

Czterdzieści lat pracy w laboratorium światła i barwy GUM (1965 – 2005)

Rok 1965 nie stanowił żadnego przełomu w dziedzinie pomiarów fotometrycznych i kolorymetrycznych, jednakże dla młodego fizyka rozpoczynającego pracę było to wielkie wyzwanie połączone z wchodzeniem w tajniki metrologii. Minęło już kilkanaście lat od 1948 r., w którym IX Generalna Konferencja Miar i Wąg przyjęła nową definicję kandeli opartą na promieniowaniu ciała czarnego w temperaturze krzepnięcia platyny. Przed kilku laty zaprzestano również w GUM stosowania w fotometrii wizualnych metod pomiarowych przechodząc w pełni na metody obiektywne z odbiornikiem fizycznym. Z poprzednich lat pozostały jednakże, takie ciekawe przyrządy jak wizualny fotometr i wizualny kolorymetr Donaldsona. Pozostały publikacje naukowo-techniczne Czaplickiego [1], Rolińskiego [2], Roupperta [3] i podstawowe publikacje zwarte Oleszyńskiego [4] i Rolińskiego [5]. To wszystko pozwoliło w jakimś stopniu zrozumieć drogę, jaką przeszła fotometria i kolorymetria w ciągu kilkudziesięciu minionych lat i uzyskać solidne przygotowanie do wykonywania prac metrologicznych.

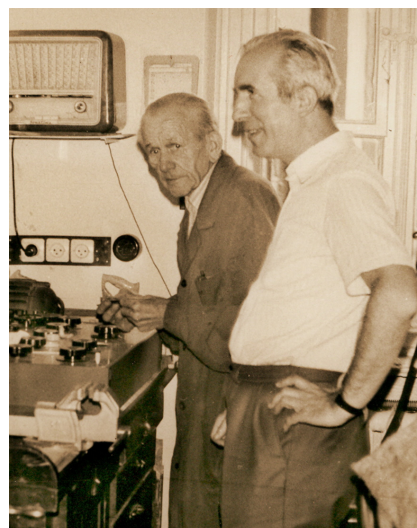
W wyżej wspomnianej pracy jej autor inż. Tadeusz Czaplicki napisał, iż „jednostka światłości może być przechowywana przy pomocy żarówek bez porównania dokładniej, niż przy pomocy wszelkich wzorców płomiennych, znanych dotychczas. Żarówki te są stale kontrolowane i porównywane”. Zatem na wiele lat żarówka stała się czymś nierozłącznym z fotometrią i kolorymetrią. Wzorce wtórne i robocze światłości i strumienia świetlnego wykonywane były na żarówkach. Samo przenoszenie jednostki miary i wykonywane komparacje były czynnościami pracochłonnymi i wymagającymi dużej cierpliwości. Żarówka-wzorzec stwarzała zawsze jakąś nić porozumienia między pracownikiem laboratorium a innymi osobami. Można by, trawestując stwierdzenie B. Chmielowskiego w najstarszej encyklopedii polskiej „Nowe Ateny”, powiedzieć, że „żarówka jaka jest, każdy widzi”. Podczas wycieczek młodzieży licealnej i innych osób w laboratorium, sam wzorzec żarówkowy budził średnie zainteresowanie, ale podanie ceny użytej do tego celu żarówki od razu to zainteresowanie zwielokrotniało.

Pierwsza konferencja naukowo-techniczna, w której uczestniczyłem, to konferencja „Postępy w dziedzinie fotometrii i kolorymetrii” w Kielcach w 1969 r. W konferencji oprócz metrologów polskich uczestniczyli także naukowcy zagraniczni, m.in. młody fizyk węgierski Janos Schanda, późniejszy wieloletni kierownik Biura Centralnego Międzynarodowej Komisji Oświetleniowej w Wiedniu, autor wielu prac z dziedziny pomiarów promieniowania optycznego. Można powiedzieć, że konferencja ta rozbudziła zainteresowanie tematyką fotometrii i kolorymetrii i ukazała, że w innych instytucjach metrologicznych tematyką tą zajmuje się dość liczne grono osób. Laboratorium Światła i Barwy zawsze było otwarte na współpracę z zagranicznymi laboratoriami i żadne wiedzy, którą można było w ramach tej współpracy uzyskać. Już w 1971 r. Laboratorium nawiązało współpracę z Instytutem Metrologicznym im. D. Mendelejewa (WNIIM)



Ilustr. 1. Autor artykułu na początku lat dziewięćdziesiątych

w Leningradzie (obecnie Sankt Petersburg). W owym czasie we WNIIM laboratoriami fotometrii, kolorymetrii i spektrometrii kierowały panie W. Kartaszewska, E. Justowa i N. Batarczukowa – autorki licznych prac dobrze znane na forum międzynarodowym. W późniejszym okresie laboratorium utrzymywało współpracę naukowo-techniczną z urzędami miar: bułgarskim, niemieckim (ASMW) i węgierskim (OMH). Szczególnie owocna była współpraca z kolegami z Węgier. L. Fillinger, G. Dezsi i G. Andor zawsze kierowali do nas serdeczną i pomocną dłoń. Ich pomoc miała tym większą wartość, że w tym trudnym czasie mieli oni możliwość kontaktu z takimi instytucjami metrologicznymi, jak NBS czy BAM. Owocem każdej wizyty w OMH były nie tylko wyniki badań i wzorcowań, lecz również zachodnia literatura naukowa, szkice i rysunki techniczne.



Ilustr. 2. Z Bolesławem Wrzoskiem wieloletnim pracownikiem Laboratorium Pomiarów Światła i Barwy

Lata siedemdziesiąte i osiemdziesiąte to burzliwy rozwój technik wytwarzania odbiorników fotoelektrycznych i piroelektrycznych, a zwłaszcza półprzewodnikowych odbiorników fotoelektrycznych opartych na krzemie. W technikach pomiarowych fotoelektryczne odbiorniki selenowe dość szybko zostały zastąpione odbiornikami krzemowymi. Fotodiody krzemowe cechujące się dobrą stabilnością i liniowością nadawały się doskonale na odbiorniki wzorcowe. W wielu krajowych instytucjach metrologicznych tworzono alternatywne układy przekazywania jednostek fotometrycznych oparte na odbiornikach wzorcowych. W końcu lat siedemdziesiątych Geist [6] i Zalewski [7] w NBS (obecnie NIST) opracowali metodę samokalibracji czułości widmowej fotodiod krzemowych. W ogólności metoda ta polega na określeniu wydajności przetwarzania fotonów na elektrony przy uwzględnieniu wielkości rozmaitych strat występujących w fotodiodzie. Fascynująca jest spójność logiczna i piękno fizyczne tej metody. Dalszy postęp osiągnięto konfigurując samokalibrowane fotodiody krzemowe w pewien rodzaj pułapki świetlnej, w której wiązka promieniowania ulegając wielokrotnemu odbiciu zostaje prawie w całości



Ilustr. 3. Kierownictwo GUM z wizytą w Laboratorium w 1996 r. – prezes K. Mordziński i wiceprezes Z. Kamiński



Ilustr. 5. Wizyta prezydenta AIC prof. Mitsuo Ikedy (pierwszy z prawej) sprawdzającego stan przygotowań do konferencji międzynarodowej AIC Midterm Meeting w 1998 r.

pochłonięta. Pierwszy odbiornik pułpkowy został skonstruowany przez Zalewskiego i Dudę [8] w 1983 r. Metodę samokalibracji fotodiod krzemowych oraz odbiorniki pułpkowe QED 100 i OED 200 stosowano w Głównym Urzędzie Miar już na początku lat dziewięćdziesiątych [9, 10]. Zbudowano także wzorcowe stanowisko pomiarowe do wyznaczania absolutnej czułości widmowej fotodiod krzemowych pracujące dotąd w GUM. Chciałbym jeszcze nadmienić, że miałem okazję poznać osobiście dr. Geista na V konferencji NEWRAD 94 w Berlinie i dr. Zalewskiego na VII konferencji NEWRAD 99 w Madrycie.

Odbiorniki pułpkowe o coraz ciekawszych konfiguracjach i coraz lepszych charakterystykach są nadal w centrum zainteresowania w wielu instytutach metrologicznych, a szczególnie w NIST. Opracowano tam m.in. odbiornik pułpkowy tunelowy [11]. Z kolei firma *Spectrum Detector Inc.* wypuściła na rynek radiometr pułpkowy z odbiornikiem piroelektrycznym, który może pełnić rolę absolutnego wzorca mocy promienistej w bardzo szerokim przedziale widmowym (200 nm – 15000 nm).



Ilustr. 7. Autor podczas V Krajowego Sympozjum Kolorymetrycznego w Szczyrku w maju 2001 r.



Ilustr. 4. W laboratorium Physikalisch-Technische Bundesanstalt przy wykonywaniu pomiarów radiometrem kriogenicznym w listopadzie 1997 r.

Wracając do kolorymetrii w latach siedemdziesiątych można stwierdzić, że ewenementem tych lat było intensywne poszukiwanie dobrego wzoru różnicy barw, który dawałby wyniki zgodne z oceną wizualną. Pojawiły się propozycje stosowania, co najmniej 10 różnych wzorów, często dość skomplikowanych i „egzotycznych”. Laboratorium nie pozostawało na uboczu tego stanu wzbudzenia i czynnie uczestniczyło również w badaniu przydatności tych wzorów w praktyce kolorymetrycznej [12, 13]. Sytuację w znacznej mierze uspokoiło i unormowało wprowadzenie przez Międzynarodową Komisję Oświetleniową równomiernych przestrzeni barw CIELAB i CIELUV. Ewolucja wzorów różnicy barw postępowała nadal, jednakże nie miała już ona tak burzliwego przebiegu [14].

W roku 1981 ukazała się książka „Wzory i tabele kolorymetryczne” autorstwa J. Pietrzykowskiego i N. Sobczaka [15]. Wspominam o niej dlatego, że była to praca zawierająca bardzo obszerne tabele kolorymetryczne niezbędne przy wykonywaniu obliczeń składowych trójchromatycznych i różnicy barw. Możliwość wykonywania złożonych obliczeń kolorymetrycznych wyznaczała często tempo badań w kolorymetrii. Wyliczenie składowych kolorymetrycznych filtru na podstawie pomierzonych wartości widmowego współczynnika przepuszczania przy użyciu arytmometru trwała ponad 3 godziny, a przy użyciu komputera sekundy.

Z badaniami kolorymetrycznymi nierozdzielnie związane były prace nad wytwarzaniem wzorców bieli, a później wzorców barwy. Początkowo ograniczone były one do wytwarzania wzorców bieli z MgO i BaSO₄ dla potrzeb laboratorium. Później jednak odpowiadając na potrzeby przemysłu zainteresowano się innymi możliwościami. Wzorce szklane opalowe (podobne do wzorców leukometrycznych i wzorców ze szkła typu MS 20) nie dawały się wytworzyć w warunkach laboratorium. Korzystając z opublikowanych prac metrologów z NIST i informacji otrzymanych od kolegów węgierskich z OMH wspólnie z mgr A. Kuszczynską opracowaliśmy wzorce odbicia ze spiekane go politetrafluoroetyleny [16, 17]. Wzorce te, rozszerzone później na wzorce o różnych stopniach szarości i barwy, stanowiły ewidentne osiągnięcie naszego laboratorium [18].

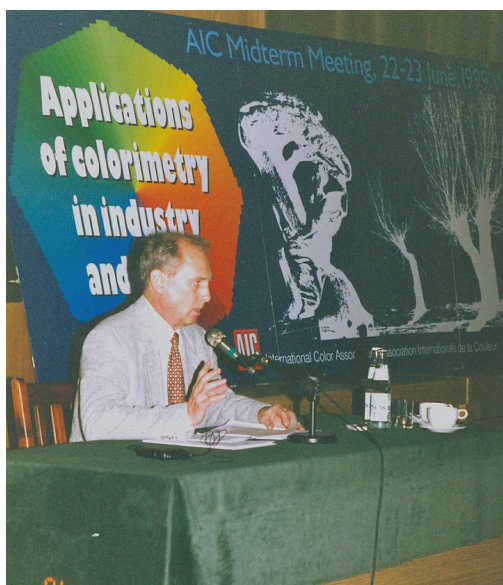
W latach dziewięćdziesiątych nastąpił również znaczny rozwój pomiarów spektrofotometrycznych. Potrzeba wzorcowania spektrofotometrycznych wzorców użytkowych i wzorców odniesienia oraz wzorcowania spektrofotometrów zwróciła uwagę laboratorium na potrzebę realizacji spektrofotometrycznych wzorców roboczych [19]. Opracowano zestawy wzorców widmowego współczynnika przepuszczania i gęstości optycznej widmowego współczynnika przepuszczania oraz wzorców do sprawdzania długości fali spektrofotometrów otrzymane ze szkieł domieszkowanych pierwiastkami ziem rzadkich. We wszystkich okręgowych urzędach miar utworzono laboratoria spektrofotometryczne wzorcujące, które zostały w późniejszym okresie akredytowane przez Polskie Centrum Akredytacji.

Rok 1979 przynosi kolejną zmianę definicji kandeli. Aktualna definicja kandeli została przyjęta na XVI Generalnej Konferencji Miar w następującej postaci:

Kandela jest światłością w danym kierunku, źródła wysyłającego monochromatyczne promieniowanie o częstotliwości $540 \cdot 10^{12}$ Hz, którego natężenie promieniowania w tym kierunku wynosi $1/683$ wata na steradian.

Definicja ta stwarza pełną spójność między jednostkami fotometrycznymi i radiometrycznymi. Źródło emitujące promieniowanie monochromatyczne o długości fali 555,016 nm w powietrzu o natężeniu promieniowania 1 W/sr ma światłość 683 cd. Nowa definicja kandeli wyraźnie wskazuje na sposób realizacji wzorca podstawowego jednostki światłości na drodze radiometrycznej poprzez zastosowanie fotometrów precyzyjnych z termostatywowanymi głowicami fotometrycznymi zawierającymi fotodiody krzemowe [20].

W kwietniu 1998 r. uruchomiono w GUM wzorec pierwotny jednostki mocy promienistej oparty na radiometrze kriogenicznym [21]. Radiometr kriogeniczny jest absolutnym radiometrem



Ilustr. 6. prof. Bogdan B. Kosmowski z Politechniki Gdańskiej prowadzi pierwszą sesję konferencji AIC Midterm Meeting w Domu Technika w Warszawie w czerwcu 1999 r.

podstawienia elektrycznego, a więc radiometrem, którego odbiornik jest ogrzewany pochłoniętą mocą optyczną oraz mocą cieplną, uzyskiwaną z grzejnika elektrycznego, co skutkuje określonym przyrostem temperatury odbiornika. Pomijając drobne różnice między procesami nagrzewania promienistego i elektrycznego można przyjąć, że mierzony widmowy strumień energetyczny jest równy mocy elektrycznej rozpraszanej w układzie grzejnym. Radiometr kriogeniczny pracuje w temperaturze bezwzględnej bliskiej 4 K, a jego niepewność odtworzenia jednostki mocy promienistej jest rzędu 0,01 %. W oparciu o radiometr można by ustanowić państwowy wzorzec podstawowy jednostki mocy promienistej, jednak spektroradiometria nie należy aktualnie do priorytetów rozwojowych GUM.

Oprócz zagranicznej współpracy dwustronnej laboratorium aktywnie uczestniczyło także w działalności organizacji międzynarodowych. W wyniku inicjatywy kierownictwa laboratorium Główny Urząd Miar w 1980 r. został przyjęty do Międzynarodowego Stowarzyszenia Barwy (International Colour Association). Kierownik Samodzielnego Laboratorium Promieniowania Optycznego Jerzy Pietrzykowski był przez wiele lat, do czasu odejścia na emeryturę, członkiem Council for Optical Radiation Measurements (CORM) – organizacji powołanej w 1972 r. z inicjatywy NBS (obecnie NIST) w celu propagowania tematyki pomiarów promieniowania optycznego i ustalania wymagań na stosowane w tej dziedzinie wzorce fizyczne.

Laboratorium wniosło także swój istotny wkład w propagację i rozwijanie tematyki pomiarów kolorymetrycznych i fotometrycznych. Przy współpracy z Polskim Komitetem Oświetleniowym i jednostkami szkolnictwa wyższego zorganizowano siedem Krajowych Sympozjów Kolorymetrycznych i międzynarodową konferencję AIC Midterm Meeting w czerwcu 1999 r. [22]. Krótka informacja o konferencji ukazała się w Biuletynie GUM [23], a piękny plakat konferencyjny ozdobił okładkę numeru 1(20) Metrologii i Probiernictwa z 2000 r. Z ramienia Polskiego Komitetu Oświetleniowego SEP autor reprezentował Polskę w Międzynarodowej Komisji Oświetleniowej (CIE) uczestnicząc w pracach kilku komitetów technicznych i w przygotowaniu kilku publikacji CIE. Znaczący jest również udział laboratorium w normalizacji skutkującej opracowaniem kilkunastu polskich norm z dziedziny kolorymetrii, techniki laserowej i jednostek miar.

Czterdzieści lat to długi okres zarówno w życiu człowieka, jak i działalności laboratorium, Praca w laboratorium z tak subtelną i niepojętą strukturą, jaką jest światło, może być fascynująca i barwna. To pewnie miał na myśli prof. dr hab. inż. Adam Fiok pisząc w dedykacji dla mnie na swojej książce następujące słowa „z wyrazami wdzięczności i życzeniami, aby nie tylko światło, ale i życie codzienne było barwne” [24].

Jerzy Pietrzykowski
emerytowany kierownik
Samodzielnego Laboratorium Promieniowania Optycznego

BIBLIOGRAFIA

- [1] Czaplicki T.: *O jednostce światłości*. Przegląd gazowniczy i wodociągowy nr 5, 1–10 (1925).
- [2] Roliński J.: *Nowa metoda spektrograficzna pomiaru zmiennych natężeń linii widmowych w jednym okresie*. PAK nr 8 (1960).
- [3] Rouppert S.: *Wyznaczenie przepuszczalności monochromatora zwierciadlanego Zeissa w części widzialnej widma*. PAK nr 19 (1962).
- [4] Oleszyński T.: *Miernictwo techniki świetlnej*. PWN. Warszawa 1957.
- [5] Roliński J.: *Komórki fotoelektryczne*. Warszawa PWT 1956.
- [6] Geist J.: *On the possibility of an absolute radiometric standard based on the quantum efficiency of silicon photodiode*. Proc. SPIE. Vol. 196. 75–83 (1979).
- [7] Zalewski E.F., Geist J.: *Silicon photodiode absolute spectral response self-calibration*. Appl. Opt. vol. 19, nr 18, 1214–1216 (1980).
- [8] Zalewski E.F., Duda C.R.: *Silicon photodiode device with 100 % external quantum efficiency*. Appl. Opt. vol. 22, nr 18, 2867–2873 (1983).
- [9] Pietrzykowski J.: *Metoda samokalibracji czułości widmowej fotodiod krzemowych i odbiorniki promieniowania typu pułapki świetlnej*. Przegląd Elektrotechniczny nr 12, 278–282 (1993).
- [10] Pietrzykowski J.: *Self-calibration silicon photodiodes and their application*. Polish Chapter of SPIE, Lasermetry, vol. 1, 61–72 (1995).
- [11] Eppeldauer G.P., Lynch D.C.: *Opto-mechanical and electronic design of a tunnel-trap Si radiometer*. J. Res. of NIST vol. 105, nr 6, 813–828 (2000).
- [12] Pietrzykowski J.: *Tolerancje pomiarów barwy i chromatyczności*. Przegląd Elektrotechniczny nr 5, 233–237 (1974).
- [13] Pietrzykowski J.: *Porównanie różnic barwy obliczonych według pięciu różnych wzorów*. Przegląd Elektrotechniczny nr 3, 133–137 (1975).
- [14] Pietrzykowski J.: *Ewolucja wzorów różnicy barw zalecanych do stosowania przez CIE*. I Krajowe Sympozjum Kolorymetryczne KSK '96, Łódź, 111–115 (1996).
- [15] Pietrzykowski J., Sobczak N.R.: *Wzory i tabele kolorymetryczne*. PKNMij, Warszawa 1981.
- [16] Kuszczynska A., Pietrzykowski J.: *Wzorce odbicia i barwy ze spiekanego politetrafluoroetyleny*. VIII Krajowa Konferencja Metrologii, Warszawa, 153–154 (1995).
- [17] Pietrzykowski J., Kuszczynska A.: *Herstellung der Farbstandards aus sinterem Polytetrafluoroethylen*. Internationale Farbtagung Farb-Info 95, Luzern, 1995.
- [18] Kuszczynska A., Pietrzykowski J.: *Polytetrafluoroethylene powder as a material for reflectance and colour standards*. Proc. SPIE vol. 4517 Lightmetry: Metrology, spectroscopy, and testing techniques using light, 108–114 (2001).
- [19] Pietrzykowski J.: *Metrological control of absorption photometers and spectrophotometers in Poland*. OIML Bulletin vol. 36, nr 4, 36 (1995).
- [20] Pietrzykowski J., Sobótko D., Szajna G., Rębecka A.: *Realizacja wzorca jednostki światłości kandel w Głównym Urzędzie Miar*. VIII Krajowa Konferencja Metrologii, Warszawa, 89–94 (1995).
- [21] Pietrzykowski J.: *Problem wzorca pierwotnego w metrologii promieniowania optycznego*. Prace Komisji Metrologii PAN, Seria: Konferencje nr 1, Podstawowe Problemy Metrologii PPM '98, 250–260 (1998).
- [22] Pietrzykowski J., Kuszczynska A., Ohanowicz-Adamska K.: *White reflection standards made of PTFE and opal glass*. AIC Midterm Meeting, 22–23 June 1999, Warszawa, 175–178 (1999).
- [23] Pietrzykowski J.: *Międzynarodowa Konferencja Kolorymetryczna AIC Midterm Meeting, 22–23 czerwca 1999 r.* Metrologia i Probiernictwo nr 1 (20), 20–21 (2000).
- [24] Fiok A.: *Telewizja. Podstawy ogólne*. WKŁ, Warszawa 1991.