Niepewność wyniku pomiaru natężenia oświetlenia

Krystyna Siedlecka

1. Wprowadzenie

Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Socjalnej w sprawie ogólnych przepisów Bezpieczeństwa i Higieny Pracy (Dz. U.1698 p.1650 rozdział III) dopuszcza w pomieszczeniach stałej pracy oświetlenie elektryczne o parametrach zgodnych z Polskimi Normami. Wymagania oświetleniowe dla różnych wnętrz i czynności określa norma PN-EN 12464-1[2].

Jednym z parametrów określonych liczbowo jest eksploatacyjne natężenie oświetlenia E_m. Średnie natężenie oświetlenia dla każdego zadania nie powinno być niższe niż wartość podana w tablicach w rozdziale 5 tej normy. Przedmiotem artykułu jest szacowanie niepewności pomiaru natężenia oświetlenia w polu zadania lub w jego bezpośrednim otoczeniu oraz zastosowanie niepewności w ocenie zgodności wyniku badania z wymaganiami normy. Przykłady obliczeń dla różnych zakresów natężenia oświetlenia przedstawiono na arkuszu kalkulacyjnym dostępnym na www.lab.media.pl.

Pomiary natężenia oświetlenia przeprowadza się za pomocą luksomierza podlegającego obowiązkowemu wzorcowaniu. Świadectwo wzorcowania przyrządu stanowi podstawę w oszacowaniu niepewności średniego natężenia oświetlenia na stanowisku pracy. Natężenie oświetlenia wyraża się w luksach [lx].

2. Szacowanie niepewności wyniku pomiaru

2.1. Szacowanie niepewności rozszerzonej

• Określenie modelu matematycznego pomiaru

Wielkością mierzoną jest natężenie oświetlenia.

Zależność wyniku badania od wartości wielkości wejściowych wyraża się wzorem:

$$E_m = (E_p + \Delta E) \cdot K_b \qquad (1)$$

gdzie:

E_m - wynik badania natężenia oświetlenia,

E_p - uśredniony wynik pomiaru natężenia oświetlenia w badaniach rutynowych,

ΔE - wartość poprawki wg świadectwa wzorcowania,

K_b - mnożnik korekcyjny określony w świadectwie wzorcowania luksomierza (z uwagi na to, że wpływ współczynnika na wartość niepewności wyniku pomiaru jest nie istotny, w dalszej części opracowania nie będzie uwzględniany),

Δr - czułość luksomierza.

• Identyfikacja źródeł niepewności

Główne potencjalne źródła niepewności przedstawiono na rys.1.

• Ilościowe wyrażenie składowych niepewności

- Niepewność standardowa powtarzalności składowej wyraża się za pomocą odchylenia standardowego średniej:

$$u(E_p) = \frac{s}{\sqrt{n}} \qquad (2)$$

gdzie:

$u(E_p)$ - niepewność standardowa powtarzalności pomiarów rutynowych,

s - odchylenie standardowe powtarzalności,

n - liczba rutynowo wykonywanych powtórzeń.

- Niepewność standardowa $u(\Delta_r)$ związana z czułością luksomierza

Rys. 1. Diagram przyczyn i skutków

$$u(\Delta_r) = \frac{\Delta_r}{2\sqrt{3}} \quad (3)$$

gdzie:
Δ_r - czułość luksomierza (rozdzielczość),
$\sqrt{3}$- współczynnik k dla rozkładu prostokątnego.
Dokładność odczytu jest związana z zakresem badawczym.

• Niepewność standardowa wzorcowania luksomierza

W tabeli 1 przedstawiono dla przykładu wyniki wzorcowania jednego z typów luksomierzy z wyświetlaczem ciekłokrystalicznym dla zakresów: 20 ÷ 199lx oraz 200 ÷1000lx. Wartość oraz niepewność wyznaczenia poprawki luksomierza jest zróżnicowana i zależy od zakresu wskazania przyrządu.
Świadectwo wzorcowania luksomierza podaje wartości liczbowe niepewności wzorcowania, jako niepewność rozszerzoną przy poziomie ufności p = 0,95 i współczynniku rozszerzenia k = 2. Stąd niepewność standardowa wzorcowania:

$$u(\Delta_E) = \frac{niepewn.\ pomiaru}{2} \quad (4)$$

• Niepewność złożona

Niepewność złożona związana z wielkością wejściową E_m w przypadku skorygowania wyniku pomiaru o wartość liczbową poprawki wynosi:

$$u(E_m) = \sqrt{(u(E_p))^2 + (u(\Delta_r))^2 + (u(\Delta_E))^2} \quad (5)$$

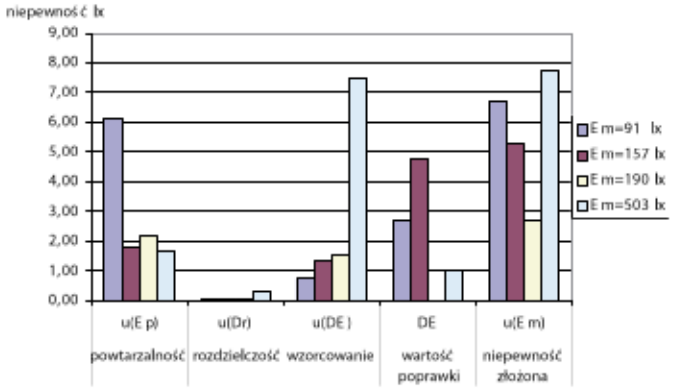
lub w przypadku nie uwzględnienia wartości poprawki w uśrednionym wyniku pomiaru:

$$u(E_m) = \sqrt{(u(E_p))^2 + (u(\Delta_r))^2 + (u(\Delta_E))^2 + (\Delta_E)^2} \quad (6)$$

Oznaczenia symboli jak wyżej.

Przykłady obliczeń dla kilku zakresów pomiarowych przedstawiono na arkuszu kalkulacyjnym dostępnym na www.lab.media/obliczenia.

Wykres 1. Udział niepewności składowych w niepewności złożonej w zależności od zakresu pomiaru



Wyniki prezentowane na wykresie 1 odnoszą się do przedziałów 20 ÷ 100 lx,101 ÷ 180 lx, 181 ÷ 200 lx, 201 ÷ 1000 lx; do oświetlenia ogólnego i lamp jarzeniowych o barwie ciepło-białej.
Wartości liczbowe niepewności składowych oraz niepewności złożonej zależą od zakresu pomiarowego. Najgorszą powtarzalność uzyskano w zakresie najniższym tj. od 20-100 lx (E_m = 91 lx) - współczynnik równomierności wyniósł R = 0,12, a powinien osiągnąć wartość co najmniej R ≥ 0,7. Wynikać to może jednak z wielu powodów takich jak zastosowanie na stanowisku niewłaściwego typu oświetlenia lub nieprawidłowej lokalizacji płaszczyzny roboczej w stosunku do punktu oświetleniowego. Równomierność oświetlenia w pozostałych zakresach była zgodna z wymaganiami normy, na co wskazuje także dobra powtarzalność wyników pomiarów.
Wpływ rozdzielczości na niepewność pomiaru jest znikomy. Niepewność standardowa wzorcowania w rozpatrywanym przykładzie jest wprost proporcjonalna do mierzonej wartości natężenia ale nie stanowi to reguły. Wartości liczbowe poprawek są przypadkowe.
Niepewność złożona nie rośnie wraz ze wzrostem wartości pomiaru ale charakteryzuje się przypadkowością. Z tego wynika, że niepewność uśrednionego wyniku pomiaru należy wiązać nie tylko z odpowiednim zakresem pomiarowym ale również ze sposobem i rodzajem oświetlenia płaszczyzn roboczych (lub bezpośredniego otoczenia).

- **Niepewność rozszerzoną** wyznacza się przez pomnożenie złożonej niepewności standardowej przez współczynnik rozszerzenia k. Wartość współczynnika k przyjmuje się w zależności od przyjętego poziomu ufności i liczby stopni swobody.
- **Najlepsza zdolność pomiarowa**

Wartością charakteryzującą dokładność luksomierza jest najlepsza zdolność pomiarowa.
Przyjmuje się, że jest to niepewność rozszerzona bez składowej $u(E_p)$ związanej z powtarzalnością pomiarów.
Wartość najlepszej zdolności pomiarowej wyznacza się oddzielnie dla każdego z wyspecyfikowanych zakresów.

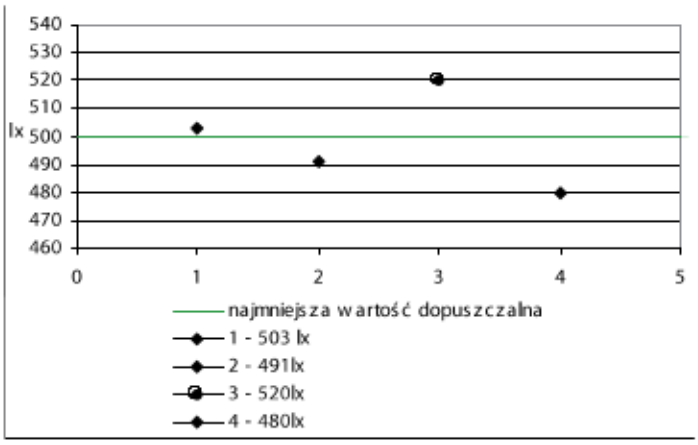
3. Zastosowanie niepewności rozszerzonej w interpretacji wyniku pomiaru

Norma PN-EN 12464-1[2] określa minimalną dopuszczalną wartość natężenia oświetlenia na stanowisku pracy. W tej sytuacji przy podejmowaniu decyzji o zgodności z wymaganiami powinna być uwzględniana niepewność pomiaru.
Na rys. 2 przedstawiono 4 przypadki wyników pomiarów z niepewnością rozszerzoną w stosunku do wymagania aby natężenie oświetlenia nie było niższe od 500 lx.

1. E_m = 503 ± 16 lx Sytuacja niejednoznaczna; wynik pomiaru wprawdzie przekracza wymaganą wartość ale, bez niepewno-

Tabela 1. Wyniki wzorcowania jednego z typów luksomierzy

Dane ze świadectwa wzorcowania				Wynik obliczeń	
Zakres pomiarowy lx	Wskazanie przyrządu lx	Wartość rzeczywista lx	Niepewność pomiaru lx	Wartość poprawki lx	Niepewność standardowa poprawki lx
200	20	19,4	±0,3	0,6	0,15
	100	97,3	±1,5	2,7	0,75
	180	175,2	±2,7	4,8	1,35
2000	200	200	±3	0	1,5
	1000	1001	±15	-1	7



Rys. 2. Dopuszczalne wartości, wyniki i niepewność pomiaru

ści rozszerzonej wynik pomiaru nie pozwala jednoznacznie wykazać zgodności z wymaganiami.

2. E_m = 491 ± 17 lx Sytuacja niejednoznaczna; wynik pomiaru leży poniżej wymaganej wartości, ale niepewność rozszerzona przekracza żądane minimum - wynik pomiaru nie pozwala jednoznacznie wykazać niezgodności z wymaganiami.

3. E_m = 520 ± 17 lx Sytuacja jednoznaczna; wynik pomiaru powyżej wymaganej wartości łącznie z niepewnością rozszerzoną - dowód zgodności z wymaganiami

4. E_m = 480 ± 16 lx Sytuacja jednoznaczna; wynik poniżej wymaganej wartości łącznie z niepewnością rozszerzoną - dowód niezgodności z wymaganiami.

W sytuacji niejednoznaczności decyzji można wyłączyć wartość poprawki z oszacowanej niepewności i skorygować wynik pomiaru o wartość poprawki. Niepewność złożoną obliczyć z zależności (5).

Autorka dziękuje za współpracę Sekcji Kontrolno-Pomiarowej Powiatowej Stacji Sanitarno-Epidemiologicznej w Kutnie.

Literatura

1. Rozporządzenie1 Ministra Pracy i Polityki Socjalnej w sprawie ogólnych przepisów Bezpieczeństwa i Higieny Pracy (Dz.U.1698 p.1650 rozdział III)
2. PN-EN 12464-1[2] Światło i oświetlenie. Oświetlenie miejsc pracy. Część 1- Miejsce pracy we wnętrzach
3. Wyrażanie Niepewności Pomiaru. Przewodnik GUM