



Diagnostyka stanu czujnika termoelektrycznego w procesie zgazowania biomasy

Tomasz Zyska^{}, Waldemar Wójcik^{*},
Baglan Imanbek^{**}, Oxana Zhirnova^{**}*
**Lublin University of Technology*

***Kazakh National Research Technical University
after K.I. Satpayev*

1. Wstęp

Zasoby biomasy są uważane za największe po promieniowaniu słonecznym Odnawialne Źródła Energii (OZE), i razem z energią słoneczną mogą odgrywać istotną rolę w realizacji paradygmatów zrównoważonego rozwoju (Udo & Pawłowski 2010, Pawłowski 2008, 2009, 2013, Liu 2015, Cao et al. 2016, Żukowska 2016). Pozyskiwanie energii z biomasy wymaga posłużenia się jedną ze znanych technologii energetycznych. W zależności od potrzeb konieczne jest odpowiednie przygotowanie lub przetworzenie biomasy stosownie do wymagań wybranej technologii energetycznej. Procesem przetwarzania biomasy pozwalającym korzystać z wielu technologii energetycznych, w tym także z bezpośredniej konwersji energii chemicznej paliwa na energię elektryczną jest zgazowanie biomasy. Termiczny rozkład biomasy oraz wszelkiego rodzaju odpadów prowadzony w warunkach szybkiego doprowadzenia ciepła i wysokich temperatur procesu, prowadzi do uzyskania dużej ilości gazowych produktów o wysokiej kaloryczności dających się stosunkowo łatwo oczyścić z wszelkiego rodzaju substancji szkodliwych dla technologicznego i energetycznego ich wykorzystania (Skala & Ochrona 2002, Qin & Campen 2015). Dokładna znajomość temperatury jest więc kluczowa do właściwego prowadzenia procesu zgazowania (Wu & Chein 2015). Konsekwencjami niewłaściwej temperatury jest wydzielanie nad-

miernych ilości substancji smolistych i obniżona energetyczność gazu procesowego (syngazu) (Sharma & Kumar 2014, Broer & Brown 2015). Biorąc powyższe pod uwagę, konieczna jest wiedza o temperaturze procesu i dokładności jej wyznaczania. W rzeczywistych obiektach do celów diagnostyki, kontroli i monitorowania wykorzystuje się czujniki termoelektryczne. Procesy starzeniowe zachodzące wewnątrz czujnika obniżają dokładność wskazań, co wyraźnie wpływa na eksploatację zgazowarki (Chen & Yin 2016). W niniejszym artykule Autorzy przedstawiają sposób wyznaczania długoterminowej degradacji takiego czujnika.

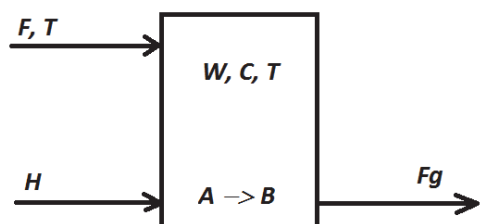
2. Problem pomiaru temperatury w procesie zgazowania biomasy

Temperatura wewnątrz reaktora decyduje o szybkości i jakości zachodzących tam procesów. Wielkość ta jest zatem istotnym parametrem dla układu kontroli i monitorowania stanu pracy zgazowarki, co wykazać można przyjmując do analizy uproszczony model matematyczny reaktora o idealnym zmieszaniu (Gao & Zhang 2016). Do reaktora napływa paliwo z natężeniem F i o temperaturze T . Jednocześnie odpływają popioły o natężeniu F_g . W reaktorze odbywa się ciągła reakcja zamiany materiału A w materiał B . Prędkość tej przemiany można opisać zależnością (1):

$$r = C_A k(T), \quad (1)$$

gdzie:

T – temperatura w reaktorze, $k(T)$ – stała prędkości reakcji zależna od temperatury, C_A – stężenie paliwa. Przy założeniu, że reakcja jest endotermiczna – ciepło reakcji wynosi h i do reaktora doprowadzany jest strumień energii cieplnej o natężeniu H .



Rys. 1. Uproszczony model zgazowarki
Fig. 1. Simplified model of a gasifier

Parametry charakteryzujące proces dla takiego modelu przyjmują następujące wielkości: W – załadowanie reaktora, C_A – stężenie wagowe paliwa i T – temperatura wsadu.

Dla powyższych założeń zapisać można równania bilansu mas:

$$\frac{dW}{dt} = F - F_g, \quad (2)$$

i bilansu energii:

$$\frac{\Delta(cWT)}{\Delta t} = cFT - cF_gT + H - hWC_Ak(T), \quad (3)$$

gdzie:

c – ciepło właściwe paliwa.

Ponieważ ciepło właściwe (c) jest stałe i przy założeniu, że masa wsadu reaktora (W) nie ulega zmianie, możliwe jest zapisanie równania opisującego zmianę temperatury procesu w czasie:

$$\frac{\Delta T_p}{\Delta t} = \left[\frac{\Delta T}{W} F + \frac{H}{cW} - \frac{hC_Ak(T)}{c} \right], \quad (4)$$

gdzie:

ΔT_p oznacza różnicę temperatur pomiędzy wewnątrz reaktora a podawanym paliwem (temperaturę procesu).

W celu kontroli stanu pracy zgazowarki można użyć zarówno zmiany prędkości podawanego paliwa F jak również ilości dostarczanego ciepła H . Wskaźnikiem pozwalającym określić stan procesu jest temperatura. Konieczna jest zatem dokładna jej znajomość.

W rzeczywistych obiektach do celów diagnostyki, kontroli i monitorowania wykorzystuje się czujniki termoelektryczne typu K w osłonach płaszczowych ze stali nierdzewnych. Pomimo osłon czujniki termoelektryczne poddawane są ciągłym naprężeniom termicznym jak i mechanicznym. Zjawiska te powodują przyspieszoną degradację materiałową spoiny i ramion czujnika co objawia się zmianą współczynnika Seebecka α (Sylvia i in. 2015). Zarazem zgodnie z zależnością $E = \alpha \Delta T$ (gdzie ΔT oznacza różnicę temperatur spoiny i wolnych końców czujnika) zmienia się siła elektromotoryczna E czujnika. Ostatecznie wielkość mierzona obciążona jest błędem pomiarowym a cały proces degeneracji czujnika najczęściej

określany jest jako jego „starzenie” (Lozbin & Zyska 2008, Elliott et al. 2015).

W zależności od charakteru i trybu pracy reaktora producenci ustalają częstość testów zabudowanych czujników termoelektrycznych. Problem pojedynczego testu sprowadza się do demontażu czujnika, który najczęściej jest zapieczony wewnątrz obsady jak również poddane wysokim temperaturom jego osłony stają się kruche. Oba uwarunkowania często skutkują zniszczeniem czujnika. Drugim istotnym problemem jest praca ciągła instalacji gazyfikującej. W takim przypadku zatrzymanie procesu na potrzeby testów poprawności czujnika determinowane jest co najwyżej przestojami technologicznymi. Potencjalna zmiana parametrów czujnika rzutuje zarówno na trwałość komponentów instalacji jak i ekonomiczność całego procesu. Powyższe rozważania stanowiły podstawę do opracowania metody diagnostyki czujników termoelektrycznych w miejscu ich montażu (*in-situ*).

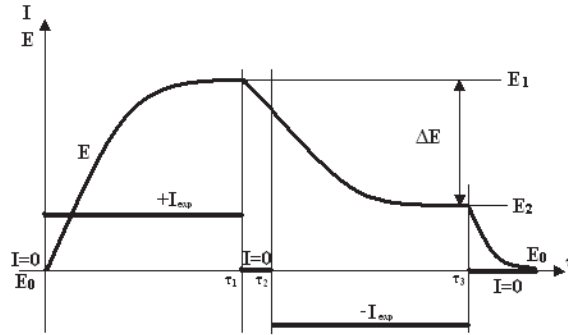
3. Metoda diagnostyki czujników termoelektrycznych

Metoda *in situ* zbudowana została w oparciu o model matematyczny czujnika termoelektrycznego. Model ten uwzględnia charakterystyczne parametry czujnika tj.:

- właściwości materiałowe,
- wymianę ciepła wewnątrz czujnika,
- wpływ temperatury na zmianę właściwości ramion czujnika (zmiana rezystancji i długości),
- wpływ temperatury połączenia wolnych końców czujnika z przewodami kompensacyjnymi.

Uzupełnieniem powyższej metody jest realizacja wymuszenia przepływu prądu testującego przez termoelement (rysunek 2).

Przepływ prądu powoduje wydzielenie lub pochłanianie określonej ilości ciepła w spoinie (na skutek efektu Peltiera). Wielkość zmiany temperatury spoiny daje informację o współczynniku Seebecka. Jednocześnie prąd testujący powoduje wydzielenie pewnej ilości ciepła Joule’a, które ma również wpływ na temperaturę końcową czujnika. Obie wielkości przyrostów są porównywalne.



Rys. 2. Charakterystyka przejściowa czujnika termoelektrycznego przy testowaniu prądem o zmiennej polaryzacji

Fig. 2. Transient characteristic of a thermocouple driven with bipolar current

Temperaturę spoiny w stanie ustalonym opisuje wyrażenie (5):

$$T = (T_0 + \frac{D}{m^2}) \left(\frac{p}{m-p} + 1 \right), \quad (5)$$

gdzie:

$m^2 = \frac{4k}{\lambda d}$, $D = \frac{J^2 \rho}{\lambda}$, $p = \frac{J\alpha}{2\lambda}$, k współczynnik przyjmowania ciepła pomiędzy czujnikiem a środowiskiem, d – średnica, J – gęstość prądu testującego, ρ – uśredniona rezystywność czujnika, λ – uśredniony współczynnik przewodności cieplnej czujnika.

Przekształcenie podstawowej zależności (6) proponowanej metody (Łozbin i Zyska 2008)

$$\Delta E = 2\alpha \frac{p}{m} \left(T_0 + \frac{D}{m^2} \right), \quad (6)$$

pozwala wyznaczyć dwa parametry opisujące czujnik termoelektryczny (7) i (8):

$$a = 2\alpha^2 I_1 (b I_1^2 + T_0) / \Delta E_1, \quad (7)$$

$$b = T_0 (I_2 \Delta E_1 - I_1 \Delta E_2) / (I_1^3 \Delta E_2 - I_2^3 \Delta E_1), \quad (8)$$

gdzie: I_1 i I_2 – wartości prądu testującego, ΔE_1 i ΔE_2 – odpowiadające tym prądom zmiany wartości siły elektromotorycznej czujnika.

Współczynniki a i b opisują stan czujnika termoelektrycznego. Ich zmiana w czasie pozwala na określenie szybkości degradacji termoelementu i jego przydatności w pomiarach. Ponieważ zależą one od temperatury, celowe jest wyznaczenie ich wartości na początku eksploatacji przy temperaturach roboczych (Zyska 2011) – zależnych od typu zgazowania.

Zależności (7) i (8) zawierają w sobie eksperymentalnie wyznaczalną siłę elektromotoryczną ΔE_1 i ΔE_2 . Oznacza to konieczność wyznaczenia tych wielkości w trakcie procedury testowania czujnika.

Natomiast wcześniej rozważyć należy zmianę współczynnika Seebecka α w czasie długotrwałej pracy czujnika. Zmianę tę opisuje się wyrażeniem (9):

$$\alpha_{EXP} = \alpha_0(1 - \delta), \quad (9)$$

gdzie: α_{EXP} – współczynnik Seebecka wyznaczony eksperymentalnie, α_0 – współczynnik Seebecka wyznaczony na początku eksploatacji monitorowanego czujnika. Chwilowe zmiany współczynnika Seebecka dążą do 0, więc można zapisać, że $E_{0,EXP} = \alpha_{EXP} (T - T_{WK})$, a więc rzeczywistą temperaturę spoiny można obliczyć ze wzoru (10):

$$T = T_{WK} + \frac{E_{0,EXP}}{\alpha_0(1 - \delta)}, \quad (10)$$

gdzie $E_{0,EXP}$ jest siłą elektromotoryczną czujnika wyznaczoną na początku jego eksploatacji. Powyższe rozważania pozwalają na wyznaczenie zależności na względne odchylenie współczynnika Seebecka. Przybiera ono postać (11):

$$\delta = \frac{E_{0,EXP} + \alpha_0(T_{WK} + Ib) - \frac{\Delta E_{EXP}}{2I\alpha_0}\alpha}{E_{0,EXP} + 2\alpha_0(T_{WK} + Ib)}, \quad (11)$$

gdzie: T_{WK} – temperatura wolnych końców czujnika, $\Delta E_{0,EXP}$ – wynik testowania czujnika w trakcie jego normalnej eksploatacji prądem o tej samej wartości i przeciwnych polaryzacjach. Parametry a i b wiążą parametry materiałowe czujnika i wyznaczone są na początku eksploatacji czujnika, natomiast I jest to wartość prądu testującego (niezbędnego do wyznaczenia ΔE_{EXP}).

Rozważania te prowadzą do eksperymentalnego sprawdzenia przydatności przedstawionej metody w warunkach przemysłowych. Obiektem testowym była zgazowarka niskotemperaturowa przeciwbieżna zasilana zrębkami drzewnymi.

4. Badania eksperymentalne

Jako źródło informacji przyjęto czujnik termoelektryczny typu K o długości ramion 60cm i ich średnicy równej 0,5mm. Taką długość czujnika determinują badania eksperymentalne (Lozbin i Zyska 2011) wskazujące, że $l/d > 100$ gdzie l – długość ramienia czujnika a d – średnica ramienia czujnika.

Źródłem prądu testującego był zasilacz napięcia stałego z regulowanym ogranicznikiem prądu wyjściowego. Rozwiązanie to utrzymuje zadany prąd w czujniku z tolerancją mniejszą niż 0,1%. Dedykowany układ elektroniczny wraz ze wzmacniaczem pomiarowym AD597 realizuje wzmocnienie i separację sygnałów mierzonych, a także sterowanie włączeniem i polaryzacją prądu testującego. Wyjściowy sygnał wzmacniacza można opisać poniższym wyrażeniem:

$$U_{\text{OUT}} = U_{\text{Ktype}} \cdot 245,46, \quad (12)$$

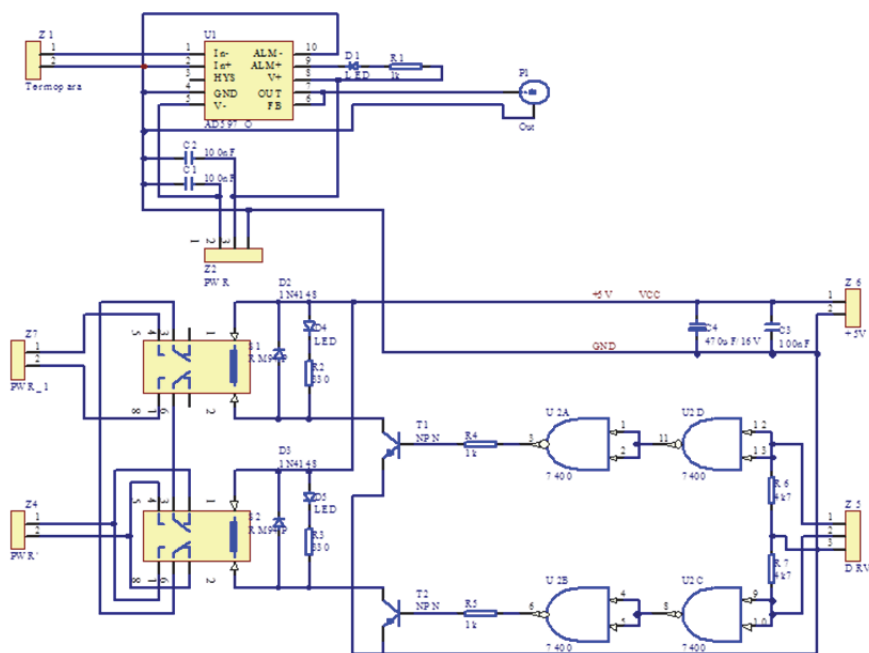
gdzie U_{Ktype} oznacza napięcie wyjściowe czujnika termoelektrycznego.

Ważną cechą tego rozwiązania jest sprzętowa realizacja kompensacji temperatury wolnych końców czujnika, co zdecydowanie uprościło dalszą analizę mierzonych temperatur.

Schemat zrealizowanego układu elektronicznego przedstawiony został na rysunku 3. Część pomiarowa, ze względu na eliminację wpływu zasilania sieciowego, zasilona została z dwóch baterii 9 V.

Zastosowanie tego układu pozwoliło na sterowanie czujnika prądem stałym o wybranej polaryzacji przy pomocy komputera. Oddzielnym problemem, który należało rozwiązać było oprogramowanie umożliwiające akwizycję danych a także sterowanie procesami. W tym celu wykorzystane zostało środowisko LabVIEW sprzężone z kartami pomiarowymi NI. Dane pomiarowe przetwarzane były przez 12-bitową kartę pomiarową zaś całość procesu sterowana była przez kartę cyfrowych wejść / wyjść. Aplikacja podzielona została na dwie niezależne sekcje. Pierwsza

była przeznaczona do akwizycji danych i sterowania procesem. Druga sekcja miała za zadanie ekstrakcję i obliczenie wybranych parametrów badanego czujnika. W ten sposób w ciągu całego cyklu, składającego się z wielu pomiarów, możliwe było kolejne wyznaczanie potrzebnych wielkości. Na koniec cyklu przewidziano również opcję wyznaczenia wartości średniej dla danych parametrów, a także odchylenia średniego.



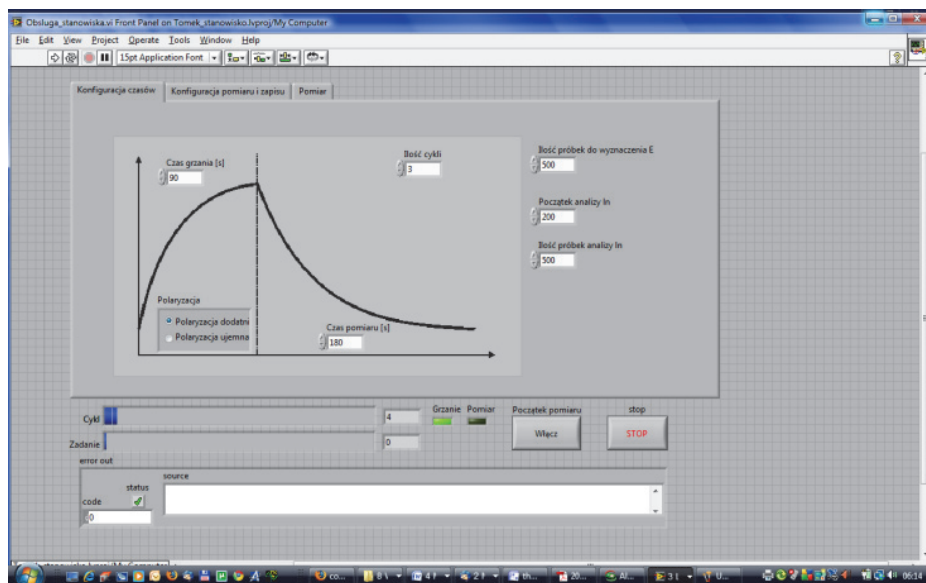
Rys. 3. Schemat elektronicznej części układu pomiarowego

Fig. 3. Electronic circuit of thermocouple tester

W ten sposób łatwo można było oszacować powtarzalność kolejnych pomiarów. Na rysunku 4 przedstawiono okno główne aplikacji – służące do zadawania określonych parametrów eksperymentu.

Prace przeprowadzone na dostępnym obiekcie miały wskazać na możliwość techniczną wyznaczenia wielkości elektromotorycznych. Na wyjściu analizowanej zgazowarki dostępne były dwa czujniki termoelektryczne.

Zarejestrowany został przebieg rozgrzewania reaktora. Przebieg mierzonej temperatury z pierwszego czujnika przedstawiony został na rysunku 5. Czujnik ten nie był poddawany testom.

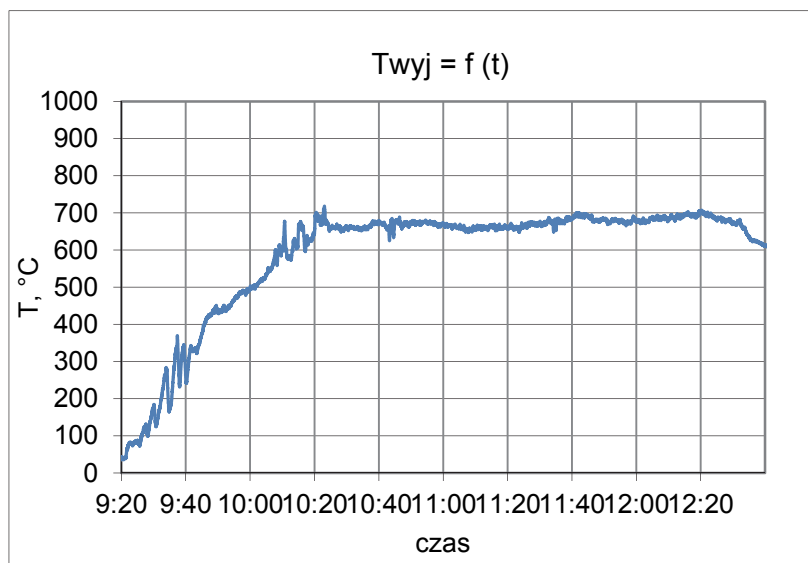


Rys. 4. Okno aplikacji konfiguracyjnej
Fig. 4. Main application window

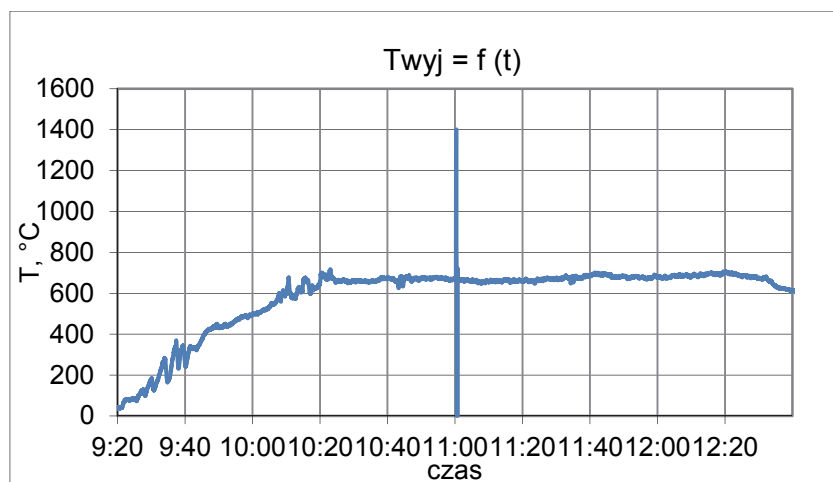
Drugi czujnik mierzył temperaturę gazów wylotowych i jednocześnie był poddany pobudzeniu za pomocą prądu testowego. Różnica temperatur wskazywanych przez oba czujniki w trakcie ich normalnej pracy nie przekraczała $0,5^{\circ}\text{C}$. Sygnał z tego czujnika przedstawiony został na rysunku 6. Zauważalne impulsy były wynikiem dołączenia prądu testującego. Czas trwania impulsów, zarówno dla prądu zgodnego z polaryzacją normalną czujnika jak i prądu do niej przeciwnego, drogą eksperymentalną ustalono jako 10 s.

Wybrany fragment przebiegu obrazujący testowanie czujnika prądem o zmiennej polaryzacji przedstawiony został na rysunku 6. Napięcie konieczne do wymuszenia przepływu prądu obie strony było wielokrotnie większe od napięcia akceptowalnego przez wzmacniacz pomiarowy. Pojawienie się tego napięcia powodowało wejście wzmacniacza w obszar nasycenia (maksymalna mierzona wartość napięcia) bądź w obszar zatkania (wartość mierzonego napięcia równa 0).

Uwarunkowanie to stanowi pewien mankament proponowanej adaptacji metody, ponieważ co najmniej przez 10 sekund czasu trwania impulsu testującego układ regulacji będzie otrzymywał niepoprawną informację o temperaturze.

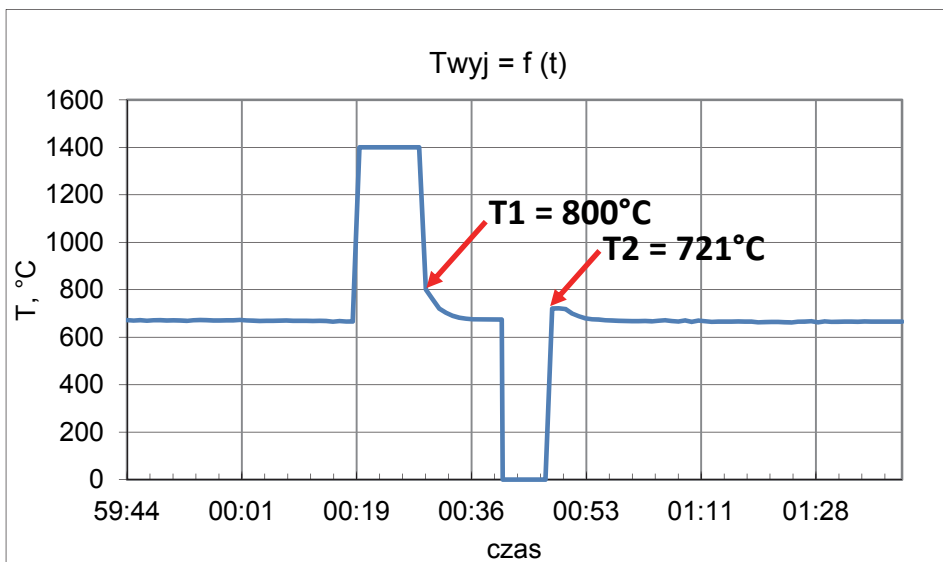


Rys. 5. Przebieg temperatury gazów wylotowych – rejestracja z czujnika nr 1
Fig. 5. Changes of output gas temperature – measured by thermocouple no.1



Rys. 6. Przebieg temperatury gazów wylotowych – rejestracja z czujnika nr 2
Fig. 6. Changes of output gas temperature – measured by thermocouple no.2

Przedstawione na rysunku 7 przebiegi pozwalają na bezpośrednie określenie sił elektromotorycznych. W warunkach ustalonych odczyt napięcia czujnika wynosił $27,524 \text{ mV}$ ($662 \pm 1^\circ\text{C}$). Napięcie wyjściowe czujnika wyznaczone w chwili odłączenia prądu testującego (polaryzacja dodatnia) osiągnęło wartość $33,312 \text{ mV}$ co w przeliczeniu oznacza 800°C . Dla polaryzacji przeciwnej napięcie wyjściowe czujnika przyjęło wartość $30,041 \text{ mV}$ co pozwoliło na określenie temperatury równej 721°C .



Rys. 7. Impulsy testujące – rejestracja z czujnika nr 2

Fig. 7. Pulses of the testing current – measured by thermocouple no. 2

Przedstawione wyniki stanowią potwierdzenie możliwości wyznaczenia siły elektromotorycznej czujnika termoelektrycznego w chwili odłączenia prądu testującego. Pojedyncze przebiegi przedstawiono zarówno w postaci siły elektromotorycznej jak i przeliczonej temperatury spoiny. Zaobserwowano istotne różnice w wielkości sił elektromotorycznych dla obu kierunków prądu testującego. Różnica sił elektromotorycznych stanowi pewną informację diagnostyczną potrzebną do wyznaczenia względnej zmiany współczynnika Seebecka, co wynika z zależności (11).

5. Algorytm diagnostyki stanu czujnika termoelektrycznego

Zgodnie z rozważaniami z rozdziału 3 procedura diagnostyki czujników w miejscu ich zamontowania powinna składać się z następujących elementów:

- pomiaru siły elektromotorycznej nowego czujnika w chwili jego montażu na obiekcie;
- wyznaczenia za pomocą dwóch wybranych wartości prądu testującego parametrów charakterystycznych czujnika oznaczonych jako a i b (opisane zależnościami (7) i (8));
- cyklicznego wyznaczania względnego odchylenia współczynnika Seebecka (zależność 11) i porównania z jego odchyleniem dopuszczalnym określonym dla danego monitorowanego procesu.

Tak zapisana procedura diagnostyczna wymaga archiwizacji kolejnych pomiarów odchylenia współczynnika Seebecka, co w większości zakładów przemysłowych jest standardową praktyką.

Zaproponowana metoda nosi zatem znamiona metody porównawczej, przy czym porównanie dotyczy jedynie wskazań tego samego czujnika. Zmiana współczynnika Seebecka określana jest względem współczynnika wyznaczonego na początku eksploatacji analizowanego czujnika termoelektrycznego.

6. Podsumowanie

Przedstawiona praca stanowi próbę praktycznej implementacji opracowanej przez Autorów metody diagnostyki czujników termoelektrycznych w miejscu (in-situ) zamontowania. Wskazana została możliwość zastosowania metody diagnostyki szczególnie w aplikacji, gdzie utrudniony jest dostęp do niepewnych czujników termoelektrycznych. Eksperymentalnie wyznaczone siły elektromotoryczne stanowią istotną informację diagnostyczną i mogą być wykorzystane w dalszym procesie analizy stanu monitorowanego czujnika. Wskazana metoda jest metodą porównawczą, gdzie odniesieniem jest stan tego samego czujnika, ale wyznaczony w chwili jego montażu (odniesienie następuje do wskazań czujnika nowego). Oprócz cech pozytywnych zauważyć należy, że w tra-

kcie poddawania testom, monitorowany czujnik nie wskazuje właściwej temperatury. Fakt ten oznacza konieczność zmian algorytmów kontrolujących proces zgazowania biomasy. Możliwym rozwiązaniem jest stosowanie czujników podwójnych – co i tak jest często praktykowane, lub też wyzwalanie testów w momencie, gdy zachodzący proces nosi znamiona ustabilizowanego.

Literatura

- Broer, K., Brown, R. (2015). The role of char and tar in determining the gas-phase partitioning of nitrogen during biomass gasification. *Applied Energy*, 158, 474-483.
- Cao, Y., You, J., Wang, R., Shi, Y. (2016). Designing a Mixed Evaluating System for Green Manufacturing of Automotive Industry. *Problemy Ekorozwoju – Problems of Sustainable Development*, 11(1), 73-86.
- Chen, J., Yin, W. (2015). Effect of reactions in small eddies on biomass gasification with eddy dissipation concept – Sub-grid scale reaction model. *Bioresource Technology*, 211, 93-100.
- Elliott, C. J., Greenen, A. et al. (2015). High temperature exposure of in-situ thermocouple fixed-point cells: stability with up to three months of continuous use. *METROLOGIA*, 52(2), 267-271.
- Gao, X., Zhang, Y. (2016). Model development for biomass gasification in an entrained flow gasifier using intrinsic reaction rate submodel. *Energy Conversion and Management*, 108, 120-131.
- Liu, H. (2015). Biofuel's Sustainable Development under the Trilemma of energy, Environment and Economy. *Problemy Ekorozwoju – Problems of Sustainable Development*, 10(1), 55-59.
- Lozbin, V., Zyska, T. (2008). Analiza możliwości stosowania efektów termoelektrycznych do badań termooogniw. *Przegląd Elektrotechniczny*, 84(3), 255-258.
- Lozbin, V., Zyska, T. (2010). A laboratory stand used for determination of selected thermoelectric sensor parameters. *Przegląd Elektrotechniczny*, 7, 232-234.
- Pawłowski, A. (2008). The role of social sciences and philosophy in shaping of the sustainable development concept. *Problemy Ekorozwoju – Problems of Sustainable Development*, 3(1), 7-11.
- Pawłowski, A. (2009). Theoretical Aspects of Sustainable Development Concept. *Rocznik Ochrona Środowiska*, 11, 985-994.
- Pawłowski, A. (2013). Sustainable Development and Globalization. *Problemy Ekorozwoju – Problems of Sustainable Development*, 8(2), 5-16.

- Skala, Z., Ochrańa, L. (2002). *Możliwości gazyfikacji biomasy w ujęciu energetycznym*. Zeszyty Naukowe. Elektryka / Politechnika Opolska.
- Sharma, A. M., Kumar, A. et al. (2014). Prediction of biomass-generated syngas using extents of major reactions in a continuous stirred-tank reactor. *Energy*, 72, 222-232.
- Sylvia, J. I., Chandar, S., Velusamy, K. (2014). A novel method for in-situ estimation of time constant for core temperature monitoring thermocouples of operating reactors. *NUCLEAR ENGINEERING AND DESIGN*, 275, 154-162.
- Udo, V., Pawłowski, A. (2010). Human Progress Towards Equitable Sustainable Development: A Philosophical Exploration. *Problemy Ekorozwoju – Problems of Sustainable Development*, 5(1), 23-44.
- Wu, K.T., Chein, R.Y. (2015). Modeling of Biomass Gasification with Preheated Air at High Temperatures, Clean, Efficient and Affordable Energy for a Sustainable Future: The 7th International Conference on Applied Energy (ICAE2015). *Energy Procedia*, 75, 214-219.
- Qin, Y. Campen, A. (2015). The influence of different chemical compositions in biomass on gasification tar formation. *Biomass and Bioenergy*, 83, 77-84.
- Zyska, T. (2011). *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*, 139-139.
- Żukowska, G., Myszcza, M., Baran, S., Wesółowska, S., Pawłowska, M., Dobrowolski, Ł. (2016). Agriculture vs Alleviating the Climate Change. *Problemy Ekorozwoju – Problems of Sustainable Development*, 11(2), 67-74.

Diagnosis of the Thermocouple in the Process of Gasification of Biomass

Abstract

One of the methods of obtaining energy from renewable sources is the biomass gasification. For economic reasons, and taking into account the security aspects, it is important to ensure that the process is optimal. The gasification process can be optimized regarding the product energy, especially concentration of hydrocarbons and their derivatives or tar substrates, such optimization requires precise knowledge of temperatures in the gasification reactor.

The temperatures inside the reactor determine the speed and quality of gasification process and are one of the most important parameters for control and monitoring systems of gasifier operation. Thermocouples are most widely

used for temperature monitoring. That is the reason why it is important to acquire precise temperature readout regardless of aging processes.

The significance of accurate temperature determining has been demonstrated with the use of a simplified mathematical model of a reactor assuming ideal reagents mixing. The presented mass and energy balance equations have led to determine the temperature changes during the analyzed process. The final equation is a base for the optimization of the gasification process and contains quantity of measured temperature. The main problem is the accuracy of temperature measurement.

The authors have developed the in-situ method of diagnostics of thermocouples, that allows determination of the relative deviation of the sensor thermoelectric force during its operation. Besides characteristic parameters such as material properties the model includes the internal heat transfer, as well. The presented diagnostic method consists in determining the electromotive force of a newly installed sensor, and then determination of characteristic parameters using two selected values of testing current. During operation of the monitored sensor, periodic determination of the relative deviation of the Seebeck coefficient is required. This relative deviation should be compared to its permissible level, that is specified for the process being monitored.

The proposed method belongs to the class of comparative ones, where the comparison is related to the indications of the same sensor (the new one and in-service). Experimental verification of the presented method was carried out using gasifier with nominal thermal load of 50kW, fed with wood pellets. The temperature of synthesis gas was measured by the two sensors, the reference sensor and the second one, that was driven by pulses of a testing current. For both current directions the thermoelectric force has been determined. The difference of the obtained electromotive forces is diagnostic information, that is needed to calculate the relative change of the Seebeck coefficient.

The proposed solution allows diagnosing thermocouples located in confined areas. Moreover, additional benefit is the possibility of sensors diagnosis without stopping the process being monitored. It is important for both economic and technological reasons.

Słowa kluczowe:

zgazowarka, pomiar temperatury, diagnostyka

Keywords:

gasifier, temperature measurement, diagnostics