

Wzorcowanie termoelementów

1 Oznaczenia

E	- siła termoelektryczna, mV
t_a	- temperatura powietrza otoczenia, °C
t_n	- temperatura n-tego wzorcowanego termoelementu, °C
t_w	- temperatura wzorcowego czujnika, °C
Δt_n	- błąd bezwzględny n-tego termoelementu, °C
δ_n	- błąd względny n-tego termoelementu, \emptyset lub %
τ	- czas, s

1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z metodami wzorcowania termoelementów. Ponadto w ćwiczeniu zostanie określona klasa dokładności przebadanych termoelementów oraz jej wpływ na uzyskiwane wyniki pomiarów.

2. Wprowadzenie teoretyczne

Wzorcowanie czujników temperatury wykonuje się wówczas, gdy na podstawie norm lub wymogów prawnych konieczne jest zapewnienie zgodności z przepisami międzynarodowymi. Ponadto, kalibracja może być konieczna w sytuacjach, gdy wymagane jest zapewnienie mniejszej tolerancji (większej dokładności pomiarowej) niż ta wymagana na mocy normy [1] lub też w celu kontroli długoterminowego działania czujnika temperatury.

Wzorcowanie polega na ustaleniu poziomu odchyłeń pomiarowych czujnika temperatury lub czujnika i przetwornika. W czasie kalibracji nie dokonuje się żadnej zmiany badanego materiału. W urządzeniach pomiarowych w czasie dokonywania pomiaru ustalana jest różnica pomiędzy temperaturą wskazywaną przez urządzenie pomiarowe a wartością referencyjną. Nie dokonuje się żadnych zmian w samym urządzeniu pomiarowym, np. przedstawienie punktu uznawanego za punkt zerowy [2].

Kalibracja czujników temperatury odbywa się na dwa sposoby: kalibracja w stałych punktach pomiarowych oraz kalibracja według metody porównawczej.

Kalibracja w stałych punktach pomiarowych polega na porównaniu wartości zmierzonej do wartości temperatury w stałych punktach pomiarowych. Do sprawdzania przyrządów pomiarowych stosuje się najczęściej następujące punkty stałe:

- punkt topnienia lodu (0°C), używany do sprawdzania czujników rezystancyjnych, termometrów rtęciowych i cieczowych oraz stosowany do uzyskania temperatury odniesienia przy sprawdzaniu czujników termoelektrycznych;
- punkt wrzenia wody (100°C), używany głównie do sprawdzania czujników rezystancyjnych;

- punkty krzepnięcia różnych metali, jak np. cyny (232°C), ołowiu (327°C), cynku (419°C), aluminium (660°C), miedzi (1085°C) i niektórych związków chemicznych, np. chlorku sodu (801°C), realizowane metodą tyglową do sprawdzania czujników termoelektrycznych;
- punkty topnienia niektórych metali, np. złota (1064°C), palladu (1554°C), czy platyny (1772°C), realizowane metodą drutową do sprawdzania czujników termoelektrycznych.

Mimo iż metoda sprawdzania w punktach stałych, zwłaszcza w punktach krzepnięcia metali, jest metodą dokładną, wolną od subiektywnej oceny prowadzącego pomiary, nie jest ona powszechnie stosowana w przypadku przyrządów użytkowych, głównie ze względu na kosztowne urządzenia do realizacji tych punktów oraz dużą czasochłonność pomiarów [3].

Kalibracja według metody porównawczej polega na porównaniu wyników pomiarów temperatury wzorcowanego czujnika z termometrem referencyjnym. Kalibracja możliwa jest dopiero po stabilizacji temperatury cieczy lub pieca kontrolnego, w którym znajdują się czujniki temperatury.

Na podstawie przeprowadzonego wzorcowania termoelementu i z użyciem normy [1] można określić jego **klasę dokładności**. W tabeli poniżej przedstawiono zależności do określania klasy pomiarowej termoelementów typu K (NiCr-NiAl).

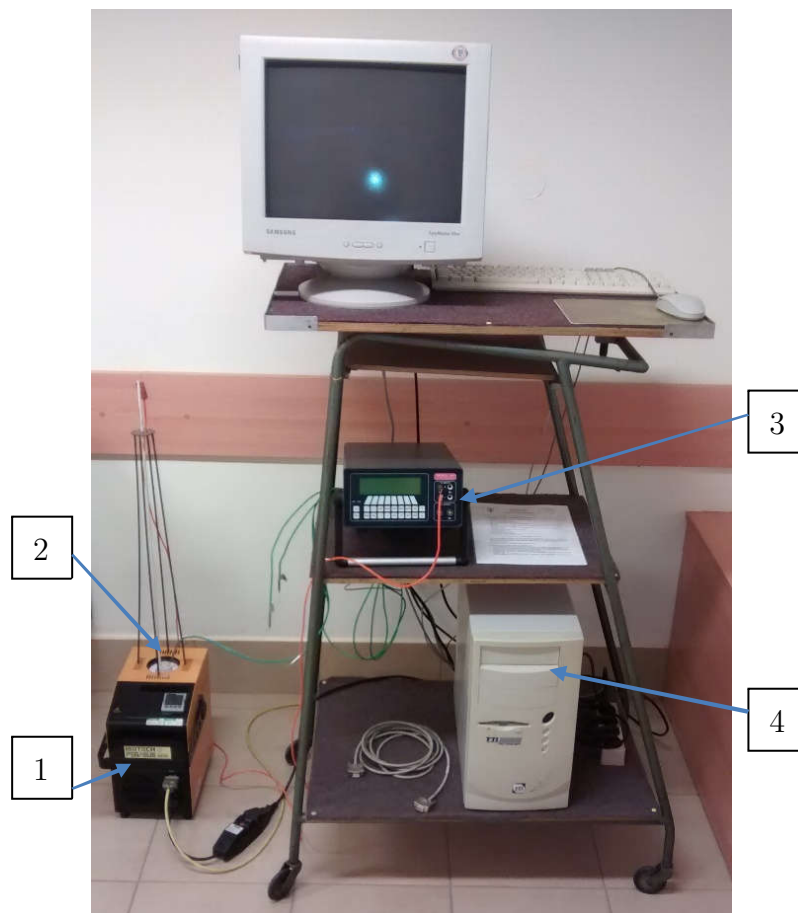
Tab. 1 Klasy dokładności termoelementu typu K (NiCr-NiAl) wraz z dopuszczalnymi odchyłkami [1]

Klasa	Zakres temperatury	Dopuszczalny błąd
1	-40°C .. +375°C	±1,5°C
	+375°C .. +1000°C	±0,0040 · t
2	-40°C .. +333°C	±2,5°C
	+333°C .. +1200°C	±0,0075 · t

3. Cechowanie termoelementów

3.1. Stanowisko pomiarowe

Stanowisko pomiarowe zostało pokazane na rys. 1. Składa się one z wysokiej klasy pieca (1) do kalibracji czujników temperatury metodą porównawczą. Piec ISOTECH PEGASUS PLUS 1200 zapewnia wysoką stabilność temperatury w zakresie od $150^{\circ}\text{C} \pm 0,1^{\circ}\text{C}$ do $1200^{\circ}\text{C} \pm 0,2^{\circ}\text{C}$. Do pomiaru temperatury służy wzorcowy termoelement typu S (PtRh10-Pt) lub czujnik rezystancyjny Pt100 (oba czujniki posiadają świadectwo wzorcowania). Czujniki (2) w piecu umieszcza się w specjalnie przygotowanych bloczkach metalowych ułatwiających stabilizację temperatury w piecu. Czujnik pomiarowy mierzący temperaturę w piecu podłączony jest do wysokiej klasy termometru cyfrowego CROPICO 3001 (3) pozwalającego na pomiar temperatury czujnikiem rezystancyjnym Pt100 oraz termoelementami typu S i K. Zmierzone wartości temperatury z czujnika wzorcowego oraz wzorcowanych termoelementów są przesyłane i rejestrowane w komputerze (4).



Rys. 1 Stanowisko pomiarowe

3.2. Wykonanie pomiarów

Przed rozpoczęciem pomiarów zasadniczych należy zmierzyć temperaturę otoczenia t_a . Pomiar polega na zmierzeniu temperatury czujników wzorcowanych w znanej (zmierzonej czujnikiem wzorcowym) temperaturze panującej w piecu. Rejestracja temperatury następuje automatycznie w wybranych punktach pomiarowych po ustaleniu się stałej temperatury. Kryterium stałej temperatury jest utrzymanie się wartości odchylenia standardowego temperatury mierzonej czujnikiem wzorcowym w granicach 0,1K z 10 ostatnich pomiarów.

3.3. Opracowanie wyników pomiarów

W ćwiczeniu należy obliczyć **błąd bezwzględny** wzorcowanych termoelementów, który definiuje się następująco:

$$\Delta t_n = |t_w - t_n| \quad (1)$$

oraz **błąd względny** wzorcowanych termoelementów:

$$\delta_n = \frac{\Delta t}{t_w} = \frac{|t_w - t_n|}{t_w} \quad (2)$$

Czasami błąd względny wyrażamy w procentach i wtedy liczymy ze wzoru:

$$\delta_n = \frac{\Delta t}{t_w} \cdot 100\% = \frac{|t_w - t_n|}{t_w} \cdot 100\% \quad (3)$$

4. Sprawozdanie

Sprawozdanie powinno zawierać:

- Cel ćwiczenia;
- Schemat stanowiska pomiarowego;
- Przedstawienie toku obliczeń z przykładowymi podstawieniami do wzorów;
- Zestawienie wyników pomiarów i obliczeń w formie tabelarycznej.
- Wykres pokazujący zależność temperatury wszystkich czujników (1 wzorcowy + 4 wzorcowane) w funkcji czasu $t = f(\tau)$.
- Wykres pokazujący zależność błędu bezwzględnego poszczególnych termopar w funkcji temperatury rzeczywistej (zmierzonej czujnikiem wzorcowym) $\Delta t_n = f(t_w)$.
- Wykres pokazujący zależność błędu bezwzględnego poszczególnych termopar w funkcji temperatury rzeczywistej (zmierzonej czujnikiem wzorcowym) $\delta_n = f(t_w)$.
- Określenie klasy dokładności wzorcowanych termoelementów.
- Uwagi i wnioski.

5. Literatura

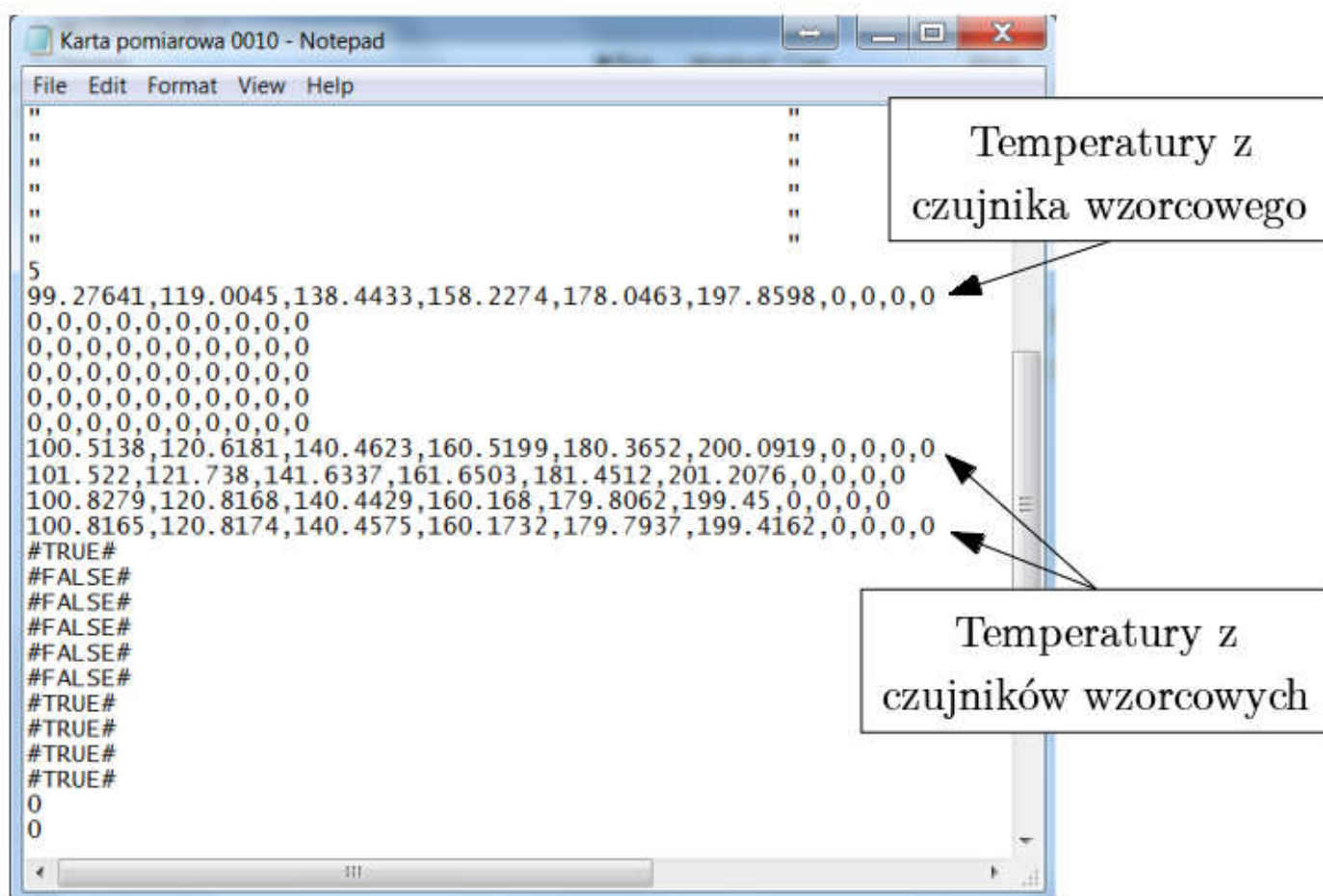
- [1] Norma PN-EN 60584-1:2014-04 "Termoelementy - Część 1: Specyfikacje i tolerancje EMF", 2014
- [2] Wiesław Wędrychowicz „Pomiar temperatury termoelementami” instrukcja laboratoryjna z przedmiotu Miernictwo Energetyczne, Wrocław : Politechnika Wrocławska, 2015
- [3] Ludwik Michalski, Krystyna Eckersdorf "Pomiary temperatury" Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1986

Załącznik 1 - Format plików z wynikami

Plik: **Karta pomiarowa xxxx.dat**

W pliku tym zapisane są temperatury zmierzone wszystkimi czujnikami temperatury (1 wzorcowym oraz 4 wzorcowanymi) w punktach wzorcowania.

W **wierszach** znajdują się kolejne temperatury **oddzielone przecinkami** dla danego czujnika temperatury. W pierwszym wierszu z danymi znajdują się temperatury dla czujnika wzorcowego. W kolejnych wierszach z danymi znajdują się temperatury z kolejnych czujników wzorcowanych.



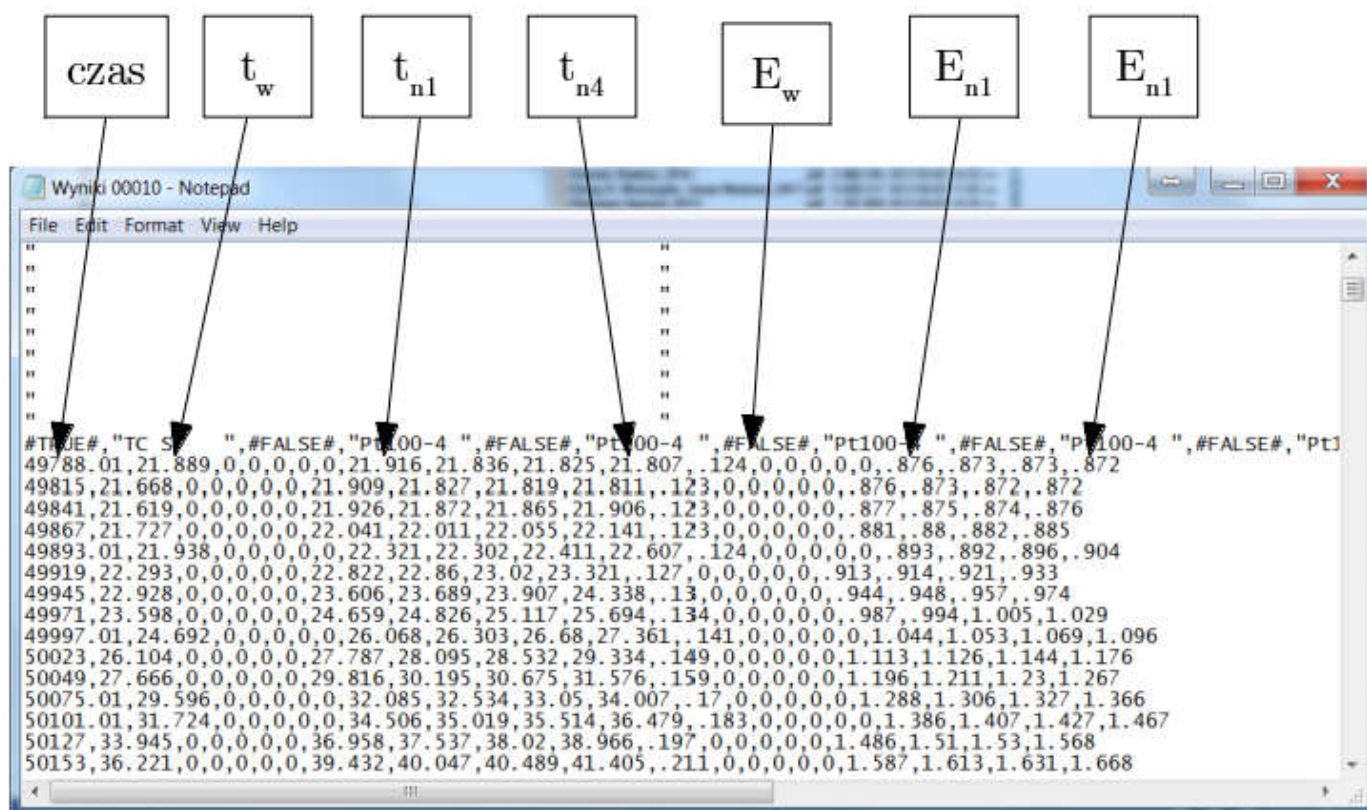
Rys. 2 Format pliku Karta pomiarowa xxxx.dat

Plik: Wyniki xxxxx.dat

W pliku tym zapisane są temperatury oraz siły termoelektryczne poszczególnych termoelementów w czasie trwania całego procesu wzorcowania.

Dane zawarte w tym pliku znajdują się w kolejnych **kolumnach** w następującej kolejności:

Czas s	t_w °C	t_{n1} °C	...	t_{n4} °C	E_w mV	E_{n1} mV	...	E_{n2} mV
-----------	-------------	----------------	-----	----------------	-------------	----------------	-----	----------------



Rys. 3 Format pliku Wyniki xxxxx.dat