

INSTRUKCJA NR 05-02

**NIEPEWNOŚĆ W POMIARACH NATĘŻENIA OŚWIETLENIA
ELEKTRYCZNEGO POMIESZCZEŃ I STANOWISK PRACY**

1. Cel instrukcji

Celem dokumentu jest określenie sposobu szacowania niepewności w pomiarach natężenia i równomierności oświetlenia elektrycznego pomieszczeń i stanowisk pracy. Instrukcję stosuje się do wyznaczenia niepewności:

- średniego natężenia oświetlenia (E_{sr});
- równomierności oświetlenia (U_o).

2. Postępowanie

Niepewność średniego natężenia oświetlenia i równomierności oświetlenia szacowana jest własną metodą.

2.1. Niepewność średniego natężenia oświetlenia

Oszacowanie typu B

Lp.	Źródło niepewności	Niepewność rozszerzona	Rozkład błędu	Niepewność standardowa [%]
1	Niepoprawność	2,5 %	równomierny	1,44
2	Błąd korekcji widmowej	1,5%	równomierny	0,87
3	Błąd związany z kątem padania	5%	równomierny	2,89
łączna niepewność $u = \sqrt{\sum_i u_i^2}$ [%]				3,34

$$u_B = \sqrt{\left(\frac{U_w}{k}\right)^2 + u^2} \%$$

gdzie:

U_w – niepewność rozszerzona wzorcowania miernika podana na świadectwie wzorcowania;
 k – współczynnik rozszerzenia, podany na świadectwie wzorcowania.

Oszacowanie niepewności

Niepewność związana z rozrzutem wskazań u_A , w %:

$$u_A = v_r$$

gdzie

v_r – powtarzalność (odtworzalność) wewnątrz laboratoryjna w %.

$$E_{\dot{s}r} = \frac{E_1 + E_2 + \dots + E_i + \dots + E_n}{n}$$

$$u_{c,E_{\dot{s}r}} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(c_1 \cdot \frac{u_B}{100} \cdot E_i \right)^2 + \left(\frac{u_A}{100} \cdot E_{\dot{s}r} \right)^2} = \sqrt{\left(\frac{u_B}{100} \right)^2 \cdot \sum_{i=1}^n \left(\frac{E_i}{n} \right)^2 + \left(\frac{u_A}{100} \cdot E_{\dot{s}r} \right)^2}$$

$$c_1 = \frac{1}{n}$$

ponieważ

$$\sum_{i=1}^n \left(\frac{E_i}{n} \right)^2 \leq \left(\frac{\sum_{i=1}^n E_i}{n} \right)^2$$

możemy zapisać

$$u_{c,E_{\dot{s}r}} \leq \sqrt{\left(\frac{u_B}{100} \right)^2 \cdot \left(\frac{\sum_{i=1}^n E_i}{n} \right)^2 + \left(\frac{u_A}{100} \cdot E_{\dot{s}r} \right)^2} = \sqrt{\left(\frac{u_B}{100} \right)^2 \cdot E_{\dot{s}r}^2 + \left(\frac{u_A}{100} \right)^2 \cdot E_{\dot{s}r}^2} = E_{\dot{s}r} \cdot \frac{1}{100} \cdot \sqrt{u_A^2 + u_B^2}$$

$$A = \frac{1}{100} \cdot \sqrt{u_A^2 + u_B^2}$$

$$u_{c,E_{\dot{s}r}} = E_{\dot{s}r} \cdot A$$

UWAGA:

Współczynnik czułości c_1 jest odpowiednio pochodną

$$c_1 = \frac{\partial E_{\dot{s}r}}{\partial E_i}$$

2.2. Niepewność równomierności oświetlenia

$$U_o = \frac{E_{\min}}{E_{\dot{u}r}}$$

$$\frac{u_{c,U_o}}{|U_o|} = \sqrt{\left(\frac{u_{c,E_{\min}}}{E_{\min}} \right)^2 + \left(\frac{u_{c,E_{\dot{u}r}}}{E_{\dot{u}r}} \right)^2}$$

$$u_{c,U_o} = U_o \cdot \sqrt{\left(\frac{u_{c,E_{\min}}}{E_{\min}} \right)^2 + \left(\frac{u_{c,E_{\dot{u}r}}}{E_{\dot{u}r}} \right)^2}$$

$$u_{c,E_{\min}} = E_{\min} \cdot \frac{1}{100} \cdot \sqrt{u_A^2 + u_B^2} = E_{\min} \cdot A$$

$$u_{c,U_o} = U_o \cdot \sqrt{\left(\frac{E_{\min} \cdot A}{E_{\min}} \right)^2 + \left(\frac{E_{\dot{u}r} \cdot A}{E_{\dot{u}r}} \right)^2} = U_o \cdot A \cdot \sqrt{2}$$

3. Zapis wyników obliczeń z niepewnością

Laboratorium zapisuje wyniki obliczeń z niepewnością rozszerzoną. W formacie $X \pm U_X$. Niepewność rozszerzona średniego natężenia oświetlenia i równomierności oświetlenia, przy 95% przedziale ufności wynosi:

$$U_{E_{sr}} = 2 \cdot u_{c,E_{sr}}$$

$$U_{U_o} = 2 \cdot u_{U_o}$$

4. Oszacowanie powtarzalności

Przygotować cztery stanowiska pomiarowe, na każdym stanowisku położyć kartkę (ciemną) formatu A3. Natężenie oświetlenia na kartkach powinno wynosić około 20lx, 100lx, 500lx, 1000lx. Okna w pomieszczeniu w którym przygotowano stanowiska powinny być zasłonięte, podczas pomiarów w pomieszczeniu przebywa tylko osoba wykonująca pomiary.

Każdy z J laborantów wyznaczy k=4 krotnie średnie natężenie oświetlenia płaszczyzny.

Q		q=1 $E \approx 20$			q=2 $E \approx 100$			q=3 $E \approx 500$			q=4 1000		
J	K	E_{sr}	$S_{j,q}$	\bar{E}_{sr}	E_{sr}	$S_{j,q}$	\bar{E}_{sr}	E_{sr}	$S_{j,q}$	\bar{E}_{sr}	E_{sr}	$S_{j,q}$	\bar{E}_{sr}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
j=1	1												
	2												
	3												
	4												
j=2	1												
	2												
	3												
	4												
j=3	1												
	2												
	3												
	4												
J=4	1												
	2												
	3												
	4												
F=													
$F_{kr} =$													
średnia													
v													

Każdy z J laborantów wpisuje wyniki pomiarów średniego natężenia oświetlenia w kolumny 3,6,9,12. Obliczamy $S_{j,q}$ i \bar{E}_{sr} ze wzorów:

$$S_{j,q} = \sqrt{\frac{1}{K-1} \sum_{k=1}^K (E_{jk} - \bar{E}_{sr,j})^2} \text{ gdzie } \bar{E}_{sr,j} = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K E_{jk}$$

Stosujemy test F-Snedecora (dla K-1 stopni swobody) do sprawdzenia istotności wariancji (różnicy między skrajnymi wariancjami) osobno dla każdej z kolumn (4,7,10,13).

$$F = \frac{S_1^2}{S_2^2} \text{ dla } s_1^2 > s_2^2 \text{ lub } F = \frac{S_2^2}{S_1^2} \text{ dla } s_2^2 > s_1^2$$

Obliczoną wartość F porównujemy z wartością krytyczną F_{α, f_1, f_2} odczytaną z tablic rozkładu F-Snedecora dla liczby stopni swobody $f_1 = K - 1$ dla licznika i $f_2 = K - 1$ dla mianownika (lub odwrotnie w zależności od tego który z wzorów braliśmy do obliczeń).

Wartości krytyczne rozkładu F : P=0,95

Liczba stopni swobody wariacji mniejszej f_2 (f_1)	Liczba stopni swobody wariacji większej f_1 (f_2)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	161	200	216	225	230	234	237	239	240,5	242
2	18,51	19,00	19,16	19,25	19,30	19,33	19,4	19,37	19,4	19,39
3	10,13	9,55	9,28	9,12	9,01	8,94	8,9	8,84	8,8	8,78
4	7,71	6,94	6,59	6,39	6,26	6,16	6,1	6,04	6,0	5,96
5	6,61	5,79	5,41	5,19	5,05	4,95	4,9	4,82	4,8	4,74
6	5,99	5,14	4,76	4,53	4,39	4,28	4,2	4,15	4,1	4,06
7	5,59	4,74	4,35	4,12	3,97	3,87	3,8	3,73	3,7	3,63
8	5,32	4,46	4,07	3,84	3,69	3,58	3,5	3,44	3,4	3,34
9	5,12	4,26	3,86	3,63	3,48	3,37	3,3	3,23	3,2	3,13
10	4,96	4,10	3,71	3,48	3,33	3,22	3,1	3,07	3,0	2,97

Tabela decyzyjna w testowaniu współczynnika zmienności .

Wynik testu	Decyzja
$F > F_{kr}$	Wariancje niejednorodne. Odrzucamy wartość odbiegającą i ponownie przeprowadzamy test.
$F \leq F_{kr}$	Wariancje jednorodne. Obliczamy wariancję średnią.

Obliczamy średnie po kolumnach (4,5, 7,8, 10,11, 13, 14) ze wzorów

$$s_q = \sqrt{\frac{1}{J} \sum_{j=1}^J s_{j,q}^2} \quad \bar{E}_{sr,q} = \frac{1}{J} \sum_{j=1}^J \bar{E}_{sr,j}$$

Następnie przeprowadzamy test F-Snedecora do oceny jednorodności wariacji s_q (zapisanych w wierszu „średnia” dla $J(K-1)$ stopni swobody). Jeśli test wykaże że wariancje są niejednorodne (a tego oczekujemy), obliczamy współczynniki zmienności v_q ze wzoru

$$v_q = \frac{s_q}{\bar{E}_{sr,q}}$$

i przeprowadzamy test F-Snedecora jednorodności współczynników zmienności v_q , jeśli test potwierdzi jednorodność współczynników zmienności, obliczamy współczynnik zmienności laboratorium w procentach ze wzoru:

$$v_r = \sqrt{\frac{1}{Q} \sum_{q=1}^Q v_q^2} \cdot 100\%$$