



**KAPITAŁ LUDZKI**  
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



**UNIA EUROPEJSKA**  
EUROPEJSKI  
FUNDUSZ SPOŁECZNY



**Projekt „Plan rozwoju Politechniki Częstochowskiej”  
współfinansowany ze środków UNII EUROPEJSKIEJ w ramach EUROPEJSKIEGO FUNDUSZU SPOŁECZNEGO  
Numer Projektu: POKL.04.01.01-00-59/08**

***KATEDRA FIZYKI***  
WYDZIAŁ INŻYNIERII PRODUKCJI  
I TECHNOLOGII MATERIAŁÓW  
POLITECHNIKA CZĘSTOCHOWSKA



## ***LABORATORIUM Z FIZYKI TECHNICZNEJ***

### **ĆWICZENIE NR 6**

## **BADANIE SPRAWNOŚCI KOLEKTORA SŁONECZNEGO**



Politechnika Częstochowska, Centrum Promocji i Zastosowań Nauk Ścisłych  
ul. Dąbrowskiego 73 pok. 178, 42-200 Częstochowa  
tel./ fax. +343250324, e-mail: [imi@imi.pcz.pl](mailto:imi@imi.pcz.pl), <http://www.cns.pcz.pl>

## Ćwiczenie 6: Badanie sprawności kolektora słonecznego

### I. Zagadnienia do przestudiowania:

#### Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest wyznaczenie sprawności wodnego kolektora słonecznego z obiegiem wymuszonym pompą cyrkulacyjną (zaopatrzoną w przepływomierz) dla kilku wybranych warunków pracy.

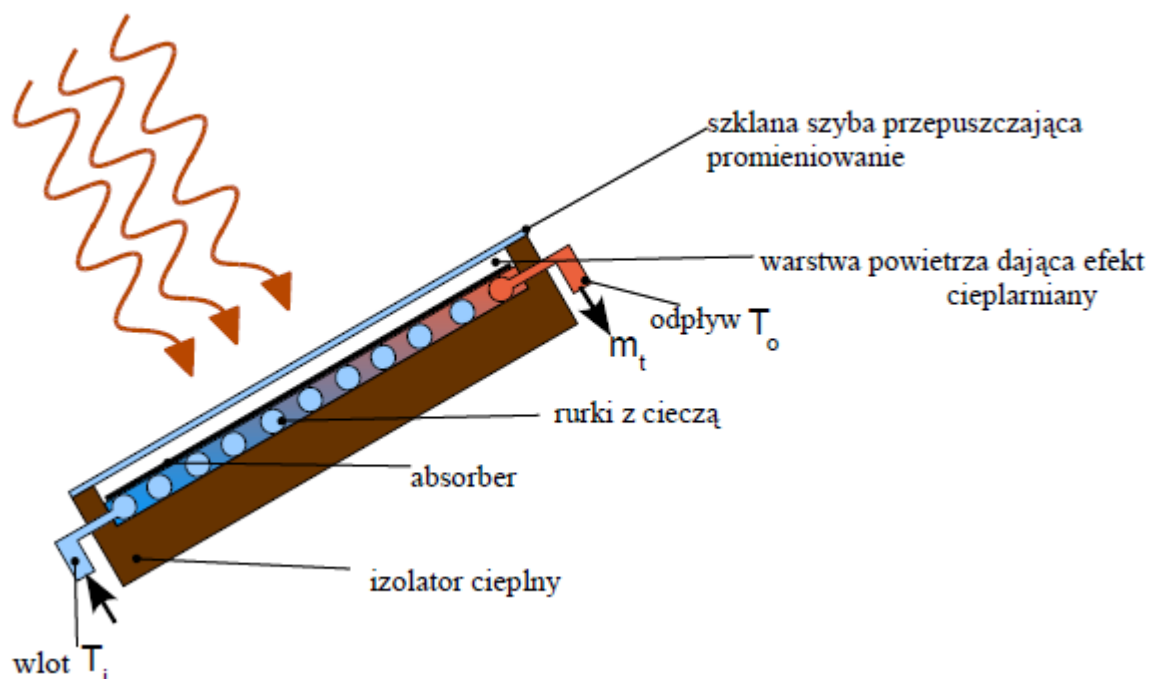
#### Zagadnienia do przestudiowania

1. Prawa promieniowania ciała doskonale czarnego
2. Absorpcja
3. Efekt cieplarniany
4. Konwekcja
5. Przewodnictwo ciepła
6. Równania kolektorów
7. Wydajność kolektorów

### III. Wprowadzenie teoretyczne

#### 1) Zasada działania kolektora

Kolektor słoneczny jest używany do ogrzewania wody wykorzystując energię słoneczną. Aby określić jego sprawność (wydajność) należy znać jego konstrukcję, warunki pogodowe, kąt jego nachylenia względem słońca oraz temperaturę absorbera. W naszym doświadczeniu lampa halogenowa o znanej mocy i strumień zimnego powietrza symulują warunki pogodowe. Na rys. 1 przedstawiono konstrukcję najprostszego kolektora słonecznego



Rysunek 1. Schemat kolektora słonecznego;  $m_t$  - masa wody przepływającej w jednostce czasu przez kolektor

### Ćwiczenie 6: Badanie sprawności kolektora słonecznego

Widoczny na rysunku zaczerpiony absorber, o współczynniku absorpcji bliskim jedności, odbiera energię docierającego doń promieniowania, którą następnie w procesie przewodzenia przekazuje wodzie przepływającej przez kolektor. Pozostałe współistniejące procesy: promieniowania, przewodzenia w kierunku innym niż przewody z odbierającą ciepło wodą oraz konwekcji-są źródłem strat, zmniejszających ilość użytecznej energii. Należy je zminimalizować stosując izolację cieplną absorbera.

#### **2) Sprawność kolektora**

Szkoło pokrywające kolektor absorbuje lub odbija energię słoneczną, zatem gęstość mocy przejętej przez absorber  $P_c$  można wyliczyć ze wzoru (gęstość mocy wyrażamy w  $W/m^2$ )

$$P_c = \alpha \tau P_i \quad (1)$$

gdzie:  $\alpha$ - współczynnik absorpcji absorbera

$\tau$ - współczynnik przepuszczania promieniowania przez płytę

$P_i$ -gęstość mocy promieniowania dochodzącego do kolektora

Użyteczna gęstość mocy  $P_u$  oddawana przez kolektor opisana jest równaniem

$$P_u = P_c - P_l - P_s \quad (2)$$

gdzie:  $P_s$ -gęstość mocy magazynowanej w absorberze, przewodach wodnych itd.

$P_l$ -gęstość mocy traconej.

Gęstość mocy traconej  $P_l$  zależy od różnicy temperatur absorbera  $T_a$  i temperatury otoczenia  $T_{amb}$  i opisana jest zależnością:

$$P_l = k(T_a - T_{amb}) \quad (3)$$

gdzie  $k$  jest współczynnikiem przewodzenia ciepła.

Wstawiając do równania (2) równanie (1) i (3) otrzymujemy:

$$P_u = \alpha \tau P_i - k(T_a - T_{amb}) - P_s \quad (4)$$

Ponieważ temperatura absorbera  $T_a$  może być trudna do wyznaczenia, w praktyce zastępuje się ją tzw. Średnią temperaturą wody obliczoną ze wzoru

$$T_{as} = \frac{T_i + T_o}{2}$$

gdzie  $T_i$ -temperatura wody na wejściu kolektora,  $T_o$ -temperatura wody na wyjściu kolektora.

Badanie sprawności kolektora przeprowadza się w stanie ustalonym jego pracy tj. gdy temperatura wody na jego wejściu i wyjściu pozostaje stała. Wartość gęstości mocy traconej  $P_s = 0$ .

Wprowadzając równocześnie współczynnik efektywności absorbera  $f$ , który charakteryzuje proces przenoszenia ciepła z kolektora do wody, możemy wyliczyć sprawność kolektora

### Ćwiczenie 6: Badanie sprawności kolektora słonecznego

$$\eta = f\left(\frac{P_u}{P_i}\right) = f\left(\frac{\alpha\tau P_i - k(T_{as} - T_{amb})}{P_i}\right)$$

$$\eta = f\left[\alpha\tau - \frac{k(T_{as} - T_{amb})}{P_i}\right] \quad (5)$$

W praktyce znacznie prościej moc użyteczną oddawaną przez kolektor do odbiornika ciepła można wyznaczyć ze wzoru:

$$P = m_t c_w (T_o - T_i) \quad (6)$$

gdzie  $m_t$ - jest natężeniem przepływu masy wody (podane w kg/s)

$c_w$ - ciepło właściwe wody.

Sprawność kolektora można zatem zapisać wzorem:

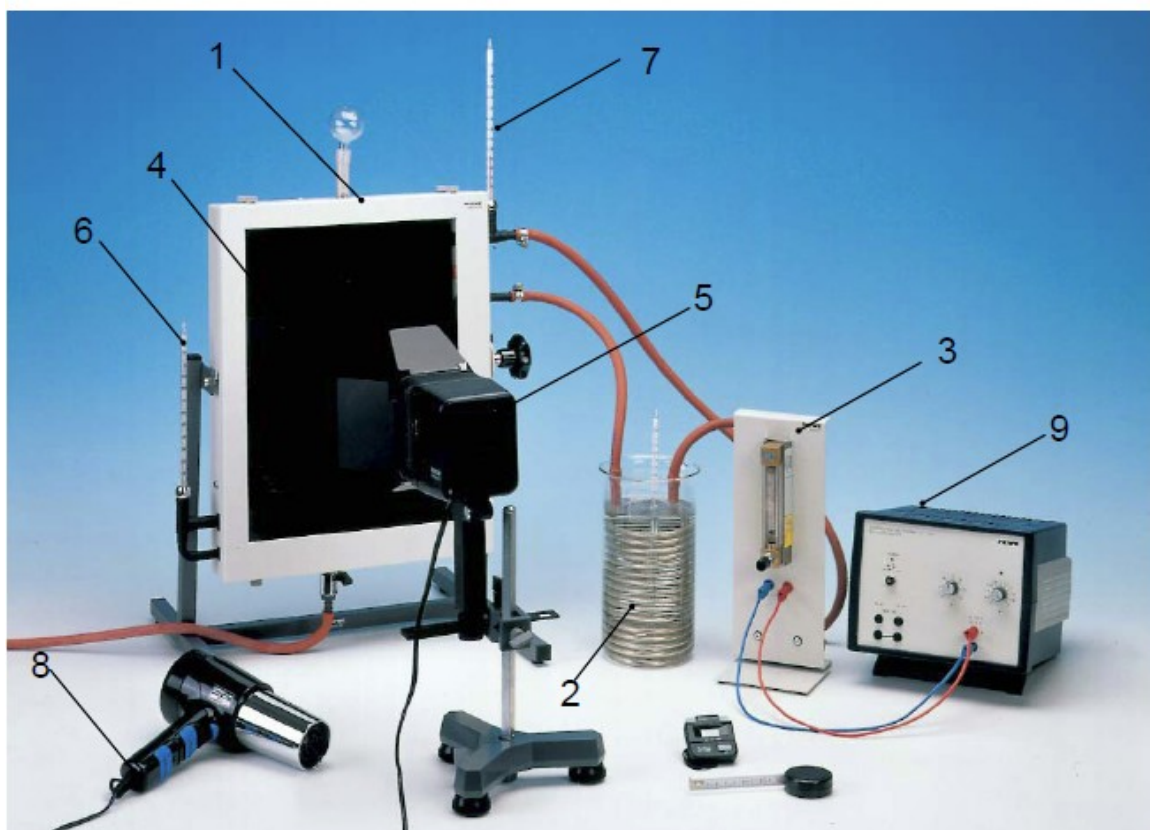
$$\eta = \frac{P}{SP_i} \quad (7)$$

gdzie S-powierzchnia czynna absorbera

$$\eta = \frac{m_t c_w (T_o - T_i)}{SP_i} \quad (8)$$

#### **IV. Zestaw pomiarowy**

Zestaw pomiarowy przedstawiono na rysunku 2.

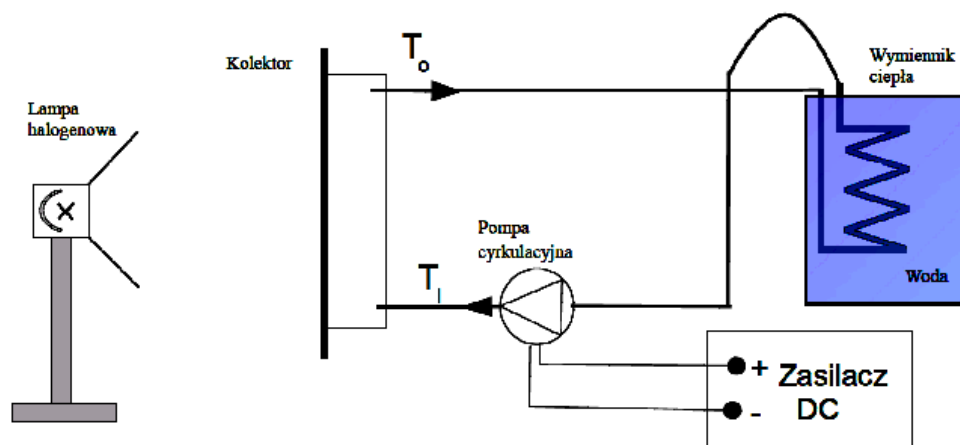


Rysunek 2. Zestaw kolektora słonecznego.

### Ćwiczenie 6: Badanie sprawności kolektora słonecznego

Kolektor słoneczny (1) jest połączony ze spiralnym wymiennikiem ciepła, który jest umieszczony w rezerwarze z wodą (zlewka) (2). Obieg wody wymusza pompa cyrkulacyjna (3) umożliwiająca regulację szybkości przepływu wody, zasilana zasilaczem prądu stałego (9). Absorber kolektora (4) oświetlany jest prostopadle lampą halogenową (5) o mocy  $P_i=1\text{kW}$ . Termometr (7) mierzy temperaturę  $T_o$  na wyjściu kolektora, a termometr  $T_i$  na wejściu kolektora. Temperaturę rezerwaru wymiennika ciepła mierzymy termometrem szklanym bądź termoparą. Suszarka (8) symuluje obecność wiatru.

### V. Przebieg ćwiczenia.



Rysunek 3. Schemat blokowy zestawu pomiarowego

Pomiary należy przeprowadzić dla następujących warunków pracy kolektora:

**a) Temperatura wody na wyjściu kolektora  $T_i \approx 20^\circ\text{C}$ , oświetlenie lampą halogenową**

1. Napełnić zlewkę  $5\text{dm}^3$  wodą wodociągową.
2. Maksymalnie otworzyć zawór pompy cyrkulacyjnej.
3. Umieścić w zlewce grzałkę. Przy pomocy wyłącznika z gniazdami sieciowymi włączyć jej zasilanie. Podgrzać wodę do temperatury ok.  $20^\circ\text{C}$ , po czym wyłączyć zasilanie grzałki.

**Uwaga:** Czas podgrzewania jest stosunkowo krótki. Należy bacznie obserwować wskazania termometru, aby nie dopuścić do zbytznego podgrzania wody w rezerwarze.

4. Podgrzewanie kontynuować do ustabilizowania się temperatury wody na wejściu kolektora na poziomie ok.  $20^\circ\text{C}$ . W trakcie podgrzewania regularnie mieszać wodę w rezerwarze i kontrolować jej temperaturę. W razie potrzeby należy ponownie użyć grzałki.
5. Zanotować wskazania termometrów na wejściu i wyjściu kolektora ( $T_i$  i  $T_o$ )

**Ćwiczenie 6:** Badanie sprawności kolektora słonecznego

- Obracając w prawo, przymknąć zawór pompy cyrkulacyjnej tak aby wskaźnik przepływu obniżył się do poziomu  $100\text{cm}^3/\text{min}$ .
- Włączyć lampę (wyłącznik znajduje się z tyłu obudowy), uruchamiając jednocześnie stoper.

**Uwaga: Obudowa lampy silnie się nagrzewa! Niedopuszczalne jest dotykanie jej mokrymi rękami oraz zasłanianie otworów wentylacyjnych.** Lampa wyposażona jest w czujnik temperatury, wyłączający zasilanie w razie przegrzania.

- Regularnie w odstępach minutowych, odczytywać i notować wskazania termometrów. Po osiągnięciu stanu stacjonarnego (tzn.  $T_i$  i  $T_o$  przestają rosnać) co zajmuje około 10 minut, należy uzyskać dalsze 5-6 punktów pomiarowych.

**Uwaga:**

- Po przeprowadzeniu każdego pomiaru należy starannie wymieszać zawartość zbiornika.
- W miarę upływu czasu temperatura wody w zbiorniku podnosi się. W celu jej schłodzenia do wymaganego poziomu ok.  $20^\circ\text{C}$  należy do zlewki z wodą włożyć kostkę lodu. Po jej rozpuszczeniu czynność tę należy powtórzyć.
- Należy regularnie kontrolować szybkość przepływu wody w obiegu kolektora. Przy pomocy zaworu pompy skorygować ewentualne odstępstwa do wymaganej wartości  $100\text{ cm}^3/\text{min}$ .

- Po dokonaniu ostatniego odczytu wyłączyć lampę.

- Wyniki pomiarów wpisać do tabeli.

**b) Temperatura wody na wyjściu kolektora  $T_i \approx 40^\circ\text{C}$ , oświetlenie lampą**

Pomiary w tej części ćwiczenia przebiegają zgodnie z punktami 2-10 poprzedniego rozdziału, w temperaturze wody w rezerwuarze wymiennika na poziomie ok.  $40^\circ\text{C}$ . W czasie pomiarów może być konieczne krótkotrwałe podgrzanie wody przy pomocy grzałki.

**c) Temperatura wody na wyjściu kolektora  $T_i \approx 40^\circ\text{C}$ , oświetlenie lampą, symulacja wiatru owiewającego szybę kolektora.**

- Sprawdzić ustawienie przełączników suszarki symulującej obecność chłodnego wiatru. Jej grzałka musi być wyłączona, przełącznik obrotów ustawiony w pozycji oznaczonej dwiema kreskami. Wylot suszarki powinien znajdować się w odległości ok. 30 cm od szyby kolektora. Strumień zimnego powietrza powinien padać na płaszczyznę kolektora pod kątem ok.  $30^\circ$ .
- Przeprowadzić serię pomiarów – jak w podrozdziale poprzednim. Wraz z włączeniem lampy należy uruchomić suszarkę.
- Wyłączyć lampę oraz suszarkę.

**Ćwiczenie 6: *Badanie sprawności kolektora słonecznego***

4. Wyłączyć pompę cyrkulacyjną skręcając do minimum pokrętko regulacji napięcia zasilacza sieciowego.

**VI. Tabela pomiarowa**

Lp.	t[ <i>min.</i> ]	$T_i=20^{\circ}\text{C}$			$T_i=40^{\circ}\text{C}$			$T_i=40^{\circ}\text{C}$		
		Oświetlenie lampą			Oświetlenie lampą			Oświetlenie lampą, Symulacja wiatru		
		$T_i$	$T_o$	$\eta_{\text{końc.}}$	$T_i$	$T_o$	$\eta_{\text{końc.}}$	$T_i$	$T_o$	$\eta_{\text{końc.}}$
1.	0									
2.	1									
3.	2									
4.	3									
5.	4									
.	.									
.	.									
.	.									
	~20									

**VII. Opracowanie wyników**

- 1.) Wykonać we wspólnym układzie współrzędnych wykresy  $T_i$  i  $T_o$  w funkcji czasu.

W zakresie stacjonarnej pracy kolektora należy aproksymować prostą.

- 2.) Korzystając z wykresów wyznaczyć temperaturę  $T_i$  i  $T_o$  i określić ich błędy.

- 3.) Korzystając ze wzoru (8)  $\eta = \frac{m_t c_w (T_o - T_i)}{S P_i}$  obliczyć sprawność kolektora

$m_t=100 \text{ cm}^3/\text{min}.\approx 0,100 \text{ kg}/\text{min}.$

$c_w=4180 \text{ Jkg}/\text{K}$

$P_i=1000 \text{ W}/\text{m}^2$

$S=0,12 \text{ m}^2$

- 4.) Metodą różniczki zupełnej obliczyć błędy wyznaczonych sprawności przyjmując:

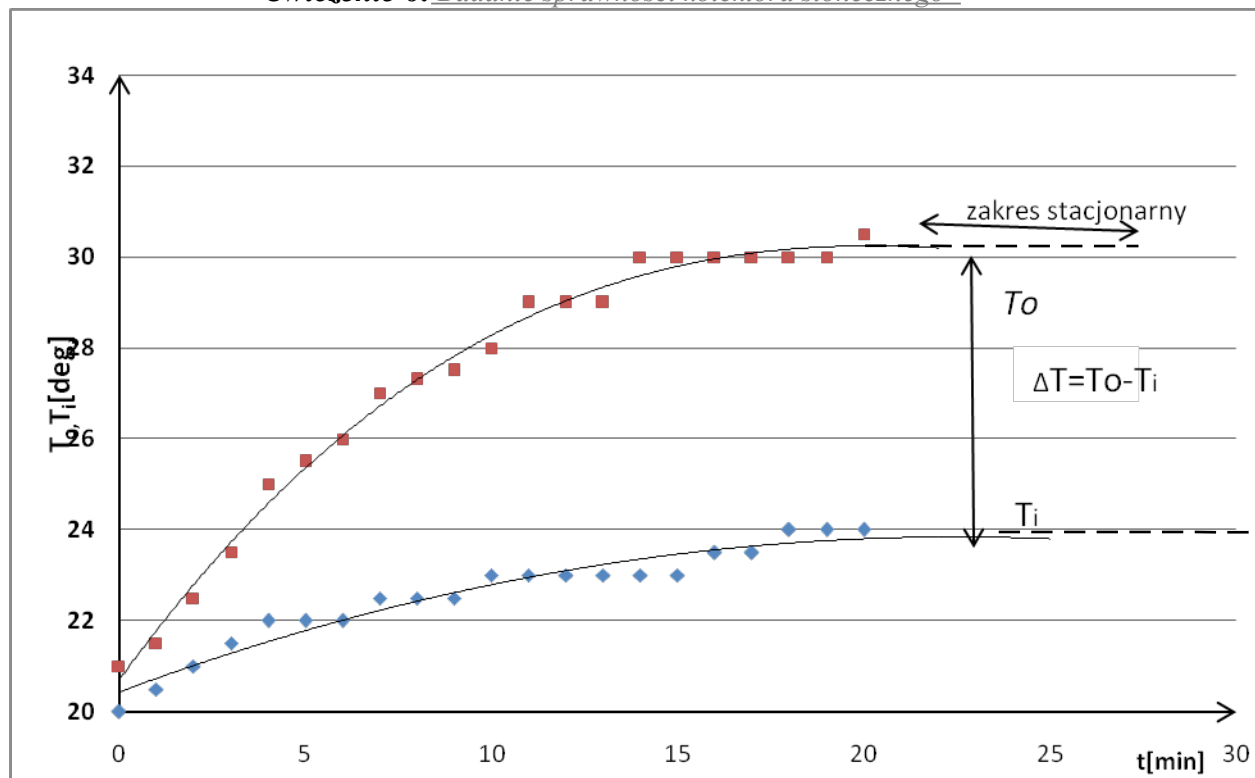
$\Delta T_i=\Delta T_o=\pm 1\text{K}$

$\Delta m_t=\pm 0,01 \text{ kg}/\text{min}.$

$S$  i  $P_i$  przyjąć jako wartości stałe.

- 5.) Podać warunki, w których sprawność kolektora jest największa.

## Ćwiczenie 6: Badanie sprawności kolektora słonecznego



Rysunek 4. Wykres  $T_i, T_o = f(t)$

### VIII. LITERATURA

- 1 P. Grygiel, H. Sodolski: Laboratorium konwersji energii, Politechnika Gdańska, 2006.
- 2 Physics Laboratory Experiments, PHYWE Systeme GmbH 2008.
- 3 S. Wiśniewski, S. Gołębiwski, M. Gryciuk, K. Kurowski: Kolektory słoneczne. Poradnik wykorzystania energii słonecznej, COIB, 2006.
- 4 Z. Pluta: Podstawy teoretyczne fototermicznej konwersji energii słonecznej, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2000.
- 5 W. M. Lewandowski: Proekologiczne odnawialne źródła energii, WNT, Warszawa 2008.