

Monika Tyszownicka  
Instytut Nafty i Gazu, Kraków

## Wzrost dokładności pomiarów rozliczeniowych w gazownictwie, w kontekście nowych wymagań stawianych przetwornikom temperatury i ciśnienia

### Wprowadzenie

Jednym z powodów zwiększenia wymagań stawianych urządzeniom pomiarowym było ustanowienie dyrektywy 2004/22/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 31.03.2004 r. w sprawie przyrządów pomiarowych, zwanej dyrektywą MID (*Measuring Instruments Directive*) [1]. Dyrektywa MID [1] została wdrożona do polskiego prawodawstwa m.in. poprzez Ustawę z dnia

30.08.2002 r. o systemie oceny zgodności [9] oraz Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 18.12.2006 r. w sprawie zasadniczych wymagań dla przyrządów pomiarowych [7]. Aby wypełnić postanowienia dyrektywy MID [1], urządzenie pomiarowe musi pozytywnie przejść ocenę zgodności [2, 3, 8] z jej zasadniczymi wymaganiami.

### Przeliczniki typu 1, typu 2 oraz przetworniki

Możliwym sposobem wykazania, iż wyrób spełnia wymagania zasadnicze ujęte w danej dyrektywie jest wykazanie jego zgodności z normą zharmonizowaną z tą dyrektywą. W przypadku przetworników ciśnienia i temperatury wszelkie wymagania, jakie urządzenia te powinny spełnić zostały opisane w normie PN-EN 12405-1 + A2:2010 *Gazomierze – Przeliczniki. Część 1: Przeliczanie objętości* [6], zharmonizowanej z dyrektywą MID [1]. Załącznik normatywny B ww. normy dotyczy przetworników ciśnienia, a załącznik normatywny D – przetworników temperatury.

Norma PN-EN 12405-1 + A2:2010 [6] dokonuje podziału na przeliczniki typu 1 (dawne przeliczniki bateryjne)

i przeliczniki typu 2 (dawne przeliczniki sieciowe). Przelicznik typu 1 to „urządzenie przeliczające z określonymi typami przetworników ciśnienia i temperatury lub tylko temperatury”, natomiast przelicznik typu 2 to „urządzenie przeliczające z zewnętrznymi oddzielnymi przetwornikami ciśnienia i temperatury lub tylko temperatury, które mogą być zatwierdzane oddzielnie”.

Należy tutaj podkreślić, iż obecnie przedmiotem kontroli jest zarówno kalkulator, jak i przetworniki, a także dobór elementów tworzących przelicznik typu 2 – podczas gdy dotąd (w myśl obowiązującego w Polsce starego podejścia) prawnej kontroli metrologicznej podlegał jedynie kalkulator.

### Dopuszczalne błędy pomiarowe

Wysokie wymagania stawiane przelicznikom podczas oceny zgodności obejmują wyznaczenie charakterystyk metrologicznych w trakcie stosowania czynników wpływających oraz zaburzeń. W praktyce oznacza to niezakłóconą

pracę i błędy mieszczące się w granicach MPE (*Maximum Permissible Error*), w warunkach m.in. zmiennej temperatury i wilgotności otoczenia lub wyładowań elektrostatycznych oraz zakłóceń elektromagnetycznych [4]. Tablice 1

i 2 przedstawiają maksymalne błędy dopuszczalne (MPE) – odpowiednio: dla przeliczników typu 1 i typu 2 – w warunkach odniesienia i znamionowych warunkach użytkowania.

Należy zwrócić uwagę na wymagane niskie wartości MPE dotyczące przetworników; ich dopuszczalne błędy pomiarowe odniesione są do wartości mierzonej (dotychczas często odnoszono je do zakresu pomiarowego FS – tzw. klasa, co mogło prowadzić do błędnych interpretacji).

Tablica 1. Maksymalne dopuszczalne błędy dla przeliczników typu 1

Wskazanie	Warunki odniesienia	Znamionowe warunki użytkowania
Wskazanie główne dla przeliczenia $PT$ i $PTZ$	0,5%	1,0%
Wskazanie główne dla przeliczenia $T$	0,5%	0,7%

$P$  – ciśnienie;  $T$  – temperatura;  $Z$  – współczynnik ściśliwości gazu.

Tablica 2. Maksymalne dopuszczalne błędy dla przeliczników typu 2

Wskazanie lub element	Warunki odniesienia	Znamionowe warunki użytkowania
Wskazanie główne	0,5%	1,0%
Kalkulator	0,2%	0,3%
Przetwornik temperatury	0,1%	0,2%
Przetwornik ciśnienia	0,2%	0,5%

### Porównanie właściwości metrologicznych przetworników spełniających wymagania sprzed i po wprowadzeniu systemu oceny zgodności

W niniejszej części opracowania porównano dokładność pomiaru wielkości wejściowej (odpowiednio temperatury lub ciśnienia) przetwornikami spełniającymi wymagania metrologiczne obowiązujące przed i po wejściu w życie systemu oceny zgodności. Na dokładność pomiaru przetwornika składa się głównie: jego błąd podstawowy, błąd związany ze stabilnością roczną oraz błąd temperaturowy, będący wynikiem wpływu temperatury otoczenia na układ pomiarowy przetwornika. W dalszej części opracowania oszacowano składowe niepewności pomiaru wielkości wejściowej przetworników (związane z ww. błędami) oraz – na podstawie prawa propagacji niepewności – obliczona została niepewność złożona pomiaru wielkości wejściowej. Informacje o parametrach metrologicznych przetworników (zakresy pomiarowe, deklarowane błędy) zostały zaczerpnięte ze specyfikacji producentów urządzeń, lub też – w przypadku, gdy brak było adekwatnych danych – przyjęto je na podstawie własnego doświadczenia (np. świadectw sprawdzeń/wzorcowań).

#### Wykaz użytych oznaczeń

- P1 – przetwornik spełniający kryteria metrologiczne obowiązujące przed wprowadzeniem systemu oceny zgodności,
- P2 – przetwornik spełniający kryteria metrologiczne wprowadzone przez system oceny zgodności,
- zakres – dotyczy zakresu pomiarowego temperatury/ciśnienia,
- zero – oznacza dolną granicę zakresu pomiarowego (*Lower Range Limit* – LRL),

- góra – oznacza górną granicę zakresu pomiarowego (*Upper Range Limit* – URL),
- FS – oznacza szerokość zakresu pomiarowego, czyli różnicę pomiędzy górą a zerem (*Full Scale*),
- $e_t$  – błąd maksymalny (klasa) przetwornika temperatury,
- $e_p$  – błąd maksymalny (klasa) przetwornika ciśnienia,
- $e_{ts}$  – stabilność roczna przetwornika temperatury,
- $e_{ps}$  – stabilność roczna (o ile nie podano innego okresu) przetwornika ciśnienia,
- $e_{tt}$  – błąd temperaturowy przetwornika temperatury,
- $e_{pt}$  – błąd temperaturowy przetwornika ciśnienia,
- $e_{pRFI}$  – błąd przetwornika ciśnienia związany z interferencją pól elektromagnetycznych o częstotliwości radiowej,
- $t_{amb}$  – temperatura otoczenia,
- $\delta_t$  – moduł różnicy pomiędzy temperaturą otoczenia ( $t_{amb}$ ) a temperaturą odniesienia (20°C).

#### Parametry przetworników temperatury

Porównywane przetworniki P1 i P2 posiadają identyczny zakres pomiarowy, podany w poniższej tablicy:

Zakres [°C]		
Zero	Góra	FS
-30	60	90

- a) parametry przetwornika temperatury P1, według danych producenta oraz danych uzyskanych podczas sprawdzania (regulacji) przetwornika:
  - $e_t = 0,25\% \text{ FS}$
  - $e_{ts} = 0,16\%/\text{rok}$

$e_{it} = 0,02\% \text{ FS}/1^\circ\text{C}$  (co założono według własnego doświadczenia, ze względu na brak danych producenta),

b) parametry przetwornika temperatury P2, według danych producenta:

$$e_t = \pm(0,1^\circ\text{C} + 0,02\% \text{ FS})$$

$e_{is} = 0,05\%/\text{rok}$  lub  $e_{is} = 0,05^\circ\text{C}/\text{rok}$  – większa z wartości

$$e_{it} = (0,0015^\circ\text{C} + 0,001\% \text{ FS})/1^\circ\text{C}.$$

### Składowe niepewności pomiaru temperatury

Następnie, z uwzględnieniem danych przytoczonych powyżej, oszacowane zostaną poszczególne składowe niepewności pomiaru temperatury przez przetworniki P1 i P2.

$u(e_t)$  – niepewność standardowa pomiaru temperatury związana z klasą przetwornika

Niepewność ta szacowana jest na podstawie danych producenta, przy założeniu rozkładu prostokątnego i wynosi ona:

- dla przetwornika P1

$$u(e_t) = \pm \frac{e_t}{100\% \cdot \sqrt{3}} \cdot (T_n + \text{FS}) [\text{K}] \quad (1)$$

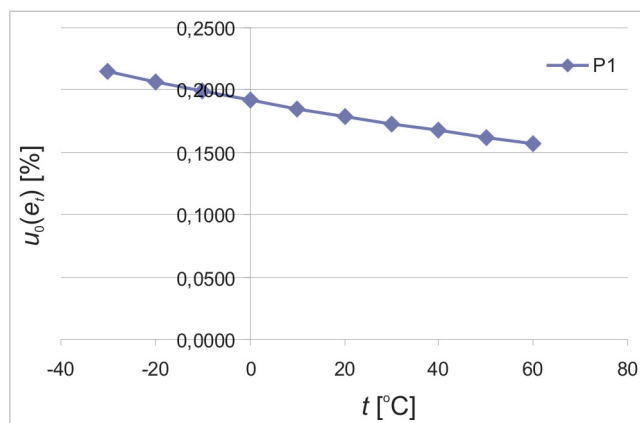
$$u(e_t) = \pm \frac{0,25}{100\% \cdot \sqrt{3}} \cdot (273,15 + 90) [\text{K}]$$

$$u(e_t) = \pm 0,524 [\text{K}]$$

Niepewność względna:

$$u_0(e_t) = \pm \frac{u(e_t)}{T} \cdot 100\% [\%] \quad (2)$$

$$u_0(e_t) = \pm \frac{52,4}{T} [\%]$$



Rys. 1. Niepewność standardowa względna pomiaru temperatury, związana z klasą przetwornika

$u(e_t)$  – niepewność standardowa pomiaru temperatury związana z maksymalnym błędem pomiarowym przetwornika

Niepewność ta szacowana jest na podstawie danych producenta, przy założeniu rozkładu prostokątnego i wynosi ona:

- dla przetwornika P2

$$u(e_t) = \pm \frac{0,1 + \frac{0,02\%}{100\%} \cdot (T_n + \text{FS})}{\sqrt{3}} [\text{K}] \quad (3)$$

$$u(e_t) = \pm \frac{0,1 + \frac{0,02\%}{100\%} \cdot (273,15 + 90)}{\sqrt{3}} [\text{K}]$$

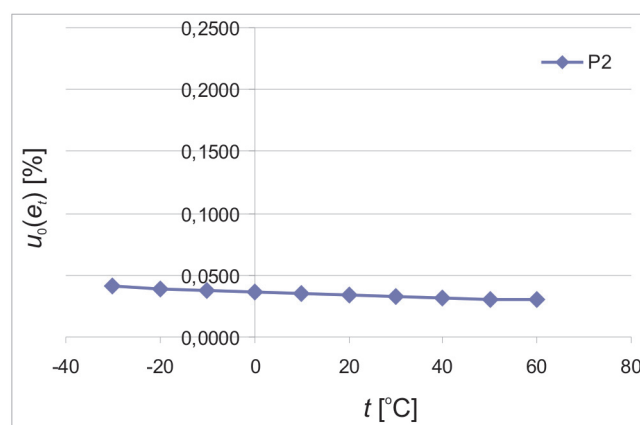
$$u(e_t) = \pm 0,098 [\text{K}]$$

Niepewność względna:

$$u_0(e_t) = \pm \frac{u(e_t)}{T} \cdot 100\% [\%] \quad (4)$$

$$u_0(e_t) = \pm \frac{9,8}{T} [\%]$$

Jak widać z równania (3), mimo iż norma [8] określa wartości MPE jako procent wartości mierzonej, niektórzy producenci nie podają tej informacji wprost, lecz w innej formie, która dopiero po przeliczeniu może być porównana z wartością dopuszczalną.



Rys. 2. Niepewność standardowa względna pomiaru temperatury, związana z maksymalnym błędem pomiarowym przetwornika

$u(e_{is})$  – niepewność standardowa pomiaru temperatury związana ze stabilnością roczną wskazań przetwornika

Niepewność ta szacowana jest na podstawie danych producenta, przy założeniu rozkładu prostokątnego i wynosi ona odpowiednio:

- dla przetwornika P1

$$u(e_{ts}) = \pm \frac{e_{ts}}{100\% \cdot \sqrt{3}} \cdot T [\text{K}] \quad (5)$$

$$u(e_{ts}) = \pm \frac{0,16\%}{100\% \cdot \sqrt{3}} \cdot T [\text{K}]$$

$$u(e_{ts}) = \pm 9,238 \cdot 10^{-4} \cdot T [\text{K}]$$

Niepewność względna:

$$u_0(e_{ts}) = \pm \frac{u(e_{ts})}{T} \cdot 100\% [\%] \quad (6)$$

$$u_0(e_{ts}) = \pm 0,09238 [\text{K}]$$

- dla przetwornika P2

$$u(e_{ts}) = \pm \frac{e_{ts}}{100\% \cdot \sqrt{3}} \cdot T [\text{K}] \quad (7)$$

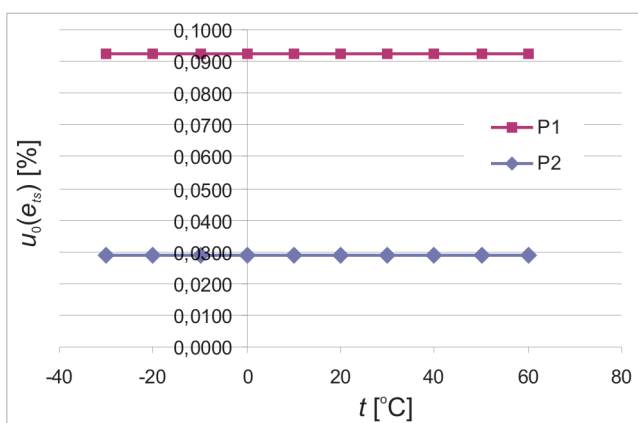
$$u(e_{ts}) = \pm \frac{0,05\%}{100\% \cdot \sqrt{3}} \cdot T [\text{K}]$$

$$u(e_{ts}) = \pm 2,887 \cdot 10^{-4} \cdot T [\text{K}]$$

Niepewność względna:

$$u_0(e_{ts}) = \pm \frac{u(e_{ts})}{T} \cdot 100\% [\%] \quad (8)$$

$$u_0(e_{ts}) = \pm 0,02887 [\%]$$



Rys. 3. Niepewność standardowa pomiaru temperatury związana ze stabilnością roczną wskazań przetwornika

$u(e_{tt})$  – niepewność standardowa pomiaru temperatury związana z wpływem temperatury otoczenia na wskazania przetwornika

- Dla przetwornika P1 niepewność ta szacowana jest na podstawie danych założonych według własnego

doświadczenia (ze względu na brak danych producenta), przy założeniu rozkładu prostokątnego i wynosi ona:

$$u(e_{tt}) = \pm \frac{e_{tt}}{100\% \cdot \sqrt{3}} \cdot (T_n + \text{FS}) \cdot \delta_t [\text{K}] \quad (9)$$

$$\delta_t = |t_{amb} - 20^\circ\text{C}| \quad (10)$$

W zakresie temperatur otoczenia od  $-25^\circ\text{C}$  do  $+55^\circ\text{C}$ , w najgorszym przypadku:

$$\delta_t = |-25^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}| = 45 [^\circ\text{C}],$$

wówczas niepewność  $u(e_{tt})$  jest największa i wynosi:

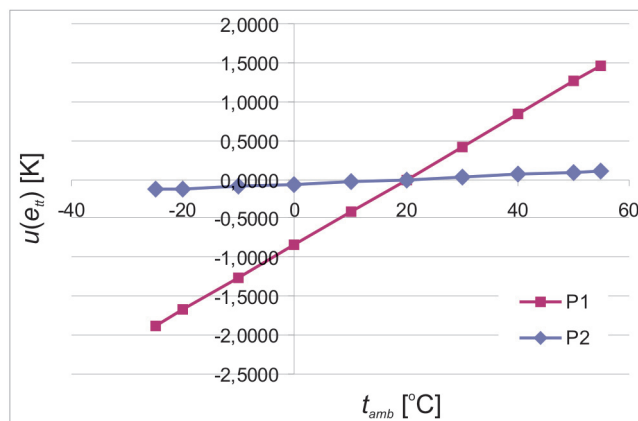
$$u(e_{tt}) = \pm \frac{0,02\%}{100\% \cdot \sqrt{3}} \cdot (273,15 + 90) \cdot 45 [\text{K}]$$

$$u(e_{tt}) = \pm 1,887 [\text{K}]$$

- dla przetwornika P2 niepewność ta szacowana jest na podstawie danych producenta, przy założeniu rozkładu prostokątnego i wynosi:

$$u(e_{tt}) = \pm \frac{0,0015 + \frac{0,001\%}{100\%} \cdot (T_n + \text{FS})}{\sqrt{3}} \cdot \delta_t [\text{K}] \quad (11)$$

$$\delta_t = |t_{amb} - 20^\circ\text{C}|$$



Rys. 4. Wpływ temperatury otoczenia na niepewność pomiaru temperatury przez przetwornik

W zakresie temperatur otoczenia od  $-25^\circ\text{C}$  do  $+55^\circ\text{C}$ , w najgorszym przypadku:

$$\delta_t = |-25^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}| = 45 [^\circ\text{C}],$$

wtedy niepewność  $u(e_{tt})$  jest największa i wynosi:

$$u(e_{tt}) = \pm \frac{0,0015 + \frac{0,001\%}{100\%}}{\sqrt{3}} \cdot (273,15 + 90) \cdot 45 [\text{K}]$$

$$u(e_u) = \pm 0,133 \text{ [K]}$$

### Obliczenie $u(T)$ – złożonej niepewności bezwzględnej pomiaru temperatury

Następnie, z zastosowaniem prawa propagacji niepewności oraz korzystając z wartości poszczególnych składowych wyliczonych w poprzednich punktach, obliczona zostanie złożona niepewność bezwzględna pomiaru temperatury.

$$u(T) = \sqrt{u^2(e_t) + u^2(e_{ts}) + u^2(e_{st})} \text{ [K]} \quad (12)$$

- dla przetwornika P1

$$u(T) = \sqrt{0,275 + 85,341 \cdot 10^{-8} \cdot T^2 + 3,561} \text{ [K]}$$

- dla przetwornika P2

$$u(T) = \sqrt{9,604 \cdot 10^{-3} + 8,335 \cdot 10^{-8} \cdot T^2 + 0,0177} \text{ [K]}$$

### Obliczenie $u_0(T)$ – złożonej niepewności względnej pomiaru temperatury

$$u_0(T) = \pm \frac{u(T)}{T} \cdot 100\% [\%] \quad (13)$$

Niepewność rozszerzona przy poziomie ufności  $p = 95\%$  i współczynnika rozszerzenia  $k = 2$ :

$$U_0(T) = 2 \cdot u_0(T) [\%] \quad (14)$$

- dla przetwornika P1

$$u_0(T) = \frac{\sqrt{0,275 + 85,341 \cdot 10^{-8} \cdot T^2 + 3,561}}{T} \cdot 100\% [\%]$$

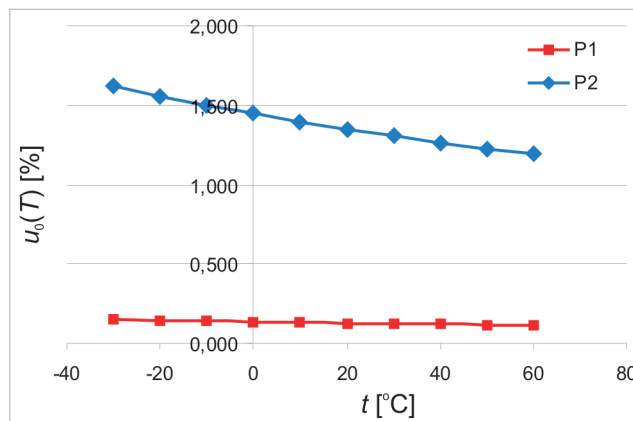
$$U_0(T) = 2 \cdot \frac{\sqrt{0,275 + 85,341 \cdot 10^{-8} \cdot T^2 + 3,561}}{T} \cdot 100\% [\%]$$

- dla przetwornika P2

$$u_0(T) = \frac{\sqrt{9,604 \cdot 10^{-3} + 8,335 \cdot 10^{-8} \cdot T^2 + 0,0177}}{T} \cdot 100\% [\%]$$

$$U_0(T) = 2 \cdot \frac{\sqrt{9,604 \cdot 10^{-3} + 8,335 \cdot 10^{-8} \cdot T^2 + 0,0177}}{T} \cdot 100\% [\%]$$

Jak widać na rysunku 5, złożona niepewność pomiaru temperatury przy użyciu przetwornika spełniającego wymagania wprowadzone przez system oceny zgodności jest kilkukrotnie mniejsza niż w przypadku użycia przetwornika spełniającego wymagania obowiązujące przed wejściem w życie tego systemu.



Rys. 5. Niepewność rozszerzona względna pomiaru temperatury przez przetwornik

### Parametry przetworników ciśnienia

Dwie poniższe tablice przedstawiają zakresy pomiarowe przetworników ciśnienia względnego, odpowiednio P1 i P2.

- a) Parametry przetwornika ciśnienia P1, według danych producenta:

Zakres [bar]			
Zero	Góra	FS	URL
2	20	18	30

$$e_p = 0,1\% \text{ FS}$$

$$e_{ps} = 0,2\% \text{ URL}/2 \text{ lata}$$

$$e_{pt} = 0,018\%/1^\circ\text{C} \text{ (w tym błąd zera)}$$

- b) Parametry przetwornika ciśnienia P2, według danych producenta:

Zakres [bar]			
Zero	Góra	FS	URL
2	20	18	25

Maksymalny błąd pomiarowy w odniesieniu do wartości mierzonej:

- w warunkach odniesienia ( $20^\circ\text{C} \pm 3^\circ\text{C}$ )  $e_{p,odn} \leq 0,2\%$  w znamionowym zakresie temperatur ( $-25^\circ\text{C} \div 55^\circ\text{C}$ )  $e_{p,znam} \leq 0,5\%$ , a w wykonaniu specjalnym –  $e_{p,znam} \leq 0,3\%$ .

Stabilność długoterminowa  $e_{ps} \leq 0,5\%/5 \text{ lat}$ .

### Składowe niepewności pomiaru ciśnienia

Następnie, z uwzględnieniem powyższych danych, możemy oszacować poszczególne składowe niepewności pomiaru ciśnienia przez przetworniki P1 i P2.

$u(e_p)$  – niepewność standardowa pomiaru ciśnienia związana z klasą przetwornika

Niepewność ta szacowana jest na podstawie danych producenta, przy założeniu rozkładu prostokątnego i dla przetwornika P1 wynosi ona:

$$u(e_p) = \pm \frac{e_p}{100\% \cdot \sqrt{3}} [\text{bar}] \quad (15)$$

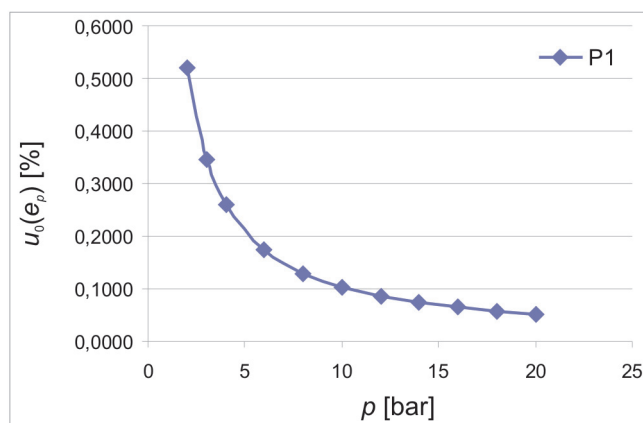
$$u(e_p) = \pm \frac{0,1\% \cdot 18}{100\% \cdot \sqrt{3}} [\text{bar}]$$

$$u(e_p) = \pm 0,010 [\text{bar}]$$

Niepewność względna:

$$u_0(e_p) = \pm \frac{u(e_p)}{p} \cdot 100\% [\%] \quad (16)$$

$$u_0(e_p) = \pm \frac{1}{p} [\%]$$



Rys. 6. Niepewność standardowa względna pomiaru ciśnienia, związana z klasą przetwornika

$u(e_{p,odn})$  – niepewność standardowa pomiaru ciśnienia związana z maksymalnym błędem pomiarowym przetwornika

Niepewność ta szacowana jest na podstawie danych producenta, przy założeniu rozkładu prostokątnego i dla przetwornika P2 wynosi ona:

- w warunkach odniesienia

$$u(e_{p,odn}) = \pm \frac{e_{p,odn}}{100\% \cdot \sqrt{3}} [\text{bar}] \quad (17)$$

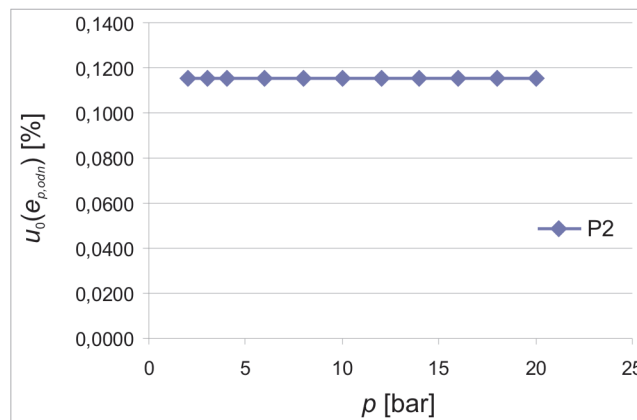
$$u(e_{p,odn}) = \pm \frac{0,2\% \cdot p}{100\% \cdot \sqrt{3}} [\text{bar}]$$

$$u(e_{p,odn}) = \pm 0,001155 \cdot p [\text{bar}]$$

Niepewność względna:

$$u_0(e_{p,odn}) = \frac{u(e_{p,odn})}{p} \cdot 100\% [\%] \quad (18)$$

$$u_0(e_{p,odn}) = \pm 0,1155 [\%]$$



Rys. 7. Niepewność standardowa względna pomiaru ciśnienia, związana z maksymalnym błędem pomiarowym przetwornika, w warunkach odniesienia

- w znamionowych warunkach użytkowania

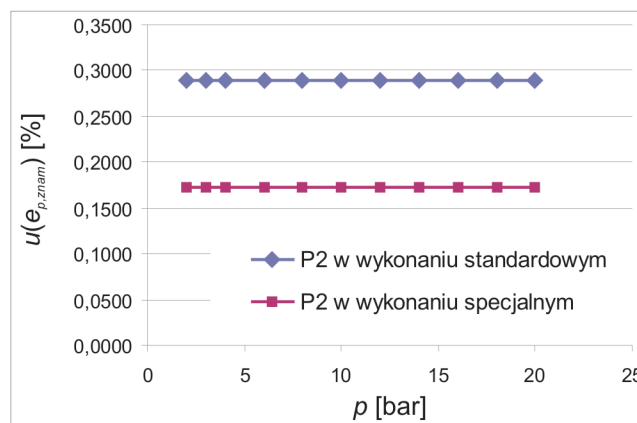
$$u(e_{p,znam}) = \pm \frac{e_{p,znam}}{100\% \cdot \sqrt{3}} [\text{bar}] \quad (19)$$

$$u(e_{p,znam}) = \pm \frac{0,5\% \cdot p}{100\% \cdot \sqrt{3}} [\text{bar}]$$

$$u(e_{p,znam}) = \pm 0,0029 \cdot p [\text{bar}]$$

- w znamionowych warunkach użytkowania, w wykonaniu specjalnym

$$u(e_{p,znam}) = \pm \frac{e_{p,znam}}{100\% \cdot \sqrt{3}} [\text{bar}]$$



Rys. 8. Niepewność standardowa względna pomiaru ciśnienia, związana z maksymalnym błędem pomiarowym przetwornika, w warunkach znamionowych

$$u(e_{p,znam}) = \pm \frac{0,3\% \cdot p}{100\% \cdot \sqrt{3}} [\text{bar}]$$

$$u(e_{p,znam}) = \pm 0,0017 \cdot p [\text{bar}]$$

$u(e_{ps})$  – niepewność standardowa pomiaru ciśnienia związana ze stabilnością roczną wskazań przetwornika

Niepewność ta szacowana jest na podstawie danych producenta, przy założeniu rozkładu prostokątnego i wynosi odpowiednio:

- dla przetwornika P1

$$u(e_{ps}) = \pm \frac{e_{ps}/2}{100\% \cdot \sqrt{3}} [\text{bar}] \quad (20)$$

Ponieważ producent podaje dane  $e_{ps}$  dla okresu dwuletniego, zatem w celach porównawczych – aby oszacować stabilność roczną – wartość ta dzielona jest przez 2.

$$u(e_{ps}) = \pm \frac{(0,2\% \cdot 30)/2}{100\% \cdot \sqrt{3}} [\text{bar}]$$

$$u(e_{ps}) = \pm 0,017 [\text{bar}]$$

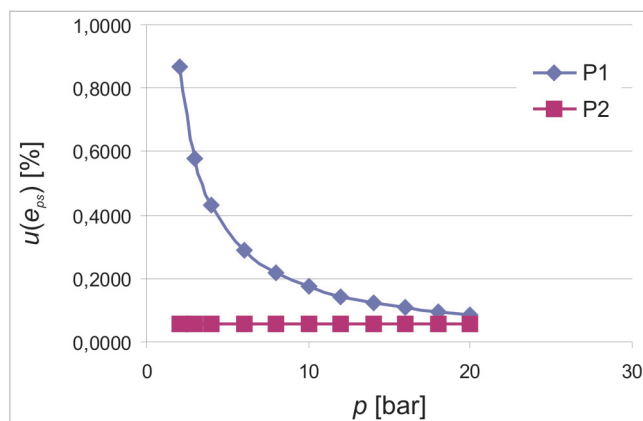
- dla przetwornika P2

$$u(e_{ps}) = \pm \frac{e_{ps}/5}{100\% \cdot \sqrt{3}} [\text{bar}] \quad (21)$$

Ponieważ producent podaje dane  $e_{ps}$  dla okresu pięcioletniego, zatem w celach porównawczych – aby oszacować stabilność roczną – wartość ta dzielona jest przez 5.

$$u(e_{ps}) = \pm \frac{(0,5\% \cdot p)/5}{100\% \cdot \sqrt{3}} [\text{bar}]$$

$$u(e_{ps}) = \pm 0,00058 \cdot p [\text{bar}]$$



Rys. 9. Niepewność standardowa względna pomiaru ciśnienia, związana ze stabilnością roczną wskazań przetwornika

$u(e_{pt})$  – niepewność standardowa pomiaru ciśnienia związana z wpływem temperatury otoczenia na wskazania przetwornika

Niepewność ta szacowana jest na podstawie danych producenta, przy założeniu rozkładu prostokątnego i dla przetwornika P1 wynosi ona:

$$u(e_{pt}) = \pm \frac{e_{pt}}{100\% \cdot \sqrt{3}} \cdot p \cdot \delta_t [\text{bar}] \quad (22)$$

$$\delta_t = |t_{amb} - 20^\circ\text{C}|$$

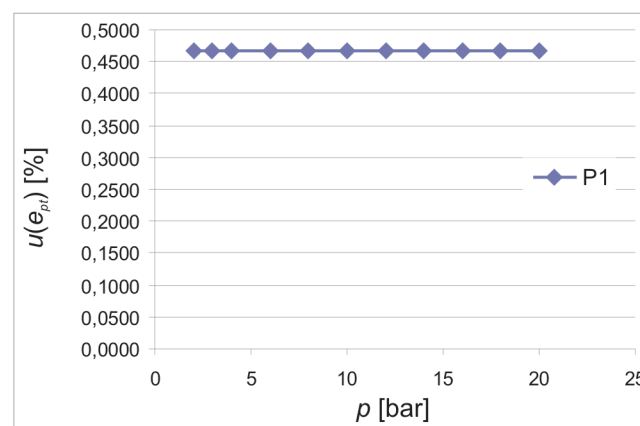
W zakresie temperatur otoczenia od  $-25^\circ\text{C}$  do  $+55^\circ\text{C}$ , w najgorszym przypadku:

$$\delta_t = |-25^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}| = 45 [^\circ\text{C}],$$

wówczas niepewność  $u(e_{pt})$  jest największa i wynosi:

$$u(e_{pt}) = \pm \frac{0,018\%}{100\% \cdot \sqrt{3}} \cdot p \cdot 45 [\text{bar}]$$

$$u(e_{pt}) = \pm 0,0047 \cdot p [\text{bar}]$$



Rys. 10. Wpływ temperatury otoczenia na niepewność pomiaru ciśnienia przez przetwornik

#### Obliczenie $u(p)$ – złożonej niepewności bezwzględnej pomiaru ciśnienia

Poniżej, z zastosowaniem prawa propagacji niepewności oraz korzystając z wyliczonych wcześniej wartości poszczególnych składowych, obliczona zostanie złożona niepewność bezwzględna pomiaru ciśnienia. Obliczone wartości (dla przetworników P1 i P2) są prawdziwe w zakresie temperatur otoczenia od  $-25^\circ\text{C}$  do  $+55^\circ\text{C}$ .

- dla przetwornika P1

$$u(p) = \sqrt{u^2(e_p) + u^2(e_{ps}) + u^2(e_{pt})} [\text{bar}] \quad (23)$$

$$u(p) = \sqrt{10^{-4} + 2,89 \cdot 10^{-4} + 2,5 \cdot 10^{-5} \cdot p^2} [\text{bar}]$$

- dla przetwornika P2

$$u(p) = \sqrt{u^2(e_{p,znam}) + u^2(e_{ps})} [\text{bar}] \quad (24)$$

$$u(p) = \sqrt{8,7464 \cdot 10^{-6} \cdot p^2} [\text{bar}]$$

$$u(p) = \pm 0,003 \cdot p [\text{bar}]$$

W wykonaniu specjalnym:

$$u(p) = \sqrt{u^2(e_{p,znam}) + u^2(e_{ps})} [\text{bar}]$$

$$u(p) = \sqrt{3,23 \cdot 10^{-6} \cdot p^2} [\text{bar}]$$

$$u(p) = \pm 0,002 \cdot p [\text{bar}]$$

**Obliczenie  $u_0(p)$  – złożonej niepewności względnej pomiaru ciśnienia**

$$u_0(p) = \frac{u(p)}{p} \cdot 100\% [\%] \quad (25)$$

Niepewność rozszerzona przy poziomie ufności  $p = 95\%$  i współczynnika rozszerzenia  $k = 2$  wynosi:

$$U_0(p) = 2 \cdot u_0(p) [\%] \quad (26)$$

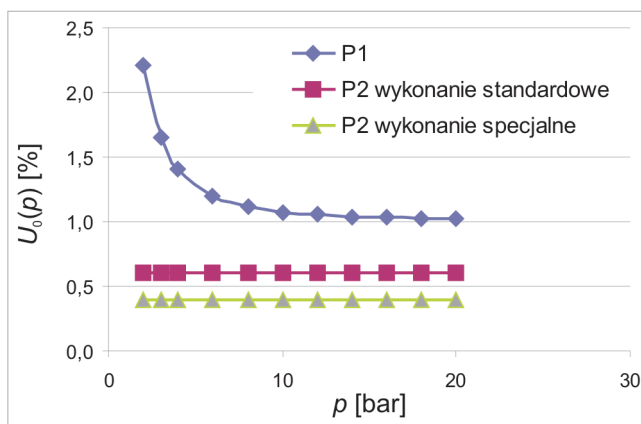
- dla przetwornika P1

$$u_0(p) = \frac{\sqrt{10^{-4} + 2,89 \cdot 10^{-4} + 2,5 \cdot 10^{-5} \cdot p^2}}{p} \cdot 100\% [\%]$$

$$U_0(p) = 2 \cdot \frac{\sqrt{3,89 \cdot 10^{-4} + 2,5 \cdot 10^{-5} \cdot p^2}}{p} \cdot 100\% [\%] \quad (27)$$

- dla przetwornika P2

$$u_0(p) = \frac{0,003 \cdot p}{p} \cdot 100\% [\%]$$



Rys. 11. Rozszerzona niepewność pomiaru ciśnienia przez przetwornik

$$u_0(p) = 0,3 [\%]$$

$$U_0(p) = 0,6 [\%]$$

W wykonaniu specjalnym:

$$u_0(p) = \frac{0,002 \cdot p}{p} \cdot 100\% [\%]$$

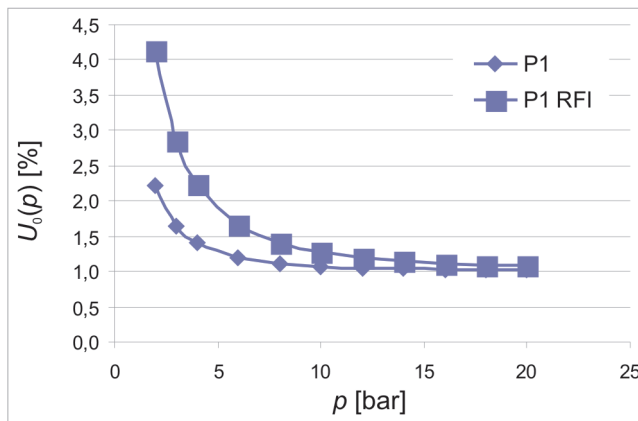
$$u_0(p) = 0,2 [\%]$$

$$U_0(p) = 0,4 [\%]$$

Jak widać na rysunku 11, złożona niepewność pomiaru z zastosowaniem przetwornika spełniającego wymagania systemu oceny zgodności jest nie tylko mniejsza niż w przypadku zastosowania przetwornika spełniającego wymagania metrologiczne przed wprowadzeniem systemu oceny zgodności, ale dodatkowo jest wartością stałą w całym zakresie pomiarowym przetwornika. Spadek niepewności pomiaru ciśnienia mierzonego przetwornikiem spełniającym wymagania wprowadzone przez system oceny zgodności powinien wpłynąć szczególnie na dokładność pomiaru ciśnień na stacjach rozliczeniowych średniego oraz średniego podwyższonego ciśnienia.

**Oporność przetworników na działanie pól elektromagnetycznych**

Złożona niepewność pomiaru ciśnienia przetwornikiem P1, przedstawiona równaniem (27), została obliczona dla normalnych warunków pracy przetwornika (w zakresie temperatur otoczenia od  $-25^{\circ}\text{C}$  do  $+55^{\circ}\text{C}$ ), nie uwzględniając możliwego wpływu zaburzeń takich jak interferencja pól elektromagnetycznych o częstotliwości radiowej. Producent przetwornika P1 w jego dokumentacji podaje maksymalny błąd  $e_{pRFI} = 0,2\%$  URL dla pola elek-



Rys. 12. Wpływ zaburzeń elektromagnetycznych o częstotliwości radiowej na złożoną niepewność pomiaru ciśnienia



tromagnetycznego o natężeniu 30 V/m i o częstotliwości w zakresie 20÷1000 MHz. Gdyby w złożonej niepewności pomiaru ciśnienia przetwornikiem P1 uwzględnić składową związaną z błędem  $e_{pRFI}$  wówczas niepewność złożona wyniosłaby:

$$U_0(p) = 2 \cdot \frac{\sqrt{16,14 \cdot 10^{-4} + 2,5 \cdot 10^{-5} \cdot p^2}}{p} \cdot 100\%[\%]$$

Wzrost niepewności pomiaru ciśnienia przy oddziaływaniu zaburzeń elektromagnetycznych został zilustrowany na rysunku 12.

Przetwornik P2 natomiast, zgodnie z wymaganiami

dyrektywy MID [5] oraz normy PN-EN 12401-1 + A2:2010 [8] i zaleceń OIML R140:2007 [9], musi być odporny na oddziaływanie pól elektromagnetycznych o natężeniu 10 V/m i częstotliwości w zakresie:

- 800÷960 MHz oraz 1,4÷2 GHz dla zaburzeń promieniowanych,
- 0,15÷80 MHz dla zaburzeń przewodzonych.

Oznacza to, że także w przypadku przetwornika P2 – pod wpływem powyższych zaburzeń – jego maksymalny błąd pomiarowy musi mieścić się w granicach MPE, dla określonych przez producenta znamionowych warunków użytkowania.

### Podsumowanie

Wynikiem wprowadzenia systemu oceny zgodności, w miejsce przepisów obowiązujących przed wejściem w życie dyrektywy MID [5], jest znacząca poprawa jakości przeliczników i przetworników. Wskazuje na to ogrom i wysoki poziom wymagań stawianych podczas oceny zgodności. Należy zauważyć, iż w przypadku przeliczników typu 2 ocenie zgodności podlega nie tylko sam kalkulator, ale całe urządzenie, tj. kalkulator wraz z zewnętrznymi przetwornikami pomiarowymi (np. ciśnienia i temperatury). Urządzenie, które pozytywnie przejdzie ocenę zgodności nie będzie mogło podlegać podczas użytkowania żadnym modyfikacjom, regulacjom czy adiustacjom – mogącym wpłynąć na zmianę charakterystyk metrologicznych lub zgodność z wymaganiami

zasadniczymi. Biorąc pod uwagę, iż ważnym źródłem niepewności pomiaru objętości gazu jest niepewność pomiaru jego temperatury i ciśnienia, zatem tak istotna poprawa jakości przetworników pomiarowych jak zostało to pokazane w niniejszym artykule powinna w znaczący sposób wpłynąć na zwiększenie dokładności pomiarów rozliczeniowych w gazownictwie. Przyczynić się do tego powinny niskie wartości dopuszczalnych maksymalnych błędów pomiarowych przetworników oraz niskie wartości niepewności pomiaru ciśnienia i temperatury, związane z poprawą niektórych parametrów przetworników: m.in. stabilności charakterystyk metrologicznych w czasie, czy też odporności na działanie temperatury otoczenia oraz różnego rodzaju zaburzeń – w tym elektromagnetycznych.

Artykuł nadesłano do Redakcji 27.04.2011 r. Przyjęto do druku 28.04.2011 r.

Recenzent: prof. dr inż. Andrzej Froński

### Literatura

- [1] Dyrektywa 2004/22/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 31.03.2004 r. w sprawie przyrządów pomiarowych (D.U. UE nr L135 z dnia 30.04.2004 r.).
- [2] Jaworski J.: *Rola systemu certyfikacji w zapewnieniu jakości wyrobów w gazownictwie*. Gaz, Woda i Technika Sanitarna nr 10, 2009.
- [3] Jaworski J.: *Zmiany w przepisach metrologicznych dotyczących gazomierzy*. Materiały konferencyjne, Poznań 2008.
- [4] Kułaga P.: *Wymagania oraz badania przeliczników objętości gazu w świetle wymagań dyrektywy metrologicznej i norm zharmonizowanych*. Gaz, Woda i Technika Sanitarna nr 12, 2010.
- [5] Międzynarodowe zalecenia OIML R140:2007, *Measuring systems for gaseous fuel*.
- [6] Norma PN-EN 12405-1 + A2:2010 *Gazomierze – Przeliczniki. Część 1: Przeliczanie objętości*.
- [7] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 18.12.2006 r. w sprawie zasadniczych wymagań dla przyrządów pomiarowych (Dz.U. z 2007 r. nr 3, poz. 27).
- [8] Tyszownicka M., Jaworski J.: *Nowe podejście do kontroli metrologicznej przeliczników w świetle wymagań dyrektywy MID*. Nafta-Gaz nr 12, 2010.
- [9] Ustawa z dnia 30.08.2002 r. o systemie oceny zgodności (Dz.U. z 2004 r. nr 204, poz. 2087 wraz z późniejszymi zmianami).



Mgr inż. Monika TYSZOWNICKA – absolwentka Wydziału Inżynierii Elektrycznej i Komputerowej, Politechniki Krakowskiej. Pracownik Zakładu Metrologii Przepływów INiG w Krakowie. Współtwórcza w pełni zautomatyzowanego stanowiska do badań przeliczników objętości gazu oraz przetworników ciśnienia i temperatury. Zainteresowania: metrologia elektryczna wielkości nieelektrycznych.