

mgr inż. Ryszard Samoć

rzecznik z listy Ministra Ochrony Środowiska

Zasobów Naturalnych i Leśnictwa nr. 556

62-800 Kalisz, ul. Biernackiego 8

tel. 62 7573-987

Metodyka szacowania niepewności w programie „EMISJA” z wykorzystaniem świadectw wzorcowania Emiotestu lub innych pyłomierzy automatycznych

(wersja październik 2017 r.)

Rozszerzona procentowa niepewność pomiaru strumienia masy pyłu δ_E jest obliczana zgodnie z normą [1] wg. wzoru:

$$\delta_E = \sqrt{\delta_s^2 + 4 \cdot \delta_l^2 + \delta_w^2}$$

gdzie:

δ_w - niepewność pomiaru natężenia przepływu gazów w przewodzie, %

δ_s - niepewność pomiaru stężenia, %

δ_l - niepewność pomiaru wymiarów kanału, %

Wszystkie niepewności oznaczone symbolem δ są względnymi niepewnościami rozszerzonymi, wyrażonymi w procentach.

Poniżej wzory na niepewność poszczególnych składowych. Mnożniki we wzorach są kwadratami współczynników czułości obliczonymi z pochodnych cząstkowych wzorów wg. metodyki GUM.

Niepewność pomiaru natężenia gazu w przewodzie δ_w można obliczyć wg. wzoru

$$\overline{\delta}_w = \sqrt{\overline{\delta}_{mpp}^2 + \frac{1}{4} \overline{\delta}_{dP}^2 + \frac{1}{4} \overline{\delta}_\rho^2}$$

gdzie:

$\overline{\delta}_{mpp}$ – niepewność metody pomiaru przepływu

$\overline{\delta}_{dP}$ – niepewność pomiaru ciśnienia dynamicznego – odczytana ze świadectwa wzorcowania podsystemu pomiaru ciśnienia różnicowego „dP”

$\overline{\delta}_\rho$ - niepewność pomiaru gęstości gazu

$$\overline{\delta_\rho} = \sqrt{\overline{\delta_R}^2 + \overline{\delta_T}^2 + \overline{\delta_P}^2}$$

gdzie:

$\overline{\delta_R}$ - niepewność oznaczenia stałej gazowej

$\overline{\delta_P}$ - niepewność pomiaru ciśnienia statycznego będąca sumą niepewności pomiaru ciśnienia barometrycznego (P_b) i podciśnienia (h) odczytaną ze świadectw wzorcowania

$\overline{\delta_T}$ - niepewność pomiaru temperatury (odniesiona do temperatury w Kelvinach)

Niepewność oznaczenia stałej gazowej można obliczyć wg. wzoru:

$$\overline{\delta_R} = \sqrt{\overline{\delta_x}^2 + \overline{\delta_{\rho_{gsn}}}^2}$$

gdzie:

$\overline{\delta_x}$ - niepewność oznaczenia wilgotności – ze świadectw wzorcowania

$\overline{\delta_{\rho_{gsn}}}$ - niepewność składu gazu suchego

Niepewność pomiaru ciśnienia statycznego jest obliczana następująco:

najpierw obliczana jest złożona bezwzględna niepewność ciśnienia statycznego w hPa

$$uPs = \sqrt{uPb^2 + uh^2}$$

gdzie:

uPb – niepewność pomiaru ciśnienia barometrycznego, hPa

uh – niepewność pomiaru podciśnienia w kanale, hPa

uPs – bezwzględna niepewność ciśnienia statycznego w kanale, hPa

następnie jest obliczana niepewność procentowa

$$\delta P_{[\%]} = \frac{uPs}{Ps} \cdot 100\%$$

gdzie: P_s – ciśnienie statyczne w hPa

Niepewność pomiaru stężenia pyłu δ_S oblicza się wg. wzoru:

$$\overline{\delta}_s = \sqrt{\overline{\delta}_{Vv}^2 + \overline{\delta}_m^2 + \overline{\delta}_{\Delta\tau}^2 + \overline{\delta}_\rho^2 + \overline{\delta}_{\rho v}^2}$$

gdzie:

$\overline{\delta}_{Vv}$ niepewność pomiaru natężenia zassanych gazów – ze świadectwa wzorcowania

$\overline{\delta}_m$ niepewność pomiaru masy pyłu wytrąconego w pyłomierzu – obliczona z niepewności ważenia (dla błędu granicznego 0,5 mg , niepewność standardowa wynosi $\frac{0,5}{\sqrt{3}} = 0,289$ mg, W przypadku masy gilzy ok. 3 g standardowa niepewność procentowa wynosi $0,289/3000*100=0,010$ %.
Niepewność rozszerzona 0,02 %.

$\overline{\delta}_{\Delta\tau}$ niepewność pomiaru czasu aspiracji gazu do pyłomierza

$\overline{\delta}_\rho$ niepewność pomiaru gęstości gazu w przewodzie

$\overline{\delta}_{\rho v}$ niepewność pomiaru gęstości częściowego strumienia gazu

W przypadku gdy producent pyłomierza podaje od razu niepewność pomiaru prędkości gazu w kanale , wzór na niepewność natężenia przepływu gazów

$$\overline{\delta}_w = \sqrt{\overline{\delta}_{mpp}^2 + \overline{\delta}_{dw}^2}$$

gdzie:

$\overline{\delta}_w$ niepewność wzorcowania dla pomiaru prędkości gazów w kanale

Sposób odczytu niepewności ze świadectwa wzorcowania

Świadectwo wzorcowania zawiera tabelę zawierającą m.in. wartości poprawne i rozszerzone niepewności pomiaru Na tej podstawie program oblicza niepewności procentowe i odczytuje dla niepewności dla rzeczywistych wartości EWG. następujących zasad:

- dla wartości leżących poniżej zakresu tabeli – niepewność dla najniższej wartości w tabeli,
- dla wartości leżących poza zakresem tabeli – niepewność dla najwyższej wartości w tabeli,

- dla wartości zerowanych odnajdowana jest najbliższa wartość niezerowa (w celu uniknięcia dzielenia przez zero)
- w pozostałych przypadkach niepewność jest obliczana ze wzoru:

$$u_m = u_1 + (u_2 - u_1) * (m - w_1) / (w_2 - w_1)$$

gdzie:

m – wartość zmierzona

u_1 – niepewność dla początku przedziału wartości

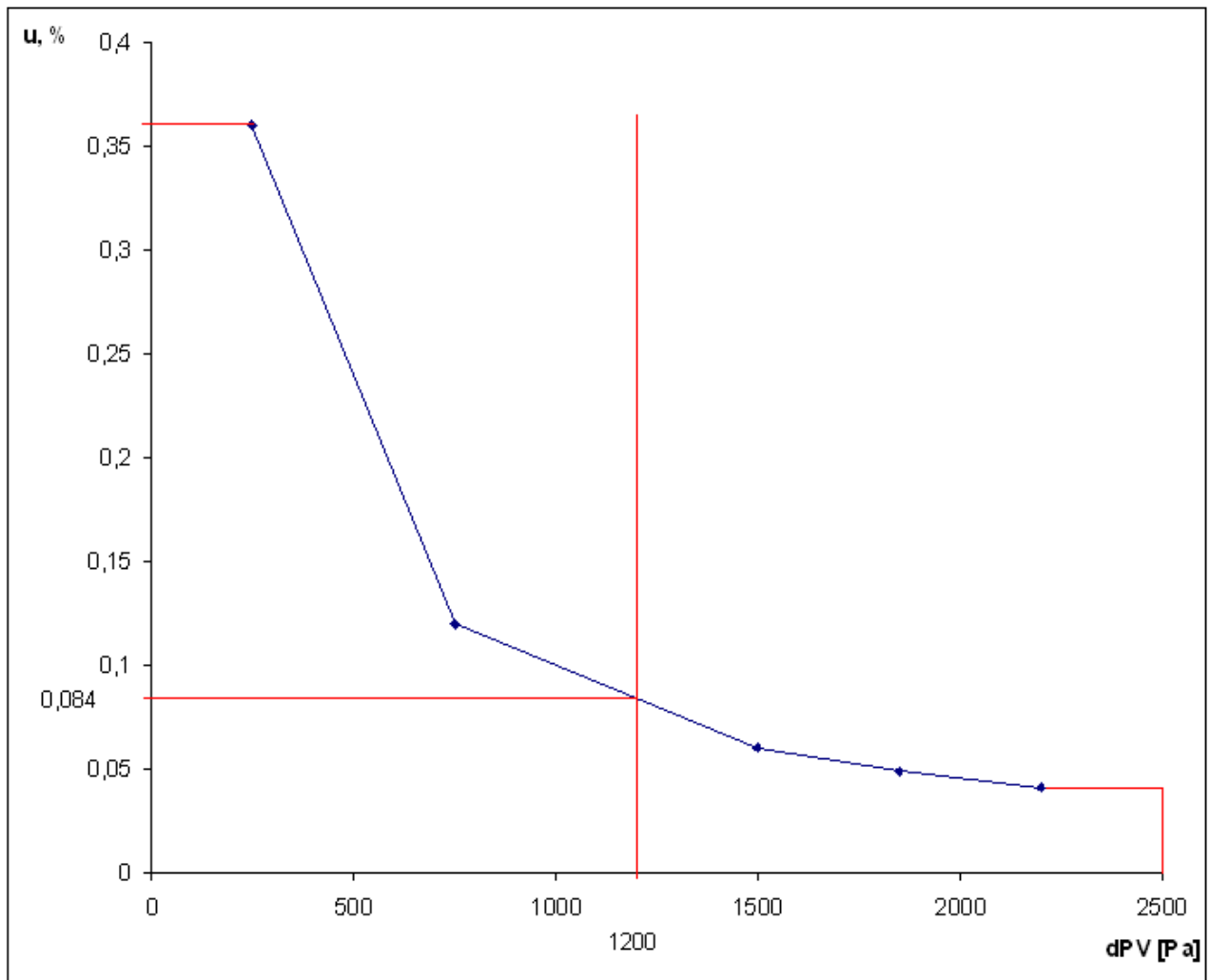
u_2 – niepewność dla końca przedziału wartości

w_1 – wartość początku przedziału,

w_2 – wartość końca przedziału

Przykład dla wzorcowania dP:

Wartość poprawna	Niepewność rozszerzona, %
250	0,36
750	0,12
1500	0,06
1850	0,048649
2200	0,040909



Wartość zmierzona wyniosła 1200 Pa. Niepewność dla wartości zmierzonej obliczono z podanego wzoru wykorzystując wartości poprawne i rozszerzone niepewności pomiaru z świadectwa wzorcowania. Po podstawieniu do wzoru otrzymano:

$$u_m = 0,12 + (0,06 - 0,12) * (1200 - 750) / (1500 - 750)$$

$$u_m = 0,084 \%$$

Przykład szacowania niepewności

Zmierzone wartości (średnie z jednego lub wielu pomiarów) i odczytane z tabel wzorcowania niepewności:

Symbol	Nazwa			Niepewność rozszerzona, %
		Wartość	Odczytane niepewności bezwzględne	
Pb	Ciśnienie barometryczne	1005 hPa	2 hPa	
h	Pod/nadciśnienie	- 941,4 Pa	1,9 hPa	
Ps	Ciśnienie statyczne w kanale	995,6 hPa		0,277
T	Temperatura w kanale	200°C		0,38
dP	Różnica ciśnień	53,84 Pa		1,2
W	Wilgotność względna	50 %		7,18
Vv	Częściowy strumień objętości gazów	20,83 m ³ /h		1,27
τ	Czas aspiracji	3600		0,138

Założone niepewności szacunkowe

	Niepewność standardowa %	Niepewność rozszerzona %
Masa pyłu	0,05 %	0,1 %
Pomiar składu gazów	1 %	2 %
Niepewność metody pomiaru strumienia gazów w kanale	3 %	6 %
Wymiary kanału	0,5 %	1 %

Niepewność pomiaru przepływu :

$$\bar{\delta}_w = \sqrt{\bar{\delta}_{mpp}^2 + \frac{1}{4} \bar{\delta}_{dP}^2 + \frac{1}{4} \bar{\delta}_\rho^2}$$

$$\bar{\delta}_{dP} = 0,7 \%$$

$$\bar{\delta}_{mpp} = 6 \%$$

Niepewność oznaczenia stałej gazowej R

$$\overline{\delta}_R = \sqrt{\overline{\delta}_x^2 + \overline{\delta}_{\rho_{gsn}}^2}$$

$$\overline{\delta}_x = 7,18 \%$$

$$\overline{\delta}_{\rho_{gsn}} = 2 \%$$

$$\overline{\delta}_R = 7,453 \%$$

Niepewność pomiaru ciśnienia statycznego w kanale

Niepewność względna

$$uPs = \sqrt{uPb^2 + uh^2}$$

$$uPb = 2 \text{ hPa}$$

$$uh = 1,9 \text{ hPa}$$

$$uPs = 2,76 \text{ hPa}$$

Niepewność względna procentowa $\delta_{ps} = 2,76 \text{ hPa} / 995,6 \text{ hPa} * 100 = 0,277 \%$

Niepewność pomiaru gęstości gazu:

$$\overline{\delta}_\rho = \sqrt{\overline{\delta}_R^2 + \overline{\delta}_T^2 + \overline{\delta}_P^2}$$

Dane:

$$\overline{\delta}_R = 7,453 \%$$

$$\overline{\delta}_t = 0,38 \%$$

$$\overline{\delta}_p = 0,277 \%$$

$$\overline{\delta}_{\rho_{gsn}} = 2 \%$$

$$\overline{\delta}_\rho = 7,47 \%$$

$$\overline{\delta}_w = 7,07 \%$$

Niepewność pomiaru stężenia pyłu:

$$\overline{\delta}_s = \sqrt{\overline{\delta}_{V_v}^2 + \overline{\delta}_m^2 + \overline{\delta}_{\Delta\tau}^2 + \overline{\delta}_\rho^2 + \overline{\delta}_{\rho v}^2}$$

$$\overline{\delta}_{V_v} = 1,267 \%$$

$$\overline{\delta}_m = 0,02 \%$$

$$\overline{\delta}_{\Delta\tau} = 0,38 \%$$

$$\overline{\delta}_\rho = \overline{\delta}_{\rho v} = 7,47 \%$$

$$\overline{\delta}_s = 10,64 \%$$

Niepewność pomiaru strumienia masy pyłu:

$$\delta_E = \sqrt{\delta_s^2 + 4 \cdot \delta_l^2 + \delta_w^2}$$

$$\overline{\delta}_s = 10,64 \%$$

$$\overline{\delta}_l = 1 \%$$

$$\overline{\delta}_w = 7,07 \%$$

$$\delta_E = 12,9 \%$$

Literatura:

1. PN-Z-04030-7 Badania zawartości pyłu. Pomiar stężenia i strumienia pyłu w gazach odlotowych metodą grawimetryczną.
2. Wyrażanie niepewności pomiaru. Przewodnik.(GUM)
3. Mieczysław Teisseyre. Obliczanie błędów przy grawimetrycznych pomiarach zapylenia gazów odlotowych – praca niepublikowana.
4. „Pyłomierze przemysłowe. Pomiary i aparatura.”, Mieczysław Teisseyre. 1995.