mierniki światła białego stosowane w badaniach nieniszczących (NDT)
22.	Mierniki nadfioletu stosowane w badaniach nieniszczących (NDT)
23.	Wzorce połysku w geometriach pomiarowych 20°/20°, 60°/60°, 85°/85°
24.	Kalibratory fotometryczne (pomiar natężenia oświetlenia i temperatury barwowej)
25.	Komory świetlne (pomiar natężenia oświetlenia i temperatury barwowej)
<b>L63 Wieloosobowe Stanowisko Pracy do spraw Wzorców Barwy</b>	
26.	Wzorce (achromatyczne i barwne) widmowego współczynnika odbicia rozproszonego (geometria 8°:d)
27.	Wzorce (achromatyczne i barwne) widmowego współczynnika luminancji (geometria d:0°, d:8°, 0°:45°, 45°:0°)
28.	Wzorce (achromatyczne i barwne) parametrów kolorymetrycznych w geometrii d:0°, d:8°, 0°:45°, 45°:0°
29.	Kolorymetry trójchromatyczne i spektrofotometry odbiciowe

Pojawiają się również nietypowe potrzeby zgłaszane przez klientów GUM w dziedzinie fotometrii i radiometrii i dotyczą one:

- densytometrii poligraficznej (możliwości sprawdzania przyrządów poligraficznych pracujących na bardzo małych próbkach wydruków barwnych),
- densytometrii rentgenowskiej (możliwości sprawdzania przyrządów do sprawdzania zaczernienia błon rentgenowskich),
- możliwości badania barw materiałów tekstylnych (np. flag państwowych),
- możliwości opracowania metod wzorcowania przyrządów używanych do badania jakości i wyglądu powłok lakierniczych,
- możliwości sprawdzania przyrządów o nietypowych geometriach wiązki światła przepuszczanego (np. czytniki mikroplątek, kuwety o innych przekrojach niż prostokątny),
- możliwości opracowania metod wzorcowania przyrządów wieloczujnikowych (np. matrycowe mierniki luminancji),
- możliwości opracowania metod wzorcowania przyrządów używanych na samochodowych stacjach diagnostycznych (np. mierniki do badania stopnia przepuszczalności szyb samochodowych, mierniki do badania spalin samochodowych).

Nowe potrzeby i problemy metrologiczne, zgłaszane w ramach działalności Konsultacyjnych Zespołów Metrologicznych przy Prezesie GUM, dotyczące fotometrii i radiometrii zachęcają do rozwijania tematów, takich jak:



- wzorce i metody pomiarowe wspomagające pomiary (mierniki i systemy pomiarowe) dotyczące szeroko rozumianej jakości oświetlenia ze szczególnym uwzględnieniem wpływu światła niebieskiego na jakość oświetlenia (organizm człowieka) i na środowisko,
- wpływ rozkładu widmowego (w tym światła niebieskiego) na organizmy żywe,
- wzorce i metody kalibracyjne spektrofotometrów oraz metody określania jakości pomiarów spektrofotometrycznych (pierwotne i wtórne źródła światła),
- jakość oddawania barw źródeł światła (włączenie się w światową sieć badań nad metodykami określania wskaźnika – istotne z punktu widzenia projektowania rozkładów widmowych LED),
- jakość oddawania barw przez źródła światła – metody pomiarowe szeroko rozumianej jakości światła,
- efektywność energetyczna a jakość oświetlenia – metody pomiarowe.

### **3. Podmioty zainteresowane spójnością pomiarową i współpracą w dziedzinach fotometrii i radiometrii**

Szczegółowe informacje o kategoriach podmiotów krajowych i zagranicznych, z którymi poszczególne sekcje Samodzielnego Laboratorium Fotometrii i Radiometrii współpracują na co dzień są podane w rozdziale IV (Plan rozwoju dziedziny fotometrii i radiometrii).

### III Historia rozwoju dziedziny w Głównym Urzędzie Miar

Pierwsze pomiary fotometryczne na terenie Głównego Urzędu Miar odbywały się już przed II wojną światową, a sama dziedzina rozwijała się przybierając różne formy organizacyjne (częściowo skorelowane ze zmianami nazw powojennego GUM). W ostatnich 30 latach można tu wymienić:

- Zakład Promieniowania Optycznego i Jonizującego,
- Samodzielne Laboratorium Promieniowania Optycznego,
- Samodzielne Laboratorium Promieniowania Optycznego i Jonizującego,
- Zakład Akustyki, Drgań i Promieniowania Optycznego,
- Zakład Promieniowania Optycznego,
- Zakład Promieniowania i Wielkości Wpływających,
- Zakład Promieniowania i Drgań,
- Samodzielne Laboratorium Fotometrii i Radiometrii.

Wraz z wejściem GUM do organizacji EUROMET (później przekształconej na EURAMET) utworzyły się możliwości uczestnictwa laboratoriów w porównaniach międzynarodowych tej organizacji. Porównania (przede wszystkim kluczowe) z dziedziny fotometrii i radiometrii, w których uczestniczyły (lub obecnie uczestniczą) pracownice laboratorium L6 w GUM, to:

- EURAMET.PR- K2.a – czułość widmowa (900 ÷ 1600) nm,
- EURAMET.PR- K2.b – czułość widmowa (300 ÷ 1000) nm,
- EURAMET.PR- K3.a – światłość,
- EURAMET.PR- K4 – strumień świetlny,
- EURAMET.PR- K5 – współczynnik odbicia rozproszonego (360 ÷ 780) nm,
- EUROMET.PR- K6 – współczynnik przepuszczania kierunkowego (380 ÷ 1000) nm,
- EURAMET.PR-K6.2015 – widmowy współczynnik przepuszczania kierunkowego (380 ÷ 1000) nm,
- EURAMET.PR- S4 – wzorcowanie mierników nadfioletu (UVA),
- COOMET project 640/BY-a/14 – barwa w świetle przepuszczonym.

Zakres prowadzonych prac badawczo-rozwojowych i bazujących na nich wzorcowań jest wynikiem dostosowywania się do zmieniających się potrzeb zewnętrznych (np. opracowanie metody wzorcowania spektrokolorymetrów odbiciowych, mierników nadfioletu i światła białego, czy sprawdzania komór świetlnych) oraz stopniowego zmniejszania się liczebności personelu (o ok. 70 % na przestrzeni ostatnich 30 lat).

## IV Plany rozwojowe

Plany dotyczące rozwoju poszczególnych poddziedzin fotometrii i radiometrii w Głównym Urzędzie Miar zaprezentowano poniżej w układzie odpowiadającym obecnemu podziałowi na pracownie uwzględniając przede wszystkim informacje na temat infrastruktury pomiarowej (tej posiadanej i tej planowanej) oraz przewidywań co do zakresu planowanych prac badawczych oraz współpracy krajowej i zagranicznej.

### Pracownia Wzorców Spektrofotometrycznych L61

Infrastruktura metrologiczna – stan obecny.

- Wzorzec pierwotny widmowego współczynnika przepuszczania umożliwiający odtwarzanie jednostki;
- Wzorzec wtórny widmowego współczynnika przepuszczania;
- Stanowisko do wzorcowania spektrofotometrów metodą porównawczą.

Planowany rozwój.

Zebrane doświadczenia oraz spodziewane w 2019 roku wyniki nowej tury porównań kluczowych EURAMET w dziedzinie pomiaru widmowego współczynnika przepuszczania staną się podstawą do uruchomienia formalnych starań o ustanowienie państwowego wzorca widmowego współczynnika przepuszczania. Ponadto planowana jest realizacja tematów o charakterze strategicznym, których krótkie opisy zamieszczono poniżej.

Realizacja tematu: Opracowanie metod pomiarowych i budowa stanowiska pomiarowego do wzorcowania czytników mikropłytek i ich kontrolnych wzorców.

Cele do osiągnięcia:

- stworzenie krajowego źródła spójności pomiarowej dla użytkowników spektrofotometrów nowej generacji do badań diagnostycznych (niezbędne inwestycje: zakup przystawki do badania jednorodności powierzchni mierzonej, doposażenie istniejącego stanowiska, czytnik mikropłytek z filtrem kontrolnym),
- ustanowienie państwowego wzorca widmowego współczynnika przepuszczania obejmującego również wzorcowanie spektrofotometrów nowej generacji.

Aktualni i potencjalni odbiorcy:

- przemysł farmaceutyczny,
- przemysł spożywczy,
- laboratoria diagnostyczne: SANEPID, WIOŚ, WIW,
- instytuty naukowe i uczelnie.

Realizacja tematu: Rozszerzenie oferty produkcji wzorców spektrofotometrycznych (widmowego współczynnika przepuszczania, gęstości optycznej widmowego współczynnika przepuszczania i długości fali) charakteryzujących się większym zakresem widmowym i większym zakresem fotometrycznym.

Cele do osiągnięcia:

- umożliwienie korzystania z krajowych wzorców spektrofotometrycznych o większym zakresie widmowym i fotometrycznym przez odbiorców krajowych i zagranicznych (niezbędne inwestycje: zakup szkła optycznego, materiału na oprawki oraz precyzyjna obróbka mechaniczna),
- ustanowienie państwowego wzorca widmowego współczynnika przepuszczania jako odniesienia dla wzorców w zakresie widmowym UV – VIS – NIR i większym zakresie fotometrycznym.

Aktualni i potencjalni odbiorcy:

- laboratoria ochrony środowiska m.in. WIOŚ, WSSE,
- przemysł farmaceutyczny i kosmetyczny,
- przemysł hutniczy metalowy,
- przemysł wydobywczy,
- laboratoria analityczne (ochrona zdrowia),
- stacje chemiczno-rolnicze, cukrownie, WIW, zakłady nawozów sztucznych, zakłady mięsne, zakłady piwowarskie,
- elektrociepłownie, petrochemia, przedsiębiorstwa wodociągów i kanalizacji,
- instytuty naukowe i uczelnie,
- inspekcje handlowe, urzędy i izby celne,
- transport drogowy, morski, lotniczy,
- urzędy ochrony konkurencji i konsumentów, policja.

Realizacja tematu: Uruchomienie produkcji wzorców spektrofotometrycznych barwnych posiadających wyraźną krawędź absorpcji w obszarze widzialnym (tzw. filtry odcinające).

Cele do osiągnięcia:

- umożliwienie korzystania z krajowych wzorców spektrofotometrycznych o rozbudowanej gamie kolorystycznej przez odbiorców krajowych i zagranicznych (niezbędne inwestycje: zakup szkła optycznego, materiału na oprawki oraz precyzyjna obróbka mechaniczna),
- ustanowienie państwowego wzorca widmowego współczynnika przepuszczania stanowiącego odniesienie również dla barwnych wzorców spektrofotometrycznych w świetle przepuszczonym.

Potencjalni odbiorcy:

- instytuty naukowe,
- przemysł włókienniczy,
- przemysł ceramiczny,
- przemysł motoryzacyjny,
- przemysł budowlany,
- transport drogowy, morski, lotniczy.

## **Pracownia Wzorców Fotometrycznych i Radiometrycznych L62**

Infrastruktura metrologiczna – stan obecny.

- Wzorzec jednostki miary światłości (wzorzec państwowy),
- Wzorzec jednostki miary strumienia świetlnego (wzorzec państwowy),

- Wzorzec jednostki miary temperatury barwowej najbliższej,
- Wzorzec jednostki miary czułości widmowej,
- Wzorzec jednostki miary połysku.

Planowany rozwój w pomiarach opartych o wzorce państwowe światłości i strumienia świetlnego oraz temperatury barwowej najbliższej.

Mając na uwadze:

- postęp technologiczny w produkcji materiałów fosforescencyjnych oraz zwiększającą się liczbę polskich producentów tych materiałów,
- przestarzałe wymagania normy PN-92/N-01256/02 w stosunku do norm ISO oraz DIN,
- dostosowanie wymagań normy krajowej PN-92/N-01256/02 „Znaki bezpieczeństwa. Ewakuacja” do wymagań norm międzynarodowych (ISO, DIN),
- możliwość pomiaru luminancji świetlnej w trudno dostępnych miejscach oraz jego szybkość przy użyciu matrycowego miernika luminancji,
- coraz częstsze stosowanie matrycowych mierników luminancji przez krajowych użytkowników, a co za tym idzie zainteresowanie wzorcowaniem tego przyrządu,
- wycofywanie z użycia żarowych źródeł światła i zastępowanie ich źródłami LED,
- wzorcowanie większości mierników promieniowania optycznego odniesiona jest do parametrów fotometrycznych i kolorymetrycznych iluminantu A,

sformułowano następujące cele:

- udział w opracowaniu założeń merytorycznych do wymagań norm przedmiotowych dotyczących znaków ewakuacyjnych w punkcie: „właściwości fotometryczne materiałów fosforescencyjnych”,
- opracowanie metody pomiaru i stworzenie stanowiska pomiarowego dla małych wartości luminancji świetlnej dla widzenia fotopowego i skotopowego,
- opracowanie metody wzorcowania matrycowych mierników luminancji świetlnej,
- poszerzenie możliwości oceny charakterystyk metrologicznych o określenie wpływu temperatury barwowej mierzonych źródeł promieniowania na wartość wskazań luksomierzy i mierników luminancji – ocena dopasowania korekcji widmowej wzorcowanych przyrządów do krzywej  $V(\lambda)$ ,
- współpraca w opracowaniu założeń metrologicznych dla kalibratora kolorymetrycznego opartego na nowoczesnych źródłach promieniowania (LED).

Realizacji tych celów posłużą następujące prace:

- przygotowanie analizy wymagań norm międzynarodowych (ISO, DIN), dotyczących pomiarów fotometrycznych materiałów fosforescencyjnych, w kontekście wymagań obowiązującej polskiej normy PN-92/N-1256/02,
- przedstawienie wniosków wynikających z analizy wyników pomiarów fotometrycznych materiałów fosforescencyjnych oraz zastosowanej metodologii obliczania czasu zaniku fosforescencji,
- utworzenie, na bazie istniejącego wyposażenia pomiarowego, stanowiska do długookresowego pomiaru czasu zaniku luminancji (zakup elementów mechanicznych oraz konserwacja układu zasilania),
- określenie źródeł niepewności, dla małych wartości luminancji, przy wzorcowaniu mierników luminancji świetlnej (temperatura barwowa 2353 K – widzenie fotopowe),

- analiza metrologiczna zastosowania stykowych mierników luminancji do pomiarów parametrów świetlnych materiałów fosforescencyjnych – pomiar luminancji świetlnej dla wartości ok.  $0,3 \text{ mcd/m}^2$  (niezbędna inwestycja: zakup stykowego miernika luminancji – doposażenie istniejącego stanowiska),
- analiza możliwości opracowania założeń metrologicznych do konstrukcji miernika luminancji świetlnej, którego odbiornik będzie dopasowany do krzywej widzenia skotopowego  $V'(\lambda)$ ,  $\lambda = 507 \text{ nm}$ ,
- określenie metody wzorcowania oraz źródeł niepewności przy wzorcowaniu mierników luminancji świetlnej dla małych wartości luminancji (temperatura barwowa  $2353 \text{ K}$  – krzywa widzenia skotopowego  $V'(\lambda)$ ),
- analiza możliwości wyznaczania charakterystyk metrologicznych matrycowych mierników luminancji – ocena przydatności metod wzorcowania stosowanych obecnie,
- poszerzenie zakresu wzorcowania mierników luminancji przy zachowaniu wartości niepewności pomiaru poprzez przygotowanie i wywzorcowanie wzorców grupowych wielkości świetlnych, wywzorcowanie wzorca współczynnika przepuszczania rozproszonego (niezbędna inwestycja: zakup spektrometru wzorcowego wraz z wyposażeniem),
- opracowanie metody stosowania kalibratora kolorymetrycznego i oceny wyników sprawdzania przy wzorcowaniu mierników promieniowania optycznego,
- doposażenie istniejących stanowisk pomiarowych (niezbędna inwestycja: udział finansowy w konstruowaniu kalibratora kolorymetrycznego),
- opracowanie polskiej normy dotyczącej znaków ewakuacyjnych, odpowiadającej aktualnym osiągnięciom technologicznym oraz wpływającej na postęp w produkcji materiałów fosforescencyjnych w Polsce (wsparcie dla polskich producentów),
- utworzenie stanowiska pomiarowego do pomiaru małych wartości luminancji (niezbędna inwestycja: zakup miernika luminancji, którego odbiornik będzie dopasowany do krzywej widzenia skotopowego  $V'(\lambda)$  wraz z wyposażeniem oraz elementami mechanicznymi),
- uruchomienie stanowiska do wzorcowania matrycowych mierników luminancji stosowanych w pomiarach przemysłowych i w pomiarach oświetlenia drogowego,
- wystąpienie do EURAMET o zmianę deklarowanego zakresu pomiarowego luminancji świetlnej i wartości CMC w bazie KCDB,
- zaimplementowanie rozszerzonej metody wzorcowania luksomierzy w laboratoriach wzorcujących terenowej służby miar (szkolenia, porównania międzylaboratoryjne),
- stworzenie spójnej metody oceny przydatności luksomierzy oraz mierników luminancji zgodnej z zaleceniami ISO/CIE 19476: 2014 E Characterization of the performance of Illuminance Meters and Luminance Meters,
- podjęcie działań kształtujących poprawę zdrowia publicznego poprzez nadzór metrologiczny nad przyrządami pomiarowymi służącymi do oceny warunków BHP – realizacja inicjatyw Narodowego Programu Zdrowia,
- wprowadzenie do zastosowań laboratoryjnych innowacyjnego przyrządu pomiarowego polskiej produkcji odpowiadającego aktualnym wyzwaniom technicznym, który wykorzystując nowoczesne źródła promieniowania umożliwi w sposób prosty i jednoznaczny przeprowadzenie oceny jakości metrologicznej oferowanych w handlu luksomierzy i mierników luminancji.

Aktualni i potencjalni odbiorcy:

- polscy producenci materiałów fosforescencyjnych,
  - polscy producenci fotometrycznych urządzeń pomiarowych,
  - terenowa służba miar,
  - służby kontroli warunków oświetleniowych na drogach i oświetlenia miejsc pracy,
- instytuty badawcze.

Planowany rozwój w pomiarach opartych o wzorce czułości widmowej.

Mając na uwadze:

- potrzeby laboratoriów wzorcujących akredytowanych i nieakredytowanych,

sformułowano następujące cele:

- zwiększenie mierzonych poziomów mocy dla promieniowania monochromatycznego,
- poszerzenie zakresu długości promieniowań laserowych oraz poziomu mocy.

Realizacji tych celów posłużą następujące prace:

- zakup oświetlacza szczelinowego (doposażenie istniejącego stanowiska) – umożliwi zwiększenie poziomów mocy dla promieniowania monochromatycznego,
- zakup laserów lub lasera przestrajalnego wraz z wyposażeniem oraz zakup kontrolera mocy lasera umożliwi poszerzenie zakresu długości promieniowań laserowych oraz poziomu mocy ( $\lambda = 850 \text{ nm}, 904 \text{ nm}, 1064 \text{ nm}; P \text{ ok. } 3 \text{ mW}$ ) dla promieniowania laserowego,
- odtworzenie dotychczasowych wzorców odniesienia w pomiarach czułości widmowej (zakup, w miejsce obecnie używanych, od ponad 20 lat, odbiorników pułapkowych typu QED o lepszych charakterystykach metrologicznych – niepewność ok. 0,1 %),
- stworzenie krajowego źródła spójności pomiarowej dla ośrodków metrologii wojskowej w pomiarach mocy i energii promieniowania optycznego (niezbędna inwestycja: zakup radiometru kriogenicznego wraz z wyposażeniem).

Aktualni i potencjalni odbiorcy:

- laboratoria wojskowe,
- WAT,
- terenowa służba miar,
- telekomunikacja,
- instytuty badawcze.

Planowany rozwój w pomiarach połysku.

Mając na uwadze:

- coraz większe zapotrzebowanie na przyrządy pomiarowe stosowane do obiektywnej oceny cech fizycznych wyrobów,
- PHORA Industry Roadmap – 2012; Improved Optical radiation metrology for industrial competitiveness and sustainability. Targets: Ability to measure physical characteristics of visually – complex materials and objects In a way that correlates with visual perception,

sformułowano następujące cele:

- opracowanie metody wyznaczania charakterystyk metrologicznych przyrządów pomiarowych stosowanych do obiektywnej oceny cech fizycznych korelujących z postrzeganiem wzrokowym,
- opracowanie metody określania wartości połysku na podstawie pomiarów współczynnika załamania.

Realizacji tych celów posłużą następujące prace:

- poszerzenie zakresu pomiarowego, zwiększenie liczby mierzalnych geometrii pomiarowych o geometrie  $45^\circ/45^\circ$  i  $75^\circ/75^\circ$  (wywzorcowanie posiadanych wzorców wysokiego połysku dla większej liczby geometrii pomiarowych – wzorcowanie zagraniczne w 3 lata w National Research Council, Kanada),
- przeprowadzenie pomiarów współczynnika załamania wzorców wysokiego połysku oraz wstępne oszacowanie wartości wysokiego połysku wraz z jego niepewnością wyznaczenia (planowana współpraca z Pracownią Kąta L42),
- utworzenie państwowego wzorca jednostki miary wysokiego połysku, w odniesieniu do państwowego wzorca współczynnika załamania, będącego źródłem spójności pomiarowej dla laboratoriów polskiego przemysłu oraz instytutów badawczych,
- inicjowanie porównań międzynarodowych, udział w projektach naukowych EURAMET.

Aktualni i potencjalni odbiorcy:

- przemysł motoryzacyjny,
- przemysł chemiczny,
- przemysł drukarski,
- przemysł meblarski,
- instytuty badawcze.

### **Wielosobowe Stanowisko Pracy do spraw Wzorców Barwy L63**

Infrastruktura metrologiczna – stan obecny.

- Stanowisko pomiarowe wzorcowania wzorców widmowego współczynnika odbicia w geometrii pomiaru  $8^\circ:d$ .
- Stanowisko pomiarowe wzorcowania wzorców widmowego współczynnika luminancji w geometrii pomiaru  $d^\circ:8$ .
- Stanowisko pomiarowe wzorcowania wzorców widmowego współczynnika luminancji w geometrii pomiaru  $d:0^\circ$ .
- Stanowisko pomiarowe wzorcowania wzorców widmowego współczynnika luminancji w geometrii pomiaru  $0^\circ:45^\circ$ .
- Stanowisko pomiarowe wzorcowania wzorców widmowego współczynnika luminancji w geometrii pomiaru  $45^\circ:0^\circ$ .
- Stanowisko pomiarowe wzorcowania kolorymetrów trójchromatycznych i spektrofotometrów odbiciowych.



Planowany rozwój.

Przewiduje się realizowanie tematów o charakterze strategicznym, których krótki opis zamieszczono poniżej.

Realizacja tematu: Budowa stanowiska do pomiarów widmowego współczynnika odbicia metodą spektrogoniometriczną w zakresie UV – VIS – NIR.

Cele do osiągnięcia:

- budowa stanowiska pomiarowego współczynnika odbicia o najwyższej jakości metrologicznej w kraju (niezbędne inwestycje: zakup aparatury pomiarowej w tym źródła promieniowania, monochromatora, komory pomiarowej z elementami optycznymi oraz obrotowej ławy optycznej),
- zapewnienie możliwości pomiarowych współczynnika odbicia metodą absolutną w zalecanych przez CIE (Międzynarodową Komisję Oświetleniową) geometriach pomiarowych,
- uniezależnienie GUM od wzorcowań w zagranicznych NMI,
- rozszerzenie zakresu wzorcowań o wzorce stosowane do kalibracji nowoczesnych spektrofotometrów wielokątowych,
- udział w projektach badawczych np. wzorców służących do pomiarów nowoczesnych materiałów o niepłaskich i przestrzennie niejednorodnych powierzchniach zgodnie z zadaniami zawartymi w TC-PR Industry Roadmap 2012 „Transfer standards and instruments for physical measurements for visual appearance”,
- utworzenie wzorca państwowego współczynnika odbicia będącego źródłem spójności pomiarowej dla laboratoriów badawczych i przemysłowych w kraju.

Aktualni i potencjalni odbiorcy:

- laboratoria badawcze i przemysłowe przemysłu: motoryzacyjnego, farb i lakierów, materiałów budowlanych, włókienniczego, farmaceutycznego, chemicznego, poligraficznego i spożywczego,
- laboratoria badawcze wojska i służb mundurowych,
- polscy producenci i dystrybutorzy sprzętu pomiarowego.

Realizacja tematu: Opracowanie metody wzorcowania densytometrów i spektrodensytometrów, przyrządów wykorzystywanych do kontroli jakości wydruku w produkcji poligraficznej.

Cele do osiągnięcia:

- rozszerzenie zakresu działalności pomiarowej poprzez możliwość wzorcowania densytometrów i spektrodensytometrów, urządzeń powszechnie stosowanych w przemyśle drukarskim i poligraficznym,
- opracowanie metody wzorcowania densytometrów i spektrodensytometrów,
- zapewnienie spójności pomiarowej w pomiarach gęstości optycznej farb drukarskich (niezbędne zakup zestawu wzorców barwy w skali CMYK).

Aktualni i potencjalni odbiorcy:

- przemysłowe laboratoria badawcze przemysłu poligraficznego,
- laboratoria badawcze instytutów naukowych.

Realizacja tematu: Uruchomienie stanowiska do wytwarzania wzorców achromatycznych i barwnych stosowanych do pomiarów widmowego współczynnika odbicia i luminancji oraz kalibracji spektrofotometrów i kolorymetrów odbiciowych.

W latach 1992-1996 w GUM opracowano technikę wytwarzania wzorców bieli i barwy ze spiekanego PTFE (politetrafluoroetyleny). Do 2007 r. GUM produkował wzorce bieli i barwy na potrzeby krajowych odbiorców. W latach następnych zaniechano produkcji m. in. z powodu ograniczeń kadrowych. Zachowana została część infrastruktury do produkcji wzorców: piec muflowy, tuleje ze stali nierdzewnej do wypiekania PTFE, wagi, mieszalniki.

Cele do osiągnięcia:

- umożliwienie krajowym odbiorcom zakupu wzorców o najwyższych parametrach w cenach znacznie niższych niż oferowane przez zagranicznych producentów,
- wznowienie produkcji wzorców achromatycznych do kalibracji spektrofotometrów i kolorymetrów odbiciowych oraz do pomiarów widmowego współczynnika odbicia i luminancji,
- odtworzenie metodyki wytwarzania wzorców achromatycznych i barwnych (niezbędny zakup materiału do produkcji wzorców, Spectralonu oraz barwników: sadz, pigmentów nieorganicznych, luminoforów, tlenków ziem rzadkich).

Aktualni i potencjalni odbiorcy:

- laboratoria badawcze instytutów naukowych,
- laboratoria badawcze i przemysłowe przemysłu: farb i lakierów, materiałów budowlanych, włókienniczego, motoryzacyjnego, chemicznego,
- polscy producenci wyposażenia pomiarowego.

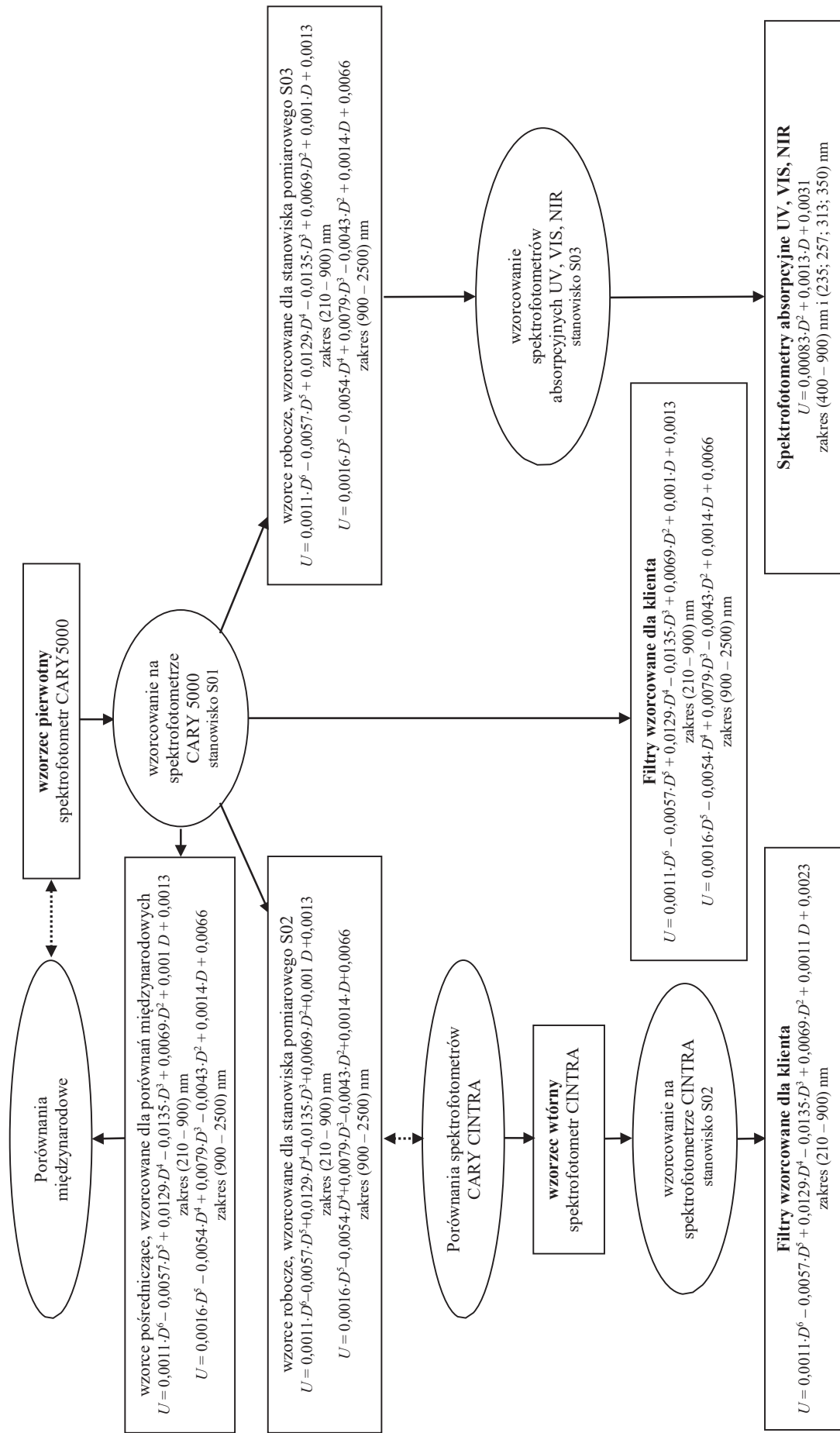
# V Krajowy system metrologiczny w dziedzinie fotometrii i radiometrii

Poza centralą w Warszawie usługi pomiarowe w obszarze metrologii promieniowania optycznego świadczone są również w oddziałach terenowych w Poznaniu, Łodzi i Białymstoku (wzorcowanie luksomierzy, a także kalibratorów fotometrycznych), w Gdańsku i Łodzi (wzorcowanie wzorców spektrofotometrycznych w zakresie UV-VIS) oraz we wszystkich dziewięciu Okręgowych Urzędach Miar, w zakresie wzorcowania spektrofotometrów. We wszystkich dziedzinach metrologii reprezentowanych w terenowych oddziałach polskiej służby zachowanie spójności pomiarowej realizowane jest poprzez odniesienie wzorców stosowanych w terenie do wzorców wyższego rzędu utrzymywanych w Głównym Urzędzie Miar. W fotometrii są to wzorce robocze oparte na lampach żarowych odniesione do państwowego wzorca światłości, a w spektrofotometrii: szklane i ciekłe filtry wzorcowe, które powiązane z wzorcem odniesienia widmowego współczynnika przepuszczania. W przypadku spektrofotometrii w świetle odbitym Wieloosobowe Stanowisko do spraw Wzorców Barwy L63 jest jednym z dwóch ośrodków laboratoryjnym w kraju oferujących wzorcowania w tej poddziedzinie.

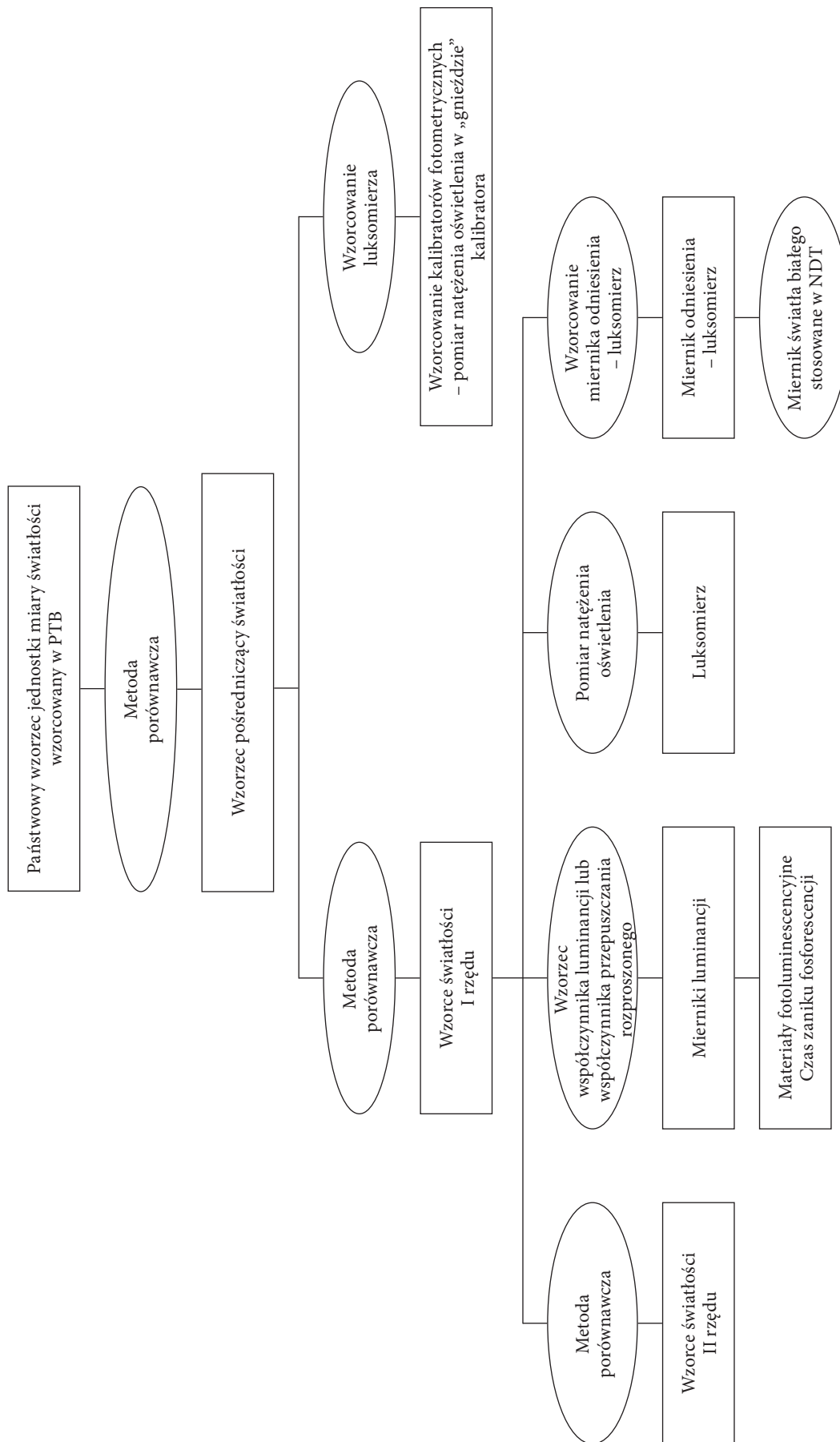
## 1. Spójność pomiarowa w Polsce w dziedzinie fotometrii i radiometrii

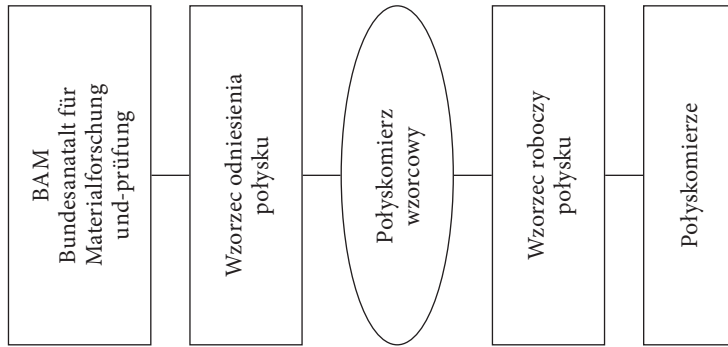
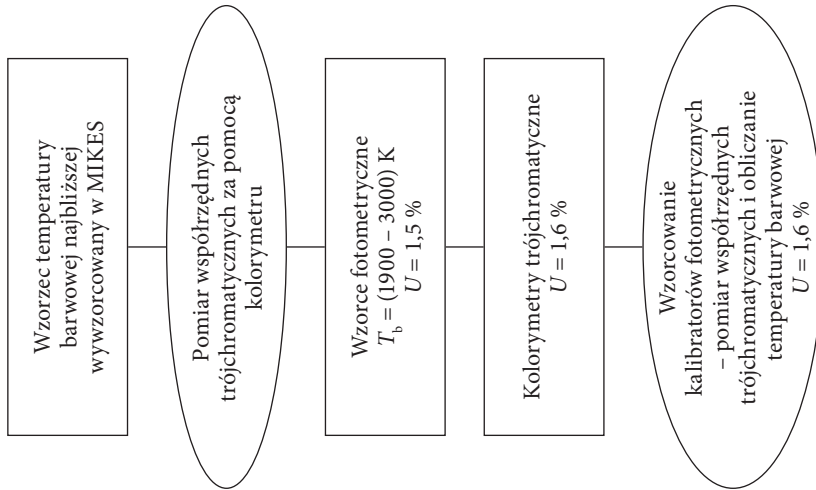
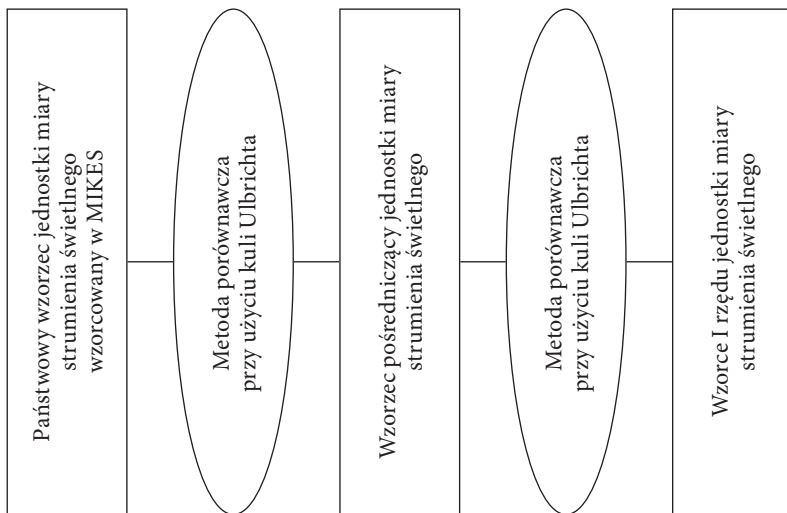
Poniżej przedstawione zostały schematy spójności pomiarowej dla jednostek wielkości odtwarzanych i przekazywanych w poszczególnych pracowniach Laboratorium L6, zajmujących się w GUM fotometrią i radiometrią.

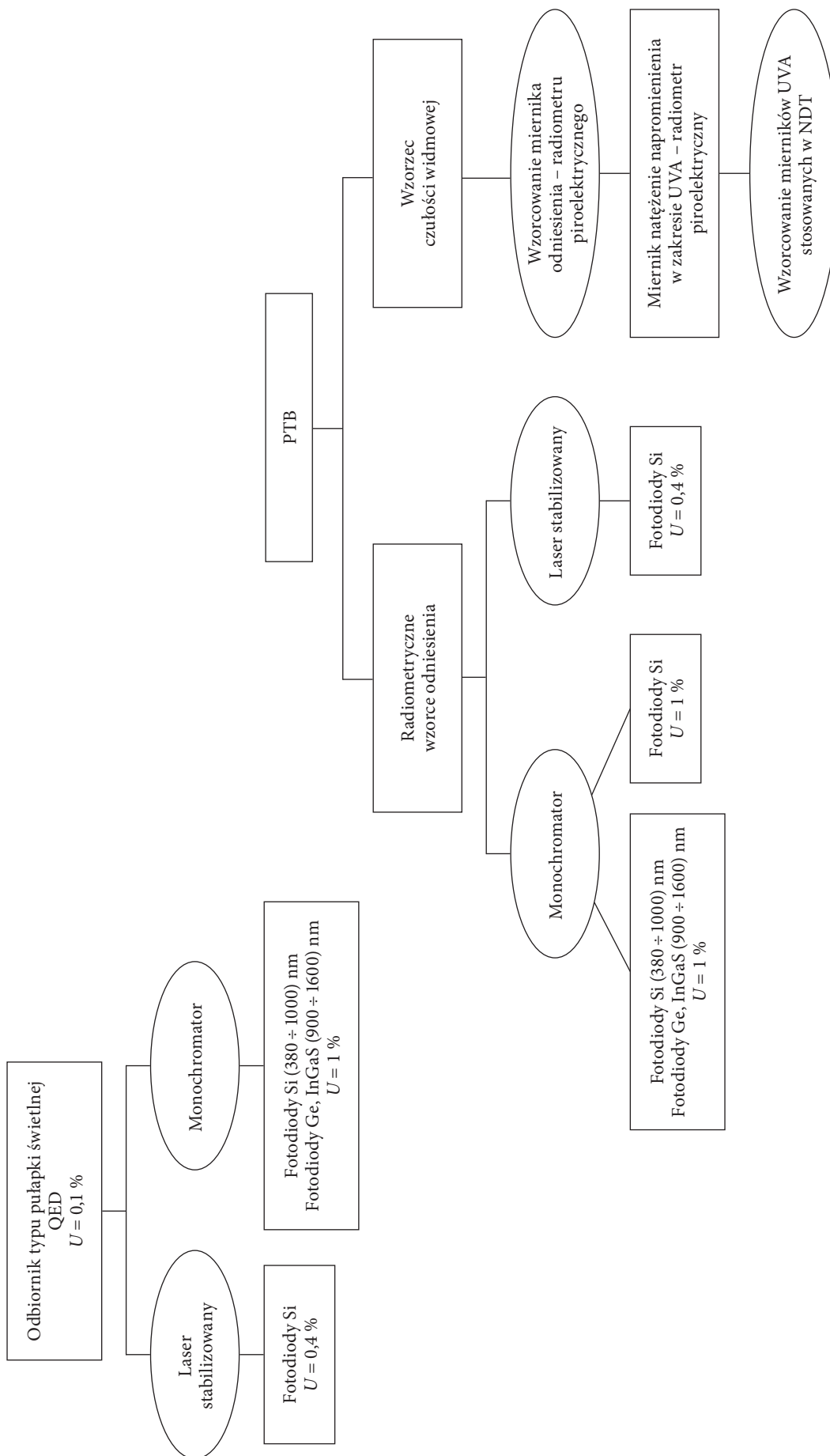
# Pracownia Wzorców Spektrofotometrycznych L61



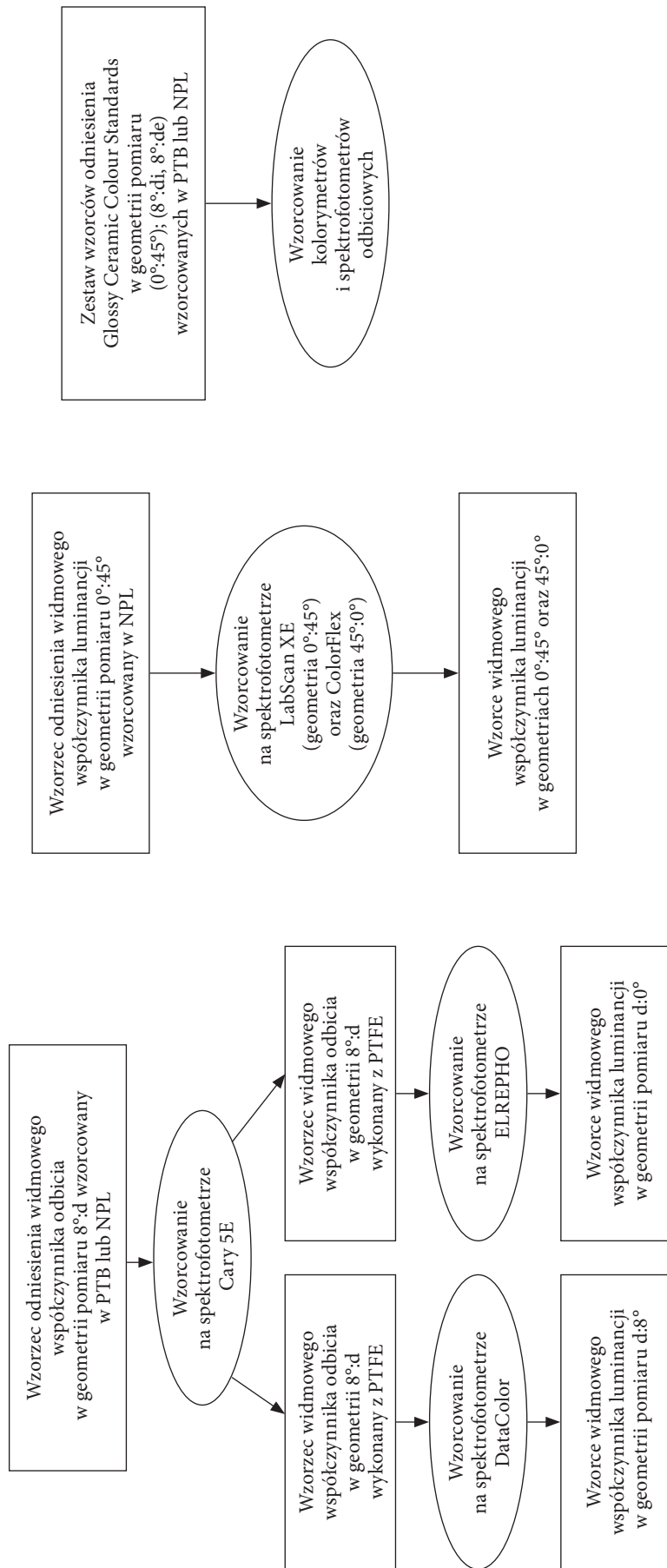
# Pracownia Wzorców Fotometrycznych i Radiometrycznych L62







## Wieloosobowe Stanowisko Pracy do spraw Wzorców Barwy L63





## 2. Aktywność GUM w dziedzinie fotometrii i radiometrii na tle innych europejskich NMI

W dziedzinie fotometrii i radiometrii nie występują zagadnienia typowe dla metrologii prawnej, a informacja o zaangażowaniu laboratoriów innych państw, zajmujących się metrologią naukową i przemysłową w tym obszarze, jest dostępna na stronach internetowych poszczególnych NMI lub DI (instytucji desygnowanych). Najbardziej miarodajnym i porównywalnym źródłem wydaje się być baza Międzynarodowego Biura Miar, BIPM [7], w której oficjalnie podane są uznane przez pozostałych sygnatariuszy CIPM MRA dane o możliwościach w danej dziedzinie pomiarowej (CMC). W zestawieniu tabelarycznym poniżej zamieszczone zostały informacje o aktywności członków Komitetu Technicznego Fotometrii i Radiometrii EURAMET, do którego należą 23 kraje (w zestawieniu pominięto te pozycje z bazy, dla których żadne z laboratoriów nie uzyskało dotąd wpisu – jest to sytuacja podobna do „nadmiarowego” katalogu usług metrologicznych zaproponowanych w klasyfikacji załączonej na końcu niniejszej publikacji).

Kraj członkowski Komitetu Technicznego EURAMET ds. Fotometrii i Radiometrii oraz akronim właściwej instytucji																							
	Austria	Belgium	Bulgaria	Czech Republic	Denmark	Finland	France	Germany	Greece	Hungary	Italy	Netherlands	Norway	Poland	Portugal	Romania	Serbia	Slovakia	Spain	Sweden	Switzerland	Turkey	United Kingdom
	BEV	SMD	BIM	CMI	DFM	Aalto	LNE	PTB	EIM	MKEH	INRIM	VSL	JV	GUM	IPQ	INM	DMDM	SMU	IO-CASIC	SP	METAS	UME	NPL
Wielkość lub dziedzina, w której prowadzi się wzorcowania przyrządów					X																		
Technika światłowodowa						X	X	X			X	X						X	X	X	X		X
Natężenie oświetlenia lub czułość świetlna	X		X			X	X	X		X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Luminancja lub czułość luminancyjna						X	X	X		X		X		X			X	X	X	X	X		X
Ekspozycja świetlna											X												
Strumień świetlny	X		X	X		X	X	X		X	X			X		X	X	X	X	X	X		X
Światłość	X		X	X		X	X	X		X	X	X		X		X	X	X	X	X	X		X
Czułość widmowa przy pomiarach mocy promieniowania laserowego				X	X	X	X	X		X	X	X		X									
Czułość widmowa przy pomiarach energii promieniowania laserowego								X															X
Czułość widmowa przy pomiarach mocy promieniowania monochromatycznego				X		X	X	X		X	X	X		X		X					X	X	X
Czułość widmowa przy pomiarach natężenia napromienienia promieniowania monochromatycznego				X						X	X	X											X
Czułość widmowa przy pomiarach luminancji energetycznej																							X

Kraj członkowski Komitetu Technicznego EURAMET ds. Fotometrii i Radiometrii oraz akronim właściwej instytucji																							
	Austria	Belgium	Bulgaria	Czech Republic	Denmark	Finland	France	Germany	Greece	Hungary	Italy	Netherlands	Norway	Poland	Portugal	Romania	Serbia	Slovakia	Spain	Sweden	Switzerland	Turkey	United Kingdom
	BEV	SMD	BIM	CMI	DFM	Aalto	LNE	PTB	EIM	MKEH	INRIM	VSL	JV	GUM	IPQ	INM	DMDM	SMU	IO-CASIC	SP	METAS	UME	NPL
Wielkość lub dziedzina, w której prowadzi się wzorcowania przyrządów																							
Widmowe natężenie napromienienia						X	X	X		X									X		X		X
Widmowa lumiancja energetyczna						X	X	X															X
Widmowe natężenie promieniowania								X															X
Widmowy strumień energetyczny										X													
Parametry kolorymetryczne źródeł						X		X															X
Temperatura barwowa najbliższa źródeł						X		X		X							X		X				X
Temperatura rozkładu								X			X						X						
Parametry kolorymetryczne obiektów										X	X	X				X			X				X
Połysk												X											
Białość																X							
Widmowy współczynnik przepuszczania kierunkowego	X		X	X		X	X	X		X	X	X		X		X	X		X	X	X		X
Gęstość optyczna widmowego współczynnika przepuszczania kierunkowego						X				X				X		X			X				X

Kraj członkowski Komitetu Technicznego EURAMET ds. Fotometrii i Radiometrii oraz akronim właściwej instytucji																								
Wielkość lub dziedzina, w której prowadzi się wzorcowania przyrządów	Austria	Belgium	Bulgaria	Czech Republic	Denmark	Finland	France	Germany	Greece	Hungary	Italy	Netherlands	Norway	Poland	Portugal	Romania	Serbia	Slovakia	Spain	Sweden	Switzerland	Turkey	United Kingdom	
	BEV	SMD	BIM	CMI	DFM	Aalto	LNE	PTB	EIM	MKEH	INRIM	VSL	JV	GUM	IPQ	INM	DMDM	SMU	IO- CSIC	SP	METAS	UME	NPL	
Widmowy współczynnik luminancji energetycznej			x				x			x													x	
Widmowy współczynnik odbicia względem rozpraszacza doskonałego																								x
Widmowy współczynnik odbicia			x			x		x		x				x										x
Widmowy półsferyczny współczynnik odbicia										x														x
Widmowy współczynnik przepuszczania rozproszonego											x													x
Długość fali promieniowania odbitego								x																x

Austria, BEV – Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen

Belgium, SMD – FPS Economy, DG Quality and Safety, Metrology Division

Bulgaria, BIM – Bulgarian Institute of Metrology

Czech Republic, CMI – Czech Metrology Institute

Denmark, DFM – Danish Fundamental Metrology

Finland, Aalto – Aalto University, Metrology Research Institute

France, LNE – Laboratoire national de métrologie et d'essais

Germany, PTB – Physikalisch-Technische Bundesanstalt

Greece, EIM – Hellenic Institute of Metrology

Hungary, MKEH – Hungarian Trade Licensing Office

Italy, INRIM – Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica

Netherlands, VSL – Nederlands Metrologisch Instituut

Norway, JV – Justervesenet – Norwegian Metrology Service

Poland, GUM – Central Office of Measures/Główny Urząd Miar

Portugal, IPQ – Instituto Português da Qualidade

Romania, INM – National Institute of Metrology

Serbia, DMDM – Directorate of Measures and Precious Metals

Slovakia, SMU – Slovak Institute of Metrology

Spain, IO-CSIC – Instituto de Óptica Daza de Valdés

Sweden, SP – SP Technical Research Institute of Sweden

Switzerland, METAS – Federal Institute of Metrology METAS

Turkey, UME – Ulusal Metroloji Enstitüsü

United Kingdom, NPL – National Physical Laboratory

# VI Wykaz dokumentów związanych z dziedziną fotometrii i radiometrii

Publikacje CIE (Międzynarodowej Komisji Oświetleniowej)

Nr publikacji	Tytuł
CIE 226:2017	High-Speed Testing Methods for LEDs
CIE 225:2017	Optical Measurement of High-Power LEDs
220:2016	Characterization and Calibration Methods of UV Radiometers
214:2014	Effect of Instrumental Bandpass Function and Measurement Interval on Spectral Quantities
210:2014	Photometry Using $V(\lambda)$ – Corrected Detectors as Reference and Transfer Standards
202:2011	Spectral Responsivity Measurement of Detectors, Radiometers and Photometers
200:2011	CIE Supplementary System of Photometry
199:2011	Methods for Evaluating Colour Differences in Images
198:2011	Determination of Measurement Uncertainties in Photometry
198-SP1:2011	Determination of Measurement Uncertainties in Photometry – Supplement 1: Modules and Examples for the Determination of Measurement Uncertainties
195:2011	Specification of Colour Appearance for Reflective Media and Self-Luminous Display Comparisons
182:2007	Calibration Methods and Photoluminescent Standards for Total Radiance Factor Measurements
179:2007	Methods for Characterising Tristimulus Colorimeters for Measuring the Colour of Light
127:2007 (2nd edition)	Measurement of LEDs
176:2006	Geometric Tolerances for Colour Measurements
159:2004	A Colour Appearance Model for Colour Management Systems: CIECAM02
015:2004 (3rd edition)	Colorimetry
149:2002	The Use of Tungsten Filament Lamps as Secondary Standard Sources
054.2-2001 (2nd edition)	Retroreflection: Definition and Measurement
130-1998	Practical Methods for the Measurement of Reflectance and Transmittance
121-1996	The Photometry and Goniophotometry of Luminaires
116-1995	Industrial Colour Difference Evaluation
13.3-1995	Method of Measuring and Specifying Colour Rendering of Light Sources 3rd ed. (including CD-ROM CD008)
114-1994	CIE Collection in Photometry and Radiometry Survey of Reference Materials for Testing the Performance of Spectrophotometers and Colorimeters (reprint) International Intercomparison on Transmittance Measurement – Report of Results and Conclusions (reprint) Intercomparison of Luminous Flux Measurements on HPMV Lamps Distribution Temperature and Ratio Temperature Terminology relating to Non-Selective Detectors Photometry of Thermally Sensitive Lamps
105-1993	Spectroradiometry of Pulsed Optical Radiation Sources

Nr publikacji	Tytuł
087-1990	Colorimetry of Self-Luminous Displays – A Bibliography
084-1989	Measurement of Luminous Flux
076-1988	Intercomparison on Measurement of (Total) Spectral Radiance Factor of Luminescent Specimens
070-1987	The Measurement of Absolute Luminous Intensity Distributions
063-1984	The Spectroradiometric Measurement of Light Sources
059-1984	Polarization: Definitions and Nomenclature, Instrument Polarization
053-1982	Methods of Characterizing the Performance of Radiometers and Photometers
046-1979	A Review of Publications on Properties and Reflection Values of Material Reflection Standards
044-1979	Absolute Methods for Reflection Measurements
038-1977	Radiometric and Photometric Characteristics of Materials and their Measurement

## VII Wykaz publikacji w latach 2004–2017

Dotychczasowy dorobek publikacyjny został zebrany w dwóch opracowaniach „Bibliografii publikacji pracowników polskiej administracji miar 1919–1993” (wyd. 1994) oraz „Bibliografii publikacji pracowników polskiej administracji miar 1994–2003” (wyd. 2004). Informacje przedstawione poniżej stanowią kontynuację zaprezentowanych w obu bibliografiach danych – w odniesieniu do dziedziny fotometrii i radiometrii, nazywanej tam metrologią promieniowania optycznego.

### 2004

1. O. B. Tarasowa, K. Adamska, J. Gębicka, J. Pietrzykowski: Двусторонние международные сличения в области спектрофотометрии. Светотехника nr 1 2004.

### 2005

2. Ł. Litwiniuk, A. Zydorowicz: Pomiary barw flagi narodowej w Głównym Urzędzie Miar. VII Krajowe Sympozjum Kolorymetryczne KSK 2005.
3. Ł. Litwiniuk: Szacowanie niepewności w pomiarach kolorymetrycznych metodą najgorszego przypadku. VII Krajowe Sympozjum Kolorymetryczne KSK 2005.
4. J. Pietrzykowski: Porównanie struktur wzorów różnicy barw CIELAB i CIEDE2000. VII Krajowe Sympozjum Kolorymetryczne KSK 2005.

### 2006

5. J. Gębicka, A. Rębecka, A. Żórawski: Wzorce spektrofotometryczne i ich rola w zachowaniu spójności pomiarowej. Materiały XI Ogólnopolskiego Mikrosymposium „Metody Spektroskopowe w badaniu materiałów i związków chemicznych”.
6. Ł. Litwiniuk: Uncertainty Estimation in Colorimetric Calculations Assuming the Worst Case. Proceedings of the 2nd CIE Expert Symposium Measurement Uncertainty.
7. Ł. Litwiniuk: Optical radiation measurements in Polish metrological administration. I Międzynarodowa Konferencja Oświetleniowa Państw Grupy Wyszehradzkiej LUMEN V4.
8. Ł. Litwiniuk: Metrologia promieniowania optycznego w polskiej służbie miar. Materiały II konferencji „Promieniowanie optyczne – oddziaływanie, metrologia, technologie” – POOMT 2006.
9. J. Pietrzykowski: Charakterystyki użytkowe i wzorcowanie szerokopasmowych mierników nadfioletu, materiały II konferencji „Promieniowanie optyczne – oddziaływanie, metrologia, technologie” – POOMT 2006.
10. D. Sobótka, G. Szajna: Materiały fotoluminescencyjne. Pomiary parametrów fotometrycznych. Materiały I Międzynarodowej Konferencji Oświetleniowej Państw Grupy Wyszehradzkiej, 2006.

## 2007

11. J. Gębicka, A. Rębecka, A. Żórawski: Wzorcowanie spektrofotometrów – źródła błędów (cz. 1). Materiały XII Ogólnopolskiego Mikrosymposium „Metody spektroskopowe w badaniu materiałów i związków chemicznych”, 2007.
12. Ł. Litwiniuk: Uncertainty estimation in colorimetric calculations assuming the worst case. Przegląd Elektrotechniczny, Zeszyt 5, 2007.
13. D. Sobótka, G. Szajna: Materiały fosforescencyjne. Pomiary parametrów fotometrycznych. Przegląd Elektrotechniczny, Zeszyt 5, 2007.

## 2008

14. J. Gębicka, A. Rębecka, A. Żórawski: Wzorcowanie spektrofotometrów – źródła błędów (cz. 1). Prace Instytutu Elektrotechniki Zeszyt 237, 2008.
15. Ł. Litwiniuk: Mierniki współczynnika przepuszczania szyb samochodowych – przepisy i praktyka. SuperWarsztat nr 4, 2008.
16. J. Pietrzykowski: Geometrie pomiaru stosowane w kolorymetrii i spektrofotometrii odbitego promieniowania optycznego i ich notacje. Prace Instytutu Elektrotechniki Zeszyt 237, 2008.
17. G. Szajna, D. Sobótka: Wzorce fotometryczne – stabilizowanie parametrów elektrycznych i świetlnych. II Międzynarodowa Konferencja Oświetleniowa Państw Grupy Wyszehradzkiej LUMEN V4, 2008.
18. D. Sobótka, G. Szajna: Niepewność pomiaru przy wzorcowaniu luksomierzy. II Międzynarodowa Konferencja Oświetleniowa Państw Grupy Wyszehradzkiej LUMEN V4, 2008.

## 2010

19. J. Pietrzykowski: Ocena niepewności pomiaru natężenia oświetlenia z użyciem temperaturowych źródeł światła o temperaturze barwowej najbliższej różnej od 2856 K. Materiały IV Konferencji „Promieniowanie optyczne oddziaływanie, metrologia, technologie”, 2010.
20. D. Sobótka: The photometric calibrator. III Konferencja Oświetleniowa Krajów Grupy Wyszehradzkiej LUMEN V4, 2010.
21. D. Sobótka: Kalibrator fotometryczny. XVIII Krajowa Konferencja Oświetleniowa TECHNIKA ŚWIETLNA '2010.
22. G. Szajna: Calibration of tristimulus colorimeters. III Konferencja Oświetleniowa Krajów Grupy Wyszehradzkiej LUMEN V4, 2010.
23. G. Szajna: Photometric and radiometric measurements in Photometry and Radiometry Laboratory Central Office of Measures. III Konferencja Oświetleniowa Krajów Grupy Wyszehradzkiej LUMEN V4, 2010.
24. G. Szajna: Wzorcowanie kolorymetrów trójkromatycznych. XVIII Krajowa Konferencja Oświetleniowa TECHNIKA ŚWIETLNA '2010.
25. J. Szewczul: Wzorcowanie połyskomierzy. XVIII Krajowa Konferencja Oświetleniowa TECHNIKA ŚWIETLNA '2010.
26. A. Zydorowicz, K. Książek, S. Górnik: Wzorcowanie spektrofotometrów odbiciowych i kolorymetrów trójkromatycznych. Metrologia Biuletyn Głównego Urzędu Miar nr 4(19), 2010.



## 2011

27. D. Sobótko, J. Szewczul, G. Szajna: Pomiary fotometryczne kalibratorów fotometrycznych. Pomiary fotometryczne luksomierzy. IV Konferencja „Promieniowanie optyczne oddziaływanie, metrologia, technologie”, 2011.
28. G. Szajna: Komory świetlne. Materiały XX Krajowej Konferencji Oświetleniowej TECHNIKA ŚWETLNA '2011.

## 2012

29. D. Sobótko: Wzorcowanie kolorymetrów trójchromatycznych. Materiały V Konferencji „Promieniowanie Optyczne, Oddziaływanie, metrologia, technologie”, 2012.
30. J. Szewczul: Wzorcowanie połyskomierzy. Materiały V Konferencji „Promieniowanie Optyczne, Oddziaływanie, metrologia, technologie”, 2012.
31. D. Sobótko: Calibration of UVA meters used to NDT. Materiały IV Konferencji Oświetleniowej Krajów Grupy Wyszehradzkiej LUMEN V4, 2012.
32. D. Sobótko, J. Szewczul: Recommendation of international standards for photometric measurements of the phosphorescent material. Materiały IV Konferencji Oświetleniowej Krajów Grupy Wyszehradzkiej LUMEN V4, 2012.
33. G. Szajna: Colour assessment cabinets. Materiały IV Konferencji Oświetleniowej Krajów Grupy Wyszehradzkiej LUMEN V4, 2012.
34. G. Szajna: Zalecenia norm międzynarodowych dotyczące pomiarów parametrów fotometrycznych materiałów fosforescencyjnych. Prace Instytutu Elektrotechniki, zeszyt 255 (2012), str. 125-134.
35. J. Szewczul: Wzorce światłości kierunkowej – stabilizowanie parametrów elektrycznych i świetlnych. Materiały XXI Krajowej Konferencji Oświetleniowej TECHNIKA ŚWETLNA '2012.

## 2014

36. J. Gębicka, D. Matkowska, L. Litwiniuk: Porównania międzynarodowe w dziedzinie spektrofotometrii. POOMT 2014 Promieniowanie Optyczne, Oddziaływanie, Metrologia, Technologie.
37. S. Górnik, A. Zydorowicz, Ł. Litwiniuk: Wzorcowanie spektrofotometrów odbiciowych. POOMT 2014 Promieniowanie Optyczne, Oddziaływanie, Metrologia, Technologie.
38. G. Szajna, J. Szewczul: Wzorcowanie mierników luminancji. POOMT 2014 Promieniowanie Optyczne, Oddziaływanie, Metrologia, Technologie.
39. G. Szajna: Metrologiczne rozterki klientów – z doświadczeń laboratorium fotometrycznego. POOMT 2014 Promieniowanie Optyczne, Oddziaływanie, Metrologia, Technologie.
40. G. Szajna, J. Szewczul: LED's in the photometry. The calibration of photometric calibrator. V Konferencja oświetleniowa krajów Grupy Wyszehradzkiej LUMEN V4, 2014.
41. G. Szajna, J. Szewczul: Wzorcowanie mierników luminancji. Materiały XXIII Krajowej konferencji oświetleniowej TECHNIKA ŚWIETLNA '2014.
42. G. Szajna: Adiustacja a wzorcowanie – podstawowe definicje. Materiały XXIII Krajowej konferencji oświetleniowej TECHNIKA ŚWIETLNA '2014.

## 2015

43. S. Górnik, A. Zydorowicz: Zachowanie spójności pomiarowej w pomiarach barwy. Biuletyn GUM nr 3, 2015.
44. J. Szewczul, G. Szajna: Pomiary fotometryczne – mierniki luminancji. Materiały XXIV Krajowej konferencji oświetleniowej TECHNIKA ŚWIETLNA '2015.

## 2016

45. I. Jurgo-Falkowska, J. Gębicka: Zachowanie spójności pomiarowej w pomiarach spektrofotometrycznych. Nauka i Przemysł metody spektroskopowe w praktyce nowe wyzwania i możliwości ISBN 978-83-945225-1-3 s. 68, 2016.
46. G. Szajna, J. Szewczul: LED-y w fotometrii. Wzorcowanie kalibratorów fotometrycznych. Materiały XXV Krajowej konferencji oświetleniowej TECHNIKA ŚWIETLNA '2016.
47. G. Szajna, J. Szewczul: Calibration of glossmeters, Lighting Conference of the Visegrad Countries (Lumen). IEEE, artykuł umieszczony w IEEE Xplore Digital Library, 2016.
48. G. Szajna, J. Szewczul: To calibrate or to adjust, that is a question. Materiały VI Międzynarodowej Konferencji Oświetleniowej Krajów Grupy Wyszehradzkiej LUMEN V4, 2016.

## 2017

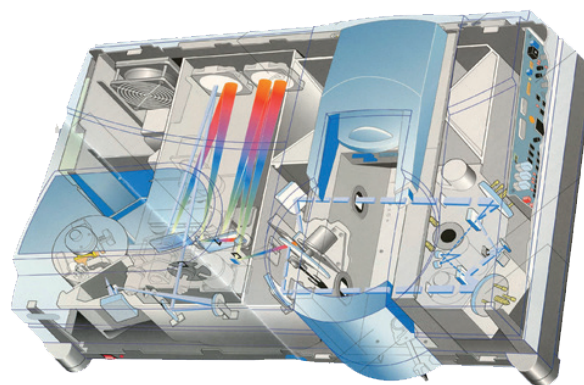
49. I. Jurgo-Falkowska, A. Żórawski, J. Gębicka, Ł. Litwiniuk: Wzorcowanie przyrządów pomiarowych – gwarancją wyników? Referat sympozjum „Nauka i przemysł – metody spektroskopowe, nowe wyzwania i możliwości”, 2017.
50. J. Gębicka, Ł. Litwiniuk, I. Grzegorzka: Narzędzie budowania zaufania do wyników pomiarów – porównanie kluczowe pomiarów widmowego współczynnika przepuszczania kierunkowego na przykładzie projektu 538 EUROMET-u. Referat sympozjum „Nauka i przemysł – metody spektroskopowe, nowe wyzwania i możliwości”, 2017.
51. G. Szajna, J. Szewczul: To calibrate or to adjust – that is a question. Materiały XXVI Krajowej Konferencji Oświetleniowej TECHNIKA ŚWIETLNA '2017.
52. S. Górnik, A. Zydorowicz, Ł. Litwiniuk: Standaryzacja pomiarów barwy w świetle odbitym. Sympozjum „Nauka i przemysł – metody spektroskopowe, nowe wyzwania i możliwości”, 2017.
53. J. Gębicka, D. Matkowska, Ł. Litwiniuk: Porównania międzynarodowe w dziedzinie spektrofotometrii. Sympozjum „Nauka i przemysł – metody spektroskopowe, nowe wyzwania i możliwości”, 2017.
54. I. Jurgo-Falkowska J. Gębicka, Ł. Litwiniuk: Wzorcowanie spektrofotometrów. Sympozjum „Nauka i przemysł – metody spektroskopowe, nowe wyzwania i możliwości”, 2017.
55. Ł. Litwiniuk, D. Sobótka, G. Szajna, J. Szewczul: Wzorcowanie mierników nadfioletu stosowanych w NDT. Badania Nieniszczące i Diagnostyka nr 3, str. 15-19 (2017).

## Stanowiska pomiarowe

### Stanowisko pomiarowe do wzorcowania wzorców widmowego współczynnika przepuszczania i składowych trójkromatycznych w odniesieniu do wzorca pierwotnego

Stanowisko wzorca odniesienia GUM (pierwotnego) jednostki miary widmowego współczynnika przepuszczania, do odtwarzania i przekazywania jednostki miary zgodnie ze schematem spójności pomiarowej, służy do zapewnienia spójności z wzorcami międzynarodowymi lub wzorcami innych krajów przy porównaniach międzynarodowych.

Stanowisko pomiarowe wyposażone jest we wzorcowy, dwuwiązkowy spektrofotometr UV-VIS-NIR CARY 5000 firmy VARIAN sterowany komputerem. Spektrofotometr zawiera monochromator Littrowa z siatką dyfrakcyjną. Zakres długości fali (175 ÷ 3300) nm. Połówkowa szerokość widmowa (0,01 ÷ 5,00) nm, co 0,01 nm dla UV-VIS i (0,04 ÷ 20,00) nm w NIR. Zakres pomiarowy widmowego współczynnika przepuszczania (0 ÷ 2), gęstości optycznej widmowego współczynnika przepuszczania (-6 ÷ +6), bez użycia osłabiacza wiązki, z użyciem (-8 ÷ +8). Źródła światła: lampa halogenowa, deuterowa i rtęciowa. Detektor-fotopowielacz R-928 na zakres UV-VIS i PbS na zakres NIR.



Dodatkowymi elementami stanowiska są wzorce pośredniczące:

- wzorce widmowego współczynnika przepuszczania i długości fali G-234, G-235 składające się z 4 filtrów neutralnych i 1 filtru dydymowego,
- wzorzec długości fali – holmowy G-237-I,
- wzorzec długości fali – holmowy G-237-II.

Wzorcowanie wzorców wykonuje się metodą bezwzględną. Wyniki pomiarów odniesione są do wskazań wzorcowego, dwuwiązkowego spektrofotometru CARY 5000 firmy VARIAN, pełniące rolę wzorca pierwotnego, który realizuje definicję widmowego współczynnika przepuszczania. Metoda pomiaru znormalizowana i opisana w Publ. CIE 130-1998. Pomiar długości fali dokonuje



się w oparciu o samokalibrację przyrządu, w której wykorzystywane jest widmo emisyjne lampy deuterowej.

Spektrofotometr CARY 5000 zastąpił spektrofotometr CARY 5E firmy VARIAN, który brał udział w porównaniach międzynarodowych. Zmiany dokonano na podstawie przeprowadzonych badań, bez konieczności wprowadzania korekty CMC.

W styczniu 2011 r., po analizie wyników z końcowego raportu z porównań międzynarodowych w ramach EURAMET, została wysłana deklaracja CMC, która po ocenie i zatwierdzeniu została umieszczona w tabeli CMC, dostępnej na stronach BIPM w styczniu 2012 r. Zostaną podjęte działania, aby stanowisko wzorca pierwotnego było wzorcem państwowym.

Obecne najlepsze możliwości pomiarowe:

Dla zakresu widmowego (210 ÷ 900) nm odtwarzane wartości widmowego współczynnika przepuszczenia  $\tau(\lambda)$ : 0,001 ÷ 1,000

Niepewność rozszerzona:

$$U = 0,0011 \cdot D^6 - 0,0057 \cdot D^5 + 0,0129 \cdot D^4 - 0,0135 \cdot D^3 + 0,0069 \cdot D^2 + 0,001 \cdot D + 0,0013$$

gdzie:  $D = -\lg \tau(\lambda)$

Dla zakresu widmowego (900 ÷ 2500) nm odtwarzane wartości widmowego współczynnika przepuszczenia  $\tau(\lambda)$ : 0,001 ÷ 1,000

Niepewność rozszerzona:

$$U = 0,0016 \cdot D^5 - 0,0054 \cdot D^4 + 0,0079 \cdot D^3 - 0,0043 \cdot D^2 + 0,0014 \cdot D + 0,0066$$

gdzie:  $D = -\lg \tau(\lambda)$

Na stanowisku wzorca odniesienia GUM (pierwotnego) jednostki miary widmowego współczynnika przepuszczenia wzorcuje się wzorce spektrofotometryczne dla potrzeb własnych (stosowane na stanowisku pomiarowym do wzorcowania wzorców spektrofotometrycznych w odniesieniu do wzorca wtórnego i na stanowisku pomiarowym do wzorcowania spektrofotometrów absorpcyjnych na zakres widmowy UV, VIS, NIR) oraz klientów wewnętrznych (Okręgowych Urzędów Miar) i zewnętrznych: krajowych i zagranicznych. Na stanowisku tym wykonuje się:

- pomiary widmowego współczynnika przepuszczenia w zakresie pomiarowym 0,001 ÷ 1,000 lub gęstości optycznej widmowego współczynnika przepuszczenia w zakresie pomiarowym 0,1 ÷ 3,0 co 5 nm lub 10 nm (lub wg życzenia zamawiającego) w przedziale widmowym (360 ÷ 830) nm lub w rozszerzonym przedziale widmowym (200 ÷ 3000) nm lub wg życzenia zamawiającego usługę,

- pomiary widmowego współczynnika przepuszczania lub gęstości optycznej widmowego współczynnika przepuszczania dla wybranych długości fali,
- rejestrację krzywych widmowego współczynnika przepuszczania filtrów dydymowych, holmowych i erbowych i wyznaczanie wartości długości fal, dla których te krzywe osiągają wartości minimalne i maksymalne,
- rejestrację krzywych widmowego współczynnika przepuszczania lub gęstości optycznej widmowego współczynnika przepuszczania dowolnych filtrów zgłoszonych do wzorcowania,
- wyznaczanie wartości współczynnika przepuszczania (całkowitego) dla iluminantów normalnych A, C, D65 lub innych,
- wyznaczanie składowych trójchromatycznych i współrzędnych chromatyczności w różnych układach kolorymetrycznych.

## Stanowisko pomiarowe do wzorcowania wzorców spektrofotometrycznych w odniesieniu do wzorca wtórnego

Stanowisko, współpracujące ze stanowiskiem wzorca odniesienia GUM (pierwotnego) jednostki miary widmowego współczynnika przepuszczania, niezbędne jest do pomiarów przy odtwarzaniu i przekazywaniu jednostki miary zgodnie ze schematem spójności pomiarowej.

Stanowisko pomiarowe wyposażone jest we wzorcowy dwuwiązkowy spektrofotometr UV-VIS CINTRA 20 firmy GBC sterowany komputerem. Spektrofotometr zawiera monochromator Czerny-Turner z siatką dyfrakcyjną holograficzną, zakres długości fali (190 ÷ 900) nm, połówkowa szerokość widmowa (0,2 ÷ 5,00) nm, co 0,1 nm, dla UV-VIS. Zakres pomiarowy widmowego współczynnika przepuszczania wynosi (0 ÷ 1), a gęstości optycznej widmowego współczynnika przepuszczania (0 ÷ 3). Źródło światła lampa halogenowa lub deuterowa. Detektor – fotopowielacz R-446.

Dodatkowymi elementami stanowiska są wzorce robocze:

- zestaw wzorców G-250 składający się z 4 filtrów neutralnych i 1 filtru dydymowego,
- wzorzec długości fali – holmowy oznaczony symbolem C06Ho607,
- zestaw wzorców napyłanych KCC-02 numer 43,
- wzorzec długości fali – holmowy G-251-D.

Wzorcowanie wzorców wykonuje się metodą bezwzględną. Spektrofotometr UV-VIS CINTRA20 GBC jest wzorcem wtórnym jednostki miary widmowego współczynnika przepuszczania. Pomiar wykonywany za pomocą spektrofotometru jest pomiarem bezpośrednim. Wyniki pomiarów odniesione są do wskazań wzorca pierwotnego poprzez uwzględnienie poprawek w budżecie szacowania niepewności.



Dla zakresu widmowego (210 ÷ 900) nm odtwarzane wartości widmowego współczynnika przepuszczenia  $\tau(\lambda)$ : 0,001 ÷ 1,000

Niepewność rozszerzona:

$$U = 0,0011 \cdot D^6 - 0,0057 \cdot D^5 + 0,0129 \cdot D^4 - 0,0135 \cdot D^3 + 0,0069 \cdot D^2 + 0,0011 \cdot D + 0,0023$$

gdzie:  $D = -\lg \tau(\lambda)$

Stanowisko służy do wzorcowania wzorców spektrofotometrycznych dla klientów zewnętrznych.

Na stanowisku tym wykonuje się:

- rejestrację krzywych widmowego współczynnika przepuszczenia lub gęstości optycznej widmowego współczynnika przepuszczenia filtrów zgłoszonych do wzorcowania,
- pomiary widmowego współczynnika przepuszczenia lub gęstości optycznej widmowego współczynnika przepuszczenia dla wybranych długości fali,
- wyznaczanie wartości długości fali, dla których krzywe widmowego współczynnika przepuszczenia filtrów dydymowych, holmowych, erbowych i innych zgłoszonych do wzorcowania osiągają wartości minimalne.

## **Stanowisko pomiarowe do wzorcowania spektrofotometrów absorpcyjnych UV, VIS, NIR przy użyciu filtrów wzorcowych**

Stanowisko, współpracujące ze stanowiskiem wzorca odniesienia GUM (pierwotnego) jednostki miary widmowego współczynnika przepuszczenia, niezbędne jest do pomiarów przy odtwarzaniu i przekazywaniu jednostki miary zgodnie ze schematem spójności pomiarowej. Elementami stanowiska są wzorce robocze:

- zestaw wzorców G-2229, G-361, G-325 i G-337, składający się z 4 filtrów neutralnych i 1 filtru dydymowego,
- wzorce długości fali – holmowe oznaczone symbolami H-226, H-229, H-245, Ho-I, Ho-II, Ho-III,
- wzorce długości fali – erbowe oznaczone symbolami E-226, E-229, E-245,
- zestaw wzorców ciekłych firmy Starna oznaczone symbolami 8360, 7372 i 13682,
- zestaw wzorców napyłanych KCC-02 numer 79 i 80,
- zestawy wzorców B050-7805, składających się z 3 filtrów neutralnych i filtru holowego.

Stanowisko pomiarowe służy do wzorcowania spektrofotometrów absorpcyjnych UV, VIS, NIR stosowanych do pomiarów widmowego współczynnika przepuszczenia i gęstości optycznej widmowego współczynnika przepuszczenia w zakresie widmowym (200 ÷ 2100) nm, przy użyciu zestawu neutralnych filtrów wzorcowych, zestawu wzorcowych filtrów ciekłych i filtrów domieszkowanych pierwiastkami ziem rzadkich (dydymowego, holowego, erbowego), metodą porównania. Wyniki pomiarów odniesione są do wskazań wzorcowego, dwuwiązkowego spektrofotometru CARY 5000 firmy VARIAN, będącego wzorcem pierwotnym jednostki miary widmowego współczynnika przepuszczenia i gęstości optycznej widmowego współczynnika przepuszczenia.

Dla zakresu widmowego (400 ÷ 900) nm i (235; 257; 313; 350) nm odtwarzane wartości widmowego współczynnika przepuszczania  $\tau(\lambda)$ : 0,001 ÷ 1,000

Niepewność rozszerzona:

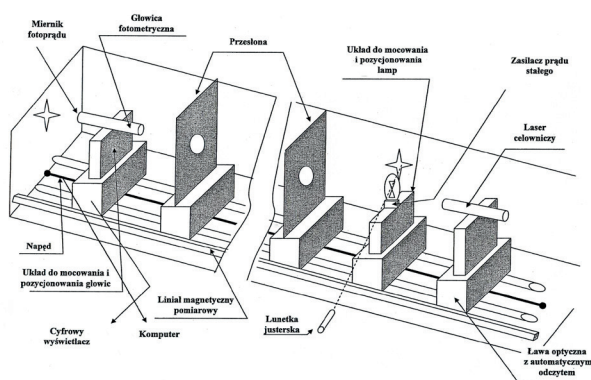
$$U = 0,00083 \cdot D^2 + 0,0013 \cdot D + 0,0031$$

gdzie:  $D = -\lg \tau(\lambda)$

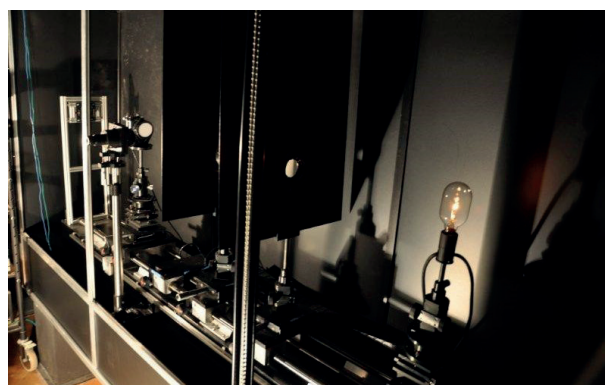
Wzorcowanie spektrofotometrów odbywa się w Pracowni Wzorców Spektrofotometrycznych, a także w miejscach ustawienia spektrofotometrów w laboratoriach pomiarowych i badawczych klientów.

## Stanowisko pomiarowe do odtwarzania i przekazywania jednostki miary światłości

Stanowisko państwowego wzorca jednostki miary światłości, do odtwarzania i przekazywania jednostki miary zgodnie ze schematem spójności pomiarowej, służy do zapewnienia spójności z wzorcami międzynarodowymi przy porównaniach międzynarodowych.



Schemat stanowiska do odtworzenia i przekazywania jednostki miary światłości



Stanowisko wzorca państwowego jednostki miary światłości

Państwowy wzorec jednostki miary światłości został utworzony z pięciu fotometrycznych lamp żarowych firmy Toshiba, typu T 64, o wartości nominalnej napięcia elektrycznego 100 V i mocy 200 W. Cylindryczne bańki lamp wykonane są z przezroczystego szkła. Żarnik typu skrętki umieszczony jest w płaszczyźnie pionowej bańki. Trzonek lamp jest typu E27.

Państwowy wzorec światłości został wywzorcowany przy temperaturze barwowej 2856 K, w PTB (Physikalisch-Technische Bundesanstalt), w październiku 2016 r., w oparciu o wzorec odniesienia przekazujący „jednostkę średnią 1985” światłości. „Jednostka średnia 1985” światłości jest to jednostka określona w Międzynarodowym Biurze Miar na podstawie dokonanego w 1985 r. porównania wzorców pochodzących z państwowych laboratoriów metrologicznych czternastu państw.

Zasada działania państwowego wzorca jednostki miary światłości polega na odtworzeniu jego parametrów metrologicznych. Podstawowym parametrem odtwarzania wzorca jest prąd elektryczny

lampy, którego wartość podana w świadectwie wzorcowania „ustawiana” jest na multimetrze cyfrowym wchodzącym w skład stanowiska.

Stanowisko do odtwarzania i przekazywania jednostki miary światłości znajduje się w zaciemnionym i zaczerntonym pomieszczeniu (ciemni fotometrycznej). Służy do przekazywania jednostki miary światłości wzorcom pośredniczącym, biorącym udział w porównaniach międzynarodowych EURAMET.

Wzorce pośredniczące jednostki miary światłości to dwa grupowe wzorce utworzone, każdy z czterech lamp fotometrycznych firmy Osram typ WI 41G.

W skład stanowiska wchodzi: precyzyjna ława fotometryczna z automatycznym odczytem odległości, który jest realizowany za pomocą liniału typu magnetycznego składającego się z taśmy pomiarowej i czujnika pomiarowego, cyfrowego wyświetlacza położenia i komputera, miernik fotoprądu LMT z głowicą fotometryczną, dopasowaną do krzywej  $V(\lambda)$ , precyzyjny zasilacz prądu stałego firmy Heinzinger do zasilania lamp wchodzących w skład wzorca, precyzyjne multimetry cyfrowe firmy Hewlett Packard do kontrolowania parametrów elektrycznych lamp. Pomiar prądu lampy wykonywany jest z błędem 0,0001 A, a pomiar napięcia z błędem 0,0001 V. Ważnymi elementami stanowiska są również układy do mocowania i pozycjonowania wzorca i głowicy fotometrycznej na ławie.

Do kontroli warunków środowiskowych używane są rejestratory temperatury i wilgotności względnej.

Lampy wchodzące w skład wzorca państwowego i wzorców pośredniczących światłości przechowywane są w odpowiednich pudełkach wykonanych z tworzywa sztucznego w celu zabezpieczenia ich przed wstrząsami i zabrudzeniem.

## Stanowisko pomiarowe do wzorcowania wzorców światłości i luksomierzy

Stanowisko, współpracujące ze stanowiskiem państwowego wzorca jednostki miary światłości, niezbędne jest do pomiarów przy odtwarzaniu i przekazywaniu jednostki miary światłości zgodnie ze schematem spójności pomiarowej. Używane jest również do wzorcowania luksomierzy.



Wzorec światłości firmy Toshiba



Wzorec światłości firmy Osram



Stanowisko służy do wzorcowania wzorców światłości i luksomierzy dla potrzeb własnych oraz klientów wewnętrznych i zewnętrznych.

Przekazywanie jednostki do wzorców niższych rzędów oraz wzorcowanie luksomierzy, odbywa się na ławie fotometrycznej o długości 6 m, zaopatrzonej w liniał do odczytu odległości. Położenia i orientacje lamp i głowic fotometrycznych ustawia się i kontroluje za pomocą odpowiednich układów regulacyjnych i optycznych. Lampy wchodzące w skład wzorca zasilane są przy użyciu zasilacza prądu stałego firmy Heinzinger, a ich parametry elektryczne są kontrolowane za pomocą multimetrów cyfrowych firmy Hewlett Packard. Pomiar prądu lampy wykonywany jest z błędem 0,0001 A, a pomiar napięcia z błędem 0,0001 V. Do odczytu fotoprądu (w przypadku wzorcowania wzorców fotometrycznych) służy miernik fotoprądu firmy LMT.

W celu uniknięcia błędów powodowanych światłem rozproszonym pomiary wykonuje się w ciemni fotometrycznej, a na ławie fotometrycznej umieszcza się ekrany, przesłony i osłony.

Do kontroli warunków środowiskowych używane są rejestratory temperatury i wilgotności względnej.

Zakres mierzonej światłości wynosi od 5 cd do 3500 cd, zdolność pomiarowa  $U = 1,5 \%$  jest zatwierdzona przez EURAMET i umieszczona w bazie danych KCDB. Wzorce pierwszego rzędu, składające się z pięciu lamp, są wzorcowane przy temperaturze barwowej 2856 K, w odniesieniu do o wzorca pośredniczącego światłości. Dla potrzeb własnych (sprawdzanie folii fotoluminescencyjnych) oraz na życzenie klienta wzorcowane są również wzorce fotometryczne (II-go rzędu) przy temperaturze różnej od 2856 K.

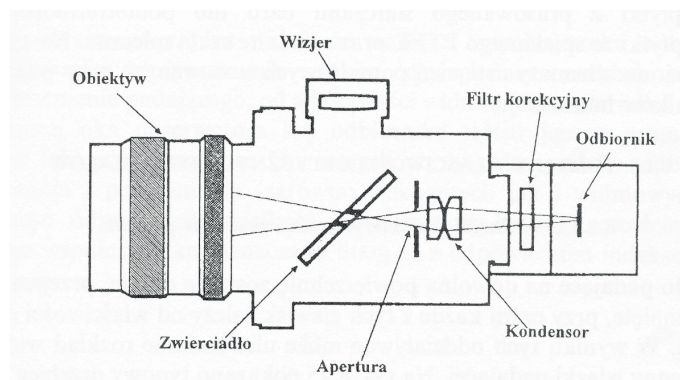
Metoda pomiarowa stosowana przy wzorcowaniu luksomierzy jest metodą znormalizowaną i wykorzystuje tzw. prawo odwrotności kwadratów. Zgodnie z tym prawem, natężenie oświetlenia na powierzchni oświetlonej przez punktowe źródło światła w kierunku prostopadłym do tej powierzchni oblicza się ze stosunku światłości źródła do kwadratu odległości między źródłem a powierzchnią. Źródłem światła są lampy fotometryczne wywzorcowane wyłącznie przy temperaturze barwowej 2856 K. Zakres mierzonego natężenia oświetlenia wynosi  $(10 \div 1900)$  lx. Zdolność pomiarowa  $U = 2 \%$  jest zatwierdzona przez EURAMET i umieszczona w bazie danych KCDB.

Stanowisko pomiarowe do wzorcowania wzorców światłości i luksomierzy wykorzystywane jest również do wzorcowania, na potrzeby własne, głowic fotometrycznych, zakres mierzonej czułości świetlnej:  $(10 \div 200)$  nA/lx (oraz kalibratorów fotometrycznych), zakres mierzonego natężenia oświetlenia:  $(100 \pm 10)$  lx. Wywzorcowane głowice służą do pomiaru fotoprądu na innych fotometrycznych stanowiskach pomiarowych.

## **Stanowisko pomiarowe do wzorcowania wzorców luminancji i mierników luminancji**

Stanowisko do przekazywania jednostki miary luminancji świetlnej, zgodnie ze schematem spójności pomiarowej, służy do wzorcowania mierników i wzorców luminancji dla potrzeb własnych oraz klientów zewnętrznych.

Typowy miernik luminancji, którego schemat pokazano na rysunku poniżej, zawiera układ odwzorowujący pole źródła lub powierzchni świecącej na powierzchni odbiornika. Na ogół są to



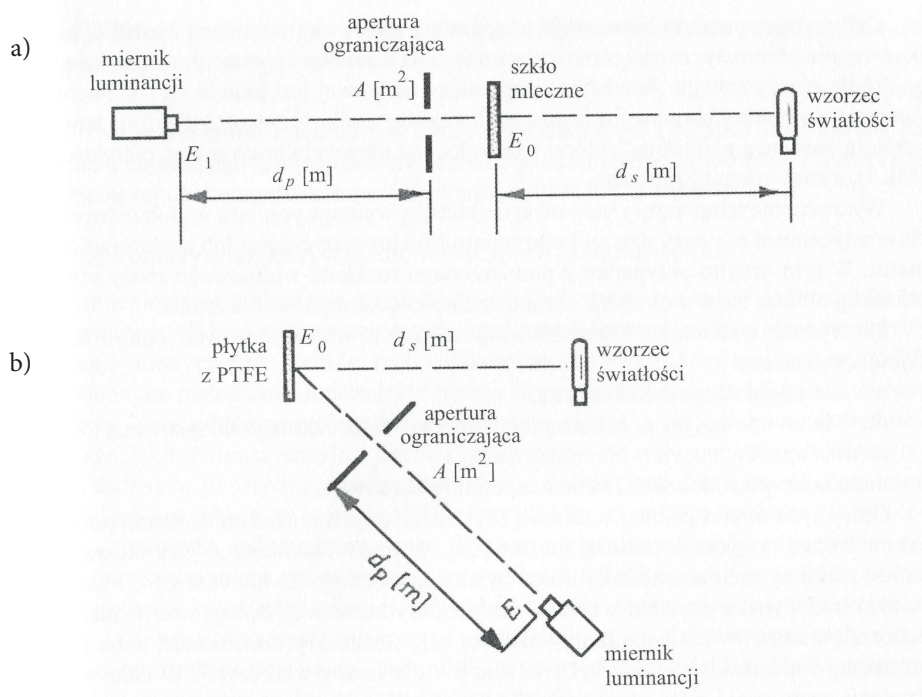
Schemat miernika luminancji

układy z regulowanym położeniem obiektywu, a kontrola ostrości ustawienia jest dokonywana na drodze wizualnej przez osobę wykonującą pomiar.

Odtworzenia jednostki luminancji świetlnej dokonuje się przy użyciu wzorców światłości pierwszego rzędu, wywzorcowanych przy temperaturze 2856 K i wzorców współczynnika luminancji lub wzorców współczynnika przepuszczania rozproszonego. Jako wzorce odniesienia są stosowane płytki z prasowanego siarczanu baru lub politetrafluoroetyleny (PTFE) oraz rozmaite szkła mleczne. Na rysunku przedstawiono schematy ustawień pomiarowych stosowanych przy wzorcowaniu mierników luminancji.

Zakres mierzonej luminancji świetlnej wynosi  $(1,5 \div 400) \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$ . Zdolność pomiarowa  $U = 3 \%$  jest zatwierdzona przez EURAMET i umieszczona w bazie KCDB.

Wzorec odniesienia światłości, wzorec współczynnika przepuszczania rozproszonego lub wzorec współczynnika luminancji oraz głowica badanego miernika luminancji umieszczane są na ławie fotometrycznej o długości 6 m (ława ta jest również podstawą stanowiska do wzorcowania wzorców



Metody wzorcowania mierników luminancji: a) wzorcowanie z użyciem wzorca współczynnika przepuszczania rozproszonego; b) wzorcowanie z płytką (wzorcem) odbijającą w sposób rozproszony

światłości i luksomierzy). Lampy wchodzące w skład wzorca odniesienia zasilane są przy użyciu zasilacza prądu stałego firmy Heinzinger, a ich parametry elektryczne są kontrolowane za pomocą multimetrów cyfrowych firmy Hewlett Packard.

Stanowisko pomiarowe do wzorcowania wzorców luminancji oparte jest na ławie fotometrycznej i wzorcowym mierniku luminancji.

Stosowana metoda polega na bezpośrednim pomiarze luminancji świetlnej wzorca za pomocą wywzorcowanego fotometru (miernika luminancji) firmy Pritchard.

Pomiar wykonywany jest zgodnie z instrukcją obsługi fotometru, z zachowaniem wymagań ogólnych dotyczących pomiarów fotometrycznych przedstawionych w PN-89/E-04040/00.

W celu uniknięcia błędów powodowanych światłem rozproszonym pomiary wykonuje się w ciemni fotometrycznej, a na ławie fotometrycznej umieszcza się ekrany, przesłony i osłony.

Do kontroli warunków środowiskowych używane są rejestratory temperatury i wilgotności względnej.

## **Stanowisko pomiarowe do wzorcowania mierników światła białego stosowanych w badaniach nieniszczących (NDT)**

Stanowisko do przekazywania jednostki miary natężenia oświetlenia, zgodnie ze schematem spójności pomiarowej, służy do wzorcowania mierników światła białego stosowanych w badaniach nieniszczących (NDT).

W normach amerykańskich regulujących zagadnienia związane z badaniami nieniszczącymi przyjęto tradycyjny podział na promieniowanie pochodzące od lamp inspekcyjnych zwane „black light” (UVA) i „white light” (światło widzialne). Jego obecność jest ograniczana ze względu na charakter pasożytniczy oraz utrudnia śledzenie, pobudzonego do świecenia (na skutek oddziaływania promieniowania UV) luminoforu pokrywającego sprawdzany wyrób. W innej fazie inspekcji, również dokonywanej nieuzbrojonym choć wyćwiczonym okiem operatora, wykorzystywane jest jako czynnik tworzący warunki oświetleniowe, umożliwiające wykrycie wady materiałowej na powierzchni sprawdzanego wyrobu.

W obu przypadkach wykrycie wady wydaje się być bardziej zależne od wyćwiczenia operatora (którego umiejętności poświadczane są w ramach systemu specjalnej certyfikacji), niż od dokładności odtworzenia warunków oświetleniowych (zarówno tych niepożądanych jak i sprzyjających wykryciu defektu w wyrobie).

Z tego względu dla sprawdzenia poprawności wskazań mierników „white light” przyjęto uproszczoną metodę adaptującą metodykę zalecaną do sprawdzania luksomierzy, tzn. użycie iluminantu A i miernika odniesienia o charakterystyce czułości widmowej bardzo zbliżonej do krzywej  $V(\lambda)$ .

Stanowisko pomiarowe do wzorcowania mierników światła białego oparte jest na wzorcowym luksomierzu o błędzie krzywej dopasowania do krzywej  $V(\lambda)$   $f_1' < 2\%$  (ze stanowiska do wzorcowania materiałów fotoluminescencyjnych), wzorcu temperatury barwowej ( $2856 \pm 100$ ) K wraz z układem osłabiaczy, służącym do oświetlania głowicy luksomierza i badanego miernika. Wzorzec temperatury barwowej ( $2856 \pm 100$ ) K zasilany jest przy użyciu zasilacza prądu stałego, a jego parametry elektryczne są kontrolowane za pomocą multimetrów cyfrowych.

Wzorcowanie mierników światła białego stosowanych w badaniach NDT wykonuje się w zakresie pomiarowym (5 ÷ 2000) lx.

Kontrolowane warunki oświetleniowe, umożliwiają eliminację lub dokładne oszacowanie udziału promieniowania tła w czasie wzorcowania (pomiaru w ciemni fotometrycznej z zastosowaniem odpowiednich przesłon).

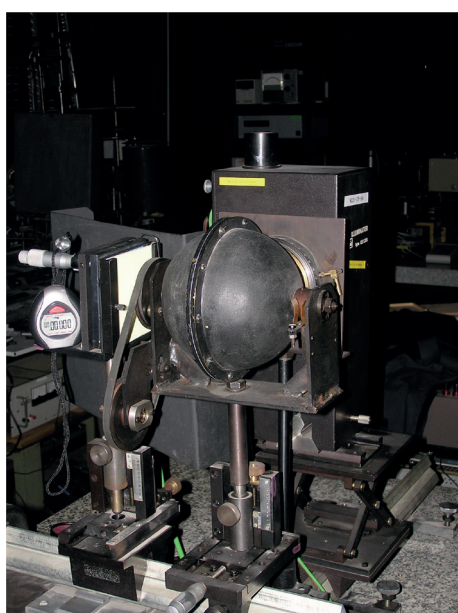
Do kontroli warunków środowiskowych używane są rejestratory temperatury i wilgotności względnej.

## Stanowisko pomiarowe do wzorcowania materiałów fotoluminescencyjnych

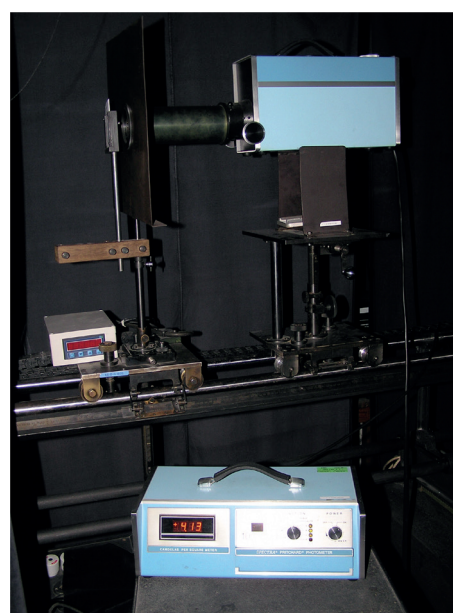
Stanowisko do pomiarów małych wartości luminancji świetlnej, zgodnie ze schematem spójności pomiarowej, stosowane jest do wzorcowania materiałów fotoluminescencyjnych (fosforescencyjnych).

Fosforescencja jest to zjawisko świecenia niektórych substancji światłem własnym, wywołane uprzednim naświetleniem z zewnątrz. Zjawisko to występuje w materiałach fosforescencyjnych, dzięki czemu mają one zastosowanie w produkcji znaków ewakuacyjnych. Zadaniem tych znaków jest zapewnienie wizualnej informacji o przebiegu wyznaczonej drogi ewakuacyjnej przy oświetleniu dziennym, sztucznym, jak również przy braku oświetlenia (w przypadku zaniku napięcia zasilającego oświetlenie pomieszczenia).

Materiały fotoluminescencyjne mają zastosowanie w produkcji znaków ewakuacyjnych stosowanych w zakładach pracy i obiektach użyteczności publicznej. W przypadku zaniku napięcia zasilającego obwody oświetlenia ogólnego i miejscowego pomieszczeń, w których przebywają ludzie, znaki ewakuacyjne muszą zapewniać widoczne dla wszystkich oznakowanie dróg ewakuacyjnych, wyjść



Układ do wzbudzenia świecenia materiałów fosforescencyjnych



Stanowisko do pomiaru luminancji materiałów fosforescencyjnych

awaryjnych i stref niebezpiecznych. Zadaniem znaków ewakuacyjnych jest również przekazywanie pełnej wizualnej informacji w normalnych warunkach oświetlenia pomieszczeń zarówno światłem dziennym jak i sztucznym. Procedury i metody wykonywania pomiarów zostały opracowane w laboratorium GUM, odpowiedzialnym za pomiary z dziedziny fotometrii i Radiometrii, w oparciu o normy krajowe, zagraniczne oraz ISO. Laboratorium GUM jest jedynym laboratorium w Polsce i jednym z niewielu w Europie, zajmującym się wyznaczaniem parametrów świetlnych materiałów fotoluminescencyjnych.

Stanowisko pomiarowe do badania materiałów fotoluminescencyjnych składa się z dwóch części: układu do naświetlania materiałów fotoluminescencyjnych oraz stanowiska do pomiaru czasu zaniku fosforescencji. W skład układu do naświetlania materiałów fotoluminescencyjnych wchodzi: ława fotometryczna, źródła światła o określonych temperaturach barwowych (lampa ksenonowa i świetlówki) oraz luksomierz służący do pomiaru natężenia oświetlenia, czynnika wzbudzającego świecenie luminoforu.

Stanowisko do pomiaru czasu zaniku fosforescencji oparte jest na ławie fotometrycznej i mierniku luminancji Spectra Pritchard. Stosowana metoda polega na bezpośrednim pomiarze luminancji świetlnej materiałów fotoluminescencyjnych, dla określonych wymaganiami norm przedmiotowych punktów czasowych za pomocą wywzorcowanego fotometru (miernika luminancji) firmy Spectra Pritchard: zakres mierzonych luminancji ( $1 \div 0,000\ 32$ )  $\text{cd}/\text{m}^2$ . Drugim parametrem materiałów fotoluminescencyjnych, określanym podczas wzorcowania, jest czas zaniku świecenia (luminancji) próbki do wartości  $0,32\ \text{mcd}/\text{m}^2$ . Wyznaczenie wartości tej wielkości wykonuje się analityczną metodą, wykorzystującą obliczeniowy model matematyczny realizowany przez arkusz kalkulacyjny. Do kontroli warunków środowiskowych używane są rejestratory temperatury i wilgotności względnej.

## **Stanowisko pomiarowe do wzorcowania wzorców temperatury barwowej oraz kolorymetrów tróchromatycznych do pomiaru chromatyczności źródeł światła**

Stanowisko wzorca odniesienia jednostki miary temperatury barwowej, do odtwarzania i przekazywania jednostki miary zgodnie ze schematem spójności pomiarowej, służy do zapewnienia spójności z wzorcami międzynarodowymi przy porównaniach międzynarodowych.

Podstawowy element stanowiska to wzorzec odniesienia temperatury barwowej składający się z trzech fotometrycznych lamp żarowych firmy Toshiba typu PS 95 o wartości nominalnej napięcia elektrycznego 100 V i mocy 200 W. Wzorzec odniesienia jednostki miary temperatury barwowej został wywzorcowany w październiku 2014 r. w fińskim NMI w odniesieniu do wzorca realizującego skalę widmowego natężenia promieniowania.

Aktualnie status wzorca odniesienia jednostki miary temperatury barwowej posiadają trzy fotometryczne lampy żarowe (wzorzec zespołowy), o numerach fabrycznych: SB20495, SB20498 oraz SB20499 produkcji firmy Toshiba (Japonia). Zostały one, jako materiał, zakupione w 1976 r., sprawdzone w GUM, a następnie wywzorcowane w Finlandii. Bańki lamp wykonane są z przezroczystego

szkła, a żarnik ma formę włókna wieńcowego. Trzonek lamp jest typu E27. Wyznaczanie parametrów elektrycznych, odpowiadających wartości temperatury barwowej dla każdego wzorca, przeprowadza się z co cztery lata. Okres ten został wyznaczony w oparciu o analizę wyników wieloletnich wzorcowań oraz komparacji pomiędzy lampami wzorca zespołowego temperatury barwowej. Wzorzec odtwarza temperaturę barwową najbliższą w zakresie ( $2042 \div 2856$ ) K.

Stanowisko pomiarowe do wzorcowania wzorców temperatury barwowej i kolorymetrów trójchromatycznych znajdujące się w pomieszczeniu laboratoryjnym, (ciemnia fotometryczna) jest całkowicie zautomatyzowane. Działanie jego oparte jest na kolorymetrze trójchromatycznym C1200 produkcji firmy Lichtmesstechnik GmbH, współpracującym z komputerem stanowiskowym, umożliwiającym sterowanie przebiegiem pomiaru (aplikacje w C++), rejestrację podstawowych danych pomiarowych (pomiar współrzędnych trójchromatycznych i parametrów elektrycznych wzorcowanych lamp fotometrycznych) oraz wykonywanie obliczeń. Lamy fotometryczne zasilane są przy użyciu zasilacza prądu stałego firmy Heinzinger, a ich parametry elektryczne są mierzone za pomocą multimetrów cyfrowych firmy Hewlett Packard. W skład stanowiska wchodzi również wzorzec roboczy, składający się z sześciu lamp firmy Philips, wywzorcowany dla temperatury barwowej najbliższej 2856 K.

Dodatkowo są również wykorzystywane przyrządy do pomiarów warunków środowiskowych, temperatury i wilgotności względnej.

Na stanowisku wykonywane są wzorcowania:

- wzorców temperatury barwowej najbliższej; zakres mierzonej temperatury barwowej najbliższej: ( $1900 \div 3000$ ) K, zdolność pomiarowa  $U = 1,6 \%$ .
- wzorcowanie kolorymetrów trójchromatycznych do pomiaru chromatyczności źródeł światła; zakres mierzonej temperatury barwowej: 2856 K, zdolność pomiarowa  $U = 1,6 \%$ .
- wzorcowanie kalibratorów fotometrycznych. Zakres określanej temperatury barwowej: ( $2700 \div 4000$ ) K, zdolność pomiarowa  $U = 1,6 \%$ .



Stanowisko pomiarowe do wzorcowania wzorców temperatury barwowej



Lampa fotometryczna wzorzec temperatury barwowej

# Stanowisko pomiarowe do odtwarzania i przekazywania jednostki miary strumienia świetlnego

Stanowisko państwowego wzorca jednostki miary strumienia świetlnego, do odtwarzania i przekazywania jednostki miary zgodnie ze schematem spójności pomiarowej, służy do zapewnienia spójności z wzorcami międzynarodowymi przy porównaniach międzynarodowych.

Podstawowy element stanowiska to wzorec państwowy strumienia świetlnego składający się z pięciu fotometrycznych lamp żarowych (wzorec zespołowy) firmy Toshiba typu PS 95 o wartości nominalnej napięcia elektrycznego 100 V i mocy 200 W. Bańki lamp wykonane są z przezroczystego szkła, a żarnik ma formę włókna wieńcowego. Trzonek lamp jest typu E27.

Państwowy wzorec jednostki miary strumienia świetlnego został wywzorcowany w październiku 2014 roku w TKK (Helsinki University of Technology) w Finlandii, w oparciu o wzorec odniesienia przekazujący „jednostkę średnią 1985” strumienia świetlnego.

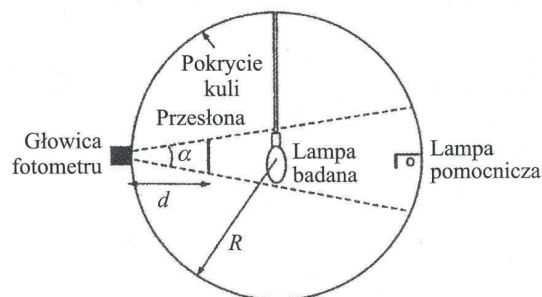
„Jednostka średnia 1985” strumienia świetlnego jest to jednostka określona w Międzynarodowym Biurze Miar na podstawie, dokonanego w 1985 roku, porównania wzorców pochodzących z państwowych laboratoriów metrologicznych czternastu państw.

Strumień świetlny lamp wchodzących w skład wzorca państwowego został wyznaczony przy użyciu kuli Ulbrichta i wzorców odniesienia. Lampy były wzorcowane w pozycji pionowej, trzonkiem do góry i zasilane prądem elektrycznym stałym. Temperatura otoczenia w trakcie wzorcowania wynosiła  $(23,1 \pm 1) ^\circ\text{C}$ , natomiast wilgotność względna  $(29 \pm 5) \%$ .

W skład państwowego wzorca jednostki miary strumienia świetlnego wchodziły lampy oznaczone numerami: TA21531C, TA21533C, TA21535C, TA21537C, TA21539C (oznaczenia znajdują się w dolnej części bańki). Wzorec jest przechowywany i stosowany w temperaturze pomieszczenia  $(22 \pm 4) ^\circ\text{C}$ , przy wilgotności względnej powietrza nie przekraczającej 80 %. Lampy są przechowywane w pudełkach, chroniących je przed uszkodzeniem oraz zabrudzeniem, w miejscu nie narażonym na drgania i wstrząsy. Państwowy wzorec jednostki miary strumienia świetlnego sprawdzany jest raz na cztery lata w zagranicznym instytucie metrologicznym, a także raz na dwa lata sprawdzany w porównaniach wewnętrznych (komparacje wzorca zespołowego), mających na celu sprawdzenie stałości jego parametrów metrologicznych.



Lumenomierz (kula Ulbrichta)



Schemat pomiaru strumienia świetlnego w lumenomierzu

Stanowisko do odtwarzania i przekazywania jednostki miary strumienia świetlnego oparte jest na lumenomierzu, fotometrycznych wzorcach odniesienia i mierniku fotoprądu LMT. Stanowisko to znajduje się w klimatyzowanej ciemni fotometrycznej (w pomiarach strumienia świetlnego ważne jest całkowite wyeliminowanie innych źródeł światła poza badanymi). Bardzo istotne jest też jak najdokładniejsze odtworzenie parametrów elektrycznych wzorców, gdyż nawet niewielka ich zmiana wpływa na parametry świetlne lamp. W związku z tym do zasilania lamp, wchodzących w skład wzorca, stosuje się wysokiej klasy zasilacz prądu stałego firmy Heinzinger, a ich parametry elektryczne są kontrolowane za pomocą multimetrów cyfrowych firmy Hewlett-Packard. W zależności od potrzeb, przyrządy i urządzenia są różnie konfigurowane, są również wykorzystywane w innych stanowiskach pomiarowych, zwłaszcza urządzenia zasilające, przyrządy kontrolujące odtwarzane wartości napięcia i natężenia prądu lamp, przyrządy do pomiarów warunków środowiskowych.

Odtwarzanie wzorca państwowego jednostki miary strumienia świetlnego i wzorcowanie lamp fotometrycznych na wzorce strumienia świetlnego odbywa się przy użyciu kuli fotometrycznej i fotometru, którego głowica umieszczona jest w okienku pomiarowym kuli całkującej. Zgodnie z zaleceniami CIE średnica kuli powinna być co najmniej 10 razy większa od wymiarów lamp o konstrukcji zwartej i dwukrotnie większa od długości lamp o konstrukcji rurkowej. Jako pokrycie wnętrza kuli stosuje się zazwyczaj siarczan baru lub politetrafluoroetylen. Wartość współczynnika odbicia pokrycia kuli jest ważnym parametrem układu pomiarowego. Im wyższy współczynnik odbicia tym lepsza jednorodność przestrzenna odpowiedzi kuli, co powoduje, że fotometr kulisty jest mniej podatny na błędy wynikające z różnic w rozkładach kątowych światłości mierzonych źródeł. Jednakże pokrycia z siarczku baru czy politetrafluoroetyleny są bardzo czułe na wszelkie zanieczyszczenia i pyły. Istotne jest również niedopasowanie czułości widmowej głowicy fotometru do krzywej  $V(\lambda)$ , co wywołuje wyraźną reakcję układu pomiarowego. Kula fotometryczna wykorzystywana w Pracowni Wzorców Fotometrycznych i Radiometrycznych ma średnicę 1,5 m, a jej wnętrze pokryte jest siarczanem baru. Przynajmniej raz w roku wykonywany jest przegląd stanu powierzchni wewnętrznej lumenomierza i w razie potrzeby przeprowadzane są zabiegi konserwacyjne.

Zasada działania państwowego wzorca jednostki miary strumienia świetlnego polega na odtworzeniu jego danych metrologicznych. Podstawowym parametrem odtwarzania wzorca jest prąd elektryczny lampy, którego wartość podana w świadectwie wzorcowania ustawiana jest na multimetrze cyfrowym, wchodzącym w skład stanowiska do odtwarzania i przekazywania jednostki miary strumienia świetlnego.

W przypadku wzorcowania lamp na wzorce strumienia świetlnego używa się wzorców pośredniczących jednostki miary strumienia. Wzorce pośredniczące wykorzystywane w Pracowni Wzorców Fotometrycznych i Radiometrycznych to dwa komplety lamp, z których pierwszy składa się z czterech lamp żarowych firmy Engel & Gibbs typu LF 200, natomiast drugi z pięciu lamp żarowych firmy Osram typu Wi 6. Lamy te są wywzorcowane w odniesieniu do państwowego wzorca jednostki miary i przekazują „jednostkę średnią 1985” strumienia świetlnego.

Na stanowisku wykonywane są wzorcowania wzorców strumienia świetlnego w zakresie (5 ÷ 3000) lm. Zdolność pomiarowa  $U = 1,5 \%$  jest zatwierdzona przez EURAMET i umieszczona w bazie danych KCDB.

Strumień świetlny wzorców pośredniczących odtwarzany jest, podobnie jak w przypadku wzorca państwowego, na podstawie prądu elektrycznego, którego wartość podana jest w ich świadectwie wzorcowania. Z kolei lampy przeznaczone na wzorce strumienia świetlnego ustawiane są na wartość



napięcia nominalnego podaną przez producenta. W każdym z przypadków, po włączeniu lampy należy odczekać 10 minut w celu stabilizacji jej parametrów elektrycznych i świetlnych, a następnie odczytać wartości wskazań miernika fotoprądu.

Pomiar strumienia świetlnego wykonywany jest w lumenomierzu przez porównanie natężeń oświetlenia wywołanych na oknie pomiarowym kuli fotometrycznej strumieniami świetlnymi badanego wzorca i wzorca odniesienia.

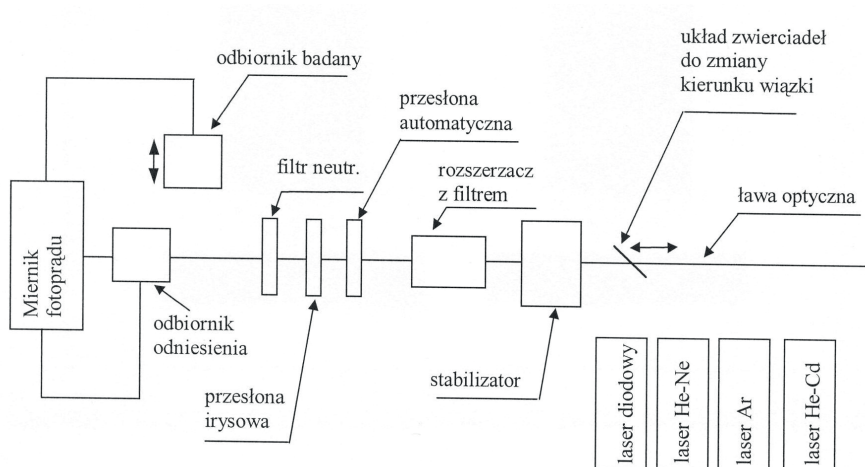
W lipcu 2009 roku wprowadzono zmiany w układzie pomiarowym, mające na celu polepszenie odtwarzalności parametrów elektrycznych wzorcowanych lamp. Używany dotychczas kompensator prądu stałego został zamieniony na multimetry cyfrowe. Równocześnie zrezygnowano z ogniwa normalnego i dzielnika napięcia, które nierozłącznie wiązały się z kompensatorem. Wylimitowanie tych przyrządów pomiarowych wpłynęło na obniżenie niepewności pomiaru.

## Stanowisko pomiarowe do wzorcowania wzorców czułości widmowej (bezwzględnej) przy wybranych długościach fal promieniowania laserowego

Stanowisko pomiarowe służy do odtwarzania i przekazywania jednostki miary czułości widmowej (przy wybranych długościach promieniowania laserowego), zgodnie ze schematem spójności pomiarowej. Niezbędne jest również do wzorcowania odbiorników mocy promienistej.

W skład stanowiska pomiarowego do wzorcowania wzorców czułości widmowej bezwzględnej wchodzi: lasery (helowo-neonowy, argonowy, helowo-kadmowy, diodowy), stabilizator mocy wiązki laserowej CRI, rozszerzacz z filtrem przestrzennym, przesłony do formowania wiązki, odbiorniki odniesienia (odbiorniki pałpkowe QED 200 i QED 150, fotodiody krzemowe), miernik fotoprądu LMT. Schemat stanowiska do wzorcowania wzorców czułości widmowej bezwzględnej przedstawiony jest na rysunku poniżej.

W Pracowni Wzorców Fotometrycznych i Radiometrycznych w GUM, bezwzględna czułość widmowa odbiorników fotoelektrycznych jest wyznaczana przy następujących długościach fali



Schemat stanowiska do wzorcowania wzorców czułości widmowej bezwzględnej

promieniowania laserowego: 633 nm, 514 nm, 488 nm. Odtwarzaną i przekazywaną jednostką czułości bezwzględnej jest A/W. Najlepsza zdolność pomiarowa to  $U = 0,004$ , która jest zatwierdzona przez EURAMET i umieszczona w bazie danych BIPM. Zakres mierzonej czułości widmowej wynosi od 0,01 A/W do 1 A/W.

Metoda pomiarowa jest metodą porównawczą bezpośrednią, w której promieniowanie monochromatyczne o długości fali  $\lambda$  kierowane jest najpierw na odbiornik odniesienia, a następnie na odbiornik badany. Metoda ta jest zgodna z zaleceniami CIE Publ. 64 (1984) „Determination of the spectra responsivity of optical radiation detectors”.

Jednostka czułości widmowej jest odtwarzana przy użyciu trzech zestawów odbiorczych typu QED 150 i QED 200 lub przy użyciu fotodiod krzemowych. Użycie odpowiedniego odbiornika odniesienia uzależnione jest od długości fali promieniowania laserowego, przy której wykonuje się wzorcowanie. Odbiorniki typu pułapki świetlnej podlegają wzorcowaniu raz na pięć lat, natomiast wzorcowania fotodiod odbywa się co cztery lata.

Zestawy odbiorcze typu QED, jak również fotodiody krzemowe, wymagają stosowania wiązki promieniowania o niewielkiej rozbieżności ( $4^\circ \div 7^\circ$ ). Dlatego jako źródło promieniowania użyto lasery. Dla zapewnienia stabilności mocy wiązki emitowanej przez lasery zainstalowano stabilizator laserowy (typ LPC – VIS) firmy CRI, działający na zasadzie modulacji elektro-optycznej. LPC składa się z trzech części:

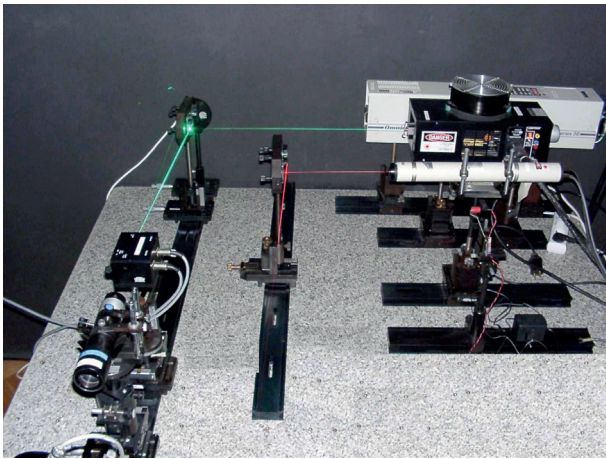
- elektro-optycznego modulatora, który zmiennie osłabia wiązkę (pozwala to otrzymywać różne zakresy mocy, nawet wtedy, gdy używamy lasera pracującego na jednym poziomie mocy),
- płytki światłodzielącej z odbiornikiem,
- bloku elektronicznego do monitorowania i sterowania dwoma poprzednimi częściami.

Kontrolowana wiązka musi być pionowo spolaryzowana. Typowe osłabienie to 100:1 dla długości fali promieniowania 633 nm.

Po przejściu przez modulator, światło pada przez aperturę na precyzyjną płytkę światłodzielącą. Płytkę ta przepuszcza 98 % padającego światła, a odbija 2 %. Przepuszczone światło wychodzi na zewnątrz przez aperturę wyjściową, natomiast odbite jest mierzone za pomocą precyzyjnej fotodiody. Dla zapewnienia maksymalnej dokładności temperatura fotodiody jest automatycznie kontrolowana i doregulowana do  $33^\circ\text{C}$ , co eliminuje dryf długoczasowy i błąd spowodowany zmianą temperatury odbiornika. Dzięki temu prąd fotodiody jest niezwykle stałym wskaźnikiem mocy lasera. Prąd ten jest kierowany do modułu elektronicznego w celu odczytu.

Po przejściu przez układ stabilizujący wiązka laserowa trafia na rozszerzacz z filtrem przestrzennym, powodującym kilkukrotne zwiększanie średnicy (przy zachowaniu rozkładu Gaussowskiego). Następnie wiązka przechodzi przez przesłony, które odpowiednio ją formują i dalej jest kierowana na odbiornik odniesienia. Przy pomocy przesuwu w miejscu odbiornika odniesienia umieszcza się odbiornik wzorcowany. Pomiar fotoprądu odbiorników mierzony jest za pomocą miernika fotoprądu LMT.

Na tym samym stanowisku, oprócz wzorcowania wzorców czułości widmowej bezwzględnej, przeprowadza się również wzorcowanie mierników mocy przy wybranych długościach fali promieniowania laserowego. Moc promienista jest to moc wysyłana, przenoszona lub przyjmowana w postaci promieniowania. Metoda wzorcownia jest metodą porównawczą bezpośrednią. Promieniowanie monochromatyczne o długości fali  $\lambda$  kierowane jest najpierw na odbiornik odniesienia, a następnie na głowicę badanego miernika. Znając czułość widmową odbiornika odniesienia i odczytując fotoprąd na tym odbiorniku możemy obliczyć wartość mocy promieniowania wiązki, które jest



Stanowisko pomiarowe do wzorcowania wzorców czułości widmowej (bezwzględnej) przy wybranych długościach fal promieniowania laserowego



Wzorce czułości widmowej

wysyłane przez źródło. Zatem jest to moc promieniowania, która pada na odbiornik odniesienia i odbiornik badany. Odczytując wskazania mocy promieniowania na odbiorniku badanym możemy wyznaczyć błąd wskazania. Zakres mierzonej mocy promienistej wynosi od  $1 \mu\text{W}$  do  $2 \text{mW}$ .

Stanowisko pomiarowe do wzorcowania wzorców czułości widmowej bezwzględnej przy wybranych długościach fali promieniowania laserowego znajduje się w ciemni fotometrycznej, gdyż w pomiarach tych konieczne jest wyeliminowanie wszystkich źródeł światła poza laserem.

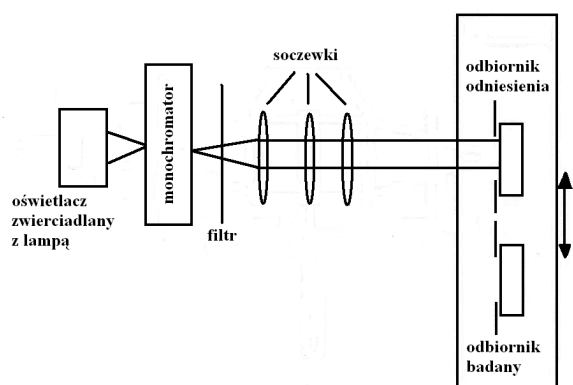
Do kontroli warunków środowiskowych używane są rejestratory temperatury i wilgotności względnej.

## Stanowisko pomiarowe do wzorcowania wzorców czułości widmowej w zakresie widmowym (380 ÷ 1600) nm

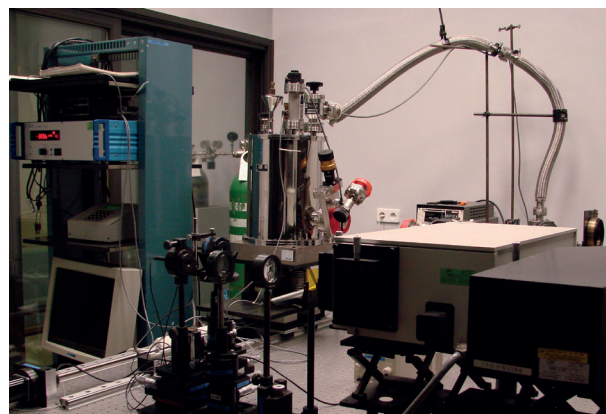
Stanowisko pomiarowe służy do odtwarzania i przekazywania jednostki miary czułości widmowej (przy promieniowaniu monochromatycznym), zgodnie ze schematem spójności pomiarowej. Niezbędne jest również do wzorcowania odbiorników mocy promienistej oraz uczestniczy w porównaniach międzynarodowych.

Na stanowisku pomiarowym wyznaczana jest czułość widmowa odbiorników fotoelektrycznych oraz wzorcowane są mierniki mocy promienistej. Zarówno wzorcowanie wzorców czułości widmowej, jak i mierników mocy promienistej jest wykonywane w dwóch zakresach widmowych: (380 ÷ 1000) nm i (900 ÷ 1600) nm. Wynika to z charakterystyk używanych odbiorników odniesienia oraz z potrzeb klienta.

Źródłem światła na stanowisku jest lampa kwarcowo-halogenowa o parametrach nominalnych 600 W i 120 V umieszczona w oświetlaczu zwierciadlanym. Lampa zasilana jest prądem stałym przy użyciu zasilacza TET Electronic. W celu uzyskania monochromatycznej wiązki światła stosuje się monochromator Spectra Pro – 500 Czerny – Turner (produkcja Acton Research Corporation) z siatką interferencyjną. Monochromator dodatkowo wyposażony jest w sterownik do ustawiania



Schemat stanowiska pomiarowego do wzorcowania wzorców czułości widmowej w zakresie widmowym (380–1600) nm



Stanowisko pomiarowe do wzorcowania wzorców czułości widmowej w zakresie widmowym (380–1600) nm

długości fali (ARC Spectra Driver). Jako odbiorniki odniesienia, w pomiarach w zakresie widmowym (380 ÷ 1000) nm, stosowane są fotodiody krzemowe oraz odbiorniki pułapkowe typu QED 200 i QED 150. W przypadku pomiarów w zakresie (900 ÷ 1600) nm odbiornikami odniesienia są fotodiody germanowa lub fotodiody InGaAs (wywzorcowane w PTB w sierpniu 2015 r.). Do odczytu wartości fotoprądu stosuje się miernik fotoprądu firmy LMT (typ I 1000). Schemat stanowiska pomiarowego do wzorcowania wzorców czułości widmowej w zakresie widmowym (380 ÷ 1600) nm przedstawiono na rysunku powyżej.

Wiązka wychodząca z monochromatora jest wiązką rozbieżną. W celu jej skolimowania stosuje się układ soczewek. Bezpośrednio za szczeliną wyjściową monochromatora umieszczony jest odpowiedni filtr barwny, który ma za zadanie wyeliminować promieniowanie drugiego rzędu. Wybór filtra uzależniony jest od długości fali promieniowania, które wychodzi z monochromatora.

Stosowana na tym stanowisku metoda pomiarowa jest metodą porównawczą bezpośrednią. Polega ona na tym, że promieniowanie monochromatyczne o długości fali  $\lambda$  kierowane jest najpierw na odbiornik odniesienia, a następnie na odbiornik badany. Znając wartość czułości widmowej, dla ustalonej długości fali odbiornika odniesienia oraz wartości fotoprądu odbiornika badanego, możemy wyznaczyć jego czułość widmową.

Metoda ta jest zgodna z zaleceniami CIE Publ. 64 (1984) „Determination of the spectra responsivity of optical radiation detectors”. Czulość widmowa wzorcowanych odbiorników wyrażana jest w A/W.

Wzorcowanie mierników mocy promienistej polega na skierowaniu wiązki promieniowania o wybranej długości fali na odbiornik odniesienia i odczytaniu wartości fotoprądu na tym odbiorniku. Następnie wiązka jest kierowana na odbiornik wzorcowany, z którego odczytujemy wskazanie mocy promienistej. Wykorzystując zależność mocy promienistej od fotoprądu i czułości widmowej (jest to iloraz tych dwóch wielkości), możemy wyznaczyć moc promienistą wiązki, która pada na odbiorniki. W efekcie, porównując moc promienistą obliczoną na odbiorniku odniesienia i odczytaną na odbiorniku wzorcowanym, otrzymujemy błąd wskazań.

Ze względu na bardzo dużą czulość odbiorników odniesienia konieczne jest wyeliminowanie wszystkich źródeł światła (poza wiązką promieniowania padającą na odbiornik). W związku z tym pomiary przeprowadzane są w ciemni fotometrycznej. W celu kontroli warunków środowiskowych w ciemni zainstalowana jest klimatyzacja, która utrzymuje na stałym poziomie temperaturę otoczenia ( $22 \pm 4$ ) °C i wilgotność względną powietrza (nie większą niż 80 %).

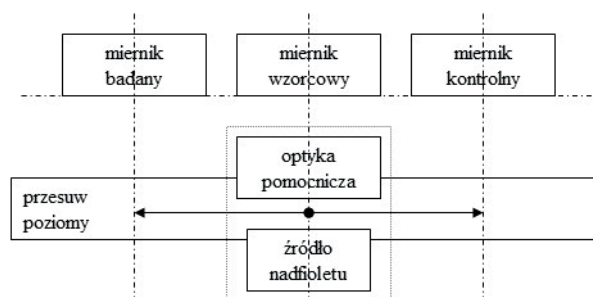
Część przyrządów pomiarowych ze stanowiska pomiarowego do wzorcowania wzorców czułości widmowej w zakresie widmowym (380 ÷ 1600) nm jest wykorzystywana na stanowisku pomiarowym do wzorcowania wzorców czułości widmowej (bezwzględnej) przy wybranych długościach fali promieniowania laserowego. W zależności od potrzeb odbiorniki pałapkowe, fotodiody czy miernik fotoprądu używane są na jednym z tych stanowisk.

## Stanowisko pomiarowe do wzorcowania mierników nadfioletu stosowanych w badaniach nieniszczących (NDT)

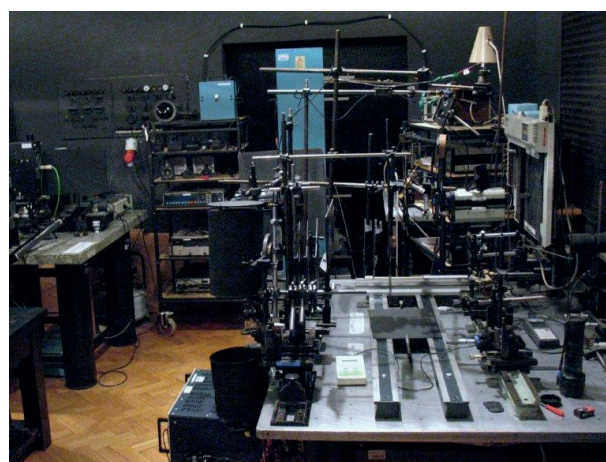
Stanowisko do przekazywania jednostki miary natężenia napromienienia jest unikalne w skali kraju, uczestniczy w porównaniach międzynarodowych.

Mierniki nadfioletu stosowane w badaniach nieniszczących (non-destructive testing – NDT) są przeznaczone do sprawdzania intensywności świecenia lamp wyładowczych typu black Light (o maksimum promieniowania przypadającym na prążek emisji rtęci 365 nm).

Podstawowe elementy tego stanowiska to promiennik nadfioletu o maksimum emisji dla prążka rtęci 365 nm oraz miernik promieniowania (radiometr piroelektryczny), którego wskazania zostały odniesione do wzorca czułości widmowej dla zakresu pomiarowego (200 ÷ 400) nm (fotodiody krzemowej) wywzorcowanej we wrześniu 2016 r. w PTB. Dodatkowo, używany jest miernik nadfioletu Delta OHM, który ma zadanie zapewnienia bieżącej kontroli prawidłowości ustawienia i odtworzenia wiązki promieniowania UV. W celu uzyskania różnych wartości natężenia napromienienia stosuje się odpowiednie filtry lub ich kombinacje, które osłabiają wiązkę promieniowania.



Schemat stanowiska do wzorcowania mierników nadfioletu



Stanowisko do wzorcowania mierników nadfioletu i światła białego (NDT)

W wiązce promieniowania, którego maksimum przypada na długość fali 365 nm, umieszczany jest najpierw wzorcowy miernik promieniowania (radiometr). Wartość odczytana na mierniku, podzielona przez wartość powierzchni światłoczułej odbiornika (1 cm<sup>2</sup>), wyznacza natężenie napromienienia na tej powierzchni. Następnie w tej samej wiązce promieniowania umieszczamy badany miernik nadfioletu i wykorzystując arkusz kalkulacyjny Microsoft Excel na bieżąco oceniany jest

stosunek sygnału z przyrządu badanego i przyrządu odniesienia. Pomiar odbywa się w ciemni fotometrycznej z zastosowaniem odpowiednich przesłon. W trakcie pomiaru kontrolowane są warunki oświetleniowe, co ma umożliwić eliminację lub dokładne oszacowanie udziału promieniowania tła w czasie wzorcowania. Do kontroli warunków środowiskowych używane są rejestratory temperatury i wilgotności względnej.

## Stanowisko pomiarowe do wzorcowania połyskomierzy i wzorców połysku

Stanowisko wzorca odniesienia jednostki miary połysku, do odtwarzania i przekazywania jednostki miary zgodnie ze schematem spójności pomiarowej, służy do zapewnienia spójności z wzorcami międzynarodowymi w porównaniach międzynarodowych.

Podstawowe elementy stanowiska to cztery wzorce połysku ze szkła czarnego (wzorce materiałne) o wartościach połysku wyznaczonych w NRC (National Research Council, Kanada) w odniesieniu do wzorców połysku, odtwarzanych i przekazujących jednostkę miary połysku metodą pomiarów reflektometrycznych oraz połyskomierz wzorcowy „haze-gloss”.

Aktualnie status wzorca odniesienia jednostki miary połysku posiadają cztery wzorce połysku wykonane ze szkła czarnego numer katalogowy 4050, o numerach fabrycznych: 1019581, 1019581 oraz 1056485, 1056486 produkcji BYK Gardner. Zostały one, jako materiał zakupione w 2006 r. oraz w 2009 r., sprawdzone w GUM, a następnie wywzorcowane w NRC.



Wzorce odniesienia jednostki miary połysku

Wzorce połysku są to bloki ze szkła czarnego o wymiarach 100 mm × 100 mm × 5 mm. Wyznaczanie wartości połysku dla trzech geometrii pomiarowych: 20°/20°, 60°/60°, 85°/85° oraz wartości współczynnika załamania dla każdego wzorca przeprowadza się co trzy lata. Okres ten, wymuszony specyfiką pomiarową, jest związany ze sposobem przekazywania jednostki miary połysku metodą bezpośrednią. W trakcie pomiarów dochodzi do zetknięcia głowicy pomiarowej połyskomierza z powierzchnią wzorca, co może wpływać na jego stan techniczny.

Stanowisko pomiarowe do wzorcowania połyskomierzy i wzorców połysku znajduje się w pomieszczeniu laboratoryjnym. Na stole laboratoryjnym, którego blat jest wykonany z płyty o dużej odporności na ścieranie i uszkodzenia mechaniczne, ustawiony jest połyskomierz wzorcowy model „haze-gloss”, typ 4601, produkcji niemieckiej firmy BYK Gardner. W 2005 r. GUM zakupił połyskomierz wzorcowy razem z wyposażeniem. W skład wyposażenia wchodzi stolik, ze specjalnym świetlnym celownikiem, ułatwiającym pozycjonowanie próbki. Automatyczny pomiar pozwala na



Połyskomierz wzorcowy model „haze-gloss”

szybkie próbkowanie. Inne niezbędne elementy wyposażenia, wchodzące w skład stanowiska, to wzorce różnych wartości połysku, zapewniające stałą kontrolę nad stabilnością długoterminową połyskomierza wzorcowego. Połyskomierz wzorcowy jest wykorzystywany do przekazywania jednostki miary połysku od wzorca odniesienia do wzorca roboczego. Wzorzec roboczy jednostki miary połysku składa się z czterech bloków szklanych o wymiarach 100 mm × 100 mm, wykonanych ze szkła czarnego z zachowaniem optycznej płaskości. W zależności od potrzeb, wzorcowanie wzorców połysku lub połyskomierzy, wyposażenie stanowiska jest odpowiednio konfigurowane. Dodatkowo są również wykorzystywane przyrządy do pomiarów warunków środowiskowych: temperatury i wilgotności. Ze względu na specyfikę wzorcowanych połyskomierzy oraz na metodę pomiarową nie ma możliwości zautomatyzowania stanowiska pomiarowego.

## Stanowisko pomiarowe do wzorcowania wzorców współczynnika odbicia w geometrii 8°:d

Stanowisko wzorca odniesienia GUM jednostki miary współczynnika odbicia, do odtwarzania i przekazywania jednostki miary zgodnie ze schematem spójności pomiarowej, służy do zapewnienia spójności z wzorcami międzynarodowymi przy porównaniach międzynarodowych.

Stanowisko pomiarowe znajduje się w pomieszczeniu laboratoryjnym w którym monitorowane są warunki środowiskowe (temperatura i wilgotność), wyposażone jest w dwuwiązkowy spektrofotometr CARY 5E firmy VARIAN sterowany komputerem, z przystawką odbiciową (kulą całkującą). Spektrofotometr zawiera monochromator z siatką dyfrakcyjną. Pomiar widmowego współczynnika odbicia w geometrii pomiaru 8°:d wzorców stałych, nieprzepuszczających promieniowania, wykonywany jest w dowolnym przedziale długości fal z zakresu widmowego (380 ÷ 2400) nm, z krokiem dowolnym od 1 nm do 10 nm.

Wzorcowanie wzorców wykonuje się metodą względną. Wyniki pomiarów odniesione są do wskazań wzorca wykonanego z politetrafluoroetyleny (PTFE) firmy Labsphere wzorcowanego w PTB. Metoda pomiaru jest znormalizowana i opisana w Publ. CIE 130-1998.

Na stanowisku tym wykonuje się:

- pomiary widmowego współczynnika odbicia w zakresie (0,5 ÷ 100) %, w zakresie widmowym (380 ÷ 2400) nm co 1 nm, 5 nm lub 10 nm,



Spektrofotometr wzorcowy Cary 5E

- wyznaczanie wartości parametrów kolorymetrycznych dla iluminantów normalnych A, C, D65 lub innych, dla obserwatorów kolorymetrycznych 2° i 10°,
- wyznaczanie składowych trójchromatycznych i współrzędnych chromatyczności w różnych układach kolorymetrycznych.

Na stanowisku wzorca odniesienia GUM jednostki miary współczynnika odbicia wzorcuje się wzorce dla potrzeb własnych oraz klientów zewnętrznych. Na spektrofotometrze Cary 5E wykonywane są wzorcowania wzorców widmowego współczynnika odbicia, które biorą udział w porównaniach międzynarodowych.

## Stanowisko pomiarowe do wzorcowania wzorców współczynnika luminancji w geometrii pomiaru d:8°

Stanowisko współpracuje ze stanowiskiem wzorca odniesienia jednostki miary współczynnika odbicia i przekazywania jednostki zgodnie ze schematem spójności pomiarowej.

Stanowisko do pomiarów współczynnika luminancji w geometrii d:8° znajduje się w pomieszczeniu laboratoryjnym wyposażonym w przyrządy monitorujące warunki środowiskowe (wilgotność i temperaturę). Stanowisko wyposażone jest w spektrofotometr Datacolor 800 sterowany komputerem.

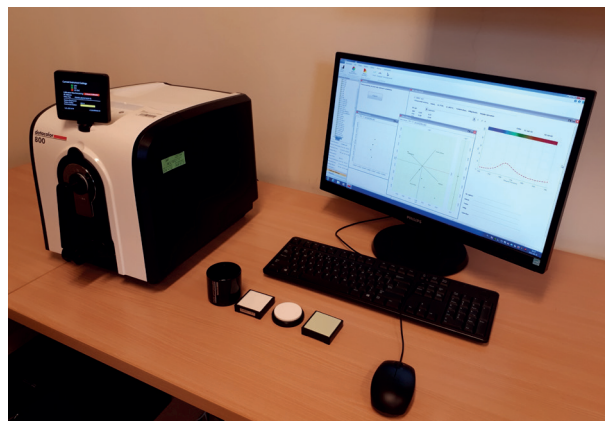
Pomiar widmowego współczynnika luminancji w geometrii pomiaru d:8° wykonywany jest dla wzorców stałych, nieprzepuszczających promieniowania, w zakresie widmowym (400 ÷ 700) nm, z krokiem 10 nm.

Wzorcowanie wzorców wykonuje się metodą względną. Wyniki pomiarów odniesione są do wskazań wzorca roboczego wykonanego z PTFE, powiązanego z wzorcem odniesienia współczynnika odbicia. Metoda pomiaru znormalizowana i opisana w Publ. CIE 130-1998.

Na stanowisku tym wykonuje się:

- pomiary widmowego współczynnika luminancji w zakres (0.5 ÷ 100) %, w zakresie widmowym (400 ÷ 700) nm co 10 nm,
- wyznaczanie wartości parametrów kolorymetrycznych dla iluminantów normalnych A, C, D65 lub innych, dla obserwatorów kolorymetrycznych 2° i 10°,
- wyznaczanie składowych trójchromatycznych i współrzędnych chromatyczności w różnych układach kolorymetrycznych.

Na stanowisku wzorca odniesienia GUM jednostki miary widmowego współczynnika odbicia wzorcuje się wzorce dla potrzeb klientów zewnętrznych.



Spektrofotometr wzorcowy mierzący w geometrii d:8°



## Stanowisko pomiarowe do wzorcowania wzorców widmowego współczynnika luminancji w geometrii pomiaru $d:0^\circ$

Stanowisko, współpracujące ze stanowiskiem wzorca odniesienia jednostki miary współczynnika odbicia, służy do przekazywania jednostki zgodnie ze schematem spójności pomiarowej.

Stanowisko pomiarowe wyposażone jest w dwuwiązkowy spektrofotometr ELREPHO 450 firmy Datacolor sterowany komputerem.

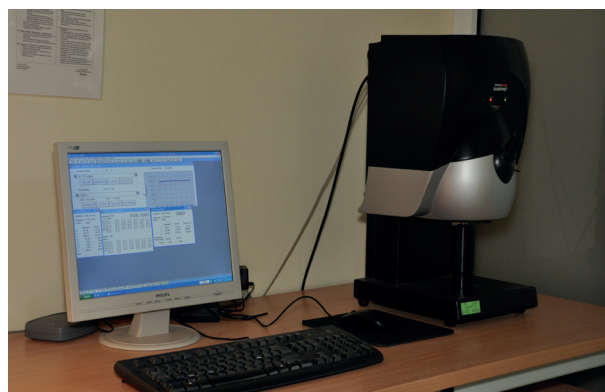
Pomiar widmowego współczynnika luminancji w geometrii pomiaru  $d:0^\circ$ , wzorców stałych, nieprzepuszczających promieniowania, wykonywany jest w zakresie widmowym (360 ÷ 750) nm, z krokiem 10 nm.

Wzorcowanie wzorców wykonuje się metodą względną. Wyniki pomiarów odniesione są do wskazań wzorca roboczego wykonanego z PTFE powiązanego z wzorcem odniesienia widmowego współczynnika odbicia. Metoda pomiaru znormalizowana i opisana w Publ. CIE 130-1998.

Na stanowisku tym wykonuje się:

- pomiary widmowego współczynnika luminancji w zakres (0,5 ÷ 100) %, w zakresie widmowym (360 ÷ 750) nm co 10 nm,
- wyznaczanie wartości parametrów kolorymetrycznych dla iluminantów normalnych A, C, D65 lub innych, dla obserwatorów kolorymetrycznych  $2^\circ$  i  $10^\circ$ ,
- wyznaczanie składowych trójchromatycznych i współrzędnych chromatyczności w różnych układach kolorymetrycznych.

Na stanowisku wzorca odniesienia GUM jednostki miary widmowego współczynnika odbicia wzorcuje się wzorce dla potrzeb klientów zewnętrznych.



Spektrofotometr wzorcowy mierzący w geometrii  $d:0^\circ$

## Stanowisko pomiarowe do wzorcowania wzorców widmowego współczynnika luminancji w geometrii pomiaru $0^\circ:45^\circ$

Stanowisko wzorca odniesienia jednostki miary współczynnika luminancji w geometrii  $0^\circ:45^\circ$  służy do przekazywania jednostki zgodnie ze schematem spójności pomiarowej.

Stanowisko pomiarowe wyposażone jest w spektrofotometr LabScanXE firmy HunterLab sterowany komputerem.

Pomiar widmowego współczynnika luminancji w geometrii pomiaru  $0^\circ:45^\circ$  wzorców stałych, nieprzepuszczających promieniowania, wykonywany w zakresie widmowym (400 ÷ 700) nm, z krokiem 10 nm.

Wzorcowanie wzorców wykonuje się metodą względną. Wyniki pomiarów odniesione są do wskazań wzorca odniesienia, białej emaliowanej płytki HunterLab Color Standard LX17112 wzorcowanej w NPL (National Physical Laboratory). Metoda pomiaru znormalizowana i opisana w Publ. CIE 130-1998.

Na stanowisku tym wykonuje się:

- pomiary współczynnika luminancji w zakresie (0 ÷ 100) %, w zakresie widmowym (400 ÷ 700) nm co 10 nm,
- wyznaczanie wartości parametrów kolorymetrycznych dla iluminantów normalnych A, C, D65 lub innych, dla obserwatorów kolorymetrycznych 2° i 10°,
- wyznaczanie składowych trójchromatycznych i współrzędnych chromatyczności w różnych układach kolorymetrycznych.

Na stanowisku wzorca odniesienia GUM jednostki miary współczynnika luminancji wzorcuje się wzorce dla potrzeb własnych i klientów zewnętrznych.



Spektrofotometr wzorcowy LabScan XE

## Stanowisko pomiarowe do wzorcowania wzorców widmowego współczynnika luminancji w geometrii pomiaru 45°:0°

Stanowisko, współpracujące ze stanowiskiem wzorca odniesienia jednostki miary współczynnika luminancji w geometrii 0°:45°, służy do przekazywania jednostki zgodnie ze schematem spójności pomiarowej.

Stanowisko pomiarowe wyposażone jest w spektrofotometr ColorFlex firmy HunterLab sterowany komputerem.

Pomiar widmowego współczynnika luminancji w geometrii pomiaru 45°:0° dla wzorców stałych, nieprzepuszczających promieniowania, wykonywany jest w zakresie widmowym (400 ÷ 700) nm, z krokiem 10 nm.

Wzorcowanie wzorców wykonuje się metodą względną. Wyniki pomiarów odniesione są do wskazań wzorca roboczego białej emaliowanej płytki HunterLab Color Standard CX1505. Metoda pomiaru znormalizowana i opisana w Publ. CIE 130-1998.

Na stanowisku tym wykonuje się:

- pomiary widmowego współczynnika luminancji w zakres (0 ÷ 100) %, w zakresie widmowym (400 ÷ 700) nm co 10 nm,



Spektrofotometr wzorcowy ColorFlex

- wyznaczanie wartości parametrów kolorymetrycznych dla iluminantów normalnych A, C, D65 lub innych, dla obserwatorów kolorymetrycznych 2° i 10°,
- wyznaczanie składowych trójchromatycznych i współrzędnych chromatyczności w różnych układach kolorymetrycznych.

Na stanowisku wzorca odniesienia GUM jednostki miary widmowego współczynnika odbicia wzorcuje się wzorce dla potrzeb klientów zewnętrznych.

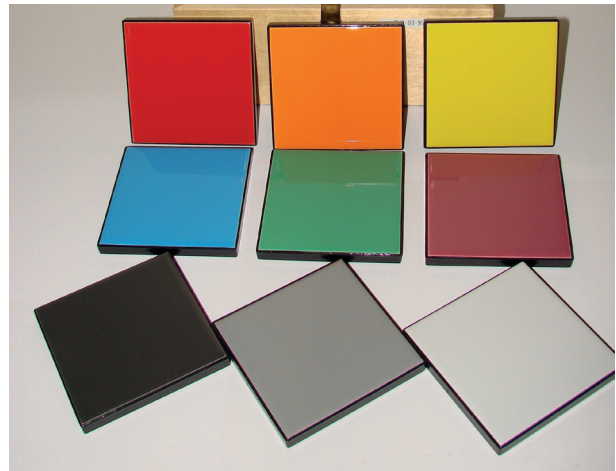
## Stanowisko pomiarowe do wzorcowania kolorymetrów trójchromatycznych i spektrofotometrów odbiciowych

Stanowisko wzorców odniesienia jednostki miary współczynnika odbicia w geometrii pomiaru 8°:d i współczynnika luminancji 0°:45° oraz składowych trójchromatycznych i parametrów kolorymetrycznych  $L^*$   $a^*$   $b^*$  służy do wzorcowania kolorymetrów trójchromatycznych i spektrofotometrów odbiciowych.

Wzorcowania przyrządu (kolorymetru lub spektrofotometru) dokonuje się poprzez porównanie jego wskazań parametrów  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ , przy zastosowaniu zestawu wzorców odniesienia Glossy Ceramic Colour Standards – Series II (10 płytek ceramicznych o barwach średnio-nasyconych i szarości) z wartościami wzorcowymi parametrów  $L_w^*$ ,  $a_w^*$ ,  $b_w^*$  tych wzorców, podanymi w aktualnym świadectwie wzorcowania i wyliczeniu różnicy barwy  $\Delta E$ .

Metoda pomiarowa znormalizowana, opisana w Publ. CIE 15:2004 Colorimetry i Publ. CIE 130-1998. „Praktyczne pomiary współczynnika odbicia i współczynnika przepuszczania”.

Wzorcowanie przyrządu wykonywane jest w na miejscu w GUM lub w laboratorium użytkownika.



Zestaw wzorców odniesienia Glossy Ceramic Colour Standards – Series II

# Klasyfikacja czynności metrologicznych w dziedzinie fotometrii i radiometrii

W tabeli poniżej przedstawiona została klasyfikacja czynności oparta o układ klasyfikacyjny wprowadzony przez CCPR na potrzeby bazy CMCs [6]. W ostatniej kolumnie podano informacje, czy dana usługa jest prowadzona w laboratoriach GUM (należy również pamiętać, że sama klasyfikacja ma charakter teoretyczny i uniwersalny, co oznacza, że przewiduje obecność również takich usług, których nie oferuje żadne z krajów członkowskich BIPM).

Kod literowy	Nr czynności	Wielkość mierzona	Przyrząd lub obiekt	GUM
	<b>1</b>	<b>Fotometria</b>		
<b>PR</b>	<b>1.1</b>	<b>Światłość</b>		
PR	1.1.1	Światłość lampy wolframowej	lampa wolframowa	TAK
PR	1.1.1.1	Stabilność lampy wolframowej względem światłości	lampa wolframowa	TAK
PR	1.1.2	Światłość LED	LED	
<b>PR</b>	<b>1.2</b>	<b>Czułość świetlna</b>		
PR	1.2.1	Czułość świetlna przy lampie wolframowej	luksomierz	TAK
PR	1.2.1.1	Czułość świetlna przy lampie wolframowej	głowica fotometryczna	TAK
<b>PR</b>	<b>1.3</b>	<b>Strumień świetlny</b>		
PR	1.3.1	Strumień świetlny lampy wolframowej	lampa wolframowa	TAK
PR	1.3.1.1	Stabilność lampy wolframowej względem strumienia świetlnego	lampa wolframowa	TAK
<b>PR</b>	<b>1.4</b>	<b>Natężenie oświetlenia</b>		
PR	1.4.1	Natężenie oświetlenia przy lampie wolframowej	lampa wolframowa	TAK
PR	1.4.1.1	Natężenie oświetlenia przy lampie wolframowej	luksomierz	TAK
<b>PR</b>	<b>1.5</b>	<b>Luminancja</b>		
PR	1.5.1	Luminancja dla źródła opartego na lampie wolframowej	źródło oparte na lampie wolframowej	TAK
PR	1.5.1.1	Luminancja materiału fotoluminescencyjnego	materiał fotoluminescencyjny	TAK
PR	1.5.1.2	Luminancja źródła opartego na lampie wolframowej	miernik luminancji	TAK
<b>PR</b>	<b>1.6</b>	<b>Czułość luminancyjna</b>		
PR	1.6.0	Czułość luminancyjna dla dowolnego źródła	miernik luminacji	TAK
<b>PR</b>	<b>1.8</b>	<b>Ekspozycja świetlna</b>		
PR	1.8.0	Ekspozycja świetlna dla dowolnego źródła	dowolne źródło	
PR	1.8.1	Ekspozycja świetlna dla dowolnego źródła	fotometr do oświetlenia błyskowego	

Kod literowy	Nr czynności	Wielkość mierzona	Przyrząd lub obiekt	GUM
	<b>2.</b>	<b>Właściwości odbiorników</b>		
<b>PR</b>	<b>2.1</b>	<b>Widmowa czułość względem mocy</b>		
PR	2.1.1	Widmowa czułość względem mocy odbiornika szerokopasmowego	odbiornik szerokopasmowy	TAK
<b>PR</b>	<b>2.2</b>	<b>Widmowa czułość względem natężenia napromienienia</b>		
PR	2.2.2	Widmowa czułość względem natężenia napromienienia odbiornika szerokopasmowego	odbiornik szerokopasmowy	TAK
PR	2.2.3	Widmowa czułość względem natężenia napromienienia spektrometru	spektrometr	
<b>PR</b>	<b>2.3</b>	<b>Widmowa czułość względem luminancji energetycznej</b>		
PR	2.3.0	Widmowa czułość względem luminancji energetycznej odbiornika szerokopasmowego	spektrometr	
<b>PR</b>	<b>2.4</b>	<b>Czułość względem mocy promieniowania laserowego</b>		
PR	2.4.0	Czułość względem mocy promieniowania laserowego dowolnego odbiornika	dowolny odbiornik	TAK
<b>PR</b>	<b>2.5</b>	<b>Czułość względem energii promieniowania laserowego</b>		
PR	2.5.0	Czułość względem energii promieniowania laserowego dowolnego odbiornika	dowolny odbiornik	
<b>PR</b>	<b>2.7</b>	<b>Czułość względem natężenia napromienienia dla promieniowania słonecznego</b>		
PR	2.7.0	Czułość względem natężenia napromienienia promieniowania słonecznego dla dowolnego odbiornika	dowolny odbiornik	
	<b>3.</b>	<b>Widmowe właściwości emisyjne źródeł</b>		
<b>PR</b>	<b>3.1</b>	<b>Widmowe natężenie napromienienia</b>		
PR	3.1.1	Widmowe natężenie napromienienia przy lampie wolframowej	lampa wolframowa	
PR	3.1.2	Widmowe natężenie napromienienia przy lampie deuterowej	lampa deuterowa	
PR	3.1.3	Widmowe natężenie napromienienia przy źródle 365 nm	miernik UVA	TAK
<b>PR</b>	<b>3.2</b>	<b>Widmowa luminancja energetyczna</b>		
PR	3.2.1	Widmowa luminancja energetyczna lampy wolframowej	lampa wolframowa	
PR	3.2.2	Widmowa luminancja energetyczna lampy deuterowej	lampa deuterowa	
<b>PR</b>	<b>3.3</b>	<b>Widmowy strumień energetyczny</b>		
PR	3.3.1	Widmowy strumień energetyczny promieniowania laserowego	laser	
<b>PR</b>	<b>3.4</b>	<b>Widmowe natężenie promieniowania</b>		
PR	3.4.1	Widmowe natężenie promieniowania lampy wolframowej	lampa wolframowa	
PR	3.4.2	Widmowe natężenie promieniowania lampy deuterowej	lampa deuterowa	

Kod literowy	Nr czynności	Wielkość mierzona	Przyrząd lub obiekt	GUM
	<b>4.</b>	<b>Widmowe właściwości materiałów</b>		
<b>PR</b>	<b>4.1</b>	<b>Widmowy współczynnik przepuszczania kierunkowego</b>		
PR	4.1.1	Widmowy współczynnik przepuszczania kierunkowego materiałów neutralnych widmowo	materiał neutralny widmowo	TAK
PR	4.1.1.1	Widmowy współczynnik przepuszczania kierunkowego materiałów selektywnych widmowo	materiał selektywny widmowo	TAK
PR	4.1.1.2	Widmowy współczynnik przepuszczania kierunkowego materiałów neutralnych widmowo	spektrofotometr z ciągłą skalą długości fali	TAK
PR	4.1.1.3	Widmowy współczynnik przepuszczania kierunkowego materiałów neutralnych widmowo	spektrofotometr z dyskretną skalą długości fali	TAK
<b>PR</b>	<b>4.2</b>	<b>Widmowy współczynnik przepuszczania rozproszonego</b>		
PR	4.2.1	Widmowy współczynnik przepuszczania rozproszonego materiałów neutralnych widmowo	materiał neutralny widmowo	
<b>PR</b>	<b>4.3</b>	<b>Gęstość optyczna widmowego współczynnika przepuszczania kierunkowego</b>		
PR	4.3.1	Gęstość optyczna widmowego współczynnika przepuszczania kierunkowego materiałów neutralnych widmowo	materiał neutralny widmowo	TAK
PR	4.3.1.1	Gęstość optyczna widmowego współczynnika przepuszczania kierunkowego materiałów selektywnych widmowo	materiał selektywny widmowo	TAK
PR	4.3.1.2	Gęstość optyczna widmowego współczynnika przepuszczania kierunkowego materiałów neutralnych widmowo	spektrofotometr z ciągłą skalą długości fali	TAK
PR	4.3.1.3	Gęstość optyczna widmowego współczynnika przepuszczania kierunkowego materiałów neutralnych widmowo	spektrofotometr z dyskretną skalą długości fali	TAK
PR	4.3.1.4	Gęstość optyczna widmowego współczynnika przepuszczania kierunkowego materiałów neutralnych widmowo	densytometr	TAK
<b>PR</b>	<b>4.4</b>	<b>Gęstość optyczna widmowego współczynnika przepuszczania rozproszonego</b>		
PR	4.4.1	Gęstość optyczna widmowego współczynnika przepuszczania rozproszonego materiałów neutralnych widmowo	materiał neutralny widmowo	
<b>PR</b>	<b>4.5</b>	<b>Widmowy współczynnik odbicia rozproszonego</b>		
PR	4.5.1	Widmowy współczynnik odbicia rozproszonego materiałów neutralnych widmowo	materiał neutralny widmowo	TAK
<b>PR</b>	<b>4.6</b>	<b>Widmowy współczynnik odbicia kierunkowego</b>		
PR	4.6.1	Widmowy współczynnik odbicia kierunkowego materiałów neutralnych widmowo	materiał neutralny widmowo	TAK
<b>PR</b>	<b>4.7</b>	<b>Widmowy współczynnik odbicia półprzestrzennego</b>		
PR	4.7.1	Widmowy współczynnik odbicia półprzestrzennego materiałów neutralnych widmowo	materiał neutralny widmowo	
<b>PR</b>	<b>4.9</b>	<b>Emisyjność</b>		
PR	4.9.0	Emisyjność dowolnego materiału	dowolny materiał	
<b>PR</b>	<b>4.10</b>	<b>Emitancja</b>		
PR	4.10.0	Emitancja dowolnego materiału	dowolny materiał	

Kod literowy	Nr czynności	Wielkość mierzona	Przyrząd lub obiekt	GUM
PR	4.11	<b>Funkcja rozkładu współczynnika odbicia dwukierunkowego</b>		
PR	4.11.0	Funkcja rozkładu współczynnika odbicia dwukierunkowego dowolnego materiału	dowolny materiał	
PR	4.12	<b>Współczynnik odbicia względem rozpraszacza doskonałego</b>		
PR	4.12.0	Współczynnik odbicia względem rozpraszacza doskonałego dla dowolnego materiału	dowolny materiał	TAK
PR	4.13	<b>Współczynnik luminancji energetycznej</b>		
PR	4.13.0	Współczynnik luminancji energetycznej dowolnego materiału	dowolny materiał	
PR	4.13.1	Współczynnik luminancji energetycznej materiału fluorescencyjnego	materiał fluorescencyjny	
PR	4.14	<b>Luminescencyjny współczynnik luminancji energetycznej</b>		
PR	4.14.0	Luminescencyjny współczynnik luminancji energetycznej materiału fluorescencyjnego	materiał fluorescencyjny	
PR	4.15	<b>Długość fali</b>		
PR	4.15.0	Długość fali dla materiału selektywnie przepuszczającego promieniowanie	materiał selektywnie przepuszczający promieniowanie	TAK
PR	4.15.0.1	Długość fali dla materiału selektywnie przepuszczającego promieniowanie	spektrofotometr z ciągłą skalą długości fali	TAK
PR	4.15.1	Długość fali dla materiału selektywnie odbijającego promieniowanie	materiał selektywnie odbijający promieniowanie	TAK
	5.	<b>Widmowo scałkowane pomiary parametrów źródeł i odbiorników</b>		
PR	5.1	<b>Temperatura rozkładu</b>		
PR	5.1.0	Temperatura rozkładu lampy wolframowej	lampa wolframowa	
PR	5.2	<b>Temperatura barwowa najbliższa</b>		
PR	5.2.1	Temperatura barwowa najbliższa lampy wolframowej	lampa wolframowa	TAK
PR	5.3	<b>Czułość względem temperatury barwowej najbliższej</b>		
PR	5.3.0	Czułość względem temperatury barwowej najbliższej dla dowolnego odbiornika	dowolny odbiornik	
PR	5.4	<b>Parametry kolorymetryczne źródeł</b>		
PR	5.4.0	Współrzędne chromatyczności $x, y$ dowolnego źródła	dowolne źródło	TAK
PR	5.4.0.1	Współrzędne chromatyczności $x, y$ lampy wolframowej	lampa wolframowa	TAK
PR	5.4.0.2	Współrzędne chromatyczności $x, y$ lampy wolframowej	kolorymetr	TAK
PR	5.4.1	Współrzędne $u, v$ dowolnego źródła	dowolne źródło	
PR	5.4.2	Współrzędne $u', v'$ dowolnego źródła	dowolne źródło	
PR	5.4.3	Współrzędne $L, a, b$ wyświetlacza	wyświetlacz	
PR	5.5	<b>Czułość względem chromatyczności źródła</b>		
PR	5.5.0	Czułość względem chromatyczności źródła dla kolorymetru	kolorymetr	

Kod literowy	Nr czynności	Wielkość mierzona	Przyrząd lub obiekt	GUM
PR	5.6	<b>Wskaźnik oddawania barw</b>		
PR	5.6.0	Wskaźnik oddawania barw dla dowolnego źródła	dowolne źródło	
	6.	<b>Barwa i inne widmowo scałkowane pomiary parametrów materiałów</b>		
PR	6.1	<b>Parametry kolorymetryczne <math>x, y, Y</math> materiałów odbijających promieniowanie</b>		
PR	6.1.0	Parametry kolorymetryczne $x, y, Y$ dowolnych materiałów odbijających promieniowanie	dowolny materiał	TAK
PR	6.1.0.1	Parametry kolorymetryczne $x, y, Y$ dowolnych materiałów odbijających promieniowanie	dowolny kolorymetr	TAK
PR	6.1.1	Parametry kolorymetryczne $x, y, Y$ fluorescencyjnych materiałów odbijających promieniowanie	materiał fluorescencyjny	
PR	6.1.2	Parametry kolorymetryczne $x, y, Y$ materiałów odbijających promieniowanie w sposób rozproszony	materiał odbijający promieniowanie w sposób rozproszony	TAK
PR	6.2	<b>Współrzędne <math>L, a, b</math> materiałów odbijających promieniowanie</b>		
PR	6.2.0	Współrzędne $L, a, b$ dowolnych materiałów odbijających promieniowanie	dowolny materiał	TAK
PR	6.2.0.1	Współrzędne $L, a, b$ dowolnych materiałów odbijających promieniowanie	dowolny kolorymetr	TAK
PR	6.2.1	Współrzędne $L, a, b$ fluorescencyjnych materiałów odbijających promieniowanie	materiał fluorescencyjny	
PR	6.2.2	Współrzędne $L, a, b$ materiałów odbijających promieniowanie w sposób rozproszony	materiał odbijający promieniowanie w sposób rozproszony	TAK
PR	6.3	<b>Parametry kolorymetryczne <math>x, y, Y</math> materiałów przepuszczających promieniowanie</b>		
PR	6.3.0	Parametry kolorymetryczne $x, y, Y$ dowolnych materiałów przepuszczających promieniowanie	dowolny materiał	TAK
PR	6.3.0.1	Współrzędne $L, a, b$ dowolnych materiałów przepuszczających promieniowanie	dowolny kolorymetr	TAK
PR	6.4	<b>Współrzędne <math>L, a, b</math> materiałów przepuszczających promieniowanie</b>		
PR	6.4.0	Współrzędne $L, a, b$ dowolnych materiałów przepuszczających promieniowanie	dowolny materiał	
PR	6.5	<b>Współczynnik odbicia współdrożnego</b>		
PR	6.5.0	Współczynnik odbicia współdrożnego dowolnego materiału	dowolny materiał	
PR	6.6	<b>Połysk</b>		
PR	6.6.0	Połysk dla dowolnego materiału	dowolny materiał	
PR	6.6.0.1	Połysk wysoki dowolnego materiału	wzorzec wysokiego połysku w geometriach 20°/20°, 60°/60°, 85°/85°	TAK
PR	6.6.0.2	Połysk wysoki dowolnego materiału	połyskomierz w geometriach 20°/20°, 60°/60°, 85°/85°	TAK
PR	6.7	<b>Zamglenie</b>		
PR	6.7.0	Zamglenie dowolnego materiału	dowolny materiał	



Kod literowy	Nr czynności	Wielkość mierzona	Przyrząd lub obiekt	GUM
PR	6.9	<b>Współczynnik luminancji świetlnej</b>		
PR	6.9.0	Współczynnik luminancji świetlnej dowolnego materiału	dowolny materiał	
PR	6.10	<b>Wskaźnik luminancji świetlnej</b>		
PR	6.10.0	Wskaźnik luminancji świetlnej dowolnego materiału	dowolny materiał	
PR	6.12	<b>Białość</b>		
PR	6.12.0	Białość dla dowolnego materiału		TAK
	7.	<b>Technika światłowodowa</b>		
PR	7.1	<b>Czułość względem mocy</b>		
PR	7.1.0	Czułość względem mocy przekazywanej światłowodowo	miernik mocy optycznej	
PR	7.2	<b>Długość fali</b>		
PR	7.2.0	Długość fali dla źródła światłowodowego	źródło światłowodowe	
PR	7.2.1	Długość fali widma optycznego	analizator widma optycznego	
PR	7.2.2	Długość fali widma optycznego	miernik długości fali	
PR	7.5	<b>Tłumienność</b>		
PR	7.5.0	Tłumienność światłowodu	światłowód	
PR	7.5.1	Tłumienność elementu światłowodowego	element światłowodowy	
PR	7.7	<b>Dispersja chromatyczna</b>		
PR	7.7.1	Dispersja chromatyczna zerowego rzędu	światłowód	
PR	7.7.2	Nachylenie krzywej dyspersji	światłowód	
PR	7.10	<b>Długość</b>		
PR	7.10.0	Długość optyczna światłowodu	światłowód	
PR	7.10.1	Reflektometr światłowodowy	reflektometr światłowodowy	

# Bibliografia

- [1] PN-90/E-01005 Technika světlna. Terminologia
- [2] <http://www.cie.co.at/index.php/Publications/Technical+Reports+and+Guides>
- [3] CCPR WG Strategy Document for Rolling Development Programme
- [4] strona internetowa EURAMET (archiwum M2)
- [5] EURAMET and the Operation of NMIs, EURAMET Guide No. 1, Version 2.0 (01/2015)
- [6] [http://kcdb.bipm.org/appendixC/PR/PR\\_services.pdf](http://kcdb.bipm.org/appendixC/PR/PR_services.pdf)
- [7] <http://kcdb.bipm.org/appendixC/search.asp?reset=1&met=PR>





Warszawa, 2019