

## Metody diagnostyki czujników termoelektrycznych

**Streszczenie.** Powszechnie znane i użytkowane metody diagnostyki czujników termoelektrycznych są metodami porównawczymi a porównanie odbywa się w stosunku do wskazań czujnika wzorcowego na dedykowanym stanowisku testowym. W ostatnich latach powstała alternatywna metoda, gdzie informacja o błędzie wskazań czujnika wyznaczana jest w oparciu o jego napięcie wyjściowe zmodyfikowane zjawiskiem Peltiera zachodzącym w złączu pod wpływem dołączanego prądu testującego.

**Abstract.** The main and widely applied thermocouple diagnostic methods consists in comparison of a thermocouple parameters with ones of the model sensor on a specially designed laboratory stand. The method to diagnose a thermoelectric sensor just where it is assembled was developed and is based on the output voltage of the sensor modified by the Peltier effect that occurs in a joint when the thermocouple is controlled by direct current of variable polarization. Final equations consolidate material parameters, which describe the thermocouple. **Methods of diagnostic of thermocouple sensors**

**Słowa kluczowe:** czujnik termoelektryczny, diagnostyka, efekt Peltiera.

**Keywords:** thermocouple, diagnosis, method, Peltier effect.

### Wstęp

Obecnie jedynym praktykowanym sposobem określenia stanu technicznego czujnika termoelektrycznego są badania wykonywane na specjalizowanym stanowisku laboratoryjnym. Możliwość ich przeprowadzenia uwarunkowana jest zazwyczaj rozwiązaniami technicznymi danego procesu technologicznego, przy jednocześnie częstym braku możliwości jego przerwania m.in. ze względów ekonomicznych.

Alternatywna metoda omijająca powyższe ograniczenie polega na możliwości wykorzystania efektu Peltiera w celu wyznaczenia siły termoelektrycznej (STE) badanego czujnika. Rozwiązanie opiera się na wymuszeniu przepływu przez badany czujnik termoelektryczny prądu stałego o znanej wartości w obu kierunkach. Prąd ten powoduje zmianę temperatury spoiny, co może być wykorzystane do diagnostyki termoelementu. Ocenę stanu termopary można przeprowadzić na podstawie zmiany współczynnika Seebecka [2]. Współczynnik ten może być wyznaczony poprzez pomiar STE. Błąd wyznaczenia temperatury spoiny w oparciu o ten współczynnik określa przydatność metody do celów diagnostycznych [3].

W literaturze polskojęzycznej [1] wymieniono taką metodę, ale jednocześnie zaznaczono, że prąd testujący powinien być prądem przemiennym, aby uniknąć zmian temperatury czujnika termoelektrycznego wywołanych efektami Peltiera i Thomsona. Zwrócono również uwagę na fakt, że siła elektromotoryczna generowana w spoinie jest wielokrotnie mniejsza od siły elektromotorycznej wymuszającej prąd w obwodzie zamkniętym – co uniemożliwia jej pomiar.

W niniejszym artykule przedstawiono wybrane wyniki eksperymentalne, przy czym nie opisano metodyki wyznaczenia współczynnika Seebecka charakteryzującego badany czujnik; nie opisano również układu, w którym mógłby on być wyznaczony. Rozważania na temat technicznego aspektu przedstawionych problemów przedstawiono w artykule [4]. Podstawową przesłanką do rozwijania tej metody jest konieczność rozwijania technik diagnostycznych „in-situ” czujników termoelektrycznych ze względu na brak metody diagnostyki czujników trudnodostępnych lub pracujących przy braku możliwości przerwania monitorowanego procesu.

Najczęściej model matematyczny czujnika termoelektrycznego opracowywany jest przy założeniu, że jego parametry (np. przewodność cieplna, współczynnik przejmwania ciepła), oprócz STE, nie zmieniają się – co nie odpowiada stanowi faktycznemu [4]. Konieczne było

rozszerzenie znanego modelu czujnika. Ważnym aspektem jest konieczność uwzględnienia zmiany współczynników przewodności cieplnej przewodów termoelementu, współczynnika wymiany ciepła między czujnikiem a ośrodkiem i rzeczywistej temperatury ośrodka. Parametry te określić można na podstawie wartości prądu testującego i zależności STE od czasu.

### Uzupełniony model czujnika termoelektrycznego

W dalszych rozważaniach analizowany będzie zatem rozszerzony model matematyczny czujnika termoelektrycznego termoelementu opisany za pomocą równań różniczkowych [4]. Model ten uwzględni większość parametrów fizycznych czujnika termoelektrycznego oraz ich zależności od temperatury. Zmodyfikowany model pozwala przedstawić zachodzące zmiany wartości temperatury spoiny termoelementu w zależności od warunków otoczenia i dla różnych wartości prądu testującego itd.

W celu otrzymania uogólnionych charakterystyk czujnika, które będzie można weryfikować w trakcie jego pracy zaproponowano model opisany w pracach [4, 5], w którym uwzględniono przejmwowanie ciepła oraz przewodność cieplną przewodów termoelementu.

W trakcie tworzenia uzupełnionego modelu niezbędne było przyjęcie pewnych założeń upraszczających w celu odwzorowania podstawowych procesów zachodzących wewnątrz diagnozowanego czujnika.

Pierwsze założenie upraszczające polegało na uznaniu, że pojemność cieplna pomiędzy ramionami czujnika oraz pojemność cieplna pomiędzy ramionami i obudową równe są zeru. Założenie to jest słuszne dla czujników, w których przestrzeń pomiędzy płaszczem a spoiną i ramionami wypełniona jest powietrzem. Dla czujników z wypełnieniem ceramicznym interwał czasu, po upływie którego w wyniku pobudzenia prądem osiągnie on stan ustalony, będzie dłuższy, natomiast jego parametry w stanie stacjonarnym nie ulegną zmianie.

Drugim uproszczeniem jest założenie, że ilość ciepła wydzielonego w ramionach czujnika jest tak mała, że pod jej wpływem temperatura zewnętrznej powierzchni jego osłony nie zmieni się. Założenie to jest słuszne dla analizowanego przypadku, ponieważ wartość współczynnika przewodności cieplnej ośrodka oraz współczynnika oddawania ciepła z powierzchni czujnika do ośrodka są na ogół wielokrotnie większe od współczynnika wymiany ciepła w jego wnętrzu.

Założono również, że właściwości fizyczne przewodów termoelementu są jednakowe i nie zależą od wartości temperatury. Model taki jest zatem modelem stacjonarnym, co odpowiada dostatecznie długiemu czasowi włączenia prądu testującego. Powyższe założenia pozwoliły na zapisanie wyrażenia na temperaturę spoiny (w stanie ustalonym):

$$(1) \quad T = (T_0 + \frac{D}{m^2})(\frac{p}{m-p} + 1),$$

gdzie:  $m^2 = \frac{4k}{\lambda d}$ ,  $D = \frac{J^2 \rho}{\lambda}$ ,  $p = \frac{J\alpha}{2\lambda}$ ,  $k$  – współczynnik przejmowania ciepła pomiędzy termoelementem a środowiskiem,  $\lambda$  – współczynnik przewodności cieplnej,  $J$  – gęstość prądu,  $\rho$  – rezystywność,  $d$  – średnica.

Ponieważ temperatura wolnych końców pozostaje niezmienna to różnica sił elektromotorycznych może zostać wyznaczona z równania (1). Przyjmuje ona postać:

$$(2) \quad \Delta E = \alpha \left( T_0 + \frac{D}{m^2} \right) \frac{2pm}{m^2 - p^2}.$$

Przy uwzględnieniu, że  $m^2 \gg p^2$  można zapisać ostatecznie:

$$(3) \quad \Delta E = 2\alpha \frac{p}{m} \left( T_0 + \frac{D}{m^2} \right).$$

Umieszczając w powyższym wzorze stałe:  $D$ ,  $m$ ,  $p$  otrzymuje się wzór na współczynnik Seebecka:

$$(4) \quad \alpha = \sqrt{\frac{\Delta E \frac{a\pi d^3}{2I(T_0 + b \frac{4}{\pi^2 d^3} I^2)}}{a\pi d^3}}.$$

Współczynnik  $\alpha$  wyznaczony jest na początku eksploatacji czujnika termoelektrycznego. Wiadoma wtedy staje się też temperatura otoczenia. We wzorze (4) znajdują się stałe termopary  $a$  i  $b$  wiążące, takie parametry jak: współczynnik przewodności cieplnej, współczynnik oddawania ciepła i oporność elektryczną, za pomocą zależności:

$$(5) \quad a = \pi d^{3/2} \sqrt{k\lambda} = \frac{m}{p} I \alpha,$$

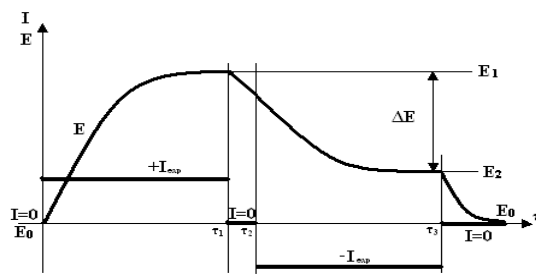
$$b = \frac{4}{\pi^2 d^3} \frac{\rho}{k} = \frac{1}{I} \frac{D}{m^2}.$$

Do wyliczenia wartości stałych:  $a$  i  $b$  należało przeprowadzić eksperyment z wykorzystaniem wymuszenia prądem o zmiennych wartościach (rysunek 1). Stałe  $a$  i  $b$  otrzymuje się rozwiązując układ równań, uzyskując zależność (6).

Wartości współczynników  $a$  i  $b$  zależą od temperatury, więc celowe staje się wyznaczenie ich na początku eksploatacji. Otrzymane uogólnione charakterystyki termooigniwa obrazują aktualny stan czujnika termoelektrycznego.

$$(6) \quad a = 2\alpha^2 \left( b \frac{I_1^3}{\Delta E_1} + \frac{I_1 T_0}{\Delta E_1} \right),$$

$$b = T_0 \left( \frac{I_2 \Delta E_1 - I_1 \Delta E_2}{I_1^3 \Delta E_2 - I_2^3 \Delta E_1} \right).$$



Rys.1. Charakterystyka przejściowa czujnika termoelektrycznego przy testowaniu prądem o zmiennej polaryzacji

Długoczasowa zmiana współczynników  $a$  i  $b$  pozwala na określenie szybkości starzenia się czujnika i jego dalszą przydatność do wykonywania pomiarów.

Jeżeli w czasie eksploatacji nastąpiła zmiana współczynnika Seebecka  $\alpha$ , a inne parametry pozostały bez zmian, SEM czujnika termoelektrycznego można zapisać w postaci:

$$(7) \quad E = \int_{T_0}^{T_s} \alpha(T) dT = \bar{\alpha} \cdot (T_s - T_0) \cong \alpha \left( \frac{T_s + T_0}{2} \right) \cdot (T_s - T_0) = \alpha \cdot (T_s - T_0).$$

Jeżeli znana jest temperatura  $T_0$ , to wartość  $T_s = T_0 + \frac{E}{\alpha}$

obarczona jest błędem ponieważ wartość  $\alpha$  ulega zmianie. Zmianę tę można zapisać w następujący sposób:

$$(8) \quad \alpha_{exp} = \alpha(1 - \delta),$$

gdzie:  $\alpha_0$  – współczynnik Seebecka na początku eksploatacji,  $\alpha_{exp}$  – aktualna wartość,  $\delta$  – względna zmiana współczynnika Seebecka.

Rzeczywista wartość temperatury spoiny na początku eksperymentu przyjmuje postać:

$$(9) \quad T_s = T_0 + \frac{E_{0,exp}}{\alpha(1 - \delta)},$$

gdzie  $E_{0,exp}$  – SEM wyznaczona na początku eksperymentu. W takim przypadku zmieni się również wartość ciepła Peltiera, która jest zawarta w stałej  $p$ :

$$(10) \quad p_{exp} = 2 \left( \frac{I}{\pi d} \right) \frac{\alpha(1 - \delta)}{\lambda} = p(1 - \delta).$$

Z wyrażenia (8) po uwzględnieniu wyrażen (9) i (10) wyznaczyć można  $\delta$  za pomocą wzoru:

$$(10) \quad \delta = \frac{E_{0,exp} + \alpha(T_0 + Ib) - \frac{\Delta E_{exp}}{2I\alpha} a}{E_{0,exp} + 2\alpha(T_0 + Ib)}.$$

Powyższe wyrażenie zawiera wielkości otrzymane eksperymentalnie:  $E_{0,exp}$ ,  $\Delta E_{exp}$ ,  $T_0$  oraz uwzględnia podstawowe właściwości czujnika termoelektrycznego.

Większą różnicę  $\Delta E$  można otrzymać (rys. 1) jeżeli sygnał po oddziaływaniu prądu stałego porówna się z sygnałem początkowym (na początku eksperymentu). Analogicznie jak dla różnicy ( $I_+$ ,  $I_-$ ) zapisać można wyrażenie dla różnicy ( $I_+$ , 0):

$$(11) \quad \delta = \frac{\Psi \left( 1 + \frac{I\alpha}{a} \right) - \Delta E_{exp} - \alpha T_0}{\Psi \left( 1 + \frac{2I\alpha}{a} \right) - \alpha T_0},$$

$$\text{gdzie } \Psi = E_0 \frac{I\alpha}{a} + \alpha(T_0 + Ib).$$

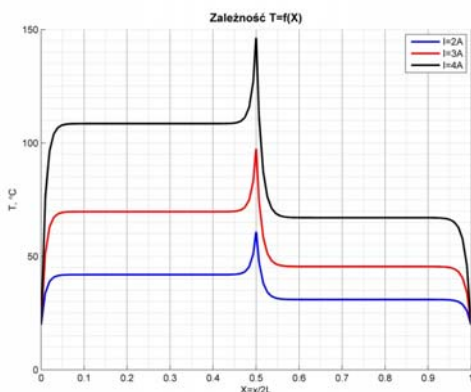
Wzór (11) jest właściwy zarówno dla prądu „dodatniego”, jak również i „ujemnego”. Należy tu wyraźnie podkreślić, że w wyrażeniach (10) i (11) współczynnik Seebecka  $\alpha$  jest wielkością wyznaczoną na początku eksploatacji, a  $T_0$  jest to temperatura wolnych końców czujnika termoelektrycznego.

Powyższe rozważania pozwalają na uwzględnienie zarówno właściwości materiałowych czujnika termoelektrycznego tj. różnych typów czujników, różnych typów obudów, ale także różnych pokryć zewnętrznych. Zaproponowana i rozszerzona metoda może zatem stanowić uniwersalne narzędzie diagnostyki czujników termoelektrycznych w miejscu ich montażu.

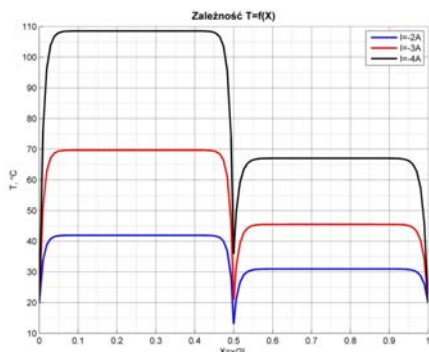
### Badania symulacyjne i eksperymentalne

Rozważania zakończone wyrażeniem (11) pozwalają zasymulować odpowiedź tak opisanego czujnika termoelektrycznego na prądowe pobudzenie diagnostyczne. W tym celu konieczne jest zapisanie zależności (10) w taki sposób, aby w rezultacie otrzymać informacje o stanach dynamicznych czujnika, tj.: jego ogrzewaniu i następnie studzeniu prądem testującym.

Otrzymane krzywe nagrzewania i studzenia czujnika umożliwiają weryfikację poprawności opracowanego modelu oraz przyjętych założeń. Pozwalają one również oszacować zmienność sygnałów i tym samym dostarczają informację, w jaki sposób należy przeprowadzić eksperyment weryfikujący przydatność metody diagnostyki czujnika termoelektrycznego pobudzeniem prądowym.



Rys. 2. Rozkład temperatury w funkcji długości czujnika dla polaryzacji prądu zgodnej z polaryzacją normalną czujnika.



Rys. 3. Rozkład temperatury w funkcji długości czujnika dla polaryzacji prądu przeciwnej do polaryzacji normalnej czujnika.

Na podstawie opracowanych modeli istnieje możliwość przeprowadzenia szeregu wielowariantowych symulacji,

które umożliwią zbadanie różnych czujników oraz zadawanie parametrów trudnych w realizacji lub niemożliwych do uzyskania np. ze względów finansowych. Nie bez znaczenia pozostaje również czas zmiany analizowanych parametrów, który w odniesieniu do czasu potrzebnego na zmodyfikowanie obiektu rzeczywistego jest nieporównywalnie krótszy, co umożliwia przeprowadzenie większej liczby eksperymentów.

Na rysunkach 2 i 3 przedstawiony został rozkład temperatury w funkcji długości czujnika dla polaryzacji prądu testującego zgodnie z polaryzacją normalną czujnika (rys. 2) i przeciwnej (rys. 3). Oś X przedstawia rozkład temperatury w funkcji długości czujnika, gdzie wartość 0,5 odpowiada spoinie a 0 i 1 odzwierciedlają końce obu ramion.

Podstawowym wnioskiem wynikającym z uzyskanych zależności jest potwierdzenie występowania i istotności zjawiska Peltiera zachodzącego w spoinie czujnika pod wpływem przepływającego przez niego prądu. Ciepło Peltiera oddziałuje na temperaturę spoiny testowanego czujnika zgodnie z ogólną zależnością (7).

Powiązanie współczynnika Seebecka z właściwościami czujnika termoelektrycznego i dalej możliwość eksperymentalnego wyznaczenia jego wartości stanowią podstawę rozwijanej metody diagnostycznej z pobudzeniem prądowym. Względna zmiana współczynnika Seebecka wyznaczona w kolejnych eksperymentach da informację o przydatności badanego czujnika termoelektrycznego do dalszej eksploatacji. Potwierdzono również występowanie niezmiennej temperatury w pewnych odcinkach ramion modelowanego czujnika.

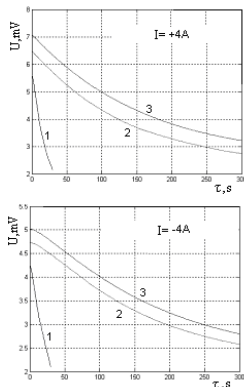
Istotnym uwarunkowaniem dla rozważań symulacyjnych i dalszego potwierdzenia eksperymentalnego jest fakt, że czujnik w chwili testu powinien znajdować się w otoczeniu o temperaturze zbliżonej do pierwszego „wzorcowego” pomiaru (testu). Fakt ten nie stanowi istotnego ograniczenia metody, jeżeli uwzględni się stałość monitorowanych procesów przemysłowych.

Wynik oceny wielkości współczynnika Seebecka  $\alpha$  zależy od dokładności parametrów  $a$  i  $b$ , dlatego wyznaczenie ich wartości się istotnym zagadnieniem. Na rysunku 4 przedstawiono wyniki badań eksperymentalnych dla termoelementu NiCr-NiAl o średnicy elektrody  $d = 1\text{mm}$  i pobudzaniu prądem stałym  $I = \pm 4\text{A}$ , dla następujących przypadków: 1–termoelement odsłonięty, 2–termoelement w osłonie ceramicznej, 3–termoelement w osłonie ceramicznej i stalowym płaszczu (dla każdego wykonania czujnika współczynniki  $a$  i  $b$  będą różne). Otoczeniem czujnika termoelektrycznego było każdorazowo powietrze o temperaturze  $20^\circ\text{C}$ .

Powyższe wyniki stanowią potwierdzenie możliwości wyznaczenia siły elektromotorycznej czujnika termoelektrycznego w chwili odłączenia prądu testującego. Zaobserwowano istotne różnice w wielkości sił elektromotorycznych dla obu kierunków prądu testującego. Przykładowo – gdy czujnik umieszczono w temperaturze otoczenia  $T_0 = 0^\circ\text{C}$  (napięcie wyjściowe czujnika typu K  $E = 0\text{V}$ ) pobudzenie prądem testującym spowodowało zwiększenie temperatury spoiny do  $T_s = 175^\circ\text{C}$  (napięcie wyjściowe czujnika  $E_1 = 7,07\text{mV}$ ) dla kierunku prądu zgodnego z polaryzacją normalną czujnika i  $T_s = 128^\circ\text{C}$  (napięcie wyjściowe czujnika  $E_2 = 5,28\text{mV}$ ) dla przeciwnego kierunku prądu.

Zaobserwowano istotne różnice w wielkości sił elektromotorycznych dla obu kierunków prądu testującego. Przykładowo – gdy czujnik umieszczono w temperaturze otoczenia  $T_0 = 0^\circ\text{C}$  (napięcie wyjściowe czujnika typu K  $E = 0\text{V}$ ) pobudzenie prądem testującym spowodowało zwiększenie temperatury spoiny do  $T_s = 175^\circ\text{C}$  (napięcie

wyściowe czujnika  $E_1 = 7,07mV$ ) dla kierunku prądu zgodnego z polaryzacją normalną czujnika i  $T_s = 128^\circ C$  (napięcie wyjściowe czujnika  $E_2 = 5,28mV$ ) dla przeciwnego kierunku prądu.



Rys. 4. Charakterystyka rozkładu temperatury spiny od kierunku i wartości prądu sterującego w zależności od rodzaju obudowy czujnika termoelektrycznego

Wiedząc, że w momencie startu eksperymentu  $T_0 = 0^\circ C$  zauważalny jest duży wpływ na temperaturę spiny analizowanego czujnika zarówno prądu testującego jak i jego kierunku. Różnica sił elektromotorycznych stanowi pewną (łatwą do wyznaczenia) informację diagnostyczną potrzebną do wyznaczenia względnej zmiany współczynnika Seebecka (zależność (11)).

Eksperymenty przeprowadzone dla wyższych temperatur otoczenia potwierdzają stały charakter obserwowanych zjawisk.

### Propozycja metody diagnostycznej

Przyrząd pomiarowy wykorzystujący przedstawianą metodę powinien zawierać zasilacz prądu stałego, układ pomiarowy napięcia wyjściowego czujnika termoelektrycznego, a także pamięć poprzednich pomiarów. Konieczna jest zmiana polaryzacji prądu przepływającego przez badany czujnik. Te wybrane elementy narzucają bezpośrednio dokładność proponowanego testera, natomiast próba określenia jej będzie przedmiotem dalszych badań.

Zgodnie z powyższymi rozważaniami a także cytowanymi pracami, ostateczna procedura diagnostyki czujników w miejscu ich zamontowania powinna składać się z następujących elementów:

1. pomiaru siły elektromotorycznej nowego czujnika w chwili jego montażu na obiekcie;
2. wyznaczenia za pomocą dwóch wybranych wartości prądu testującego parametrów charakterystycznych czujnika oznaczonych, jako:  $a$  i  $b$  (opisane zależnością 6);
3. cyklicznego wyznaczenia względnego odchylenia współczynnika Seebecka (zależność 10) i porównania z odchyleniem dopuszczalnym dla danego monitorowanego procesu. Tak zapisana procedura diagnostyczna wymaga archiwizacji kolejnych pomiarów odchylenia współczynnika Seebecka, co w większości zakładów przemysłowych jest standardową praktyką.

Proponowana metoda przypomina metodę porównawczą, przy czym porównanie dotyczy jedynie wskazań tego samego czujnika. Zmiana współczynnika Seebecka wyznaczana jest względem współczynnika wyznaczonego na początku eksploatacji analizowanego czujnika termoelektrycznego.

### Podsumowanie i wnioski

Przedstawione rozważania uzupełniają metodykę diagnostyki czujników termoelektrycznych w miejscu (in-situ) zamontowania. Uwzględnione zostały właściwości materiałowe czujników, co pozwala na rozszerzenie sposobu testowania na dowolny typ czujnika termoelektrycznego. W odróżnieniu od podobnych analiz podawanych w literaturze przedstawione w artykule rozważania oparte zostały na procesach wymiany ciepła pomiędzy czujnikiem i otoczeniem. Jako główne źródło informacji diagnostycznej zaproponowano siłę termoelektryczną czujnika zmodyfikowaną siłą elektromotoryczną pochodzącą od efektu Peltiera w chwili rozruchu obwodu zawierającego badany czujnik. Na podstawie zapisanego modelu wraz z rozwiązaniem zaproponowano także jego wersję uproszczoną, która bazuje wyłącznie na wielkościach stosunkowo łatwych do wyznaczenia na drodze eksperymentalnej. Przeprowadzone badania symulacyjne potwierdziły istotność efektu Peltiera oraz pozwoliły na określenie jego wielkości, co w konsekwencji potwierdziło słuszność przyjętych założeń. Jednocześnie wykazano, że przyjmowane w powszechnie proponowanych metodach uproszczenia, takie jak np. zastępowanie spiny o określonych skończonych wymiarach punktem styku, znacząco oddziałują na wynik końcowy procedury diagnostycznej.

Zaproponowane rozwiązanie pozwala na wyznaczenie poszczególnych parametrów czujnika i ostatecznie na jakościowe określenie stanu testowanego czujnika termoelektrycznego.

Wybrany przez autorów typ czujnika – a w szczególności jego budowa nie odbiega od rozwiązań powszechnie stosowanych w przemyśle, co w prosty sposób może pozwolić na weryfikację opracowanej metody diagnostyki in-situ na większość dostępnych komercyjnie rozwiązań.

**Autorzy:** dr. inż. Tomasz Zyska, Politechnika Lubelska, Instytut Elektroniki i Techniki Informacyjnych, ul. Nadbystrzycka 38a, 20-618 Lublin, E-mail: [t.zyska@pollub.pl](mailto:t.zyska@pollub.pl); dr inż. Piotr Jakliński, Politechnika Lubelska, Katedra Termodynamiki, Mechaniki Płynów i Napędów Lotniczych, ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin, E-mail: [p.jaklinski@pollub.pl](mailto:p.jaklinski@pollub.pl); Nurzhigit Smailov, Kazakh National Technical University after K. I. Satpaev.

### LITERATURA

- [1] L. Borowik: Pozyskiwanie wiedzy do celów diagnostyki wybranych urządzeń elektrotermicznych w eksperymentach biernych. *Wydawnictwa Politechniki Częstochowskiej*, Częstochowa (2003)
- [2] В. Лозбін, В. Столярчук, А. Гук: Вивчення властивостей термоелектричних перетворювачів з використанням ефекту Пельтьє. *Вимірювальна техніка та метрологія*. 65 (2005). p. 100-109
- [3] V. Lozbin, T. Zyska: Analiza możliwości stosowania efektów termoelektrycznych do badań termooogniw. *Przegląd Elektrotechniczny*. 84 3 (2008). p. 255-258
- [4] V. Lozbin, T. Zyska: A laboratory stand used for determination of selected thermoelectric sensor parameters, *Przegląd Elektrotechniczny*, 2010, nr 7, s. 232-234
- [5] T. Zyska: In-situ method of diagnose of thermocouples, 7th International Conference New Electrical and Electronic Technologies and their Industrial Implementation Zakopane, Poland, June 28 – July 1, 2011 - 2011, s. 139-139