

Laboratorium odnawialnych źródeł energii

Ćwiczenie nr 4

Temat: Wyznaczanie sprawności kolektora słonecznego.

1. Wstęp.

Kolektor słoneczny wykorzystuje zjawisko absorpcji promieniowania słonecznego do ogrzewania wody. Składa się on z powierzchni absorbującej promieniowanie oraz z obiegu wody pozwalającego na przekazywanie energii cieplnej wodzie. Nie cała energia padająca jest przekazywana wodzie - część jest rozpraszana w zjawiskach odbicia i konwekcji. Od udziału tych zjawisk w ogólnym bilansie energetycznym kolektora zależy jego sprawność. Na ograniczaniu tych zjawisk oraz na poprawianiu zdolności adsorpcyjnej adsorbera, którym pokryta jest powierzchnia absorbująca, polega poprawianie sprawności kolektora, która określa opłacalność stosowania danego rozwiązania.

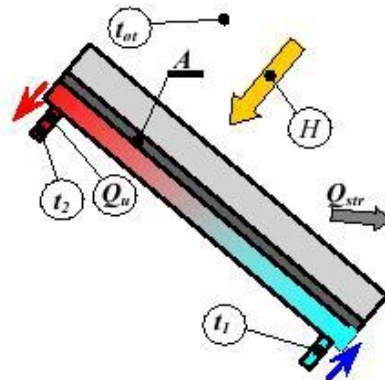
W ogólności między kolektorem i otoczeniem panuje stan równowagi cieplnej, charakteryzowany temperaturą równowagową, która opisana jest prawem Stefana - Boltzmann'a:

$$T_{\text{równ}}^4 = \frac{\alpha r H_b}{\varepsilon \sigma};$$

gdzie: αr – współczynnik adsorpcji; ε – współczynnik emisji; $\alpha r/\varepsilon$ – współczynnik selektywności adsorbera; $\sigma = 5.669 \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}^4}$ - stała Stefana- Boltzmann'a; H_b – natężenie promieniowania słonecznego $[\frac{\text{W}}{\text{m}^2}]$.

Do wyznaczenia sprawności kolektora stosuje się bilans cieplny; porównuje się energię zaabsorbowaną przez wodę: $Q_u = m \cdot c_p \cdot (t_2 - t_1)$ z energią padającą na kolektor: $H \cdot A_k$ (H – natężenie promieniowania słonecznego $[\frac{\text{W}}{\text{m}^2}]$; A_k - powierzchnia kolektora). Stąd:

$$\eta = \frac{m \cdot c_p \cdot (t_2 - t_1)}{A \cdot H}$$

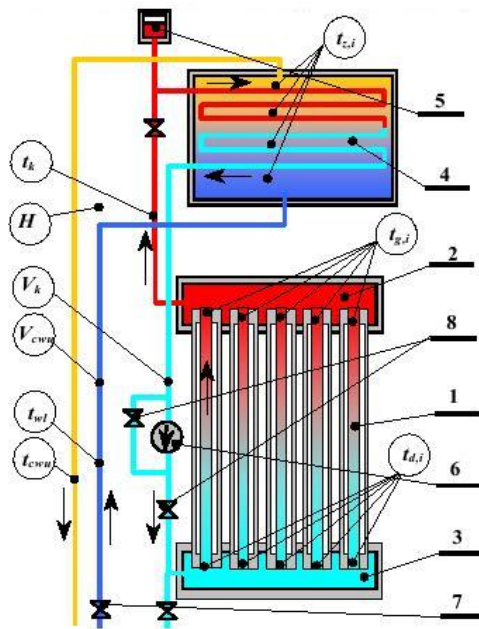


Q_{str} - jest ciepłem strat, które należy zminimalizować, aby podnieść sprawność kolektora.

Jednym ze sposobów podnoszenia sprawności kolektora jest ograniczanie strat na przewodzenie ciepła do otoczenia za pomocą różnego rodzaju materiałów izolujących, które zatrzymują zaabsorbowane ciepło wewnątrz kolektora, powodując jego przekazywanie do wody, podnosząc tym samym jej temperaturę, a w ogólnym rozrachunku – sprawność kolektora. Aby podnieść sprawność można również stosować próżnię w przestrzeni między płytą czołową kolektora (wystawioną na promieniowanie) a adsorberem.

2. Przebieg doświadczenia.

Doświadczenie przeprowadzono na stanowisku, które schematycznie przedstawiono na poniższym rysunku.



W celu wyznaczenia sprawności kolektora należy zmierzyć temperatury wody w każdym z pięciu przewodów grzewczych w kolektorze, a także temperatury wody na zewnątrz kolektora (oznaczenie podano w dalszej części). Konieczny jest również pomiar natężenia promieniowania słonecznego (nasłonecznienia) za pomocą solarymetru, a także pomiar objętości wody przepompowanej przez instalację. W oparciu o otrzymane wielkości oraz o tablicowe wartości ciepła właściwego wody dla średniej temperatury pomiaru można wyznaczyć strumień ciepła generowane w każdym z przewodów grzewczych wewnątrz kolektora oraz w całym kolektorze.

3. Wyniki pomiarów.

t[min]	V[dm ³]	H [W/m]	tg1[°C]	tg2[°C]	tg3[°C]	tg4[°C]	tg5[°C]	td1[°C]	td2[°C]	td3[°C]	td4[°C]	td5[°C]	tG[°C]	tD[°C]
0	,00	700,00	24,50	24,48	24,8	25,52	26,05	21,46	20,82	20,13	18,53	21,02	23,33	22,63
5,00	3,29	730,00	25,65	25,59	25,86	26,55	27,06	22,20	21,65	20,95	19,61	21,85	23,94	23,09
10,00	6,50	805,00	26,55	26,25	26,71	27,23	27,86	23,00	22,55	22,89	20,67	22,75	24,99	23,66
15,00	9,91	811,00	27,43	27,09	27,50	28,17	28,63	23,71	23,34	22,74	21,59	23,50	26,00	24,16
20,00	13,26	836,00	28,21	27,73	28,32	28,91	29,33	24,31	23,99	23,46	22,38	24,17	26,44	24,53
25,00	16,62	840,00	29,00	28,56	29,02	29,56	30,00	24,81	24,60	24,07	23,08	24,74	27,47	24,15
30,00	19,99	825,00	29,94	29,25	29,80	30,34	30,65	25,29	25,11	24,62	23,69	25,27	27,49	25,30
35,00	23,38	821,00	30,55	29,88	30,43	31,07	31,33	25,70	25,57	25,12	24,26	25,68	28,56	25,50
38,00	25,43	850,00	30,91	30,39	30,88	31,27	31,50	26,03	25,90	25,47	24,66	26,02	29,05	25,92

4. Obliczenia i wyniki.

Sprawność obliczono dla dwóch przypadków: dla strumienia ciepła niesionego przez wodę poza kolektorem (użyto temperatur tG i tD) oraz dla strumienia ciepła oddawanego w rurach kolektora (użyto średnich temperatur na wlocie oraz wylocie rur - t_{d,i}, t_{g,i}, i = 1...5). W pierwszym przypadku sprawność obliczono ze wzoru:

$$\eta_1 = \frac{m \cdot c_p \cdot (tG - tD)}{A \cdot H},$$

w drugim przypadku zaś skorzystano ze wzoru:

$$\eta_2 = \frac{Vz \cdot \rho \cdot c_p \left(\frac{\sum t_{g,i}}{i} - \frac{\sum t_{d,i}}{i} \right)}{\tau \cdot H \cdot A}, \quad i = 1 \dots 5.$$

Rachunek błędów:

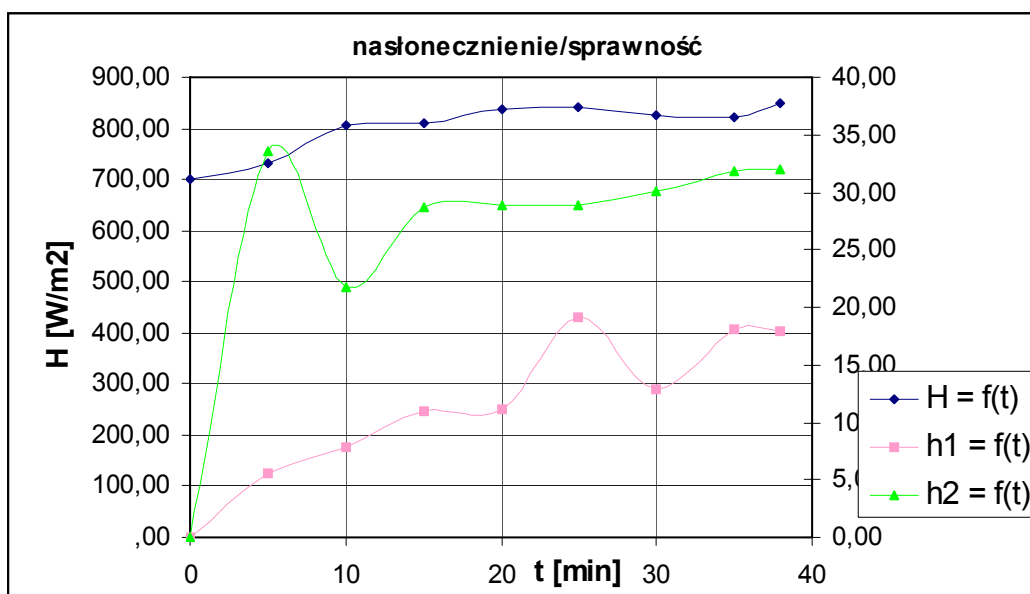
- niepewność pomiaru objętości wody: $S_v = \sqrt{\frac{1}{3}(\Delta e)^2 + \frac{1}{3}(\Delta w)^2}$; niepewność eksperymentatora $\Delta e = 0.0001$ l; niepewność wzorcowania $\Delta w = 0.001$ l; $S_v = 0,001$ l;

- niepewność pomiaru temperatury: $S_t = \sqrt{\frac{1}{3}(\Delta e)^2 + \frac{1}{3}(\Delta w)^2} = \sqrt{\frac{1}{3}(0,01)^2 + \frac{1}{3}(0,01)^2} = 0,0082 \text{ stC}$;
- niepewność pomiaru czasu: $S_\tau = \sqrt{\frac{1}{3}(\Delta e)^2 + \frac{1}{3}(\Delta w)^2} = \sqrt{\frac{1}{3}(0,25)^2 + \frac{1}{3}(0,016)^2} = 0,14 \text{ min}$.
- niepewność wyznaczenia powierzchni kolektora: $S_A = \sqrt{\frac{1}{3}(0,005)^2 + \frac{1}{3}(0,001)^2} = 0,0029$;
- niepewność złożona wyznaczenia masowego natężenia przepływu: $S_m = \sqrt{(\rho \cdot S_v)^2} = 0,24 \text{ kg/s}$;
- niepewność złożona wyznaczenia energii zaabsorbowanej przez wodę w kolektorze: $S_Q = \sqrt{(c \cdot t \cdot S_m)^2 + (m \cdot c \cdot S_t)^2}$ (odrębna wartość dla każdego z pomiarów) ;
- niepewność złożona wyznaczenia sprawności; $S_{\eta 1} = \sqrt{\left(\frac{S_Q}{I \cdot A}\right)^2 + \left(\frac{Q \cdot S_A}{I \cdot A^2}\right)^2}$, $S_{\eta 2} = \sqrt{\left(\frac{S_Q}{I \cdot A}\right)^2 + \left(\frac{Q \cdot S_A}{I \cdot A^2}\right)^2}$ (odrębna wartość dla każdego z pomiarów) ;

Poniższa tabela zawiera wyniki obliczeń.

tśr [stC]	m [kg/s]	Q [J]	SQ [%]	η_1 [%]	$S_{\eta 1}$ [%]	η_2 [%]	$S_{\eta 2}$ [%]
22,98	0,00000000	0,000	0,00000	0,00	0	0,00	0
23,52	0,01097667	11756,010	20,18562	20,59	14,28	33,55	13,76
24,33	0,01083333	36309,000	6,78112	7,83	0,42	21,74	0,38
25,08	0,01100556	76545,840	3,33261	10,92	0,51	28,64	0,45
25,49	0,01105000	106371,720	2,45287	11,05	0,68	28,84	0,59
25,81	0,01107867	231721,392	1,14959	19,16	0,54	28,80	0,55
26,40	0,01110667	183886,416	1,49454	12,90	0,7	30,08	0,62
27,03	0,01113143	300428,352	0,94568	18,15	0,69	31,79	0,73
27,49	0,01115395	334315,926	0,86913	17,97	0,56	31,94	0,7

Poniżej przedstawiono wykres obrazujący zmiany w czasie nasłonecznienia oraz odpowiadającą temu nasłonecznieniu sprawność kolektora.



5. Wnioski.

Na pierwszy rzut oka można stwierdzić, iż sprawność kolektora (η_2) różni się w znacznym stopniu od sprawności całego układu (η_1). Sprawność układu jest dużo mniejsza, co świadczy o mniejszej ilości ciepła zaabsorbowanego przez wodę układu, w porównaniu z ciepłem zaabsorbowanym przez wodę w samym kolektorze. Wskazuje to jednoznacznie na straty ciepła w obiegu (poza kolektorem), których największym źródłem może być zbiornik na wodę – ma on największą powierzchnię wymiany ciepła z otoczeniem.

Istotne polepszenie sprawności kolektora można również osiągnąć zwiększając efektywną powierzchnię absorbującą promieniowanie słoneczne. Osiągnąć taki cel można na dwa sposoby – koncentrując promieniowanie na adsorberze oraz ustawiając kolektor prostopadle do padających promieni, a także obracając go wraz ze Słońcem.