



Politechnika Wroclawska

Podstawy Metrologii i Technik Eksperymentu

Laboratorium

BŁĘDY W POMIARACH BEZPOŚREDNICH

Instrukcja do ćwiczenia nr 2

Zespół Miernictwa
Wrocław, marzec 2022 r.

BŁĘDY W POMIARACH BEZPOŚREDNICH

1. CEL ĆWICZENIA

Celem ćwiczenia jest wyznaczenie niepewności rozszerzonej pomiaru grubości ścianek. Pomiar obejmuje wyznaczenie niepewności ścianki rurociągu stalowego oraz niepewności ścianki podkładki stalowej. Badania wykonane zostaną za pomocą grubościomierza ultradźwiękowego i grubościomierza zegarowego.

2. WSTĘP [1,2,3]

Metoda pomiarowa bezpośrednia to metoda, w której wartość wielkości mierzonej otrzymuje się bezpośrednio, bez potrzeby wykonywania dodatkowych obliczeń opartych na zależnościach funkcyjnych wielkości mierzonej [1]. Przykłady: pomiar temperatury, ciśnienia statycznego płynącego gazu w rurociągu, pomiar wilgotności powietrza atmosferycznego, pomiar ciśnienia barometrycznego, pomiar długości za pomocą suwmiarki.

Wynik pomiaru bezpośredniego, dla serii pomiarów x_1, x_2, \dots, x_N tej samej wielkości fizycznej, można przedstawić za pomocą ogólnego równania [1]:

$$X = (X_s + \sum P) \pm U(X) \quad (1)$$

gdzie: X_s - średni wynik surowy, bez korekcji błędu systematycznego $X_s = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N}$

$\sum P$ - suma poprawek kompensujących wyznaczalne błędy systematyczne,

$U(X)$ - niepewność rozszerzona wielkości X .

Niepewność rozszerzoną pomiaru wielkości X wyraża równanie:

$$U(X) = k \cdot u(X), \quad (2)$$

w którym: k - współczynnik rozszerzenia, który dla rozkładu normalnego przyjmuje najczęściej wartość z przedziału $k \in \langle 2,3 \rangle$,

$u(X)$ - niepewność standardowa złożona wielkości X .



Uwzględniając istotne źródła niepewności równanie (1) można przedstawić w postaci [1]:

$$X = W + P_w + P_r + P_{ws} \quad (3)$$

gdzie:

- W – średnia wskazań przyrządu,
- P_w – poprawka wskazania przyrządu,
- P_r – poprawka kompensująca błąd rozdzielczości przyrządu,
- P_{ws} – poprawka związana z warunkami środowiskowymi.

Niepewność standardową złożoną wyznacza się z równania:

$$u(X) = \sqrt{\left(\frac{\partial X}{\partial W}\right)^2 u^2(W) + \left(\frac{\partial X}{\partial P_w}\right)^2 u^2(P_w) + \left(\frac{\partial X}{\partial P_r}\right)^2 u^2(P_r) + \left(\frac{\partial X}{\partial P_{ws}}\right)^2 u^2(P_{ws})} \quad (4)$$

Po przekształceniach otrzymamy:

$$u(X) = \sqrt{u^2(W) + u^2(P_w) + u^2(P_r) + u^2(P_{ws})} \quad (5)$$

w którym:

- $u(W)$ - niepewność wskazania,
- $u(P_w)$ - niepewność poprawki wskazania,
- $u(P_r)$ - niepewność poprawki związanej z rozdzielczością przyrządu,
- $u(P_{ws})$ - niepewność poprawki związanej z warunkami środowiskowymi.

3.OBLICZENIA SKŁADOWYCH NIEPEWNOŚCI RÓWNANIA (5) [1]

$u(W)$ – niepewność tą oblicza się najczęściej z rozrzutu wyników wskazania, metodą typu A, z równania:

$$u(W) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (w_i - w)^2}{N(N-1)}} \quad (6)$$

gdzie:

w – średnia wyników,

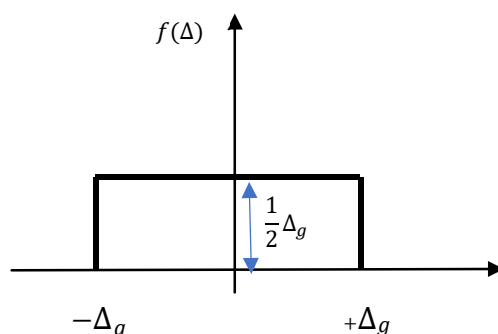
w_i – pojedyncze wskazanie przyrządu ,

N – liczba pomiarów.

$u(P_w)$ – korzysta się z tablic poprawek lub krzywej kalibracji; jeżeli nie dysponujemy poprawkami wskazań przyjmuje się , że poprawka wynosi $P_w = 0$, a niepewność tej poprawki wyznacza się metodą typu B znając błąd graniczny Δ_g .



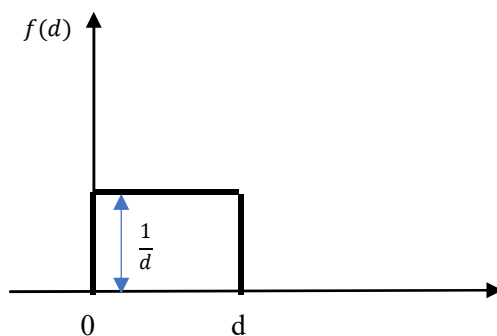
Zakładając, że błędy graniczne mają rozkład prostokątny jak na rysunku 1, to odchylenie standardowe takiego rozkładu, które jest niepewnością standardową typu B wynosi:



Rys 1. Rozkład jednostajny błędów granicznych

$$u_B = \frac{\Delta_g}{\sqrt{3}} \quad (7)$$

$u(P_r)$ - przyjmuje się, że poprawka wynosi 0, a błędy rozdzielczości mają rozkład jak na rysunku 2.



Rys.2. Rozkład jednostajny błędów rozdzielczości

Odchylenie standardowe takiego rozkładu, które jest niepewnością standardową typu B wynosi:

$$u_B = \frac{d}{\sqrt{12}} \quad (8)$$

$u(P_{ws})$ - jeżeli poprawką związaną z warunkami środowiskowymi jest poprawka temperaturowa to można ją wyznaczyć z następującego równania [1]:

$$P_{ws} = W \cdot \alpha \cdot \delta t \quad (9)$$

gdzie:

W - wskazanie przyrządu,

α - uśredniony współczynnik rozszerzalności cieplnej,

δt - różnica temperatur przyrządu i mierzonego elementu.



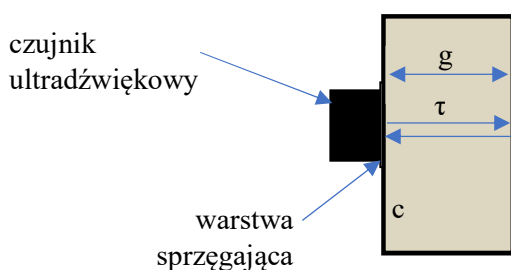
Niepewność poprawki temperatury wyznacza równanie [1]:

$$u(P_{ws}) = W \cdot \alpha \cdot u \cdot (\delta t) \quad (10)$$

4. ULTRADŹWIĘKOWY POMIAR GRUBOŚCI ŚCIANKI.

Grubość ścianki przewodu, mierzona grubościomierzem ultradźwiękowym, g wyznaczana jest z równania (11) poprzez pomiar czasu przejścia τ echa podłużnej fali ultradźwiękowej od czujnika do tylnej ścianki przewodu i z powrotem. Do wyznaczenia grubości ścianki potrzebna jest również znajomość prędkości fali podłużnej c w danym materiale. Dla podstawowych materiałów przedstawia je tabela 1.

$$g = \frac{c \cdot \tau}{2} \quad (11)$$



Rys.3. Sposób wyznaczenia grubości ścianki przewodu

Tabela 1. Prędkość podłużnej fali ultradźwiękowej w wybranych materiałach

Rodzaj materiału	Prędkość podłużnej fali ultradźwiękowej
polietylen	$c = 950 \frac{m}{s}$
szkło organiczne	$c = 2350 \frac{m}{s}$
mosiądz	$c = 4450 \frac{m}{s}$
miedź	$c = 5010 \frac{m}{s}$
stal nierdzewna	$c = 5740 \frac{m}{s}$
stal	$c = 5920 \frac{m}{s}$
aluminium	$c = 6400 \frac{m}{s}$

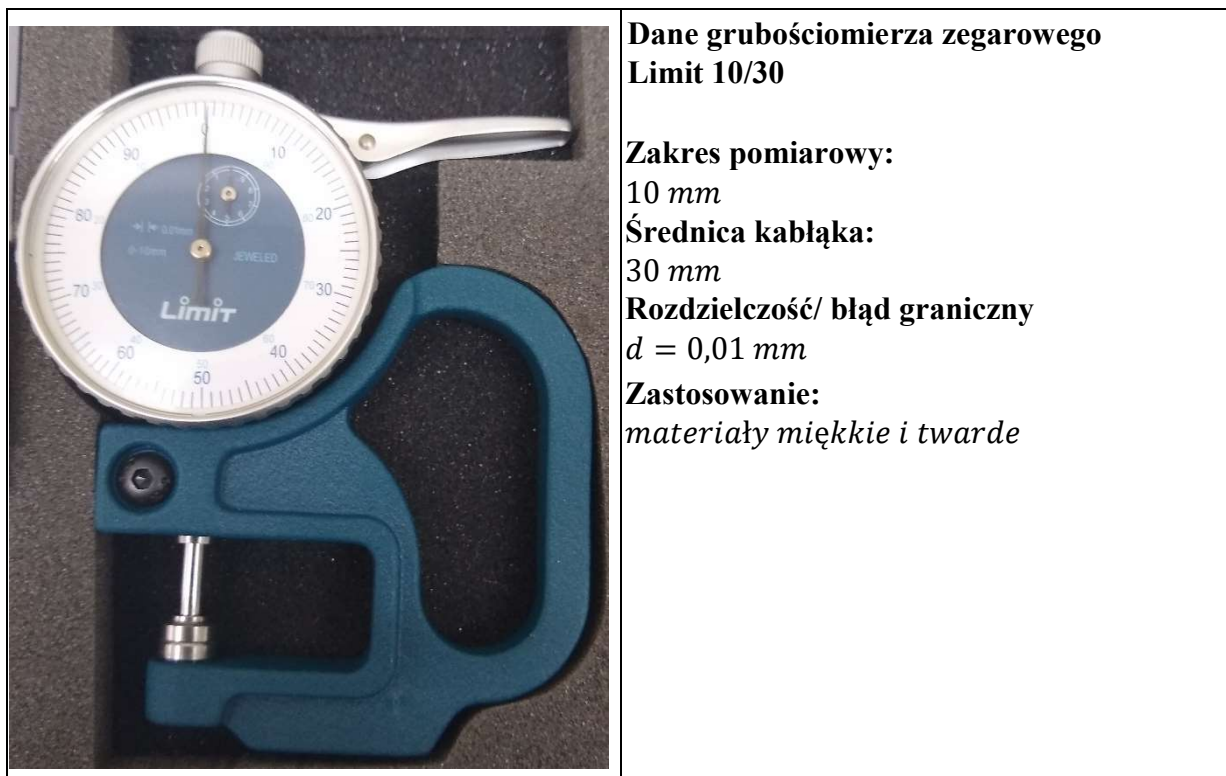


Rysunek 4. Przedstawia zdjęcie grubościomierza ultradźwiękowego.



Rys.4. Grubościomierz ultradźwiękowy Limit 5600

Grubość ścianki z grubościomierza zegarowego odczytuje się bezpośrednio ze wskaźnika zegarowego.



Rys.5. Grubościomierz zegarowy Limit 10/30



5. SPOSÓB REALIZACJI ĆWICZENIA

5a. Pomiar grubości ścianki przewodu grubościomierzem ultradźwiękowym.

1. Sprawdzić poprawność wskazań grubościomierza,
2. Wprowadzić do pamięci grubościomierza kod materiału z jakiego wykonano przewód,
3. Zmierzyć 20 krotnie grubość ścianki przewodu: g_1, g_2, \dots, g_{20} ,
4. Na podstawie rozrzutu wyników wyznaczyć z równania (6) metodą typu A niepewność wskazania, przyjmując: $W = g, w_i = g_i, u(W) = u(g)$,
5. Wyznaczyć z równania (7) metodą typu B niepewność poprawki wskazania $u(P_w)$, korzystając z danych grubościomierza zamieszczonych na rysunku 4,
6. Wyznaczyć metodą typu B z równania (8) niepewność rozdzielczości $u(P_r)$ przyjmując rozdzielczość przyrządu $d = 0,01 \text{ mm}$,
7. Obliczyć niepewność standardową złożoną z równania (5),
8. Dobrać współczynnik rozszerzenia k ,
9. Zapisać poprawnie wynik pomiaru.

5b. Pomiar grubości ścianki grubościomierzem zegarowym.

1. Zmierzyć 20 krotnie grubość podkładki: s_1, s_2, \dots, s_{20} ,
2. Na podstawie rozrzutu wyników wyznaczyć z równania (6) metodą typu A niepewność wskazania, przyjmując: $W = s, w_i = s_i, u(W) = u(s)$,
3. Wyznaczyć z równania (7) metodą typu B niepewność poprawki wskazania $u(P_w)$, korzystając z danych grubościomierza zamieszczonego na rysunku 5,
4. Obliczyć niepewność standardową złożoną z równania (5),
5. Dobrać współczynnik rozszerzenia k ,
6. Zapisać poprawnie wynik pomiaru.

7. POPRAWKA $u(P_{ws})$ - ZWIĄZANA Z WARUNKAMI ŚRODOWISKOWYMI

Poprawkę tą należałoby uwzględnić, w przypadku gdy pomiar odbywa się w temperaturze innej niż ta dla której przyrząd wzorcowano $20^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$. Zmienia się wtedy prędkość fali ultradźwiękowej i mogą wystąpić błędy związane z pomiarem czasu przejścia echa. Jednak zmiany temperatury w granicach \pm kilka stopni od temperatury wzorcowania nie wpływają znacząco na wartość prędkości fali ultradźwiękowej w danym materiale i można przyjąć iż wynosi ona $P_{ws} = 0$ oraz jej niepewność $u(P_{ws}) = 0$.

8. DOBÓR WSPÓŁCZYNNIKA ROZSZERZENIA k

Przyjmujemy, że dla więcej niż 3 zmiennych wchodzących w skład równania (5) wypadkowy ich rozkład dąży do rozkładu normalnego (wg Centralnego Twierdzenia Granicznego). Zatem dla $\alpha = 0,954$ $k = 2$.



W przypadku pominięcia niepewności poprawki związanej z rozdzielczością równanie 5 przybiera następującą postać:

$$(X) = \sqrt{u^2(W) + u^2(P_w)} \quad (12)$$

Zawiera ono dwie składowe o rozkładach normalnym i jednostajnym. Współczynnik rozszerzenia oblicza się wtedy [1] badając relacje między odchyleniami standardowymi dla pojedynczego pomiaru:

dla rozkładu normalnego $\sigma_N = \sqrt{N} \cdot u(\bar{W})$

dla rozkładu jednostajnego $\sigma_J = u_B$

Jeżeli $\sigma_N > \sigma_J$ to współczynnik rozszerzenia przyjmuje się jak dla rozkładu normalnego tj. $k = 2$ dla $\alpha = 0,954$ lub $k = 3$ dla $\alpha = 0,997$. W przeciwnym razie $k = \sqrt{3}\alpha$.

Przykład tabeli pomocniczej do obliczeń niepewności

i	grubość ścianki g_i, mm	d $g_i - g, mm$	d^2 $(g_i - \bar{g})^2, mm$
1			
2			
...
10			
Σ		-	

9. PRZYKŁADOWE PYTANIA KONTROLNE

1. Definicja metody bezpośredniej
2. Równanie na wynik pomiaru z wyjaśnieniem wielkości wchodzących w jego skład
3. Równanie na niepewność standardową z wyjaśnieniem wielkości wchodzących w jego skład
4. Sposób wyznaczenia niepewności wskazania
5. Sposób wyznaczenia poprawek wchodzących w skład równania na niepewność standardową
6. Zasada działania grubościomierza ultradźwiękowego

7. LITERATURA

1. Jerzy Arendarski: *Niepewność pomiarów*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej 2006
2. Danuta Turzeniecka: *Ocena niepewności wyniku pomiaru*, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej 1977
3. John.R. Taylor: *Wstęp do analizy błęd pomiarowego*, PWN, Warszawa 1999

