

**INSTRUKCJA NR 07-03**

**NIEPEWNOŚĆ OZNACZENIA PYŁU CAŁKOWITEGO I  
RESPIRABILNEGO**

## 1. Cel instrukcji

Celem dokumentu jest określenie sposobu szacowania niepewności w pomiarach pyłu całkowitego i respirabilnego na stanowiskach pracy. Instrukcję stosuje się do wyznaczenia niepewności wskaźników narażenia dla pyłu całkowitego i respirabilnego.

## 2. Postępowanie

Niepewność wskaźników narażenia na pył całkowity i respirabilny szacowana jest własną metodą.

### Niepewność związana z objętością pobranego powietrza

Niepewność standardowa wynikająca z tolerancji przepływu aspiratora związanej ze zmianą temperatury w [%]:

$$u_1 = \frac{t_T}{\sqrt{3}} = \frac{5}{\sqrt{3}} = 2,887$$

gdzie:

$t_T$  - tolerancja przepływu aspiratora związana ze zmianą temperatury w % (5%)

Niepewność standardowa wynikająca z tolerancji przepływu aspiratora związanej ze zmianą ciśnienia (obciążenie sącza pomiarowego) w [%]:

$$u_2 = \frac{t_p}{\sqrt{3}} = \frac{5}{\sqrt{3}} = 2,887$$

gdzie:

$t_p$  - tolerancja przepływu aspiratora związana ze zmianą ciśnienia zwrotnego w % (5%)

Niepewność standardowa wynikająca z tolerancji przepływu aspiratora związanej długim czasem działania [%]:

$$u_3 = \frac{t_t}{\sqrt{3}} = \frac{5}{\sqrt{3}} = 2,887$$

gdzie:

$t_t$  - tolerancja przepływu aspiratora związana z długotrwałym czasem działania w % (5%)

Niepewność standardowa rotametry  $u_r$  [%]:

$$u_r = \sqrt{\frac{u_{w,r}^2}{k^2} + \frac{u^2}{3} + \left(\frac{r}{2 \cdot \sqrt{3}}\right)^2}$$

gdzie:

$u_{w,r}$  – niepewność wzorcowania rotametu w % (odczytana ze świadectwa wzorcowania dla punktu w którym są adjustowane aspiratory najczęściej 1,9 dm<sup>3</sup>/min).  
 $k$  – współczynnik rozszerzenia dla niepewności wzorcowania rotametu;  
 $u$  – dokładność pomiaru rotametu w % ( $u=2\%$ );  
 $r$  – rozdzielczość rotametu wyrażona w % (przy przepływie 1,9 dm<sup>3</sup>/min, najczęściej ustawiany przepływ);

Rozdzielczość rotametu (0,02 l/min) należy przeliczyć na procenty ze wzoru:

$$r = \frac{0,02}{1,9} \cdot 100\% = 1,053\%$$

Złożona niepewność standardowa przepływu w [%]:

$$u_{c,P} = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_r^2} = \sqrt{\frac{t_T^2}{3} + \frac{t_i^2}{3} + \frac{t_p^2}{3} + \frac{u^2}{3} + \left(\frac{u_{w,r}}{k}\right)^2 + \left(\frac{r}{2 \cdot \sqrt{3}}\right)^2}$$

Niepewność standardowa objętości pobranego powietrza  $u_{c,v}$  w [dm<sup>3</sup>]:

$$V_i = P \cdot t_i$$

$$\frac{u_{c,V_i}}{V_i} \cdot 100 = v_{c,V_i} = v_{c,P}$$

gdzie:

$t_i$  - czas pobierania i-tej próbki w [min];

$P$  - przepływ ustalony podczas wzorcowania w dm<sup>3</sup>/min;

<b>Budżet niepewności dla objętości pobranego powietrza</b>				
Lp	Źródło niepewności	Niepewność rozszerzona	Rozkład i współczynnik rozszerzenia	Niepewność standardowa w [%]
1	tolerancja przepływu aspiratora (związana ze zmianą temperatury)	5%	równo-mierny $\sqrt{3}$	2,89
2	tolerancja przepływu aspiratora (związana ze zmianą ciśnienia)	5%	równomierny $\sqrt{3}$	2,89
3	tolerancja przepływu aspiratora (związana z długim czasem działania)	5%	równomierny $\sqrt{3}$	2,89
4	dokładność rotametu	2%	równomierny $\sqrt{3}$	1,15
5	niepewność wzorcowania rotametu	$\frac{U_{p,w}}{P} \cdot 100$	normalny 2	
5	rozdzielczość rotametu	1,053	równomierny $2 \cdot \sqrt{3}$	0,61
łączna niepewność $u_{c,P} = \sqrt{\sum_i u_i^2}$ [%]				

### Niepewność analizy wagowej

Niepewność standardowa związana z ważeniem  $u_{c,m}$  w [mg], niepewność wyznaczenia masy pobranego pyłu:

$$\Delta m_i = m_{2,i} - m_{1,i}$$

niepewność pojedynczego ważenia  $u_m$  w [mg]:

$$u_m = u_{m_1} = u_{m_2} = \sqrt{\left(\frac{u_{w,m}}{k}\right)^2 + \left(\frac{u_{m,10}^2 + u_{m,100}^2}{6}\right) + s_r^2}$$

Niepewność wyznaczonej masy pyłu  $\Delta m$

$$u_{c,\Delta m} = \sqrt{u_{m_2}^2 + u_{m_1}^2} = \sqrt{2} \cdot u_m \text{ [mg]}$$

gdzie

$u_{w,m}$  - niepewność wzorcowania wagi w [mg];

$u_{m,10}$  - błąd wskazania wagi odczytany ze świadectwa wzorcowania dla 10mg w [mg];

$u_{m,100}$  - błąd wskazania wagi odczytany ze świadectwa wzorcowania dla 100mg w [mg];

$s_r$  - powtarzalność wagi wyznaczona w laboratorium w [mg];

<b>Budżet niepewności dla analizy wagowej</b>				
Lp	Źródło niepewności	Niepewność	Rozkład i współczynnik rozszerzenia	Niepewność standardowa w [mg]
1	powtarzalność wagi		normalny 1	
2	błąd wskazania wagi dla 10 mg		trójkątny $\sqrt{6}$	
3	błąd wskazania wagi dla 100 mg		trójkątny $\sqrt{6}$	
4	niepewność wzorcowania wagi		normalny k=1,65	
złożona niepewność standardowa pojedynczego ważenia $u_m = \sqrt{\sum_i u_i^2}$				
złożona niepewność standardowa wyznaczonej masy pyłu $u_{c,\Delta m} = \sqrt{2} \cdot u_m$				

### Niepewność oznaczenia stężenia pyłu w próbce

Złożona niepewność standardowa stężenia pyłu w i-tej próbce:

$$X_i = \frac{\Delta m_i}{V_i} \cdot 1000 \left[ \frac{\text{mg}}{\text{m}^3} \right]$$

$$\frac{u_{c,X_i}}{X_i} = \sqrt{\left(\frac{u_{c,\Delta m_i}}{\Delta m_i}\right)^2 + (v_{c,P})^2}$$

$$u_{c,X_i} = X_i \cdot \sqrt{\left(\frac{u_{c,\Delta m_i}}{\Delta m_i}\right)^2 + (v_{c,P})^2}$$

Złożona niepewność standardowa wskaźnika ekspozycji  $C_w$

$$C_w = \frac{\sum_{i=1}^n X_i \cdot t_i}{\sum_{i=1}^n t_i} \cdot \frac{T_e}{T_0}$$

$$u_{c,C_w} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (c_i \cdot u_{c,X_i})^2}$$

$$c_1 = \frac{t_i}{\sum_{i=1}^n t_i} \cdot \frac{T_e}{T_o}$$

$$u_{c,C_w} = \frac{T_e}{T_o} \cdot \sqrt{\left( \frac{\sum_{i=1}^n \left( \frac{t_i}{\sum_{i=1}^n t_i} \cdot u_{c,X_i} \right)}{\sum_{i=1}^n t_i} \right)^2}$$

gdzie:

n - liczba pobranych próbek.

T<sub>e</sub> - czas ekspozycji w [min];

T<sub>o</sub> - czas odniesienia 480 min.

**UWAGA:**

Współczynnik czułości  $c_1$  jest pochodną

$$c_1 = \frac{\partial C_w}{\partial X_i}$$

### 3. Zapis wyników obliczeń z niepewnością

Laboratorium zapisuje wyniki obliczeń z niepewnością rozszerzoną. W formacie  $X \pm U_X$ . Niepewność rozszerzona wskaźnika narażenia na pył przy 95% przedziale ufności wynosi:

$$U_{C_w} = 2 \cdot u_{c,C_w}$$

### 4. Powtarzalność pomiaru masy sączka

Wykonać po K=10 pomiarów masy czystego sączka (tego samego), pokazać dym wazeniu wagę tarować, wyniki zapisać w tabeli.

K	$m_k$ [mg]	$s_r$ [mg]	$\bar{m}$ [mg]
1	2	3	4
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

Obliczamy  $s_r$  i  $\bar{m}$  ze wzorów:

$$s_r = \sqrt{\frac{1}{K-1} \sum_{k=1}^K (m_k - \bar{m})^2} \text{ gdzie } \bar{m} = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K m_k$$

## 5. Granica oznaczenia ilościowego

Przygotować n=10 czystych sączków pomiarowych, sączi umieścić w ekzykatorze na 20h i zważyć na wadze analitycznej. Sączi zapakować do oprawek i transportować po powrocie umieścić sączi w ekzykatorze na 20h i zważyć, wyniki ważenia zapisać w tabeli.

Lp.	Pierwsze ważenie m [mg]	Drugie ważenia m [mg]	Różnica mas (drugie ważenie – pierwsze ważenie)
1	m <sub>1,1</sub> =	m <sub>1,2</sub> =	Δ <sub>1</sub> =m <sub>1,2</sub> -m <sub>1,1</sub> =
2	m <sub>2,1</sub> =	m <sub>2,2</sub> =	Δ <sub>1</sub> =m <sub>2,2</sub> -m <sub>2,1</sub> =
3	m <sub>3,1</sub> =	m <sub>3,2</sub> =	Δ <sub>3</sub> =m <sub>3,2</sub> -m <sub>3,1</sub> =
4	m <sub>4,1</sub> =	m <sub>4,2</sub> =	Δ <sub>4</sub> =m <sub>4,2</sub> -m <sub>4,1</sub> =
5	m <sub>5,1</sub> =	m <sub>5,2</sub> =	Δ <sub>5</sub> =m <sub>5,2</sub> -m <sub>5,1</sub> =
6	m <sub>6,1</sub> =	m <sub>6,2</sub> =	Δ <sub>6</sub> =m <sub>6,2</sub> -m <sub>6,1</sub> =
7	m <sub>7,1</sub> =	m <sub>7,2</sub> =	Δ <sub>7</sub> =m <sub>7,2</sub> -m <sub>7,1</sub> =
8	m <sub>8,1</sub> =	m <sub>8,2</sub> =	Δ <sub>8</sub> =m <sub>8,2</sub> -m <sub>8,1</sub> =
9	m <sub>9,1</sub> =	m <sub>9,2</sub> =	Δ <sub>9</sub> =m <sub>9,2</sub> -m <sub>9,1</sub> =
10	m <sub>10,1</sub> =	m <sub>10,2</sub> =	Δ <sub>10</sub> =m <sub>10,2</sub> -m <sub>10,1</sub> =

Obliczyć

$$s_{sp} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\Delta_i - \bar{\Delta})^2} \text{ gdzie } \bar{\Delta} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta_i$$

granica oznaczenia ilościowego masy pyłu m<sub>min</sub>

$$m_{\min} = 6 \cdot s_{sp}$$