

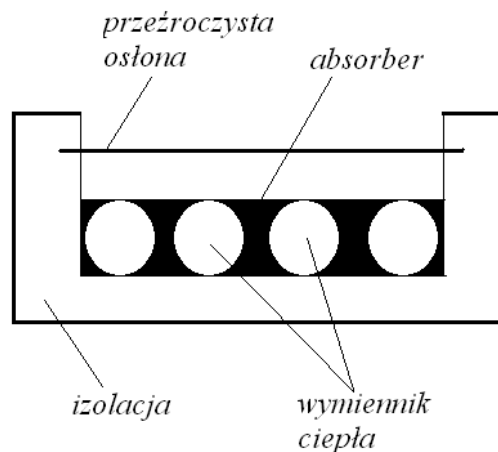
### 1. Budowa i zasada działania

Kolektor słoneczny służy do konwersji energii promieniowania słonecznego w ciepło. Kolektory dzielimy na gazowe i cieczowe (chodzi o czynniki, które przejmują ciepło i przekazują je wodzie grzewczej). Najczęściej spotykanymi kolektorami słonecznymi są kolektory cieczowe, a wśród nich kolektory płaskie.

Kolektor płaski (rys. 1.) składa się z:

- przezroczystej osłony (warunek wystąpienia „efektu cieplarnianego”);
- absorbera (zwykle metalowa płyta o emisyjności bliskiej jedności, tzn.  $\varepsilon \approx 1$ , która bardzo dobrze pochłania promieniowanie);
- wymiennika ciepła (zapewnia przekazywanie ciepła od absorbera do czynnika roboczego);
- izolacji termicznej (zapewnia eliminację strat ciepła od kolektora do otoczenia).

Uproszczony schemat płaskiego kolektora słonecznego pokazano na rys. 1.



Rys. 1. Schemat konstrukcji kolektora słonecznego [3, 4].

Efekt cieplarniany w szklarni - zjawisko zachodzące wewnątrz szklarni, polegające na tym, że promieniowanie słoneczne - głównie z widzialnego zakresu widma - przechodzi przez szklany dach oraz ściany szklarni i jest pochłaniane przez podłogę, ziemię i inne przedmioty, które następnie oddają energię w postaci promieniowania podczerwonego. Ponieważ promieniowanie podczerwone nie przenika przez szkło, temperatura wewnątrz szklarni wzrasta [1÷4].

Efekt cieplarniany jako zjawisko atmosferyczne - podobne zjawisko do opisanego powyżej, ale tym razem to atmosfera ziemski pełni taką samą rolę, jak dach i ściany szklarni. W tym przypadku powierzchnia Ziemi pochłania większość promieniowania słonecznego, oddając je w postaci promieniowania podczerwonego. To promieniowanie jest pochłaniane zarówno przez CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, ozon, znajdujące się w atmosferze, jak i przez chmury, a następnie ponownie wypromieniowane z powrotem w kierunku Ziemi. Proces taki zapobiega gwałtownemu spadkowi temperatury w nocy po upalnym dniu szczególnie, gdy zawartość H<sub>2</sub>O w atmosferze jest duża [1÷4].

Kolektor słoneczny jest najczęściej używany do ogrzewania przepływającej przez niego wody, wykorzystując do tego celu pochłanianą na powierzchni absorbera energię promieniowania. Przy

## 15 – Badanie kolektora słonecznego

określeniu sprawności cieplnej kolektora lub instalacji słonecznej istotnym jest zdanie sobie sprawy, że jest ona zależna nie tylko od jego konstrukcji, ale również od sytuacji pogodowej, kąta nachylenia urządzenia w stosunku do Słońca, jak i od innych warunków pracy kolektora, takich jak np. temperatura absorbera.

### 2. Stanowisko badawcze - wyposażenie

Widok stanowiska pomiarowego do badania płaskiego kolektora słonecznego firmy Phywe (Niemcy) pokazano na rys. 2 [1].



Rys. 2. Zasadnicze elementy wyposażenia stanowiska do badania płaskiego kolektora słonecznego [1, 2]:

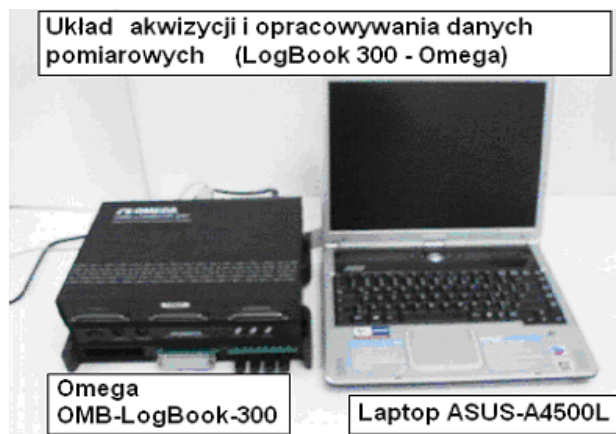
- 1 - kolektor słoneczny: 29\*39\*6 cm – 1 szt.,
- 2 - szklany termometr laboratoryjny rtęciowy:  $-10 \div +100$  °C – 2 szt.,
- 3 - szklany termometr laboratoryjny rtęciowy:  $-10 \div +100$  °C – 1 szt.,
- 4 - pompa cyrkulacyjna z rotametrem – 1 szt.,
- 5 - zasilacz:  $0 \div 12$  V DC/6 V; 12 VAC – 1 szt.,
- 6 - wymiennik ciepła – 1 szt.,
- 7 - wentylator z grzałką: 1000 W – 1 szt.,
- 8 - grzejnik: 1000 W,  $220 \div 230$  V – 1 szt.,
- 9 - lampa halogenowa: 1000 W – 1 szt.,
- 10 - taśma miernicza: 2 m – 1 szt.,
- 11 - słoje szklane: wysoki, 2 litry – 1 szt.,
- 12 - stoper: 1/100 s - 1 szt.,
- 13 - przewód elektryczny: 750 mm – 2 szt.

Ostatnio stanowisko doposażono w termometr rezystancyjny z dwoma czujnikami do pomiaru temperatury wody na wlocie i wylocie z kolektora słonecznego – rys. 3, które zastąpiły szklane termometry laboratoryjne (2) – rys. 2 oraz układ akwizycji i opracowania danych pomiarowych – rys. 4 [1, 2].

15 – Badanie kolektora słonecznego



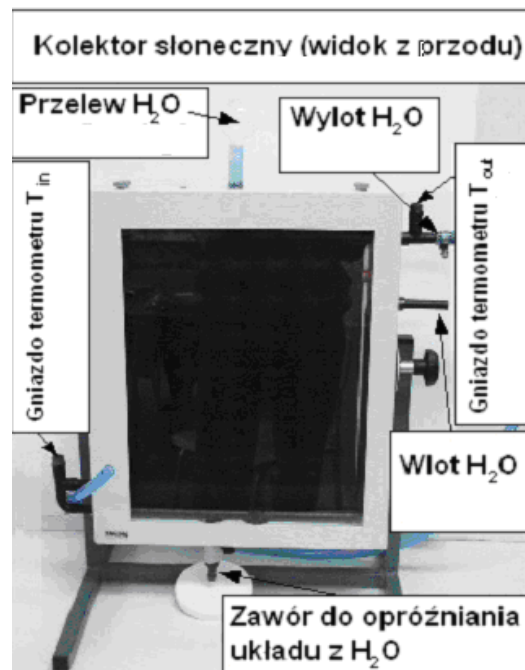
Rys. 3. Widok termometru rezystancyjnego z dwoma czujnikami  $Pt$  do pomiaru temperatury na wlocie i wylocie z kolektora słonecznego [1, 2].



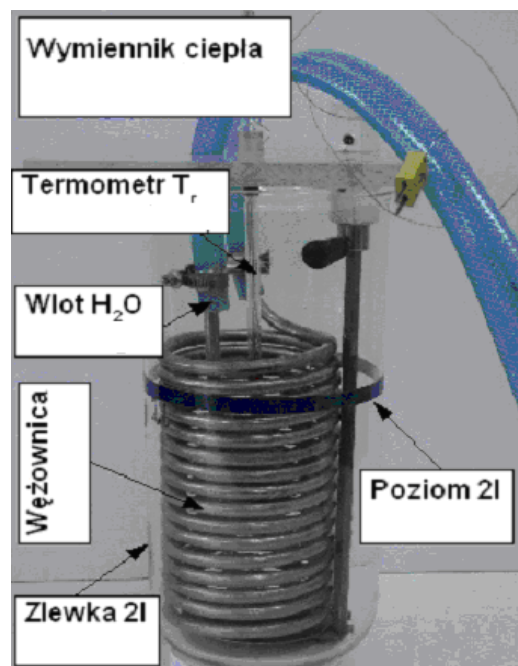
Rys. 4. Układ akwizycji i opracowania danych pomiarowych LogBook 300 firmy Omega (USA) stanowiska do badania płaskiego kolektora słonecznego [3].

Szczegóły innych elementów stanowiska do badania płaskiego kolektora słonecznego pokazano na rys. 5÷7.

15 – Badanie kolektora słonecznego



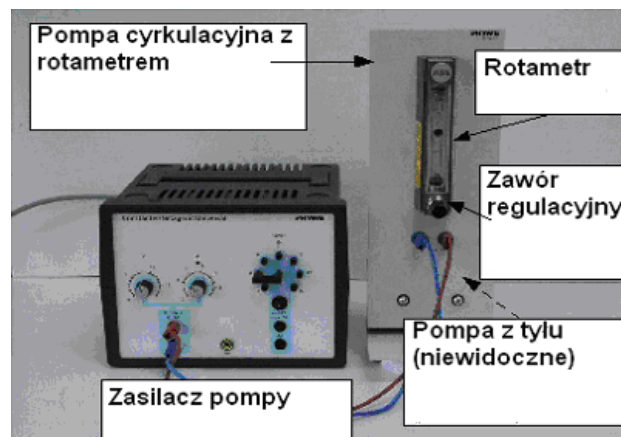
Rys. 5. Widok kolektora firmy Phywe stanowiska do badania płaskiego kolektora słonecznego. Temperatury: na wlocie  $T_{in} = \vartheta_e$  i wylocie  $T_{out} = \vartheta_a$  [1, 2].



Rys. 6. Widok wymiennika ciepła własnej konstrukcji stanowiska do badania płaskiego kolektora słonecznego [3].

Na zakończenie modernizacji stanowiska pomiarowego do badania kolektora słonecznego, słoje szklane (rys. 6) umieszczono w obudowie termoizolacyjnej wykonanej ze styropianu - rys. 8.

## 15 – Badanie kolektora słonecznego



Rys. 7. Widok pompy cyrkulacyjnej firmy Phywe stanowiska do badania płaskiego kolektora słonecznego [1, 2].

Zmodernizowane stanowisko do badania płaskiego kolektora słonecznego pokazano na rys. 8.



Rys. 8. Stanowisko doświadczalne do wyznaczania charakterystyk płaskiego kolektora słonecznego [1÷4].

### Zestawienie aparatury i procedura rozruchu

- a) eksperyment jest realizowany w układzie pomiarowym, jak na rys. 8. Temperatura wody w naczyniu – zlewce (zbiornik zewnętrzny) jest mierzona termometrem rtęciowym zanurzonym w jego części centralnej, a temperatura wody na wlocie i wylocie z kolektora - za pomocą termometrów rezystancyjnych;
- b) zestawienie układu obiegu cyrkulacyjnego wody w kolektorze słonecznym przebiega w następującej kolejności:



## 15 – Badanie kolektora słonecznego

- przyłączyć za pomocą węża gumowego wymiennik ciepła (węzownica) do wlotu „układu pompy z rotametrem” (na dole);
- połączyć wężem gumowym wylot pompy (na górze układu) z tą samą węzownicą;
- zamocować czujniki termometru rezystancyjnego (rys. 3) w ich gniazdach pomiarowych;
- przy otwartym zaworze rotametu ostrożnie napełnić układ wodą (w taki sposób, że najpierw woda przepływa przez wymiennik ciepła, a następnie przez pompę) i zamknąć go zaciskiem sprężynowym (klamerką);
- c) napełnianie układu pomiarowego wodą odbywa się przez zawór umieszczony z tyłu kolektora słonecznego. Aby połączyć pompę i wymiennik ciepła z absorberem należy usunąć wąż łączący wlot i wylot absorbera (rys. 6 i 7);
- d) zasilanie pompy wymaga napięcia około  $3\div 6$  V (zasilacz prądu stałego). Pozostałości powietrza w układzie usuwa się poprzez ściskanie gumowego węża, a następnie, jeżeli jest to konieczne, należy uzupełnić ilość wody w układzie;
- e) halogenowa lampa (1 kW) zapewnia jednolite i powtarzalne oświetlenie kolektora (pokrętko obiektywu w położeniu poziomym). W odległości 70 cm od włókna żarówki natężenie światła wynosi około  $1 \text{ kW/m}^2$ . Wymiennik ciepła jest umieszczony w naczyniu z wodą (szklana zlewka).

Czas pomiaru temperatury na wlocie i wylocie kolektora oraz w zlewce w każdej serii wynosi 15 min.

**A)** W pierwszej serii pomiarów kolektor jest kompletny, a w drugiej jest pozbawiony zarówno szklanej osłony, jak i izolacji. Podczas serii pomiarów szklana zlewka musi zawierać wystarczającą ilość lodu, aby temperatura na wlocie absorbera nie przekraczała  $5 \text{ C}$ .

**B)**  $4.5 \text{ l}$  wody w temperaturze pokojowej wlewa się do  $5 \text{ l}$  zlewki i umieszcza w niej wymiennik ciepła. Odległość między kolektorem słonecznym a lampą halogenową wynosi 70 cm.

Obie serie pomiarów są rejestrowane przy ekspozycji kolektora na promieniowanie. W pierwszej serii pomiarów kolektor jest kompletny, a w drugiej jest pozbawiony zarówno płaskiej szklanej osłony (szyby), jak i termoizolacji na tylnej ścianie kolektora. Należy zwrócić uwagę, aby temperatura na wyjściu z absorbera była możliwie stała ( $\pm 2 \text{ K}$ ).

**C)** Woda w zlewce jest podgrzewana do około  $60 \text{ }^\circ\text{C}$  za pomocą zanurzonego w niej grzejnika tak, że temperatura w obwodzie kolektora osiąga przynajmniej  $50 \text{ }^\circ\text{C}$  przed początkiem serii pomiarów. Odległość między kolektorem słonecznym a lampą halogenową wynosi 70 cm. Suszarka (nastawiona na zimne powietrze) jest ułożona z boku, w odległości około 30 cm tak, że strumień powietrza pada na kolektor pod kątem około  $30^\circ$ . Pierwsze dwie serie pomiarów są rejestrowane przy kompletnym kolektorze, pierwsza bez, a druga z nadmuchem na kolektor strumienia zimnego powietrza. Trzecią i czwartą serię pomiarów dokonuje się z kolektorem bez szklanej płyty, znowu bez i z nadmuchem na kolektor zimnego powietrza. Należy zwrócić uwagę, aby temperatura na wyjściu z absorbera była możliwie stała ( $\pm 2 \text{ K}$ ).

### 3. Cel i charakterystyka ćwiczenia

Celem eksperymentu jest określenie sprawności cieplnej kolektora słonecznego w zadanych warunkach jego pracy.

Sprawność cieplna kolektora będzie określana przy następujących założeniach:

- kolektor słoneczny jest oświetlany lampą halogenową o znanym natężeniu;
- energia absorbowana przez kolektor będzie obliczana ze znanej wartości masowego natężenia przepływu i znanej różnicy temperatury wody na wlocie i wylocie z absorbera;
- woda z wylotu kolektora przepływa przez węzownicę i ponownie jest podawana na króciec wlotowy kolektora, tworząc obieg zamknięty. Węzownica jest umieszczona w wypełnionym



## 15 – Badanie kolektora słonecznego

wodą z lodem zbiorniku zewnętrznym (wymiennik ciepła). Dzięki temu temperatura wody na wlocie absorbera jest utrzymywana jako prawie stała;

- pomiar będzie realizowany przy różnych konfiguracjach elementów kolektora, tj. z lub bez osłony przezroczystej i dla różnych wartości temperatury absorbera;

- podczas eksperymentu lampa halogenowa i strumień zimnego powietrza symulują powtarzalnie pogodę. We wszystkich seriach pomiarowych kolektor i lampa halogenowa są ustawione względem siebie w sposób optymalny. Za średnią temperaturę absorbera można w przybliżeniu przyjąć temperaturę jego zbiornika w wybranym miejscu.

### Program badań:

**A.** Określić wydajność cieplną kolektora słonecznego przy absorpcji energii promieniowania z otoczenia ( $\approx 20^\circ\text{C}$ ) bez ekspozycji kolektora na promieniowanie (słoneczne lub naświetlanie lampą halogenową) w dwóch wariantach jego budowy:

**A1** absorber z izolacją i osłoną szklaną (kompletny kolektor);

**A2** tylko absorber (maksimum absorbowanej energii).

W obu przypadkach temperatura wody na wlocie do absorbera powinna wynosić około  $\vartheta_e = 5^\circ\text{C}$  (w zbiorniku zewnętrznym woda z lodem).

**B.** Określić wydajność cieplną kolektora słonecznego przy naświetlaniu kolektora lampą halogenową w dwóch różnych wariantach jego budowy:

**B1** absorber z izolacją i osłoną szklaną (kompletny kolektor);

**B2** absorber bez osłony szklanej.

W obu przypadkach temperatura wody na wlocie do absorbera powinna wynosić około  $\vartheta_e = 20^\circ\text{C}$ .

**C.** Określić wydajność cieplną kolektora słonecznego przy jego naświetlaniu lampą halogenową w czterech różnych wariantach budowy kolektora i warunków jego pracy:

**C1** absorber z izolacją i osłoną szklaną (kompletny kolektor);

**C2** kompletny kolektor. Nadmuch zimnego powietrza na kolektor;

**C3** absorber bez osłony szklanej;

**C4** absorber bez osłony szklanej. Nadmuch zimnego powietrza na kolektor.

We wszystkich czterech przypadkach temperatura wody na wlocie do absorbera powinna wynosić około  $\vartheta_e = 50^\circ\text{C}$ .

### Dodatkowe uwagi:

Podczas eksperymentu lampa halogenowa symuluje promieniowanie słoneczne, a strumień zimnego powietrza wiatr. We wszystkich seriach pomiarowych kolektor i lampa halogenowa są ustawione naprzeciwko siebie w sposób optymalny. Za średnią temperaturę absorbera można w przybliżeniu przyjąć temperaturę jego zbiornika w wybranym miejscu.

Szklana osłona kolektora absorbuje i odbija (małe współczynniki absorpcji i odbicia) energię padającego promieniowania w małym stopniu. Część, która przeszła i pada na absorber jest w większości przezeń absorbowana, można wyrazić jako [1÷4]:

$$\dot{q}_a = \alpha \cdot \tau \cdot \dot{q}_i, \quad (1)$$

gdzie:  $\dot{q}_a$  - gęstość strumienia energii promieniowania zamieniona w ciepło na absorberze,  $\text{W/m}^2$ ;

$\dot{q}_i$  - gęstość strumienia energii promieniowania padającego na kolektor,  $\text{W/m}^2$ ;

$\alpha$  -współczynnik absorpcji absorbera;

$\tau$  -współczynnik transmisji szklanej osłony ( $\tau = 88\%$ ).

Energia promieniowania zamieniona w ciepło nie daje się w całości wykorzystać jako energia użyteczna. Pewna jej część jest tracona wskutek wypromieniowania, przewodzenia i strat



## 15 – Badanie kolektora słonecznego

konwekcyjnych. Pozostała część idzie na wzrost temperatury absorbera, tj. ta część jest magazynowana w kolektorze. Zatem gęstość strumienia energii użytecznej jest równa [1÷4]:

$$\dot{q}_N = \dot{q}_a - \dot{q}_l - \dot{q}_s, \quad (2)$$

gdzie:  $\dot{q}_l$  - gęstość strumienia energii strat absorbera,  $W/m^2$ ;

$\dot{q}_s$  - gęstość strumienia energii magazynowanej przez absorber,  $W/m^2$  (podczas eksperymentu).

W warunkach eksperymentalnych  $\dot{q}_s = 0$  (3), ponieważ różnica temperatury jest mierzona w warunkach ustalonych w czasie z (prawie) stałą temperaturą na wlocie do kolektora.

Straty ciepła  $q_l$  absorbera są tym większe, im wyższa jest jego temperatura. Straty ciepła przez przewodzenie określa jakość izolacji tylnej powierzchni kolektora, a od jego strony czołowej występują straty ciepła z tytułu promieniowania i konwekcji. Całkowite straty kolektora mogą być opisane przez zależność [1÷4]:

$$\dot{q}_l = k(\vartheta_A - \vartheta_U), \quad (4)$$

gdzie:  $k$  – współczynnik przejmowania ciepła,  $W/(m^2 \cdot K)$ ;

$\vartheta_A$  - temperatura absorbera,  $^{\circ}C$ ;

$\vartheta_U$  - temperatura otoczenia,  $^{\circ}C$ .

Sprawność kolektora słonecznego stanowi stosunek energii użytecznej do energii padającej na kolektor, tzn. [1÷4]:

$$\eta = \frac{\dot{q}_N}{\dot{q}_l} = \alpha\tau - \frac{k(\vartheta_A - \vartheta_U)}{\dot{q}_l}. \quad (5)$$

Temperatura absorbera  $\vartheta_A$  nie jest znana, natomiast znane są wartości temperatury wody na wlocie i wylocie  $\vartheta_e$  i  $\vartheta_a$  (pomiar). Równanie (5) nie pozwala bezpośrednio obliczyć sprawności kolektora, bo nie jest znana gęstość strumienia ciepła  $\dot{q}_l$ . Zatem wprowadzając współczynnik efektywności absorbera  $f$ , mamy [1÷4]:

$$\eta = f \cdot \left[ \alpha\tau - \frac{k(\vartheta_w - \vartheta_U)}{\dot{q}_l} \right], \quad (6)$$

gdzie:  $\vartheta_w$  – średnia temperatura wody:

$$\vartheta_w = \frac{\vartheta_e + \vartheta_a}{2}. \quad (7)$$

Moc użyteczna  $P_N$  jest określana w warunkach ustalonych z masowego natężenia przepływu wody  $\dot{m}$ , które reguluje się pokrętle napięcia zasilania pompy na płycie zasilacza prądu stałego, ale zwykle jest to  $\dot{m} = 100 \text{ g/min}$ . i różnicy temperatury na wyjściu i wejściu:

$$P_N = \dot{m}c(\vartheta_a - \vartheta_e), \quad (8)$$

gdzie:  $c=4180 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$  – ciepło właściwe wody [1].

Natężenie światła na powierzchni kolektora wynosi [1]:

$$\dot{q}_l = 1 \text{ kW/m}^2.$$

Powierzchnia absorbera wynosi [1]:

$$A = 0.12 \text{ m}^2.$$

Poniższa tabela pokazuje wartości sprawności kolektora mierzone w różnych warunkach jego pracy. Sprawność kolektora obliczamy z zależności [1÷4]:

$$\eta = \frac{P_N}{\dot{q}_l A}.$$





## 15 – Badanie kolektora słonecznego

patrz.: program badań	plyta szklana	światło	zimne powietrze	$\vartheta_e, ^\circ C$	$\vartheta_a - \vartheta_e, ^\circ C$	$\eta, \%$
<b>A1:</b> kompletny kolektor	+*	-	-	$\approx 5^\circ C$	2.5	15
<b>A2:</b> tylko absorber	-*	-	-	$\approx 5^\circ C$	5.0	29
<b>B1:</b> kompletny kolektor	+	+	-	$\approx 20^\circ C$	11.0	64
<b>B2:</b> kolektor bez szklanej płyty	-	+	-	$\approx 20^\circ C$	12.5	73
<b>C1:</b> kompletny kolektor	+	+	-	$\approx 50^\circ C$	8.0	47
<b>C2:</b> kompletny kolektor + nadmuch zimnego powietrza	-	+	+	$\approx 50^\circ C$	8.0	47
<b>C3:</b> kolektor bez szklanej płyty	+	+	-	$\approx 50^\circ C$	6.0	35
<b>C4:</b> kolektor bez szklanej płyty + nadmuch zimnego powietrza	-	+	+	$\approx 50^\circ C$	3.0	17

\*- bez tylnej izolacji.

Przykładowe obliczenia dla przypadku B1 (patrz powyższa tabela):

$$\eta = \frac{P_N}{\dot{q}_l A} = \frac{\dot{m}c(\vartheta_a - \vartheta_e)}{\dot{q}_l A} = \frac{0.1/60 \cdot 4180 \cdot 11}{1000 \cdot 0.12} = 0.6385 \approx 0.64, \text{ czyli } 64\%$$

#### 4. Przebieg ćwiczenia:

- zapoznać się z przeznaczeniem aparatury wchodzącej w skład stanowiska pomiarowego;
- sprawdzić poziom wody w zlewce z wodą chłodzącą (powinno być 2 l);
- sprawdzić wizualnie stan połączeń elektrycznych;
- włączyć pompę obiegową i ustawić przepływ na 100 cm<sup>3</sup>/min. (0.001667 kg/s);
- włączyć termometr elektryczny i sprawdzić czy wyświetlane są dwie temperatury: na wlocie i wylocie z kolektora. Obie temperatury powinny być takie same. Ustalić, który z wyświetlaczy pokazuje temperaturę wlotową, a który wylotową;
- odsłonić żarówkę w lampie halogenowej;
- włączyć lampę i jednocześnie włączyć pomiar czasu;
- dokonywać odczytu temperatur na wlocie i wylocie z kolektora oraz temperaturę wody chłodzącej w zlewce (termometr szklany rtęciowy) co 1 min.;
- czas trwania każdej serii pomiarów – 25 min.;
- wyniki zestawić w tabeli;
- po wykonaniu pomiarów, wyłączyć lampę (*uwaga: lampa jest bardzo gorąca*) i pompę obiegową;
- wymienić wodę chłodzącą w zlewce;
- włączyć pompę obiegową i czekać na ustabilizowanie się temperatury na wlocie i wylocie kolektora;
- w międzyczasie ostrożnie zdjąć szybę osłaniającą absorber (4 śruby);
- po ustabilizowaniu się warunków w kolektorze, wykonać pomiary w podobny sposób, jak dla kolektora z osłoną;
- po wykonaniu ćwiczenia, należy wyłączyć lampę i pompę obiegową oraz ostrożnie założyć osłonę absorbera;
- wyniki każdej serii pomiarów wpisać do poniższej tabeli.



czas	przepływ	$T_{wlot}$	$T_{wylot}$	$\Delta T = T_{wy} - T_{wl}$	$T_{chłodz}$	chwilowa sprawność	chwilowa moc
min.	cm <sup>3</sup> /min.	°C	°C	K	°C	[-]	W
0							
1							
2							
...							
25							

### 5. Sprawozdanie z badań

Z podanych w instrukcji wzorów obliczyć moc promieniowania docierającego do kolektora z lampy, chwilową moc promieniowania w kolektorze oraz podać chwilową i maksymalną sprawność, jaką osiągnął kolektor obu przypadków, tzn. gdy absorber był przykryty osłoną, jak i bez osłony.

Graficzna prezentacja wyników: wykres zmiany sprawności w czasie pomiarów, wykres zmiany temperatury wody na króćcach (wlot i wylot) w czasie pomiarów, wykres zmiany mocy w czasie pomiarów, wykres zmiany  $\Delta T$  w czasie pomiarów.

### 6. Podsumowanie i wnioski:

Porównując wyniki pomiarów B1 i C1, lub B2 i C3, zauważamy że:

- straty ciepła kolektora wzrastają wraz ze wzrostem temperatury kolektora;
- sytuacja jest odwrotna, gdy absorber schładza się poniżej temperatury otoczenia (pomiarów A1 i A2). Wtedy energia jest pobierana z otoczenia nawet bez ekspozycji kolektora na promieniowanie słoneczne. W tym przypadku absorber bez izolacji jest bardziej efektywny. W praktyce oziębianie płynu w układzie absorbera poniżej temperatury otoczenia jest osiągane przez odprowadzanie ciepła do pompy ciepłej;
- wyniki pomiarów B i C pokazują efekt szklanej osłony. Kiedy kolektor pracuje w temperaturze otoczenia, straty ciepła można pominąć. Współczynnik transmisji szklanej osłony może być wyznaczony z porównania wyników pomiarów B1 i B2, zgodnie z równaniem (6) [1]:  
z osłoną szklaną:

$$\eta = f \cdot \alpha \cdot \tau \quad (\tau \cong 0.88),$$

bez szklanej osłony:

$$\eta = f \cdot \alpha.$$

Szklana osłona redukuje straty ciepła z kolektora – „efekt szklarniowy” (pomiarów C1 i C2). Promieniowanie słoneczne w przeważającej części przenika przez szklaną osłonę, a promieniowanie ciepłe gorącego absorbera jest w przeważającej części absorbowane i odbijane przez wnętrze kolektora.

W przypadku kolektora ze szklaną osłoną, wpływ wiatru na jego wydajność jest efektem niemierzalnym, podczas gdy bez osłony efekt ten jest znacząco zredukowany (pomiarów: C2 i C4).

Od typu szklanej osłony zastosowanej w praktyce (pojedyncza, podwójna, z pokryciem selektywnym) zależy zakres zastosowań kolektora, tj. w szczególności pożądana temperatura absorbera. Podwójna osłona redukuje straty ciepła z powierzchni czołowej kolektora, ale jednocześnie spada ilość przechodzącej przez osłonę energii promieniowania słonecznego tak, że koszt takiego kolektora jest akceptowalny tylko w przypadku wysokotemperaturowych absorberów.



**15 – Badanie kolektora słonecznego**

Literatura:

- [1] Phywe: Solar Ray Collector, LEP 3.6.01-00
- [2] Phywe, Physics: Catalogue 3.22, page 171-222
- [3] J. Terpiłowski: *Kolektor słoneczny*, 2009, Instrukcja Laboratorium Termodynamiki WAT (instrukcja wewnętrzna, materiał niepublikowany)
- [4] B. J. Brinkworth: *Energia słoneczna w służbie człowieka*, biblioteka problemów, t.254, Warszawa 1979, PWN