

Metodyczne błędy pomiaru temperatury termometrem przemysłowym

Igor Kurytnik

Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa im. rtm. Witolda Pileckiego, Instytut Zarządzania i Inżynierii Produkcji, ul. Kolbego 8, 32-600 Oświęcim

Zbigniew Juszkiewicz

Limatherm Sensor Sp. z o.o., ul. Tarnowska 1, 34-600 Limanowa

Streszczenie: W artykule przedstawiono model matematyczny termometru przemysłowego, zamontowanego w ścianie obiektu (np. rurociągu) i przeanalizowano metodyczne błędy pomiaru temperatury spowodowane odprowadzaniem ciepła wzdłuż osłony termometru.

Słowa kluczowe: termometr przemysłowy, błędy metodyczne, przewodność cieplna

W procesach pomiarów wysokiej temperatury metodami dotykowymi powstają metodyczne błędy spowodowane odprowadzeniem ciepła wzdłuż osłony termometru [1–5]. Osłony przemysłowych termometrów zazwyczaj wykonane są z ceramiki lub stali. Przewodność cieplna stali (~45 W/mK) jest dużo większa niż ceramiki na bazie tlenku glinu Al_2O_3 . W związku z tym w modelu (rys. 1) osłona termometru przedstawiona jest w postaci jednorodnej rury stalowej o długości L , której jeden koniec zamocowano w ścianie rurociągu. Temperatura miejsca zamocowania termometru uważana jest za równą temperaturze ścianki t_s , różni się ona od temperatury t_e elementu pomiarowego termometru (rezystor termometryczny lub spoina termopary umieszczony na końcu termometru), jak również od temperatury t_g kontrolowanego środowiska w rurociągu. Założono, że w każdym przekroju zastosowanego modelu rozkład temperatur jest równomierny i temperatura zmienia się tylko wzdłuż osi termometru.

Równanie, które opisuje zmianę temperatury wzdłuż takiego idealnego termometru ma postać:

$$\frac{d^2(t(x))}{dx^2} = n^2 [t_g - t_x] \quad (1)$$

gdzie:

$$n = \sqrt{\frac{\pi \alpha d}{\lambda s}} = \sqrt{\frac{\alpha}{\lambda \cdot \delta}} \quad (2)$$

α – współczynnik przewodności cieplnej ze środowiska do czułego elementu pomiarowego (termometrycznego rezystora lub spoiny termopary) [W/mK], λ – współczynnik przewodności cieplnej materiału osłony termometru [W/mK], s – powierzchnia poprzecznego cięcia osłony: $s = \pi d \delta$, gdzie δ – grubość ścianki osłony [m²], d – średnica osłony termometru [m].

Autor korespondujący:

Igor Kurytnik, igor.kurytnik@pwsz-oswiecim.edu.pl

Artykuł recenzowany

nadesłany 27.01.2018 r., przyjęty do druku 05.03.2018 r.



Zezwala się na korzystanie z artykułu na warunkach licencji Creative Commons Uznanie autorstwa 3.0

Ilość ciepła, która przechodzi przez dno osłony ($x = 0$) została przyjęta równa zero. W takim wypadku:

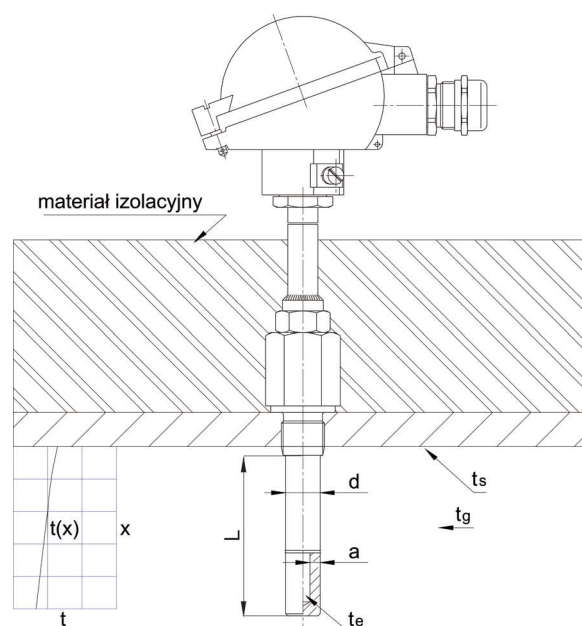
$$\left. \frac{dt(x)}{dx} \right|_{x=0} = 0 \quad (3)$$

Rozwiązując równanie (1) otrzymano:

$$\frac{t_g - t(x)}{t_g - t_s} = \frac{\cosh(n \cdot x)}{\cosh(n \cdot l)} \quad (4)$$

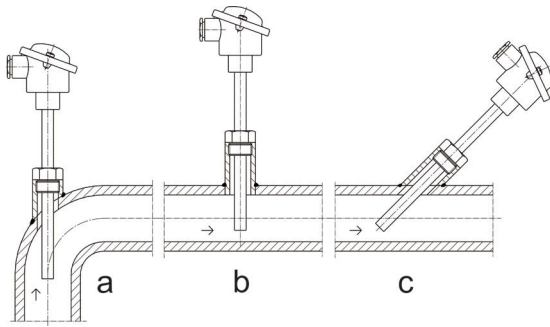
Z tego wyrażenia przy $x = 0$ otrzymano wzór dla obliczenia poprawki $\Delta_t = t_e - t_g$ (błąd metodyczny Δ_m)

$$\Delta_m = t_e - t_g = \frac{t_g - t_s}{\cosh(n \cdot l)} \quad (5)$$



Rys. 1. Schemat zamontowania termometru w ścianie rurociągu i rozkład temperatury wzdłuż jego osłony

Fig. 1. Diagram of mounting the thermometer in the pipeline wall and temperature distribution along thermowell



Rys. 2. Przykłady montażu termometru
Fig. 2. Examples of thermometer mounting

Temperatura termometru przy $x = 0$ może być z niektórym przybliżeniem równa temperaturze spoiny termopary. Przy pomiarach temperatury rezystancyjnymi czujnikami z powodu dość znacznych rozmiarów elementów średnia temperatura elementu t_e będzie mniejsza od temperatury czujnika. Przy długości rezystora l_r metodyczny błąd Δ_m można obliczyć stosując wzór:

$$\Delta_m = \frac{t_g - t_0}{\cosh(n \cdot l)} \cdot \frac{\sinh(l \cdot n \cdot b)}{l \cdot n \cdot b} \quad (6)$$

gdzie: t_0 – temperatura dna osłony.

Dlatego, aby temperatura końca osłony i elementu były jednokowe, w termometrach należy zabezpieczyć dobry cieplny kontakt elementu z osłoną.

Metodyczny błąd pomiarów, jak to widać z równania (6) może być zmniejszony drogą podwyższenia temperatury t_0 , (dlatego trzeba miejsce połączenia termometru ze ścianką rurociągu zaizolować) lub zwiększyć głębokość zanurzenia termometru.

Obliczenia [2] błędów pomiaru temperatury powietrza w rurociągu rzędu 350 °C termometrem rezystancyjnym w stalowej osłonie o średnicy 21 mm i grubością ścianki 4 mm pokazały, że:

1. Przy prędkości powietrza 4 m/s i głębokościach zanurzenia $L = 350$ mm oraz 650 mm, błąd metodyczny wynosi odpowiednio $(-0,2$ °C i $-0,006$ °C).
2. Przy prędkości powietrza 10 m/s i tych samych głębokościach zanurzenia wartości błędów są znikome $(-0,02$ °C i $-0,00007$ °C).
Jednak w rurociągu o dużych średnicach trudno zabezpieczyć wymagane zanurzenie termometrów. W praktyce termometr zanurza się na głębokość 10–15 krotność średnicy osłony dla gazów lub 5–10 krotność średnicy osłony dla cieczy. W rurociągach o małych średnicach ($\phi 50$ –100 mm i mniej) należy montować termometry pod kątem (rys. 2c) lub na kolanie rurociągu (rys. 2a).

Warto pamiętać, że współczynnik wymiany ciepła jest większy przy poprzecznym (rys. 2b) omywaniu termometra, niż przy kątowym (rys. 2c) lub wzdłużnym (rys. 2a).

Warunki przy pomiarach temperatury płynów są lepsze, ponieważ współczynnik ciepła przewodności dla płynów jest większy niż powietrza: wody – 0,6 W/mK, powietrza – 0,022 W/mK.

Przedstawione rozważania wskazują, że przy prawidłowym montażu termometrów błędy metodyczne są pomijalne.

Bibliografia

1. Lieneweg F. *Handbuch der technischen Temperaturmessung*. Wydawnictwo "Friedrich Vieweg und Sohn Verlagsgesellschaft mbH", Braunschweig 1976.
2. Preobrażenski W.P., *Tieplotiechničeskie izmiernienia i pribory*. Wydawnictwo „Energia”, Moskwa, 1978.
3. Bernhazd F., *Technische Temperaturmessung*. Wydawnictwo „Springer – Verlag”, Berlin 2012.
4. Leino R., *Jak sprostować wyzwanie poprawnego pomiaru temperatury*. „Control Engineering, Polska”, Nr 4, 2015, 72–74.
5. Olejnik B.N., Łazdina S.I., Łazdin O.M., Żagułło O.M., *Pribory i metody temperaturnych izmerenij*. Wydawnictwo „Standardów”, Moskwa 1987.

Methodical errors of temperature measurement using industrial thermometer

Abstract: The paper presents a mathematical model of an industrial thermometer installed in a building wall (e.g. pipeline) and analyzed a methodical errors of temperature measurement, caused by heat dissipation along the thermometer's sheath.

Keywords: industrial thermometer, methodical errors, thermal conductivity

prof. dr hab. inż. Igor Piotr Kurytnik

igor.kurytnik@pwsz-oswiecim.edu.pl

Profesor zwyczajny Państwowej Wyższej Szkoły Zawodowej w Oświęcimiu (kierownik Zakładu Inżynierii Procesów i Jakości). Z wyróżnieniem ukończył Wydział Automatyki i Elektroniki Politechniki Lwowskiej (1968 r.). Obrona doktoratu – 1973 r., habilitacja – 1987 r., prof. tytularny – 1990 r. Jest autorem ponad 250 patentów i publikacji naukowo-technicznych z zakresu technik informacyjno-pomiarowych. Członek Akademii Inżynierskich w Polsce i na Ukrainie. Reprezentant Polskiego Komitetu Normalizacyjnego, konsultant do spraw rozwoju firmy Limatherm Sensor.



mgr inż. Zbigniew Juszkiewicz

juszkiewicz.z@limathermsensor.pl

Absolwent Wydziału Mechanicznego Politechniki Krakowskiej. Od 2004 r. Prezes Zarządu Limatherm Sensor Sp. z o.o. – producenta przemysłowych czujników temperatury oraz automatyki pomiarowej.

