

Jerzy Langman, Norbert Pedryc, Bogusława Łapczyńska-Kordon
 Katedra Inżynierii Mechanicznej i Agrofizyki
 Akademia Rolnicza Kraków

ZASTOSOWANIE MODUŁU PELTIERA W INŻYNIERII ROLNICZEJ

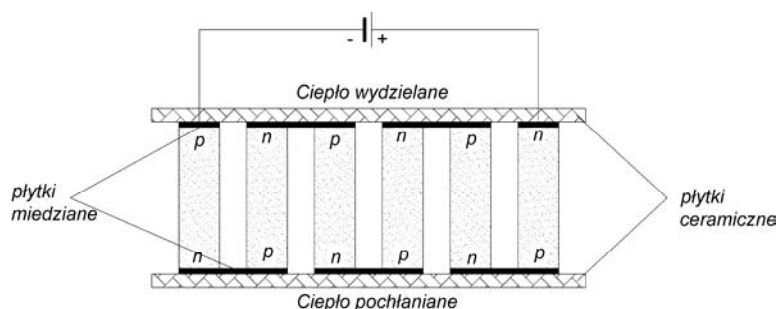
Streszczenie

W niniejszej pracy podjęto badania mające na celu przebadanie modułu Peltiera pod kątem zastosowań w inżynierii rolniczej i agrofizyce. Określono najniższą temperaturę, jaką osiągnęła chłodzona powierzchnia modułu przy różnych natężeniach prądu. Przykładowo obliczono czas chłodzenia 10 l mleka w adiabatycznym zbiorniku oraz powierzchnię wymiany ciepła pomiędzy modułem a cieczą.

Słowa kluczowe: moduł Peltiera, strumień ciepła, wymiana ciepła

Wstęp

Moduł Peltiera to rodzaj „kanapki”, w której pomiędzy dwoma zewnętrznymi okładzinami ceramicznymi rozmieszczono ułożone naprzemiennie kostki półprzewodników typu „n” i „p” (tellurek bizmutu). Kostki łączą się ze sobą elektrycznie za pomocą cienkich miedzianych mostków tak, aby prąd stały płynął po kolei przez wszystkie półprzewodniki (rys. 1).



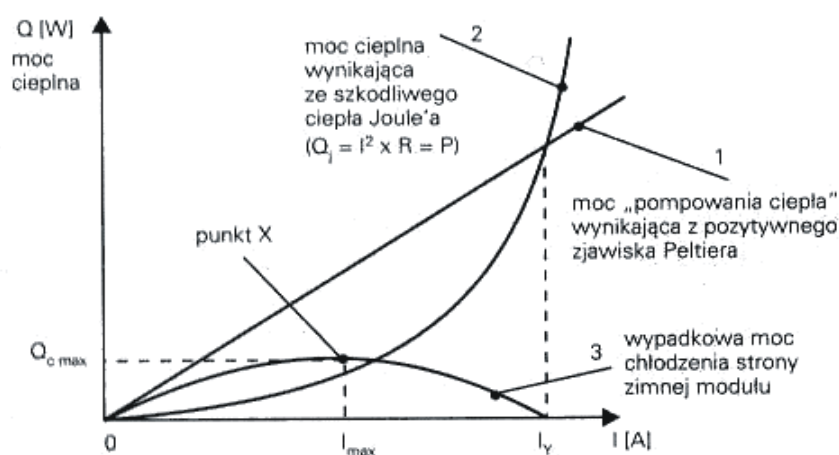
Rys. 1. Budowa modułu Peltiera

Fig. 1. Peltier module structure

Dzięki efektowi opisanemu przez Peltiera prąd elektryczny powoduje chłodzenie jednej ze stron termomodulu oraz ogrzewanie strony przeciwnej. Wraz ze wzrostem natężenia prądu efekt rośnie aż do nasycenia, natomiast zmiana biegunowości zasilania powoduje zamianę strony zimnej na ciepłą i odwrotnie.

Działanie modułu Peltiera związane jest przynajmniej z pięcioma zjawiskami fizycznymi, z których zjawisko odkryte przez Peltiera jest najważniejsze. Dwa z nich mają negatywny wpływ i właśnie one decydują o praktycznie uzyskiwanych parametrach modułu Peltiera. Są to: efekt Joule'a oraz zjawisko przewodzenia ciepła, pozostałe dwa zjawiska: Seebecka i Thomsona odgrywają mniej ważną rolę. Efekt Joule'a to wydzielanie się ciepła podczas przepływu prądu przez przewodnik o niezerowej rezystancji. Przy przepływie prądu będzie się w tej rezystancji wydzielać ciepło – jest to tak zwane ciepło Joule'a. Wydzielana moc będzie równa: $P = I^2 \cdot R$

W miarę zwiększania prądu, liniowo rośnie transport ciepła wynikający ze zjawiska Peltiera. Jednocześnie jednak proporcjonalnie do drugiej potęgi prądu ($Q = I^2 \cdot R$) rośnie ilość wydzielonego ciepła Joule'a. Ponieważ ze wzrostem prądu te szkodliwe ilości ciepła rosną szybciej niż ilość ciepła „pompowanego” przez moduł, więc przy zwiększaniu prądu wystąpi w pewnym momencie szczególna sytuacja, gdy ilość pompowanego pożytecznego „ciepła Peltiera” będzie równa ilości szkodliwego „ciepła Joule'a”. Przy takim prądzie strona zimna ogniwa nie będzie już pobierać ciepła z zewnątrz, bo wszystkie „możliwości transportowe” modułu będą wykorzystywane na wypompowanie z modułu ciepła szkodliwego. Ilustruje to poniższy wykres (rys. 2):



Rys. 2. Charakterystyka modułu Peltiera

Fig. 2. Peltier module characteristics

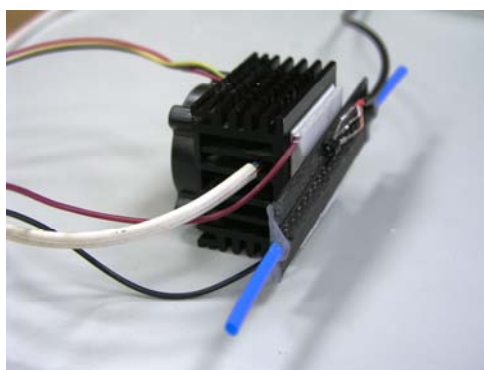
Prosta 1 reprezentuje „możliwości transportu ciepła”, a krzywa 2 – ilości ciepła Joule'a, wydzielane pod wpływem płynącego prądu. Rzeczywiste możliwości transportu ciepła „użytecznego”, z jednej strony modułu na drugą (czyli w sumie interesująca nas moc chłodzenia), będą więc różnicą „możliwości transportowych” i szkodliwego ciepła Joule'a. Te rzeczywiste możliwości przedstawia krzywa 2. Krzywa ta udowadnia, że nie możemy nadmiernie zwiększać prądu I , bowiem powyżej wartości I_{max} rzeczywista skuteczność chłodzenia zmniejsza się. Przy wartościach prądu powyżej I_Y moduł wcale nie będzie chłodził - obie strony będą się grzać, z tym że jedna strona będzie gorętsza od drugiej. Dla każdego modułu Peltiera określa się jakiś prąd maksymalny I_{max} , którego nie należy przekraczać, bo tylko pogorszy to uzyskiwany efekt chłodzenia. Wartość prądu I_{max} jest jednym z najważniejszych parametrów modułu Peltiera.

Metodyka badań

Przedmiotem badań był moduł Peltiera TM127-36 o następujących parametrach:

- moc 36 [W] przy zasilaniu prądem o napięciu 15.5 [V],
- maksymalny pobór prądu $I_y = 4.0$ [A],
- moc odprowadzana 36 [W],
- wymiary 40X40X3.8 [mm],
- maksymalna różnica temperatur $\Delta T = 83$ [oC].

Celem badań było określenie podstawowych charakterystyk modułu TM127-36 zasilanego prądem I_y wynikającego z oporności wewnętrznej modułu oraz doświadczalne określenie wartości prądu I_{max} , przy którym oddziaływanie efektu Joule'a będzie mniejsze niż oddziaływanie efektu Peltiera, co objawi się stabilizacją temperatury po stronie zimnej. Widok przygotowanego do badań modułu TM127-36 przedstawiono na rys. 3.

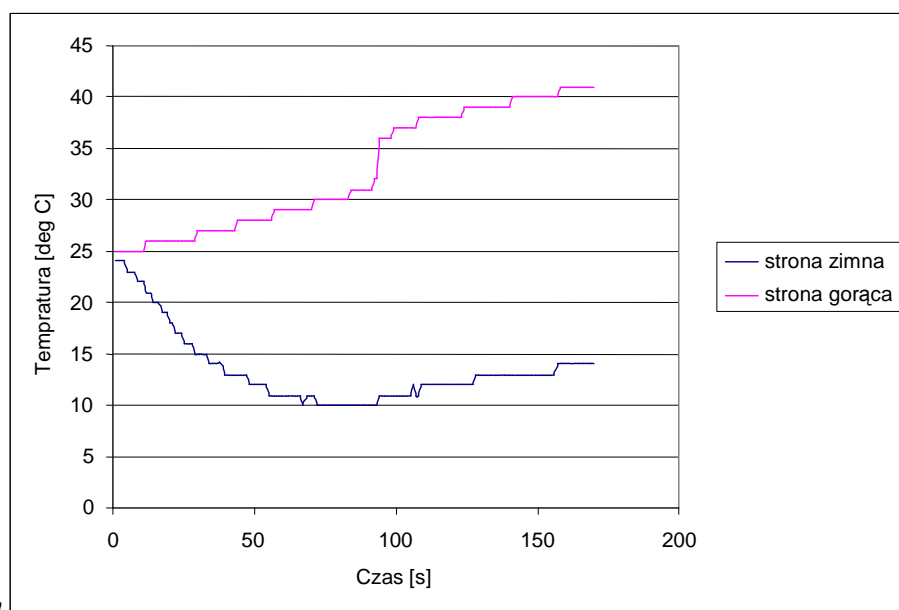


Rys. 3. Moduł Peltiera przygotowany do badań

Fig. 3. Peltier module prepared for tests

Po stronie gorącej modułu zamontowano radiator z wentylatorem celem intensywnego odprowadzania ciepła, natomiast po stronie zimnej zamontowano korpus rurowego wymiennika ciepła wykonanego z włókien węglowych wraz z elektronicznym czujnikiem temperatury. Pomiedzy żeberkami radiatora zamontowany jest drugi czujnik temperatury do ciągłego pomiaru temperatury strony gorącej.

Jako czujniki temperatury zastosowano układy LM35 będące zlinearyzowanymi przetwornikami temperatury o rozdzielczości pomiarowej $10\text{mV}/^\circ\text{C}$. Podczas pomiarów wykorzystano komputerowy układ pomiarowy służący zarówno do wizualizacji wyników pomiarów jak i do archiwizacji uzyskanych danych. System pomiarowy wyposażono w dedykowany program sterujący, który posiada jeszcze wbudowany moduł alarmu włączający się po przekroczeniu temperatury 130°C . Temperatura 130°C jest graniczną temperaturą dla tego typu modułów. Podczas pomiarów strona zimna nie była izolowana od otaczającej atmosfery, co powodowało ciągłe odprowadzanie ciepła ze strony zimnej. Na rys. 4 i 5 przedstawiono uzyskane przykładowe charakterystyki modułu Peltiera

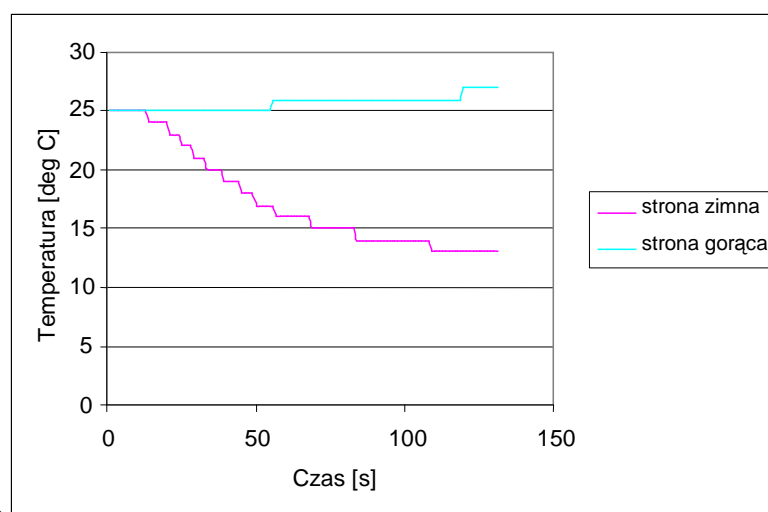


Błąd!

Rys. 4. Charakterystyka modułu Peltiera zasilanego prądem $I_y=3,45\text{ A}$, napięcie $11,2\text{ V}$

Fig. 4. Characteristics of Peltier module supplied with $I_y=3.45\text{ A}$ current, voltage 11.2 V

Jak widać na rys. 4 temperatura zimnej strony modułu Peltiera początkowo maleje, a po krótkim okresie stabilizacji zaczyna wzrastać. Spowodowane jest to wydzielaniem dużej ilości ciepła Joule'a na skutek przepływu prądu elektrycznego przez moduł. Natężenie prądu przepływającego przez moduł wynikało z oporności wewnętrznej modułu. Na rys. 5 przedstawiono charakterystykę modułu zasilanego prądem o obniżonym natężeniu do takiej wartości, przy którym ilość wydzielanego ciepła Joule'a jest niższa od ilości ciepła „wypompowanego” na skutek zjawiska Peltiera. Objawia się to stabilizacją temperatury zimnej strony modułu Peltiera.



Błąd!

Rys. 5. Charakterystyka modułu Peltiera zasilanego $I_{max}=1,34A$, napięcie prądu 11,2 V

Fig. 5. Characteristics of Peltier module supplied with $I_{max}=1,34A$ current, voltage 11.2 V

Przykład zastosowania modułu Peltiera w inżynierii rolniczej

Zastosowanie modułów Peltiera w praktyce jest ułatwione, gdyż oprócz doprowadzenia prądu do zasilania nie wymagają skomplikowanych instalacji jak to jest w przypadku klasycznych instalacji chłodniczych. Moduły te można łączyć ze sobą powiększając wielkość powierzchni chłodzonej. Do podstawowych zastosowań można zaliczyć:

- budowę laboratoryjnych komór chłodzących o możliwości precyzyjnego ustawiania temperatury poprzez regulację wielkości prądu zasilającego moduły Peltiera,
- płytowe, przepływowe urządzenia schładzające ciecze np. mleko po udoju,
- płytowe urządzenia schładzające materiałów sypkich przed ich zamrażaniem w tunelach zamrażalniczych, co w znacznym stopniu przyspieszy sam proces zamrażania,
- budowę precyzyjnych wzorców temperatury odniesienia,
- budowę przenośnych systemów klimatyzacyjnych dla małych pomieszczeń,
- punktowe schładzanie wydzielających duże ilości ciepła węzły konstrukcyjne linii technologicznych,
- chłodzenie elementów elektronicznych stanowiące wyposażenie maszyn rolniczych lub linii technologicznych przetwórstwa spożywczego.

Jednym ze sposobów zastosowania w inżynierii rolniczej jest wykorzystanie takich modułów do wstępnego schładzania mleka.

Przykładowe obliczenie będzie dotyczyło czasu schładzania za pomocą omawianego modułu Peltiera 20 l mleka. Mleko zaraz po udoju ma temperaturę około 35°C i należy je schłodzić do temperatury 8°C, żeby zapobiec niepożądanym procesom. W badanym module najniższa temperatura strony zimnej wyniosła 10°C, dlatego te obliczenia będą dotyczyły tylko wstępnego schładzania.

Całkowity strumień ciepła wydzielany module jest sumą ciepła Peltiera Q_p i ciepła Joula Q_J [Bobrowski 1998]:

$$\dot{Q} = -Q_p + Q_J \quad (1)$$

$$\dot{Q} = -C_p I + \alpha R I^2 \quad (2)$$

gdzie:

- C_p – stała Peltiera,
- I – natężenie prądu, A,
- R – opór prądu, Ω ,
- α – współczynnik uwzględniający ilość ciepła przenikającego do złącza chłodzonego ($\alpha \approx 0,5$).

Jeżeli zostanie przyjęte założenie, że mleko znajduje się w zbiorniku dobrze izolowanym, to strumień ciepła oddawany do płytki przez mleko będzie równy zmianie entalpii mleka ΔH w jednostce czasu τ :

$$\dot{Q} = \dot{Q}_w = \frac{\Delta I}{\tau} \quad (3)$$

Strumień ciepła wyprowadzonego z mleka odpowiada strumieniowi ciepła przejmowanego przez powierzchnię modułu [Szargut 1985]:

$$\dot{Q}_w = \alpha A (T_{sr} - T_p) \quad (4)$$

gdzie:

- A – powierzchnia zimnego elementu modułu Peltiera, m²,
- T_{sr} – średnia temperatura mleka w czasie schładzania, K,
- T_p – temperatura zimnej powierzchni modułu Peltiera, K,
- α – współczynnik przejmowania ciepła, W/(m²K).

Zmiana entalpii mleka jest równa [Szargut 1985]:

$$\Delta I = V \rho c (T_1 - T_2) \quad (5)$$

gdzie:

- c – ciepło właściwe mleka, J/(kgK),
- T₁, T₂ – temperatura początkowa i końcowa mleka, K,
- V – objętość mleka, m³,
- ρ – gęstość mleka, kg/m³.

Przyjmując obliczony współczynnik przejmowania ciepła α na podstawie liczb kryterialnych dla konwekcji swobodnej równy 18,45 W/(m²K) [Wiśniewski 1979], powierzchnię wymiany ciepła odpowiadającą powierzchni kontaktu modułu z chłodzonym mlekiem – 0,0016 m², temperaturę powierzchni modułu 10°C, mleka – 35°C, określony strumień ciepła oddawany przez mleko na podstawie równania (5) wyniósł 0,74 W. Zatem całkowity czas schładzania 20 l mleka w zbiorniku adiabatycznym można określić następującą zależnością:

$$\tau = \frac{\Delta I}{Q_w} \quad (6)$$

Po podstawieniu wartości czas schładzania założonej objętości mleka trwał by około 1 h 28 min. Analizując jednak czas, po jakim moduł osiągnął temperaturę 10°C i biorąc pod uwagę, że dalsze działanie modułu powodowało wzrost temperatury powierzchni wychładzanej. Konieczne jest zatem zastosowanie większej liczby takich modułów, tak, aby można było schładzać produkt w krótszym czasie, uwzględniając jednak koszty takich układów.

Podsumowanie

Na podstawie otrzymanych wyników badań modułu Peltiera TM127-36 można stwierdzić, że obniżając natężenie prądu przy takim samym napięciu obniża się temperatura powierzchni chłodzonej modułu. Zauważono, że przy natężeniu prądu 1,35 A temperatura powierzchni chłodzonej po 100 s zaczęła wzrastać. Dlatego należy poszukać rozwiązań, które pozwolą na dłuższe schładzanie, bez negatywnych efektów.

Przykładowo obliczony czas schładzania 20 l mleka za pomocą tego modułu przy natężeniu prądu 1,35 A byłby równy 43 min. Ze względu jednak na wzrost temperatury po 90 s, należy poszukać rozwiązań, które pozwolą na zwiększenie wydajności takich systemów schładzania.

Bibliografia

- Bobrowski Cz. 1998. Fizyka – krótki kurs. PWN, Warszawa.
- Szargut J. 1985. Termodynamika. PWN, Warszawa.
- Wiśniewski B. 1979. Wymiana ciepła. PWN, Warszawa.

APPLICATION OF PELTIER MODULE IN AGRICULTURAL ENGINEERING

Summary

The work presents research undertaken in order to check the Peltier module for possible application in agricultural engineering and agricultural physics. Carried out analysis allowed to determine lowest temperature reached by cooled module surface at various current intensity values. As an example, researchers calculated cooling time for 10 litres of milk in an adiabatic vessel and heat exchange surface area between the module and liquid.

Key words: Peltier module, heat stream, heat exchange