

DOI: 10.5604/20830157.1159317

# NADZÓR NAD WYPOSAŻENIEM POMIAROWYM NA PRZYKŁADZIE MIERNIKÓW NATEŻENIA OŚWIETLENIA

**Agnieszka Banaszak, Justyna Wtorkiewicz**

Okręgowy Urząd Miar w Łodzi

**Streszczenie.** Wyposażenie pomiarowe laboratorium powinno podlegać nadzorowi. Zakres tego nadzoru jest uzależniony od obszaru stosowania przyrządu pomiarowego i powinien obejmować wzorcowanie. Kluczową sprawą jest również prawidłowa eksploatacja urządzenia, we właściwy sposób i we właściwych dla danego przyrządu warunkach. Przyrząd może ponadto podlegać okresowej kontroli, sprawdzeniom i w razie konieczności naprawom.

**Słowa kluczowe:** miernik natężenia oświetlenia, wzorcowanie, błąd pomiaru, właściwości metrologiczne

## SUPERVISION OF LABORATORY MEASURING EQUIPMENT BASED ON THE EXAMPLE OF ILLUMINANCE METERS

**Abstract.** Laboratory measuring equipment should be subject to supervision. The scope of this supervision depends on the field of the application of the instrument and should include calibration. The correct operation of the instrument is also a crucial factor. It should be proceeded in the proper manner and in right conditions. The instrument may also be subject to periodic inspections, checks and, if necessary, repairs.

**Keywords:** illuminance meter, calibration, measurement error, metrological characteristics

### Wstęp

W każdej metodzie pomiarowej przyrządy mające istotny wpływ na wynik pomiaru wymagają szczególnego nadzoru. Nadzór nad wyposażeniem pomiarowym laboratorium może przyjąć różne formy i zaczyna się do zakupu przyrządu spełniającego określone wcześniej wymagania. Jakość zakupionego urządzenia warto zweryfikować co, można zrealizować w różny sposób np. poprzez wzorcowanie przyrządu. Taka weryfikacja daje dużo informacji, które mogą być pomocne w czasie eksploatacji przyrządu i podczas następných kontroli metrologicznych.

### 1. Wybór nowego wyposażenia pomiarowego - luksomierza

Kupując nowe wyposażenie pomiarowe nie mamy pewności, czy jest ono potocznie mówiąc "dobre". Niektórzy użytkownicy uważają, że nowy przyrząd pomiarowy jest "dobry", ponieważ jest nowy. „Nowy” nie zawsze znaczy jednak znaczy „lepszy”.

Zakup właściwego urządzenia, co jest pierwszym etapem nadzoru nad danym wyposażeniem, nie jest sprawą prostą. Oferta rynkowa jest szeroka i generalnie jakość przyrządu determinuje jego cenę. Najwyższa cena na rynku nie oznacza jednak automatycznie, że zakupiony przez nas przyrząd będzie najwyższej jakości. Jak zyskać pewność, że zakupiony przyrząd jest „dobry”? Przed zakupem warto zastanowić się nad tym, na jakie parametry powinniśmy zwrócić uwagę i jakie mamy wymagania względem interesującego nas przyrządu pomiarowego. Po dokonaniu zakupu warto te oczekiwania zweryfikować. Chcąc mieć pewność, że uzyskane wyniki z pomiarów są wiarygodne, powinniśmy również zaplanować przyszły sposób nadzorowania wyposażenia pomiarowego.

Chcąc zakupić nowe wyposażenie pomiarowe np. luksomierz służący do pomiaru natężenia oświetlenia powinniśmy zastanowić się nad kilkoma problemami. Ważnym parametrem na jaki powinniśmy zwrócić uwagę jest zakres pomiarowy oraz dokładność przyrządu. Każdy z producentów podaje w specyfikacji przyrządu pewne informacje dotyczące np. zakresu wskazań, zakresu pomiarowego, rozdzielczości, dokładności czy największego dopuszczalnego błędu pomiaru. Każdy z wymienianych wyżej terminów ma swoją definicję w PKN-ISO/IEC Guide 99 [1] z którą użytkownik może się zapoznać przed dokonaniem zakupu, aby właściwie rozumieć dane techniczne podawane w specyfikacji.

Istotną sprawą w przypadku luksomierzy jest także właściwa konstrukcja przyrządu, w szczególności głowicy fotometrycznej, co pozwoli na wykonywanie pomiarów w prawidłowy sposób. Nie bez znaczenia będą miały dla użytkownika dodatkowe elementy współpracujące z przyrządem np. przystawka do pomiaru

luminancji. Takie dodatki pozwalają rozszerzyć zakres możliwości pomiarowych laboratorium.

### 2. Wybór laboratorium wzorującego

Specyfikacja techniczna danego typu luksomierza nie jest gwarancją, że zakupiony egzemplarz spełnia określone przez producenta parametry lub wyspecyfikowane wymagania metrologiczne użytkownika. Najprostszym sposobem weryfikacji luksomierza pod względem metrologicznym jest wzorcowanie.

Wzorcowanie nie jest czynnością obowiązkową, co oznacza, że użytkownik przyrządu pomiarowego sam decyduje, czy i w jakim zakresie chce mieć przeprowadzone wzorcowanie. Konieczność monitorowania jakości przyrządu oraz potrzeba zachowania spójności pomiarowej pomiarów rodzi potrzebę określenia częstotliwości, z jaką zakupiony luksomierz będzie wzorcowany.

Wzorcowanie (ang. calibration) jest formą potwierdzenia metrologicznego, które daje informację o jakości wyposażenia pomiarowego. Zgodnie z definicją podaną w PKN- ISO/IEC Guide 99 [1] wzorcowanie to "działanie, które w określonych warunkach, w pierwszym kroku ustala zależność pomiędzy odwzorowanymi przez wzorzec pomiarowy wartościami wielkości, wraz z ich niepewnościami pomiaru, a odpowiadającymi im wskazaniami, wraz z ich niepewnościami, a w drugim kroku wykorzystuje tę informację do ustalenia zależności pozwalającej uzyskać wynik pomiaru na podstawie wskazania". Celem wzorcowania jest dokładne poznanie błędów systematycznych przyrządu pomiarowego, czyli wyznaczenie charakterystyki błędów, która jest konieczna do prawidłowego ustalenia wyniku pomiaru. Ponadto wzorcowanie pozwala na utrzymanie spójności pomiarowej.

Spójność pomiarowa [1] jest to właściwość wyniku pomiaru, która pozwala na powiązanie go z odpowiednią jednostką miary poprzez nieprzerwany łańcuch wzorcowania.

Wzorcowaniem luksomierzy zajmują się laboratoria wzorcujące.

Przy wyborze laboratorium wzorcującego należy wziąć pod uwagę:

- zakres, w jakim laboratorium może wykonać pomiary danego luksomierza,
- zdolność pomiarową CMC,
- czy laboratorium ma potwierdzone kompetencje -laboratorium NMI np. GUM lub laboratorium akredytowane,
- koszt, miejsce i czas realizacji usługi wzorcowania.

Aby zyskać pewność, że uzyskane we wzorcowaniu wyniki będą miarodajne czyli wiarygodne, użyteczne oraz rzetelne warto skorzystać z laboratorium o potwierdzonych kompetencjach.

Za laboratoria o potwierdzonych kompetencjach uznaje się krajowe instytucje metrologiczne (w Polsce jest nią Główny Urząd Miar), Instytuty Desygnowane albo laboratoria wzorcujące akredytowane. W Polsce instytucją uprawnioną do akredytacji laboratoriów jest Polskie Centrum Akredytacji - PCA.

Akredytowane laboratoria wzorcujące mają wdrożoną normę PN-EN ISO/IEC 17025:2005 [4]. Norma ta zawiera wymagania, które powinny spełniać laboratoria badawcze i wzorcujące chcąc wykazać, że stosują system zarządzania jakością, są kompetentne technicznie oraz zdolne do uzyskiwania miarodajnych wyników. Na stronie PCA ([www.pca.gov.pl](http://www.pca.gov.pl)) znajduje się m.in. wykaz akredytowanych w Polsce laboratoriów wzorcujących oraz dziedziny i zakresy w jakich dany podmiot jest akredytowany.

Brak akredytacji nie oznacza, że laboratorium nie jest kompetentne do wykonywania konkretnych wzorcowań. Oznacza jednak, że kompetencje te nie zostały potwierdzone w obiektywny sposób przez audytorów o odpowiedniej wiedzy i doświadczeniu w danej dziedzinie pomiarów.

### 3. Wzorcowanie luksomierzy

Luksomierz jest przyrządem przeznaczonym do pomiaru natężenia oświetlenia. Typowy luksomierz jest zbudowany z głowicy fotometrycznej, przetwornika i urządzenia wskazującego. W głowicy fotometrycznej znajduje się odbiornik promieniowania, którym może być ogniwo fotoelektryczne, fotopowielacz lub fotodioda. Głowica fotoelektryczna wyposażona jest także w filtr korekcyjny oraz rozpraszacz. Wielkością mierzoną podczas wykonywania wzorcowania luksomierza jest natężenie oświetlenia wyrażone w luksach (lx).

Wzorcowanie luksomierzy odbywa się metodą bezpośrednio porównania wskazań luksomierza z wartościami natężenia oświetlenia realizowanymi za pomocą wzorców światłości kierunkowej o temperaturze barwowej  $T_c=2856$  K. Stanowisko do wzorcowania luksomierzy powinno spełniać wymagania normy PN-91/E-04040/02 [3]. Podczas wzorcowania luksomierza pomiary natężenia oświetlenia wykonywane są w ciemni fotometrycznej na ławie fotometrycznej o odpowiedniej długości.



Rys. 1. Stanowisko pomiarowe do wzorcowania luksomierzy

Przed przystąpieniem do wykonywania pomiarów natężenia oświetlenia należy sprawdzić zero luksomierza. Nawet w całkowitej ciemności fotodiody luksomierza generuje prąd elektryczny tzw. „prąd ciemny”, który powinien być przez urządzenie odejmowany od sygnału generowanego przez światło. Większość luksomierzy jest wyposażona w przycisk „zero” lub analogiczną funkcję w menu. Pozwala to przezwyciężyć wpływ szumów na poprawność wskazań luksomierza. Sprawdzenie „zera” i somo zerowanie należy wykonać przy całkowicie zasłoniętym elemencie światłoczułym luksomierza. Brak kontroli zera stwarza ryzyko używania przyrządu obciążonego błędem systematycznym, który będzie rzutował na wyniki pomiarów szczególnie w zakresie niskich wartości natężenia oświetlenia.

W trakcie wzorcowania może się okazać, że błąd luksomierza przekracza wartość akceptowaną przez użytkownika urządzenia. W przypadku niektórych typów luksomierzy możliwe jest wtedy wykonanie adiustacji. Adiustacja (ang. adjustment) to zbiór czynności wykonywanych przy układzie pomiarowym zapewniających, że wartością wielkości, które mają być mierzone, odpowiadają odpowiednie wskazania [1]. Adiustacja ma na celu przypisa-

nie wartości odniesienia do wartości mierzonej. Jest narzędziem, które pozwala utrzymać dokładność przyrządu na tym samym poziomie przez długi okres czasu neutralizując wpływ starzenia się elementów elektronicznych i optycznych luksomierza. Wzorcowanie wykonuje się po sprawdzeniu zera oraz przeprowadzeniu ewentualnej adiustacji. Jeżeli adiustację wykonuje laboratorium wzorcujące przyrząd, to wyniki pomiarów wykonanych przed adiustacją powinny zostać podane w świadectwie wzorcowania luksomierza.

Natężenie oświetlenia na powierzchni oświetlonej przez punktowe źródło światła w kierunku prostopadłym do tej powierzchni, oblicza się według wzoru 1.

$$E = \frac{I \Omega_0}{d^2} \quad (1)$$

gdzie:  $E$  – natężenie oświetlenia w płaszczyźnie odbioru głowicy fotometrycznej [lx],  $I$  – światłość kierunkowa wzorca światłości [cd],  $d$  – odległość pomiędzy wzorcem światłości a powierzchnią odbioru głowicy fotometrycznej [m],  $\Omega_0$  – jednostkowy kąt bryłowy [sr].

Jednostką natężenia oświetlenia jest luks (lx). Luks określa się jako oświetlenie wywołane przez równomiernie rozłożony strumień świetlny o wartości jednego lumena, padający na powierzchnię jednego metra kwadratowego.

$$1 \text{ lx} = \frac{1 \text{ lm}}{1 \text{ m}^2} = \frac{1 \text{ cd} \cdot 1 \text{ sr}}{1 \text{ m}^2} \quad (2)$$

W tabeli 1 przedstawiono parametry dwóch wzorców światłości, otrzymane w wyniku ich wzorcowania.

Tabela 1. Fragment świadectwa wzorcowania dwóch wzorców światłości

Oznaczenie wzorca	Napięcie elektryczne mierzone V	Prąd elektryczny odwarzany A	Światłość cd	Temperatura barwowa K	Względna niepewność pomiaru %
1	97,458	0,8171	94,6	2856	1,5
3	94,077	0,8037	90,5	2856	1,5

Tabela 2. Zestawienie czynności metrologicznych: zerowania, adiustacji i wzorcowania

Działanie	Kto?	Kiedy?	W jaki sposób?	W jakim celu?
zerowanie	każdy użytkownik	przed przystąpieniem do pomiarów	przycisk „zero” lub opcja w menu	przygotowanie przyrządu do pomiarów
adiustacja	serwis / laboratorium wzorcujące	przed wzorcowaniem	w ciemni fotometrycznej za pomocą wzorców światłości	prawidłowe działanie przyrządu
wzorcowanie	laboratorium wzorcujące	z określoną częstością	w ciemni fotometrycznej za pomocą wzorców światłości	wyznaczenie bieżącej wartości parametrów metrologicznych.

Świadectwo wzorcowania luksomierza może zawierać wyznaczone podczas wzorcowania wartości zmierzone w zestawieniu z wartościami odniesienia, błędy bezwzględne lub względne oraz niepewność pomiaru.

Błąd bezwzględny pomiaru to różnica pomiędzy wartością zmierzona a wartością odniesienia:

$$\Delta x = x - x_0 \quad (3)$$

gdzie:  $\Delta x$  - błąd pomiaru,  $x$  - wartość zmierzona natężenia oświetlenia,  $x_0$  - wartość odniesienia natężenia oświetlenia.

Błąd względny jest natomiast ilorazem błędu bezwzględnego i wartości odniesienia

$$\delta = \Delta x / x_0 = (x - x_0) / x_0 \quad (4)$$

Błąd względny jest bezwymiarowy i najczęściej wyraża się go w procentach.

Każdemu wynikowi pomiaru towarzyszy niepewność. Z tego powodu uważa się, że wynik pomiaru nie może być wyrażony za pomocą jednej liczby, ale w postaci przedziału niepewności. Niepewność wyniku powinna obejmować wszystkie elementy wpływające na wynik, występujące w czasie pomiaru.

Wzorcowanie luksomierzy będzie zawsze obarczone błędami zastosowanej metody pomiarowej. Znacząc potencjalne źródła błędów powinniśmy dążyć do ich zminimalizowania.

Poniżej przedstawiono potencjalne źródła błędów i niepewności, które występują podczas wykonywania pomiarów fotometrycznych.

- niepewność wzorca światłości,
- niewłaściwe ustawienia wzorca światłości,
- niewłaściwe ustawienia wzorcowanego luksomierza,
- niewłaściwe ustawienie parametrów elektrycznych wzorca światłości,
- fluktuacja napięcia zasilania,
- starzenie się wzorca światłości,
- niewłaściwa temperatura otoczenia,
- światło rozproszone,
- odchylenie głowicy fotometrycznej wzorcowanego luksomierza od osi optycznej ławy fotometrycznej dla różnych odległości pomiarowych,
- niestabilne mocowanie wzorca światłości oraz głowicy fotometrycznej wzorcowanego luksomierza,
- błędy związane z czynnikiem ludzkim.

Wskazówki do opracowania procedury szacowania niepewności podczas pomiarów fotometrycznych można znaleźć w dokumencie EA-4/02 M:2013 [2].

Po otrzymaniu świadectwa wzorcowania laboratorium powinno przeprowadzić weryfikację otrzymanych wyników. Zgodnie z normą PN-EN ISO 10012:2004 [5] wzorcowanie jest tylko jednym z elementów potwierdzenia metrologicznego. Potwierdzenie metrologiczne obejmuje wzorcowanie wyposażenia pomiarowego, a następnie jego weryfikację metrologiczną. Weryfikacja metrologiczna oznacza ocenę wyników, które znajdują się w świadectwie wzorcowania zgodnie z wyspecyfikowanymi wymaganiami metrologicznymi postawionymi przez laboratorium.

#### 4. Identyfikacja wyposażenia pomiarowego - luksomierza

Każdy przyrząd pomiarowy w tym również luksomierz jest identyfikowany przez nazwę typu oraz niepowtarzalny numer fabryczny. Należy zwrócić uwagę, że głowica fotometryczna, która jest odłączana od przyrządu, posiada swój własny numer fabryczny (w przypadku niektórych luksomierzy głowica fotometryczna posiada również własny typ). Każdy luksomierz, który ma odłączaną głowicę fotometryczną musi być używany z tą głowicą fotometryczną z którą został zakupiony i później wywzorcowany. Jeżeli użyjemy innej głowicy fotometrycznej wówczas nasze wyniki nie będą poprawne.

Zgłaszając luksomierz do podać laboratorium wzorcującemu informacje o nazwie typu i numerze fabrycznym przyrządu oraz zakresie wzorcowania. Jeżeli posiadamy luksomierz z odłączaną głowicą fotometryczną warto również podać informację o numerze fabrycznym oraz nazwie głowicy fotometrycznej. Pamiętajmy, iż wzorcowanie luksomierza wykonuje się z jedną konkretną głowicą fotometryczną, a świadectwo wzorcowania jest wystawiane na konkretny luksomierz w pełni identyfikowany (typ, numer fabryczny, numer fabryczny głowicy fotometrycznej).

Świadectwo wzorcowania nie ma terminu ważności z wyjątkiem sytuacji, kiedy to użytkownik zleca laboratorium wzorcującemu określenie terminu następnego wzorcowania. Ustalenie częstotliwości wykonywania wzorcowania jest zadaniem użytkownika przyrządu.

#### 5. Inne sposoby nadzoru nad wyposażeniem pomiarowym

Nadzór nad wyposażeniem jest ważnym elementem działań laboratorium pozwalającym utrzymać odpowiednią jakość pomiarów. Cykliczne wzorcowanie nie jest jedynym narzędziem kontroli nad przyrządem. Użyteczne może być również sprawdzenie

nie przyrządu przez serwis producenta. Działanie to nie jest sposobem na zachowanie spójności pomiarowej ale może dostarczyć laboratorium dużo informacji o przyrządzie, co jest szczególnie przydatne na początku eksploatacji oraz po wystąpieniu jakichkolwiek awarii. Regularne działania serwisowe są w przypadku niektórych przyrządów koniecznością, szczególnie w przypadku urządzeń, których elementy z biegiem czasu ulegają zużyciu.

Dodatkowym sposobem kontroli przyrządu mogą być okresowe sprawdzenia. Można do tego celu wykorzystać certyfikowane materiały odniesienia (*ang. Certified Reference Material – CRM*). Certyfikowany materiał odniesienia to materiał odniesienia z certyfikatem, w którym określono jedną lub więcej właściwości danego materiału wraz z określeniem niepewności wraz z prawdopodobieństwem rozszerzenia wynoszącym zwykle 95 %.

W przypadku luksomierzy okresową kontrolę miernika można wykonać przy użyciu kalibratora fotometrycznego. Urządzenie takie jest dostępne na rynku polskim i jest dedykowane do określonych typów luksomierzy. Kalibrator fotometryczny przed użyciem należy wywzorcować w celu określenia natężenia oświetlenia, jakie urządzenie generuje w polu odbioru głowicy fotometrycznej.

#### 6. Wnioski

Wyposażenie pomiarowe ma wpływ na wyniki pomiarów zatem właściwa eksploatacja i troska o okresowe sprawdzenia i wzorcowania jest koniecznym elementem działań laboratorium. Niejednokrotnie niektóre formy nadzoru nad wyposażeniem są obligatoryjne w świetle niektórych norm międzynarodowych lub przepisów prawa krajowego. Warto podjąć wysiłek systematycznego kontrolowania wyposażenia, aby mieć zaufanie do uzyskanych wyników pomiarów.

#### Literatura

- [1] PKN ISO/IEC Guide 99:2010 Międzynarodowy słownik metrologii-Pojęcia podstawowe i ogólne oraz terminy z nimi związane. PKN, Warszawa 2010.
- [2] EA-4/02 M: 2013 Wyznaczanie niepewności pomiaru przy wzorcowaniu, wrzesień 2013 wyd.01.
- [3] PN-91/E-04040/02:1991 Pomiar promieniowania optycznego. Pomiar fotometryczny. Pomiar światłości.
- [4] PN-EN ISO/IEC 17025:2005 Ogólne wymagania dotyczące laboratoriów badawczych i wzorcujących.
- [5] PN-EN ISO 10012:2004 Systemy zarządzania pomiarami. Wymagania dotyczące procesów pomiarowych i wyposażenia pomiarowego.

**Mgr inż. Agnieszka Banaszak**  
e-mail: oum.lodz.jn1446@gum.gov.pl

Absolwentka Wydziału Chemii Spożywczej i Biotechnologii Politechniki Łódzkiej. Od roku 2007 Pracownik Okręgowego Urzędu Miar w Łodzi, pełniący 4 lata funkcję Kierownika Technicznego Pracowni Fizykochemii Wydziału Chemii Analitycznej i Fizykochemii. Akredytowana przez PCA w dziedzinach: pehametria, konduktometria, polarymetria, spektrofotometria, fotometria, analiza wydechu, analiza gazów, gęstość (ciecz). Od roku 2014 Pełnomocnik ds. Systemów Zarządzania Jakością w Jednostce Notyfikowanej Nr 1446 oraz Zastępca Pełnomocnika ds. Jakości w Zespole Laboratoriów Wzorcujących AP 087.



**Mgr inż. Justyna Wtorkiewicz**  
e-mail: oum.lodz.w42@gum.gov.pl

Absolwentka Wydziału Fizyki i Informatyki Stosowanej Uniwersytetu Łódzkiego i Wydziału Fizyki i Informatyki Stosowanej Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. Kierownik Pracowni Fizykochemii w Okręgowym Urzędzie Miar w Łodzi, która oferuje m. in. wzorcowanie luksomierzy i kalibratorów fotometrycznych. Absolwentka Uniwersytetu Łódzkiego oraz Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie, akredytowana przez PCA w dziedzinach: pehametria, konduktometria, polarymetria, spektrofotometria, fotometria, analiza wydechu, analiza gazów, gęstość (ciecz).



otrzymano/received: 18.10.2014

przyjęto do druku/accepted: 05.04.2015