

BADANIE KOLEKTORA SŁONECZNEGO

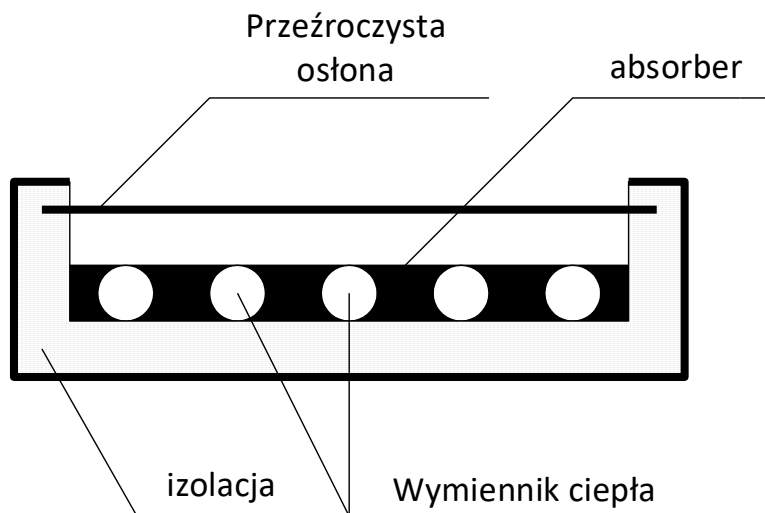
1. BUDOWA KOLEKTORA SŁONECZNEGO I ZASADA DZIAŁANIA

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. $e=1$, 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 rysunku 1.



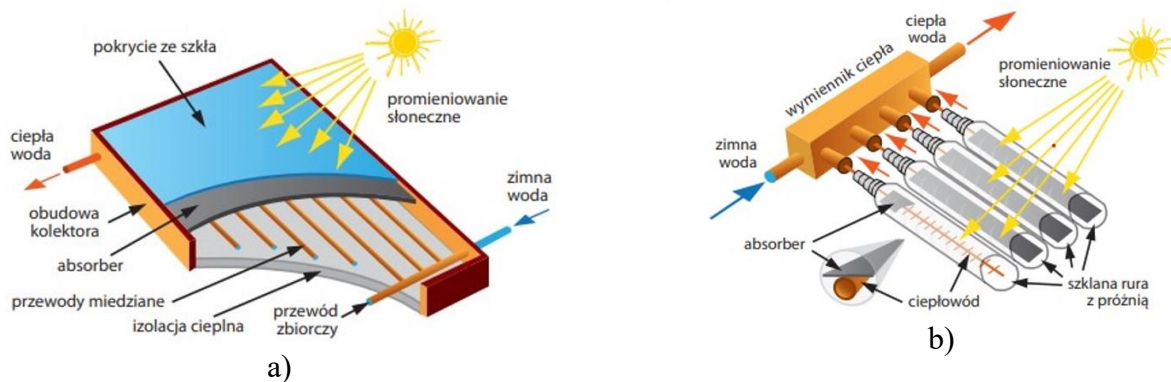
Rys.1. Schemat konstrukcji kolektora płaskiego

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 ziemiska pełni taką samą rolę, jak przezroczysty dach i ściany szklarni. W tym przypadku powierzchnia Ziemi pochłania większość promieniowania słonecznego, oddając je w postaci promieniowania podczerwonego. To promieniowanie jest pochłaniane przez CO₂, H₂O, 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 zawartości H_2O 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 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. Przykłady typowych konstrukcji kolektorów słonecznych: płytowego i tzw. próżniowego pokazano na rysunku 2



Rys. 2. Typowe konstrukcje kolektorów słonecznych:

a) płytowego, b) tzw. próżniowego

2. STANOWISKO BADAWCZE I ZALEŻNOŚCI DO WYZNACZENIA SPRAWNOŚCI PŁASKIEGO KOLEKTORA SŁONECZNEGO

W skład stanowiska pomiarowego do badania płaskiego kolektora słonecznego firmy Phywe (Niemcy) pokazanego na rysunku 3 [1,2] .wchodzą:

- 1 - kolektor słoneczny;
- 2 - termometry,
- 3 - pompa cyrkulacyjna z rotametrem,
- 4 - zasilacz: $0 \div 12$ V DC,
- 5 - wymiennik ciepła,
- 6 - dmuchawa z grzałką,
- 7 - lampa halogenowa: 1000 W,
- 8 - słoń szklany: wysoki, umieszczony w pojemniku ze ścianami z materiału izolacyjnego (styropian) .



Rys. 3 Zasadnicze elementy wyposażenia stanowiska do badania płaskiego kolektora

Celem ćwiczenia laboratoryjnego jest określenie sprawności cieplnej kolektora słonecznego w różnych warunkach jego pracy.

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

$$\dot{q}_a = \alpha * \tau * \dot{q}_l \quad (1)$$

gdzie: \dot{q}_a - gęstość strumienia energii promieniowania zamieniona w ciepło na absorberze, [W/m²]

\dot{q}_l - gęstość strumienia energii promieniowania padającego na kolektor, [W/m²];

α - współczynnik absorpcji absorbera;

τ - współczynnik transmisji szklanej osłony.

Energia promieniowania zamieniona w ciepło nie daje się w całości wykorzystać jako energia użyteczna. Pewna jej część jest tracona wskutek wypromieniowania, przewodzenia i strat konwekcyjnych. Pozostała część energii powoduje wzrost temperatury absorbera, tj. ta część energii jest magazynowana w kolektorze. Zatem gęstość strumienia energii użytecznej jest równa [1-4]:

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

gdzie: \dot{q}_l - gęstość strumienia energii strat absorbera, W/m²;

\dot{q}_s - gęstość strumienia energii magazynowanej przez absorber, W/m²

W warunkach eksperymentalnych

$$\dot{q}_s = 0 \quad (3)$$

ponieważ różnica temperatury jest mierzona w warunkach ustalonych z praktycznie prawie stałą w czasie temperaturą wody na dopływie do kolektora.

Straty ciepła \dot{q}_l absorbera są tym większe, im wyższa jest jego temperatura. Straty ciepła przez przewodzenie determinuje głównie jakość izolacji tylnej powierzchni kolektora. 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 od kolektora do powietrza otaczającego, W/m^2K ;

ϑ_A - temperatura absorbera, °C;

ϑ_U - temperatura otoczenia, °C.

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

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

Temperatura absorbera ϑ_A nie jest znana, natomiast znane są wartości temperatury wody na dopływie ϑ_e i odpływie ϑ_a , (z pomiaru). Równanie (5) nie pozwala bezpośrednio obliczyć sprawności kolektora, bo nie jest znana gęstość strumienia ciepła \dot{q}_N . Zatem wprowadzając współczynnik efektywności absorbera f , mamy [1+4]:

$$\eta = f * \left[\alpha * \tau - \frac{k * (\vartheta_W - \vartheta_U)}{q_l} \right] \quad (6)$$

gdzie: ϑ_W średnia temperatura wody w kolektorze:

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

Moc użyteczna P_N jest określana w warunkach ustalonych z masowego natężenia przepływu wody \dot{m} przez kolektor i różnicy temperatury wody na wyjściu i wejściu. Wielkość przepływu wody zmienia się przez zmianę napięcia zasilania pompy na płycie zasilacza prądu stałego. W badaniach na stanowisku laboratoryjnym masowe natężenie przepływu ustawia się zwykle na 100 g/min :

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

gdzie: \dot{m} – masowe natężenie przepływu wody przez kolektor

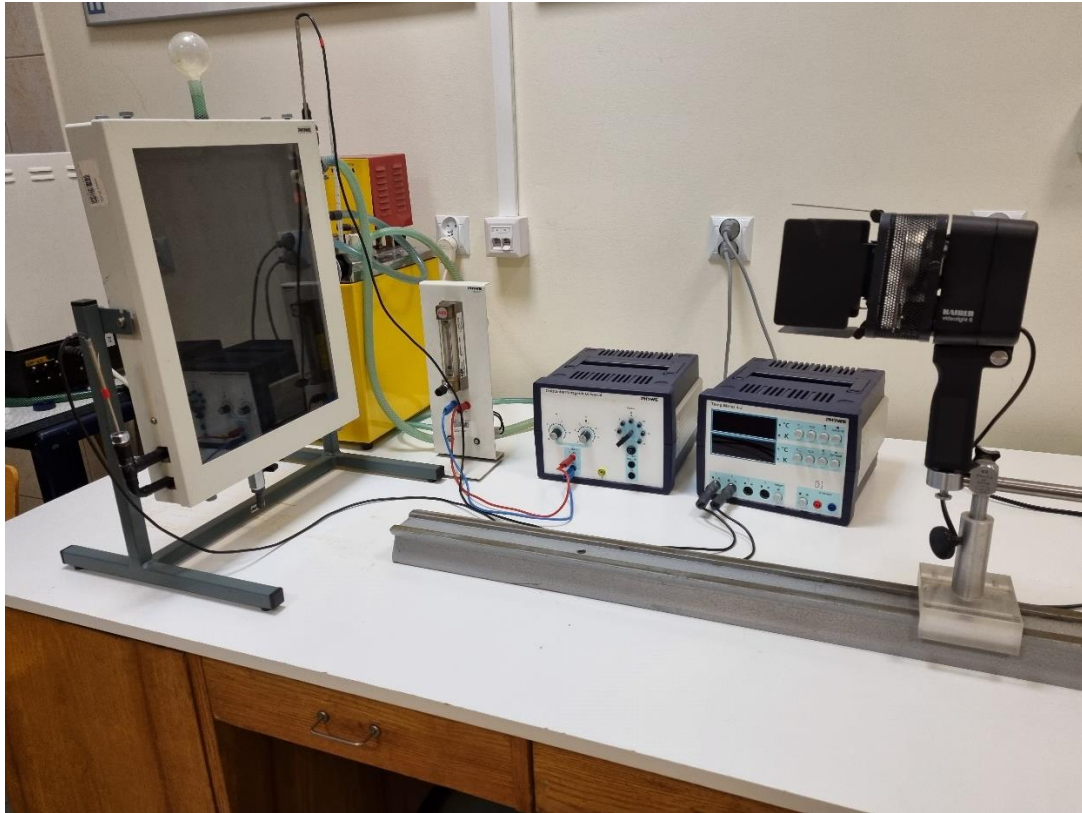
$c=4180 J/(kg*K)$ - ciepło właściwe wody [1].

Sprawność kolektora obliczamy z zależności [1-4]:

$$\eta = \frac{P_N}{\dot{q}_l * A} \quad (9)$$

3. WYZNACZENIE SPRAWNOŚCI CIEPLNEJ KOLEKTORA SŁONECZNEGO

Widok stanowiska laboratoryjnego do badania płaskiego kolektora słonecznego, wykorzystywanego w ćwiczeniu, pokazano na rysunku 3.



Rys. 3 Widok stanowiska laboratoryjnego do badania płaskiego kolektora słonecznego

Stanowisko wyposażono dodatkowo w cyfrowy miernik temperatury a czujniki rezystancyjne zastąpiły szklane termometry laboratoryjne. Temperatura wody w komorze ultratermostatu jest mierzona w jej części centralnej za pomocą zanurzonego termometru rtęciowego. Temperatura wody na dopływie i odpływie z kolektora słonecznego jest mierzona- za pomocą termometrów rezystancyjnych. Wartości temperatury lub wartość różnicy temperatur dopływu i odpływu są wyświetlane na panelu czołowym cyfrowego miernika temperatury z rozdzielczością $0,1^{\circ}\text{C}$.

Wymiennik ciepła umieszczono w komorze ultratermostatu, co pozwoliło na modyfikację i zróżnicowanie procedury pomiarów w trakcie ćwiczenia.

Przy badaniu sprawności cieplnej kolektora słonecznego muszą być spełnione następujące warunki:

- kolektor słoneczny jest oświetlany lampą halogenową o znanym natężeniu światła;
- energia absorbowana przez kolektor będzie obliczana ze znanej wartości masowego natężenia przepływu i znanej różnicy temperatury wody na dopływie i odpływie 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 wodą zbiorniku zewnętrznym o utrzymywanej stałej temperaturze. Dzięki temu temperatura wody na wlocie absorbera jest utrzymywana jako prawie stała,

- pomiar będzie realizowany przy różnych konfiguracjach elementów kolektora: z założoną lub bez założonej osłony przezroczystej i dla różnych wartości temperatury absorbera;
- podczas eksperymentu lampa halogenowa i strumień zimnego powietrza mogą symulować, w sposób powtarzalny, warunki wymiany ciepła do otoczenia – symulacja warunków pogodowych,
- we wszystkich cyklach 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.

Warianty programu badań:

- A. Określenie wydajności cieplnej kolektora słonecznego przy naświetlaniu kolektora lampą halogenowa w dwóch różnych wariantach jego budowy:
 - B1 absorber z założoną osłoną szklaną (kompletny kolektor);
 - B2 absorber bez osłony (maksimum absorbowanej energii).
 W obu przypadkach temperatura wody na wlocie do absorbera powinna wynosić około 20°C.

- B. Określenie wydajności cieplnej kolektora słonecznego przy naświetlaniu kolektora lampą halogenowa i dodatkowym nadmuchu zimnego powietrza na kolektor, w dwóch różnych wariantach jego budowy:
 - B1 absorber z założoną osłoną szklaną (kompletny kolektor);
 - B2 absorber bez osłony (maksimum absorbowanej energii).
 W obu przypadkach temperatura wody na wlocie do absorbera powinna wynosić około 20°C. Kąt padania nadmuchiwanego powietrza powinien wynosić około 60 stopni.

Przebieg pomiarów

Przed rozpoczęciem pomiarów należy sprawdzić układ obiegu cyrkulacyjnego wody w kolektorze słonecznym w następującej kolejności:

- sprawdzenie połączenia wymiennika ciepła (węzownica) z dopływem „układu pompy z rotametrem” (dolny króciec);
- sprawdzenie połączenia odpływu pompy (górny króciec) z kolektorem słonecznym (dopływ);
- sprawdzenie połączenia wypływu kolektora słonecznego z wymiennikiem ciepła,
- sprawdzenie zamocowania czujników termometru rezystancyjnego w ich gniazdach pomiarowych (brak wycieku wody);
- sprawdzenie poziomu wody w szklanym zbiorniczku wyrównawczym nad kolektorem słonecznym

Należy dołączyć zasilacz prądu stałego do pompy (zakres regulacji napięcia od 3 do 6V)

Należy ustawić osłony strumienia światła odpowiednio w położeniu pionowym i poziomym. Ustawić czoło lampy w odległości podanej przez Wykładowcę. W odległości 70 cm od czoła lampy natężenie światła wynosi około 1000 W/m². Dla innej wartości odległości kolektora od lampy należy odpowiednio przeliczyć nową wartość natężenia światła.

Cykl pomiarowy rozpoczynamy od zmierzenia i zapisania, w przygotowanej tablicy, wartości początkowych temperatury wody w dopływie i odpływie do kolektora oraz w komorze ultratermostatu.

Włączamy ultratermostat i miernik temperatury. Włączamy zasilanie pompy i regulujemy na przepływomierzu przepływ wody do wartości podanej przez Wykładowcę. Włączamy świecenie lampy halogenowej i jednocześnie rozpoczynamy mierzyć czas. Po upływie wyznaczonego kroku czasu do kolejnego pomiaru mierzymy temperatury i zapisujemy w tablicy. Czas cyklu pomiarowego temperatury wynosi ok. 20 - 25 minut, do uzyskania stabilizacji wartości temperatur na wlocie i wylocie z kolektora.

Po zakończeniu cyklu pomiarowego wyłączamy świecenie lampy halogenowej wyłącznikiem na tylnej ścianie obudowy.

UWAGA!!! Nie wolno od razu odłączać lampy od sieci poprzez wyciągnięcie wtyczki z gniazdka (musi pracować dalej wentylator i chłodzić lampę).

Wyniki pomiarów zapisujemy w tablicy 1.

t	\dot{m}	ϑ_e	ϑ_a	$\Delta \vartheta = \vartheta_a - \vartheta_e$	ϑ_U	η_i	P_i
min	cm ³ /min	°C	°C	°C	°C	%	W
0							
1							
2							
...							
25							

Sprawozdanie z ćwiczenia laboratoryjnego

Korzystając z podanych wyżej zależności obliczyć moc promieniowania docierającego do kolektora z lampy, chwilową moc promieniowania w kolektorze oraz podać chwilową i maksymalną sprawność, jaka osiągnął kolektor w przypadkach gdy absorber był przykryty osłoną oraz bez osłony. W obliczeniach przyjmując, że natężenie światła na powierzchni kolektora wynosi $\dot{q}_l = 1000 \text{ W/m}^2$ [1], gdy odległość do czoła lampy wynosi 70 cm. Przyjmując, że powierzchnia absorbera wynosi $A = 0,12 \text{ m}^2$ [1] i współczynnik transmisji szklanej osłony wynosi $\tau = 88\%$.

W sprawozdaniu przedstawić wyniki pomiarów i obliczeń w postaci tablicy.

Wyniki pomiarów i obliczeń przedstawić graficznie w postaci wykresów

- zmiany temperatury wody na króćcach (wlot i wylot) w czasie pomiarów
- zmiany wartości różnicy temperatury ΔT w czasie pomiarów.
- zmiany mocy chwilowej w czasie pomiarów,
- zmiany sprawności chwilowej w czasie pomiarów,

W sprawozdaniu zamieścić wnioski dotyczące uzyskanych wyników.

LITERATURA:

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