

Badania efektu samonagrzewania czujników termorezystancyjnych w pomiarach przepływu

Anna Szlachta

Politechnika Rzeszowska, Wydział Elektrotechniki i Informatyki, Katedra Metrologii i Systemów Diagnostycznych,
ul. Wincentego Pola 2 (bud. A), 35-959 Rzeszów

Eligiusz Pawłowski

Politechnika Lubelska, Wydział Elektrotechniki i Informatyki, Katedra Automatyki i Metrologii, ul. Nadbystrzycka 38 A, 20-618 Lublin

Przemysław Otomański

Politechnika Poznańska, Instytut Elektrotechniki i Elektroniki Przemysłowej, ul. Piotrowo 3A, 60-965 Poznań

Streszczenie: W artykule zaprezentowano eksperymentalną metodę wyznaczania rezystancji termicznej przemysłowych czujników termorezystancyjnych w ruchomym medium. Proponowana metoda pozwala na dobór prądu pomiarowego, który utrzymuje błąd pomiaru temperatury na akceptowalnym poziomie. Jednocześnie umożliwia określenie prędkości przepływu medium otaczającego czujnik.

Słowa kluczowe: przemysłowe czujniki termorezystancyjne, IPRT, efekt samonagrzewania, termoanemometr, pomiar przepływu

1. Wprowadzenie

Temperatura jest parametrem, który wpływa na przebieg większości zjawisk fizycznych i procesów przemysłowych, biologicznych, a nawet społecznych. Do jej pomiaru stosuje się różne rodzaje czujników i przetworników. Do często stosowanych czujników temperatury w praktyce należą czujniki termorezystancyjne: metalowe i półprzewodnikowe. Problematyka właściwego stosowania rezystancyjnych czujników temperatury RTD (ang. *Resistance Temperature Detectors*) oraz stawiane im wymagania są omówione w dokumentach normatywnych [1–3, A1, A2, A3]. Rozróżnia się w nich dwa rodzaje czujników termorezystancyjnych: wzorcowe platynowe termometry rezystancyjne o wysokiej stabilności i dokładności SPRT (ang. *Standard Platinum Resistance Thermometers*) [1] oraz mniej dokładne przemysłowe platynowe termometry rezystancyjne IPRT (ang. *Industrial Platinum Resistance Thermometers*) [2].

Podczas stosowania czujnika termorezystancyjnego istotnym problemem jest jego samonagrzewanie, spowodowane prądem pomiarowym przepływającym przez czujnik. Zjawisko to może powodować znaczne błędy pomiarowe, zależne od wartości prądu pomiarowego oraz od warunków wymiany ciepła między czujnikiem i jego otoczeniem. W przypadku czujników wzorcowych SPRT efekt samonagrzewania jest

korygowany odpowiednią procedurą podaną w przewodniku [1]. Zagadnienie to jest również szeroko opisywane w literaturze. Natomiast w przypadku czujników przemysłowych IPRT efekt samonagrzewania jest jedynie wspomniany w dokumentach normatywnych [4, A1, A3] oraz w stosunkowo nielicznych publikacjach [5, 6]. Dlatego, zdaniem autorów, problem ten nie jest wystarczająco omówiony w literaturze.

Ponieważ samonagrzewanie występuje zawsze podczas przepływu prądu przez czujnik, powodując błąd pomiaru temperatury, efekt ten jest niepożądany, a jego skutki należy oceniać w określonych warunkach pracy czujnika, biorąc pod uwagę rodzaj medium, w którym czujnik pracuje, oraz prędkość jego przepływu. Dlatego też, aby prawidłowo dobrać prąd pomiarowy czujnika IPRT, należy określić rezystancję termiczną czujnika *in situ*.

Mimo że samonagrzewanie czujnika jest w zasadzie niepożądane, ponieważ powoduje błędy pomiaru temperatury, może ono jednak znaleźć również praktyczne zastosowanie. Przykładem takiego celowego wykorzystania efektu samonagrzewania może być zastosowanie go do pomiaru prędkości przepływu medium otaczającego czujnik. Opracowana przez autorów metoda wyznaczania rezystancji termicznej czujnika *in situ* wykorzystuje efekt termoanemometryczny, będący dodatkowym, korzystnym w tym przypadku skutkiem efektu samonagrzewania czujnika termorezystancyjnego. Umożliwia to jednoczesny pomiar temperatury oraz prędkości medium otaczającego czujnik.

2. Wykorzystanie efektu samonagrzewania w pomiarach

Efekt samonagrzewania czujników termorezystancyjnych może stanowić podstawę termoanemometrycznych pomiarów prędkości przepływów [7–11].

Autor korespondujący:

Anna Szlachta, annasz@prz.edu.pl

Artykuł recenzowany

nadesłany 15.02.2026 r., przyjęty do druku 10.07.2026 r.

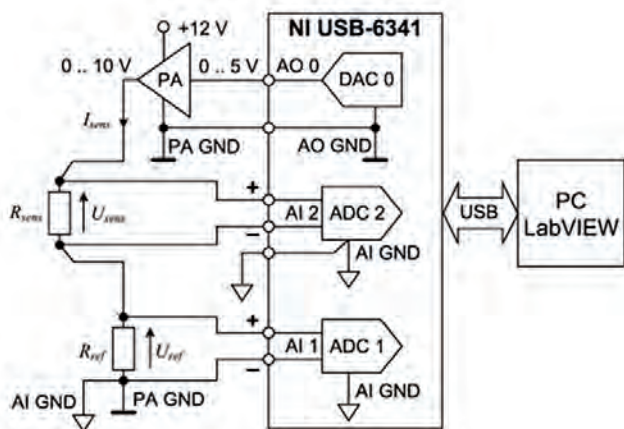


Zezwala się na korzystanie z artykułu na warunkach licencji Creative Commons Uznanie autorstwa 4.0 Int.

Praca [7] zawiera opis wykorzystania efektu samonagrzewania w termoanemometrach, tj. przyrządach przeznaczonych do pomiaru prędkości przepływu powietrza. W pracy [8] przedstawiono mikroczujnik przepływu, wykonany z polimeru, oparty na zasadzie anemometrii termicznej. Ze względu na małą pojemność cieplną, czujnik może być również stosowany do dynamicznych pomiarów przepływu cieczy, np. pulsacji przepływu w zakresie do kilkuset Hz, nawet w wysokociśnieniowych układach hydraulicznych. Natomiast w pracy [9] zaprezentowano termiczny czujnik przepływu gazu oparty na termoparach wykonanych z cienkich warstw Bi_{0.87}Sb_{0.13} o wysokim współczynniku termoelektrycznym. Podano dane eksperymentalne i wyniki obliczeń analizy elementów skończonych dotyczące sygnału odpowiedzi na zmiany prędkości przepływu przy stałej temperaturze gazu. Praca [10] przedstawia nowatorską metodę transdukcji w termicznym czujniku przepływu, łączącą zalety metody kalorymetrycznej i zasady transdukcji gorącego filmu. Cztery cienkowarstwowe termistory germanowe są osadzone w membranie z azotku krzemu, działając jednocześnie jako źródła ciepła i czujniki temperatury. Urządzenia te działają w układzie mostka Wheatstone'a. Napięcie na mostku, jak również całkowita rozpraszana moc są traktowane jako wielkości wyjściowe. Z kolei w pracy [11] przedstawiono anemometr mikroelektromechaniczny MEMS (ang. *Micro-Electro-Mechanical System*) z gorącym drutem, składający się z elementów termorezystancyjnych ułożonych w konfiguracji mostka różnicowego. Wzbudzenie elementów do punktu samonagrzewania pozwala na pominięcie dedykowanych elementów grzewczych w urządzeniu bez negatywnego wpływu na jego działanie lub dokładność.

3. Stanowisko badawcze

Opracowane stanowisko pomiarowe automatycznie wyznacza *in situ* rezystancję termiczną przemysłowych czujników temperatury rezystancyjnych [12]. Uproszczony schemat stanowiska przedstawiono na rys. 1. Składa się ono z komputera PC z zainstalowanym środowiskiem LabVIEW National Instruments, modułu akwizycji danych pomiarowych DAQ NI USB-6341 [A4], wzmacniacza prądu stałego dużej mocy PA, badanego czujnika R_{sens} i rezystora odniesienia R_{ref} . Napięcie na wyjściu AO 0 z przetwornika cyfrowo-analogowego DAC modułu akwizycji danych podane jest na wejście wzmacniacza mocy PA. Napięcie wyjściowe z PA zasilą szeregowo połączony rezystancyjny czujnik temperatury R_{sens} i rezystor odniesienia R_{ref} .



Rys. 1. Układ pomiarowy stanowiska do wyznaczania efektu samonagrzewania czujników IPT

Fig. 1. The measurement system for determining the self-heating effect of IPT sensors

Spadki napięć U_{sens} , U_{ref} na rezystancjach R_{sens} , R_{ref} mierzone są w trybie różnicowym (ang. *Differential*). Czujnik R_{sens} pracuje w czteroprzewodowym układzie Kelvina w celu eliminacji wpływu rezystancji przewodów połączeniowych. Rezystancja czujnika R_{sens} wyznaczana jest ze wzoru:

$$R_{sens} = \frac{U_{sens}}{U_{ref}} R_{ref}, \quad (1)$$

gdzie: U_{sens} – napięcie na czujniku, U_{ref} – napięcie na rezystorze odniesienia, R_{ref} – wartość rezystora odniesienia.

Wartość prądu pomiarowego czujnika I_{sens} wyznaczana jest ze wzoru:

$$I_{sens} = \frac{U_{ref}}{R_{ref}}. \quad (2)$$

Natomiast moc P_{sens} wydzielona na czujniku dana jest zależnością:

$$P_{sens} = U_{sens} I_{sens} = \frac{U_{sens} U_{ref}}{R_{ref}}. \quad (3)$$

Rezystancja termiczna czujnika R_T jest stosunkiem różnicy temperatur $T_{sens} - T_{amb}$ do mocy rozpraszanej do otoczenia przez czujnik P_{sens} :

$$R_T = \frac{T_{sens} - T_{amb}}{P_{sens}}. \quad (4)$$

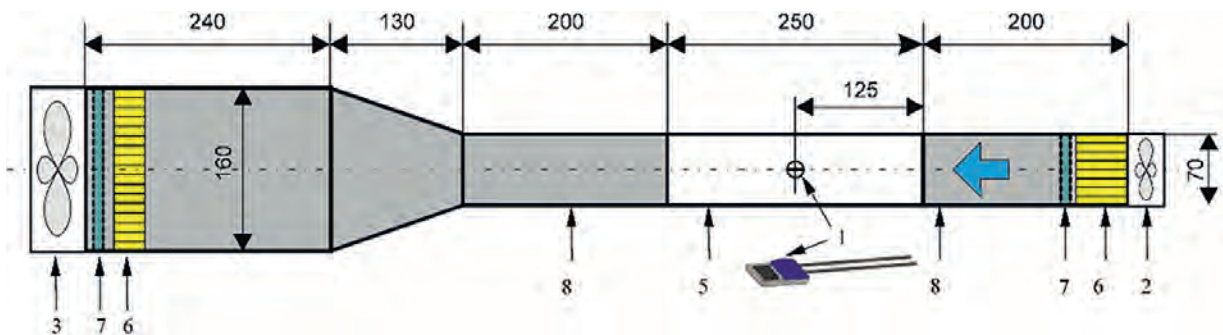
Temperatura czujnika T_{sens} jest zawsze wyższa od temperatury otoczenia T_{amb} , co prowadzi do powstania błędów pomiarowych wynikających z efektu samonagrzewania. Przekształcając odpowiednio równanie (4) otrzymujemy zależność:

$$T_{sens} = T_{amb} + R_T P_{sens} = a_0 + a_1 x, \quad (5)$$

z której wynika, że temperatura czujnika T_{sens} jest liniową funkcją mocy wydzielanej w czujniku P_{sens} i temperatury otoczenia T_{amb} . Przyjmując ogólną postać równania linii prostej $y = a_0 + a_1 x$, współczynnik kierunkowy jest równy rezystancji termicznej czujnika $a_1 = R_T$, a wyraz wolny jest równy temperaturze otoczenia $a_0 = T_{amb}$. Zależność (5) umożliwia wyznaczenie *in situ* rezystancji termicznej czujnika R_T zgodnie z opisaną w dalszej części procedurą [13]. W tym celu należy wykonać serię pomiarów rezystancji badanego czujnika R_{sens} (1) dla stopniowo zwiększanych wartości prądu I_{sens} (2), obliczyć temperaturę T_{sens} według znormalizowanej charakterystyki czujnika platynowego [A1, A2], obliczyć moc czujnika P_{sens} (3), wyznaczyć zależność (5) i aproksymować ją linią prostą $y = a_0 + a_1 x$.

W celu wyznaczenia zależności rezystancji termicznej czujnika R_T od prędkości medium, skonstruowano odpowiedni tunel pomiarowy umożliwiający zbadanie efektu termoanemometrycznego w czujniku termorezystancyjnym.

Na rysunku 2 przedstawiono budowę tunelu, w którym zmieniano prędkość przepływu powietrza. Badany czujnik (1) został umieszczony w środkowej części przezroczystej rury poliwęglanowej (5). Ruch powietrza wymuszony jest elektrycznym wentylatorem wyciągowym (3) o regulowanej wydajności. Tunel wykonano z przezroczystej rury poliwęglanowej (5) i rur ze stali nierdzewnej (8). Prędkość przepływu



Rys. 2. Pomiarowy kanał powietrzny do eksperymentów dla różnych prędkości przepływu: 1 – badany czujnik, 2 – referencyjna sonda anemometryczna z łopatką, 3 – wentylator wyciągowy, 4 – kierunek przepływu powietrza, 5 – przezroczysta rura poliwęglanowa, 6 – plaster miodu, 7 – ekran siatkowy 8 – rura stalowa
Fig. 2. Measurement channel for experiments at various flow velocities: 1 – sensor under test, 2 – reference anemometric probe with a vane, 3 – exhaust fan, 4 – direction of air flow, 5 – transparent polycarbonate tube, 6 – honeycomb, 7 – mesh screen, 8 – steel tube

powietrza mierzono za pomocą anemometru referencyjnego z sondą łopatkową (2). Tunel w części pomiarowej został zmontowany z rur o średnicy 70 mm. Laminarny przepływ powietrza uzyskano za pomocą prostownic przepływu o strukturze plastra miodu (6) i ekranów siatkowych (7).

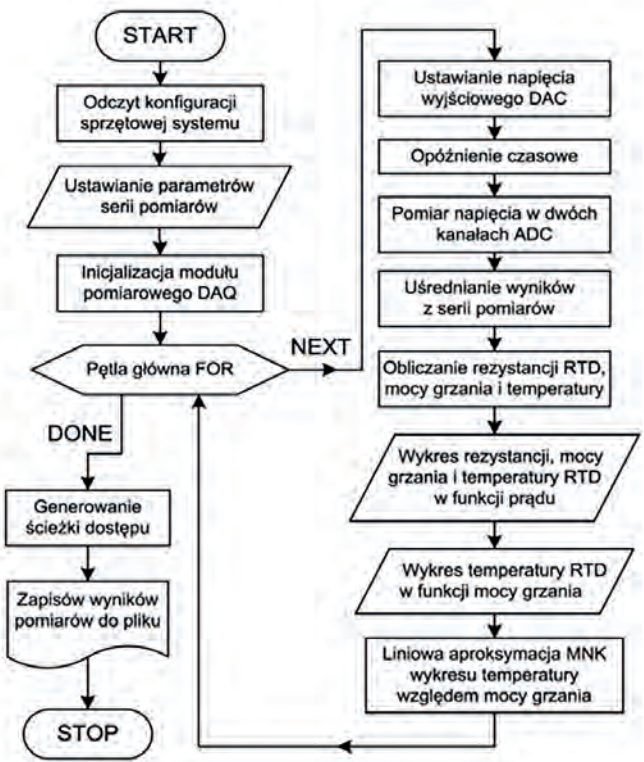
4. Aplikacja pomiarowa

Do badania zjawiska samonagrzewania przemysłowych czujników termorezystancyjnych oraz związanego z nim efektu termooanemometrycznego, opracowano aplikację do sterowania pomiarami przygotowaną w środowisku LabVIEW. Na rysunku 3 przedstawiono schemat blokowy algorytmu, ilustrujący zasadę działania opracowanej aplikacji. Aplikacja umożliwia wykonanie automatycznych pomiarów rezy-

stancji termicznej czujników rezystancyjnych powszechnie stosowanych w praktyce przemysłowej, w warunkach rzeczywistych *in situ*. Wyniki badań są przedstawiane w formie plików graficznych i danych liczbowych. Przygotowane automatycznie w aplikacji raporty zawierają wykresy, dane tabelaryczne, informacje o zastosowanym module pomiarowym, typie i parametrach badanego czujnika, a także datę i godzinę wykonania badań.

Najważniejszą częścią aplikacji jest główna pętla, w której wykonywana jest seria pomiarów. Po ich uśrednieniu obliczane są pożądane wartości rezystancji, temperatury i mocy czujnika. Liczba uśrednionych pomiarów może zostać zadeklarowana przez użytkownika w początkowej części algorytmu. Jednak zanim algorytm rozpocznie pomiary, aplikacja sprawdza moduły pomiarowe dostępne w systemie. Użytkownik wybiera moduł i deklaruje jego konfigurację pomiarową (zakres, tryb wejściowy, liczba uśrednionych pomiarów). Po wybraniu modułu pomiarowego oraz zakresu przetwornika analogowo-cyfrowego (ADC) i cyfrowo-analogowego (DAC) należy skonfigurować parametry pomiaru. W tym celu należy ustawić liczbę punktów pomiarowych, krok przyrostu napięcia ustawianego na przetworniku cyfrowo-analogowym DAC, a także wartość początkową tego napięcia. Ostatnim parametrem, który należy ustawić, jest wartość opóźnienia pętli głównej między przypisaniem nowej wartości przez przetwornik cyfrowo-analogowy a wykonaniem pomiarów przez przetwornik analogowo-cyfrowy ADC.

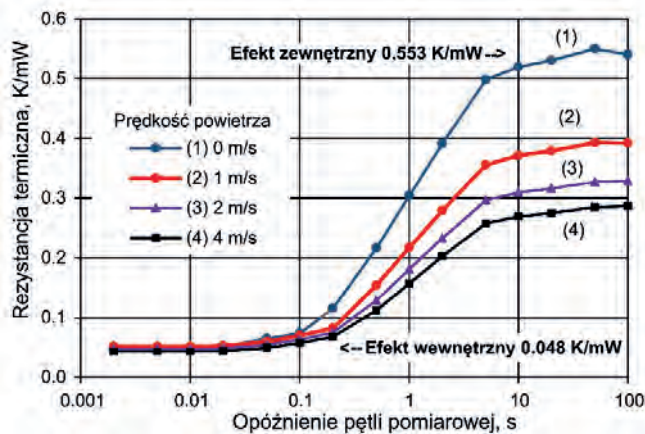
Deklarowany jest również typ testowanego czujnika oraz wartość rezystora odniesienia R_{ref} . Następnie moduł jest inicjowany, a aplikacja przystępuje do wykonywania serii pomiarów w pętli głównej. Aplikacja pomiarowa steruje przetwornikiem cyfrowo-analogowym DAC 0, którego napięcie na wyjściu AO 0 jest wzmacniane we wzmacniaczu mocy PA i zasila obwód składający się z szeregowego połączenia badanego czujnika temperatury R_{sens} i rezystora odniesienia R_{ref} , zgodnie ze schematem na rys. 1. Dwa wejścia analogowe AI 1, AI 2 przetworników analogowo-cyfrowych ADC 1, ADC 2 modułu pomiarowego skonfigurowane są w trybie różnicowym do pomiaru napięcia U_{sens} na badanym czujniku rezystancyjnym R_{sens} i napięcia U_{ref} na rezystorze odniesienia R_{ref} . Po zmierzeniu napięć U_{sens} i U_{ref} , wartości pozostałych wielkości są obliczane w opracowanej aplikacji. Po zakończeniu operacji aplikacja zapisuje uzyskane wyniki w formie graficznej i tekstowej. W przedstawionych badaniach każdy punkt na wykresie jest uzyskiwany poprzez uśrednienie $n = 100$ pomiarów. Liczba powtórzeń n została wybrana eksperymentalnie na podstawie analizy niepewności pomiarowych [18]. Opracowana aplikacja umożliwia zastosowanie różnych czujników rezystancyjnych do pomiaru temperatury.



Rys. 3. Schemat blokowy algorytmu pomiarowego do wyznaczania efektu samonagrzewania czujników IPT
Fig. 3. Block diagram of the measurement algorithm for determining the self-heating effect of IPT sensors

5. Wyniki pomiarów

Na rysunku 4 przedstawiono przykładowe wyniki pomiarów rezystancji termicznej otrzymane dla zbadanego cienkowarstwowego czujnika platynowego Pt 1000 wykonanego na podłożu w postaci płytki ceramicznej o wymiarach 2 mm × 5 mm. Prędkość przepływu powietrza zmieniano w zakresie 0–4 m/s.



Rys. 4. Rezystancja termiczna R_T badanego czujnika Pt 1000 w zależności od czasu opóźnienia w pętli pomiarowej dla różnych wartości prędkości przepływu powietrza

Fig. 4. Thermal resistance R_T of the tested Pt 1000 sensor as a function of the delay time in the measurement loop for various air flow velocities

Linia (1) przedstawia wyniki pomiarów rezystancji termicznej w nieruchomym powietrzu, otrzymane dla czasów opóźnienia w pętli głównej programu od 2 ms do 100 s. Dla czasów krótszych od 100 ms rezystancja termiczna zmienia się niewiele wokół wartości 0,048 K/mW, reprezentującej wewnętrzny efekt samonagrzewania [12]. Dla czasów dłuższych od 10 s zmiany są niewielkie wokół wartości 0,553 K/mW, odpowiadającej efektowi zewnętrznemu.

Pozostałe linie przedstawiają wyniki dla innych prędkości przepływu powietrza. Można zauważyć, że efekt wewnętrzny samonagrzewania zależy tylko od budowy czujnika, a efekt zewnętrzny od warunków otoczenia czujnika, a w szczególności od prędkości poruszania się otaczającego czujnik medium, w tym przypadku powietrza.

W tabeli 1 zestawiono otrzymane wyniki pomiaru rezystancji termicznej R_T badanego cienkowarstwowego czujnika Pt 1000 dla różnych prędkości przepływu powietrza. Potwierdzają one występowanie w badanym czujniku wyraźnego efektu termoanemometrycznego, objawiającego się zależnością rezystancji termicznej R_T czujnika od prędkości poruszania się otaczającego czujnik powietrza. Jednocześnie na podstawie zależności (5) możliwe jest zmierzenie tym samym

Tabela 1. Rezystancja termiczna cienkowarstwowego czujnika Pt 1000 dla różnych prędkości przepływu powietrza

Table 1. Thermal resistance of a thin-film Pt 1000 sensor for various air flow velocities

Prędkość m/s	Rezystancja wewn. R_T K/mW	Rezystancja zewn. R_T K/mW
0	0,048	0,553
1	0,052	0,392
2	0,047	0,329
4	0,043	0,286

czujnikiem i w tym samym czasie temperatury T_{amb} otaczającego czujnik powietrza, przy czym niwelowany jest błąd pomiaru temperatury spowodowany efektem samonagrzewania czujnika.

6. Podsumowanie

W artykule omówiono efekt samonagrzewania czujników rezystancyjnych i jego wpływ na pomiary temperatury. Przedstawiono stanowisko badawcze wraz z opracowaną przez autorów aplikacją w środowisku LabVIEW, umożliwiającą wyznaczenie rezystancji termicznej czujników termorezystancyjnych dla różnych prędkości powietrza.

Omówiono możliwość zastosowania z reguły niekorzystnego efektu samonagrzewania czujników IPRT w anemometrii. W tym przypadku efekt ten jest zjawiskiem umożliwiającym pomiar prędkości ruchu medium, w którym znajduje się badany czujnik. Przedstawiona metoda wyznaczania rezystancji termicznej czujników umożliwia jednoczesny pomiar, tylko jednym czujnikiem, zarówno prędkości medium otaczającego czujnik, jak również jego temperatury. Dodatkową korzyścią jest niwelowanie błędu pomiaru temperatury spowodowanego efektem samonagrzewania czujnika.

W pracy przedstawiono wyniki badań dla często stosowanego w praktyce do pomiarów temperatury cienkowarstwowego czujnika Pt 1000. Zaprezentowano zależność rezystancji termicznej zbadanego czujnika od prędkości przepływu powietrza. Należy jednak zaznaczyć, że wyznaczone wartości rezystancji termicznej mogą być stosowane tylko do konkretnego czujnika pracującego w określonych warunkach. Zaprezentowane wyniki nie będą poprawne dla innego czujnika, pracującego w innych warunkach. Wyniki przeprowadzonych badań potwierdziły, że wewnętrzny efekt samonagrzewania zależy od wewnętrznej konstrukcji czujnika i nie zależy od środowiska, w którym czujnik umieszczono. Z drugiej strony, zewnętrzny efekt samonagrzewania zależy od warunków środowiskowych: rodzaju medium, w którym umieszczony jest czujnik, a przede wszystkim od prędkości przepływu medium. Potwierdza to możliwość wykorzystania zewnętrznego efektu samonagrzewania czujnika termorezystancyjnego w anemometrii.

Podziękowania

Publikacja w ramach projektu finansowanego ze środków budżetu państwa w ramach programu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego pod nazwą Wektory Nauki nr projektu WNK/SP/0311/2025/01 kwota finansowania projektu: 276 232,00 zł całkowita wartość projektu: 635 552,00 zł.

Bibliografia

1. Pokhodun A.I., Mendeleyev D.I., Fellmuth B., Pearce J.V., Rusby R.L., Steur P.P., Tamura O., Tew W.L., White D.R., *Guide to the Realization of the ITS-90, Platinum Resistance Thermometry*, International Committee for Weights and Measures (CIPM), 2021, [www.bipm.org/documents/20126/41773843/Guide ITS-90_5_SPRT_2021.pdf].
2. Pearce J.V., Rusby R.L., Yamazawa K., Rudtsch S., Iacomini L., Lopardo G., White D.R., Tew W.L., *Guide on Secondary Thermometry, Industrial Platinum Resistance Thermometers*, International Committee for Weights and Measures (CIPM), 2021, [www.bipm.org/documents/20126/41773843/BIPM CCT_Guide_to_IPRTs.pdf].
3. Bedford R.E., Bonnier G., Maas H., Pavese F., *Guide to Secondary Thermometry, Techniques for Approxi-*

- matting the International Temperature Scale of 1990*, International Committee for Weights and Measures (CIPM), 2021, [www.bipm.org/documents/20126/41773843/ITS-90_Techniques_Approx_signets+WITH+HIGHLIGHT.pdf].
4. Brückner J., Measuring Resistors and Their Representation in IEC and ASTM (Comparing Apples and Oranges?), "Special Hannover Messe", cnp 2-2017, 14–16.
 5. Li J., Pei H., Kochan O., Wang C., Kochan R., Ivanyshyn A., *Method for Correcting Error Due to Self-Heating of Resistance Temperature Detectors Suitable for Metrology in Industry 4.0*, "Sensors", Vol. 24, No. 24, 2024, DOI: 10.3390/s24247991.
 6. Sestan D., Zvizdic D., Grgec-Bermanec L., *Experimental Method for Determination of Self-Heating at the Point of Measurement*. "International Journal of Thermophysics", Vol. 38, 2017, DOI: 10.1007/s10765-017-2268-9.
 7. Gawędzki W., *Pomiary elektryczne wielkości nieelektrycznych*, Wydawnictwa AGH, 2010.
 8. Ahrens R., Schlote-Holubek K., *A micro flow sensor from a polymer for gases and liquids*, "Journal of Micromechanics and Microengineering", Vol. 19, No. 7, 2009, DOI: 10.1088/0960-1317/19/7/074006.
 9. Dillner U., Kessler E., Poser S., Baier V., Müller J., *Low power consumption thermal gas-flow sensor based on thermopiles or highly effective thermoelectric materials*, "Sensors and Actuators A: Physical", Vol. 60, No. 1-3, 1997, 1–4, DOI: 10.1016/S0924-4247(96)01409-4.
 10. Talić A., Čerimović S., Beigelbeck R., Kohl F., Jachimowicz A., Keplinger F., *Novel Thermal Flow Sensors Based on a Wheatstone Bridge Read-out*, "Procedia Chemistry", Vol. 1, 2009, 136–139, DOI: 10.1016/j.proche.2009.07.034.
 11. Adamec R.J., Thiel D.V., *Self Heated Thermo-Resistive Element Hot Wire Anemometer*, "IEEE Sensors Journal", Vol. 10, No. 4, 2010, 847–848, DOI: 10.1109/JSEN.2009.2035518.
 12. Otomański P., Pawłowski E., Szlachta A., *In Situ Evaluation of the Self-Heating Effect in Resistance Temperature Sensors*, "Sensors", Vol. 25, No. 11, 2025, DOI: 10.3390/s25113374
 13. Pawłowski E., *Badania in situ rezystancji termicznej rezystancyjnych czujników temperatury*, *Przegląd Elektrotechniczny*, Vol. 100, No. 12, 2024, 260–263, DOI: 10.15199/48.2024.12.56.
 14. Pawłowski E., Szlachta A., Otomański P., *The Influence of Noise Level on the Value of Uncertainty in a Measurement System Containing an Analog-to-Digital Converter*, "Energies", Vol. 16, No. 3, 2023, DOI: 10.3390/en16031060.

Inne źródła

- A1. International Electrotechnical Commission (IEC), *International Standard IEC 60751:2022, Industrial platinum resistance thermometers and platinum temperature sensors*, Edition 3.0. Switzerland: 2022.
- A2. ASTM International, Committee E20, *ASTM Standard E1137/E1137M – 08, Standard Specification for Industrial Platinum Resistance Thermometers*, 2020, DOI: 10.1520/E1137_E1137M-08R20.
- A3. ASTM International, Committee E20, *ASTM Standard E644-11. Standard Test Methods for Testing Industrial Resistance Thermometers*, 2011, DOI: 10.1520/E0644-11.
- A4. National Instruments, USB-6341, 16 AI (16-Bit, 500 kS/s), 2 AO (900 kS/s), 24 DIO USB Multifunction I/O Device, *Specifications 377879A-01*, 2019.

Investigation of the Self-Heating Effect in Thermoresistive Sensors for Flow Measurements

Abstract: This article presents an experimental method to determine the thermal resistance of industrial thermoresistive sensors in a moving medium. On the one hand, the proposed method allows the selection of a measuring current that keeps the temperature measurement error at an acceptable level. On the other hand, it enables the determination of the flow velocity of the surrounding medium.

Keywords: industrial resistance temperature thermometers, IPRT, self-heating effect, thermoanemometer, flow measurement

dr inż. Anna Szlachta

annasz@prz.edu.pl

ORCID: 0000-0002-8506-8690

Obecnie jest pracownikiem Katedry Metrologii i Systemów Diagnostycznych Politechniki Rzeszowskiej. W 1995 r. ukończyła studia magisterskie, a w 2006 r. uzyskała stopień doktora nauk technicznych w dziedzinie elektrotechniki na Politechnice Rzeszowskiej. Prowadzi zajęcia dydaktyczne z metrologii, pomiarów wielkości nieelektrycznych oraz komputerowych systemów pomiarowych. Jest autorką lub współautorką ponad 50 publikacji naukowych opublikowanych w czasopiśmie i materiałach konferencyjnych. Jej zainteresowania badawcze obejmują ocenę niepewności pomiarowej, zastosowanie systemów komputerowych do akwizycji i przetwarzania sygnałów w pomiarach wielkości fizycznych, analizę i przetwarzanie obrazu w systemach pomiarowych oraz projektowanie i oprogramowanie systemów pomiarowych z wykorzystaniem środowiska LabVIEW.

**dr inż. Eligiusz Pawłowski**

e.pawlowski@pollub.pl

ORCID: 0000-0001-7039-199X

Adiunkt w Katedrze Automatyki i Metrologii na Wydziale Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Lubelskiej. Uzyskał tytuł magistra inżyniera (1982) i doktora (1994) nauk technicznych w dziedzinie elektrotechniki na Politechnice Lubelskiej. Prowadzi zajęcia dydaktyczne z metrologii elektrycznej, pomiarów wielkości nieelektrycznych, komputerowych systemów pomiarowych oraz systemów wbudowanych w technice pomiarowej. Jego zainteresowania naukowe i badawcze obejmują pomiary wielkości elektrycznych i nieelektrycznych, w szczególności czujniki i przetworniki z impulsowym wyjściem częstotliwościowym, algorytmy cyfrowego przetwarzania sygnałów, oprogramowanie do systemów pomiarowych, ocenę niepewności pomiarowych, zakłócenia w układach pomiarowych. Jest autorem ponad 100 recenzowanych artykułów w czasopiśmie i referatów na konferencjach z zakresu teorii i praktyki pomiarów.

**dr inż. Przemysław Otomański**

przemyslaw.otomanski@put.poznan.pl

ORCID: 0000-0002-1535-5731

Tytuły magistra inżyniera oraz doktora nauk technicznych w dziedzinie elektrotechniki uzyskał na Politechnice Poznańskiej w Poznaniu, odpowiednio w 1985 r. i 1996 r. Obecnie pracuje w Instytucie Elektrotechniki i Elektroniki Politechniki Poznańskiej jako adiunkt. Jego zainteresowania badawcze obejmują teorię pomiarów, w szczególności ocenę niepewności wyników pomiarów, badanie właściwości metrologicznych czujników i przetworników pomiarowych oraz ocenę jakości energii elektrycznej. Jest autorem lub współautorem ponad 150 publikacji w czasopiśmie oraz w materiałach konferencyjnych krajowych i międzynarodowych. Członek Komitetu Technicznego TC1 – Edukacja i szkolenia w zakresie pomiarów i oprzyrządowania Międzynarodowej Konfederacji Miar oraz Komitetu Technicznego TC7 – Nauka o pomiarach Międzynarodowej Konfederacji Miar.

