

Piotr Sołowiej
Katedra Elektrotechniki i Energetyki
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

WPŁYW WYBRANYCH CZYNNIKÓW NA SPRAWNOŚĆ POLIWĘGLANOWEGO KOLEKTORA SŁONECZNEGO

Streszczenie

Artykuł prezentuje wyniki badań wpływu wybranych czynników na sprawność poliwęglanowego kolektora słonecznego nowej konstrukcji. Kolektor został opracowany i zbudowany w Katedrze Elektrotechniki i Energetyki Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie. Z badań wynika, że opracowany kolektor dobrze spełnia swoją funkcję, aczkolwiek wymaga jeszcze drobnych usprawnień i modernizacji.

Słowa kluczowe: energia słoneczna, kolektor słoneczny, sprawność

Wstęp

Wzrost udziału odnawialnych źródeł energii w krajowym bilansie energetycznym jest jednym z ważniejszych zadań jakie stawia przed naszym krajem Unia Europejska. Jednym z odnawialnych źródeł energii jest energia słoneczna, która dzięki swym właściwościom (np. dostępność) oraz prostocie konwersji na energię cieplną stanowi ciekawą alternatywę dla uzyskiwania ciepła w sposób konwencjonalny. Jest wiele rozwiązań kolektorów słonecznych wykorzystujących konwersję fototermiczną, lecz ich cena jest jeszcze zbyt wysoka (przynajmniej w naszym kraju) i nie stanowią one zbyt wielkiej konkurencji dla konwencjonalnego ogrzewania.

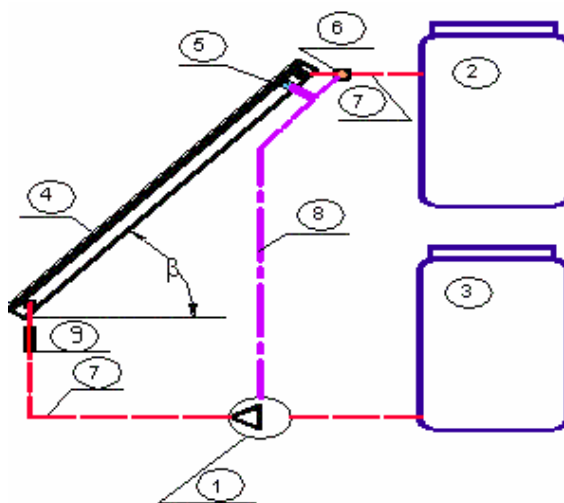
W Katedrze Elektrotechniki i Energetyki Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego opracowano i wykonano prototyp lekkiego kompaktowego kolektora słonecznego. Prototyp przeszedł pomyślnie wstępne badania i po niewielkiej modernizacji został poddany następnym próbom.

Cel i zakres pracy

Celem badań było określenie poszczególnych parametrów pracy płaskiego kolektora cieczowego, wykonanego z płyty poliwęglanowej trójściennej o prostokątnym przekroju kanałów. Badania przeprowadzono w warunkach klimatycznych środkowo-wschodniej Polski w okolicach Warszawy. Określając wpływ takich czynników jak: natężenie promieniowania słonecznego, temperatura wejściowa i wyjściowa wody, temperatura otaczającego powietrza, kąt pochylenia kolektora do poziomu, natężenie przepływu na sprawność kolektora.

Opis stanowiska badawczego

Stanowisko pomiarowe (rys. 1) składa się z kolektora jednoczynnikowego o powierzchni $0,5\text{m}^2$. Badany kolektor zbudowany jest z absorbera wykonanego z płyty poliwęglanowej, trójściennej, o strukturze prostokątnej i pojemności $1,5\text{ dm}^3$. Przednia część płyty z prostokątnymi kanalikami stanowi osłonę przezroczystą o grubości 5 mm. Tylna część z co drugim kanalikiem jest wykorzystywana jako absorber. Tył absorbera został pomalowany czarną, matową farbą.



Rys 1. Schemat stanowiska pomiarowego: 1-Pompa, 2-Zbiornik wody zimnej, 3-Zbiornik wody ogrzanej, 4-Kolektor, 5-Termostat, 6-Czujnik temperatury wyjściowej, 7-Przewód wodny, 8-Przewód elektryczny, 9- Czujnik temperatury wejściowej.

Fig. 1. The measuring point diagram: 1 - Pump, 2 - Cold water tank, 3 - Heated water tank, 4 - Collector, 5 - Thermostat, 6 - Output temperature sensor, 7 - Water pipe, 8 - Electric cable, 9 - Input temperature sensor

Obudowa kolektora słonecznego jest wykonana z drewna sosnowego i została ocieplona płytami styropianu o grubości 50 mm. Podstawa kolektora wykonana jest również z drewna i umożliwia nachylenie kolektora pod wybranym kątem w stosunku do promieni słonecznych.

W skład konstrukcji kolektora wchodzi obudowy czujników temperatury na wejściu i wyjściu, które wykonane są z miedzi. Do rurki na wyjściu przymocowany jest zanurzeniowy termostat nastawczy. Wejście i wyjście kolektora połączone jest gumowym, przezroczystym węzłem z opłotem krzyżowym, o średnicy 16 mm, z dwoma zbiornikami o pojemności 200 l.

Metodyka badań

Ze względu na brak środków na oprzyrządowanie i opomiarowanie badanego kolektora ze wsparciem literatury [Kaiser 1995, Smolec 2000] opracowano metodykę pozwalającą na uzyskanie danych dostępnymi środkami.

Przedmiotem badań było wyznaczenie parametrów eksploatacyjnych cieczowego kolektora słonecznego. Badania zostały przeprowadzone poza aglomeracją miejską w miejscowości leżącej na 52° północnej szerokości geograficznej. Kolektor umieszczony był na trawniku dla którego przyjęto współczynnik odbicia promieni słonecznych $\rho=0,3$. Badania przeprowadzono w wybranych dniach słonecznych w miesiącach lipiec i sierpień.

Do parametrów określających eksploatację badanego przez mnie cieczowego płaskiego kolektora słonecznego należą:

- sprawność chwilowa,
- użyteczna moc cieplna kolektora,
- temperatura wejścia cieczy roboczej,
- temperatura wyjścia cieczy roboczej,
- natężenie przepływu cieczy przez kolektor,
- powierzchnia kolektora,
- prędkość przepływu cieczy.

Sprawność kolektora została wyznaczona według następującej zależności:

$$\eta = \frac{Q_u}{I \cdot F_K} [\%] \quad (1)$$

gdzie:

I – natężenie promieniowania słonecznego padającego na powierzchnię kolektora [W/m^2]

Q_u – moc użyteczna [W]

F_K – pole powierzchni czynnej kolektora [m^2]

Natężenie promieniowania słonecznego wyznaczono z następującego wzoru:

$$I = I_b \cdot \cos \Theta + \frac{I_d(1 + \cos \beta)}{2} + \frac{I_h \cdot \rho(1 - \cos \beta)}{2} \quad [\text{W} / \text{m}^2] \quad (2)$$

gdzie:

I_b – chwilowe natężenie promieniowania bezpośredniego [W/m^2]

I_d – chwilowe natężenie promieniowania rozproszonego [W/m^2]

θ_z – kąt zenitu.

θ – kąt padania promieni słonecznych

Powyższe dane zostały podane przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej w Warszawie

β – pochylenie kolektora do poziomu

I_h – chwilowe natężenie promieniowania całkowitego [W/m^2]

Aby obliczyć moc użyteczną Q_u została wykorzystana następująca zależność.

$$Q_u = \dot{m} \cdot c \cdot \Delta T \quad [\text{kW}] \quad (3)$$

gdzie:

\dot{m} – strumień masy [kg/s]

c – ciepło właściwe czynnika roboczego, [kJ/kgK]

ΔT – Przyrost temperatury czynnika roboczego. [$^{\circ}\text{C}$]

Przyrost temperatury ΔT jest różnicą temperatury wyjściowej (T_2) a temperaturą wejściową (T_1). Pomiar temperatury dokonano za pomocą miernika „METEX” o dokładności pomiaru $\pm 1^{\circ}\text{C}$. Czujnik miernika umieszczano na czas ustalenia się temperatury na stałym poziomie w króćcu wlotowym a następnie w wylotowym.

Aby obliczyć strumień masy należy najpierw policzyć objętościowe natężenie przepływu a następnie szukaną wartość:

$$Q = \frac{V}{t} \left[\frac{m^3}{s} \right] \quad (4)$$

$$\dot{m} = Q \cdot \rho \left[\frac{kg}{s} \right] \quad (5)$$

gdzie:

\dot{m} – strumień masy [kg/s]

t – czas [s]

Q – objętościowe natężenie przepływu [m^3/s]

Strumień masy m regulowany był wysokością słupa cieczy w zbiorniku wejściowym w którym to zbiorniku na dnie wynosiło ciśnienie zależne od wzoru:

$$p = \rho \cdot g \cdot h = [Pa] \quad (6)$$

gdzie:

ρ – gęstość wody [kg/m^3] (gęstość odczytana była z tablic fizycznych dla wody o temp. $7^\circ C$)

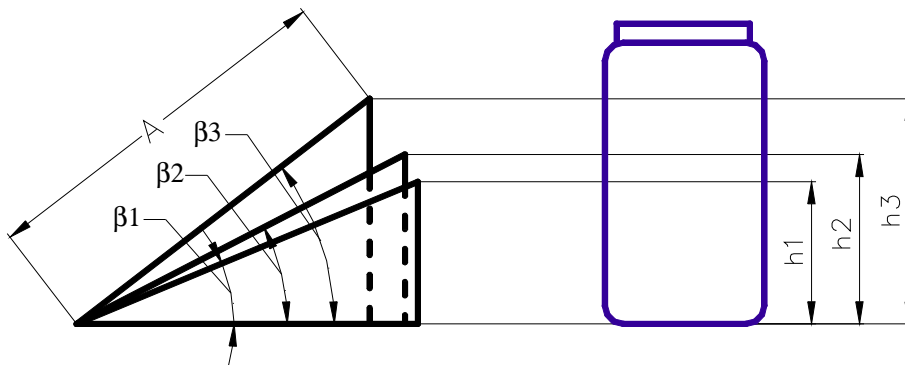
g – przyspieszenie ziemskie [m/s^2]

h – wysokość słupa cieczy w zbiorniku wejściowym [m]

Pierwszy etap badań w miesiącu lipcu miał na celu wyznaczenie wpływu, natężenia przepływu czynnika roboczego, zmiany czynników zewnętrznych takich jak, temperatura otoczenia, zachmurzenie, oraz wiatr na temperaturę wyjściową wody użytkowej. Podczas przeprowadzonego doświadczenia stosowano dwie metody wymuszania przepływu cieczy przez kolektor :

1. przy wykorzystaniu ciśnienia grawitacyjnego.
2. przy użyciu pompy z termostatem nastawczym.

W drugim etapie badań w miesiącu sierpniu badano jaki wpływ na temperaturę wyjścia wody użytkowej ma kąt nachylenia kolektora do poziomu. Wzrost kąta nachylenia kolektora wymusił zwiększenie poziomu wody w zbiorniku, aby możliwy był przepływ cieczy przez kolektor co ukazuje (rys. 2) oraz poniższe obliczenia.



Rys 2. Wpływ pochylenia kolektora do poziomu na wysokość słupa ciecży w zbiorniku

Fig. 2. Influence of the collector's inclination to the horizontal level upon the liquid column in the tank

Aby przepływ ciecży roboczej przez kolektor pochylony pod kątem β do poziomu był możliwy, minimalne wysokości (h_1, h_2, h_3) słupa ciecży w zbiorniku wejściowym muszą wynosić:

Przy kącie $\beta=30^\circ$

$$\sin \beta = \frac{h_1}{A} = \frac{h_1}{115} \Rightarrow h_1 = 115 \cdot \sin(30^\circ) = 52 \text{ cm} \quad (7)$$

Przy kącie $\beta=34^\circ$

$$\sin \beta = \frac{h_2}{A} = \frac{h_2}{115} \Rightarrow h_2 = 115 \cdot \sin(34^\circ) = 58 \text{ cm} \quad (8)$$

Przy kącie $\beta=55^\circ$

$$\sin \beta = \frac{h_3}{A} = \frac{h_3}{115} \Rightarrow h_3 = 115 \cdot \sin(55^\circ) = 87 \text{ cm} \quad (9)$$

Szczegółowe dane zebrane podczas pomiarów zostały przedstawione w tabelach, obliczenia oraz charakterystyki chwilowej sprawności kolektora wykreślone zostały na wykresach.

Wyniki badań

Wyniki obliczonych parametrów dla wybranych dni lipca 2003 i wybranych dni sierpnia 2003 przedstawiono w tabelach 1 i 2.

Tabela 1. Najważniejsze wyniki obliczeń wybranych dni w miesiącu lipcu

Table 1. The most significant calculation results of selected days in July

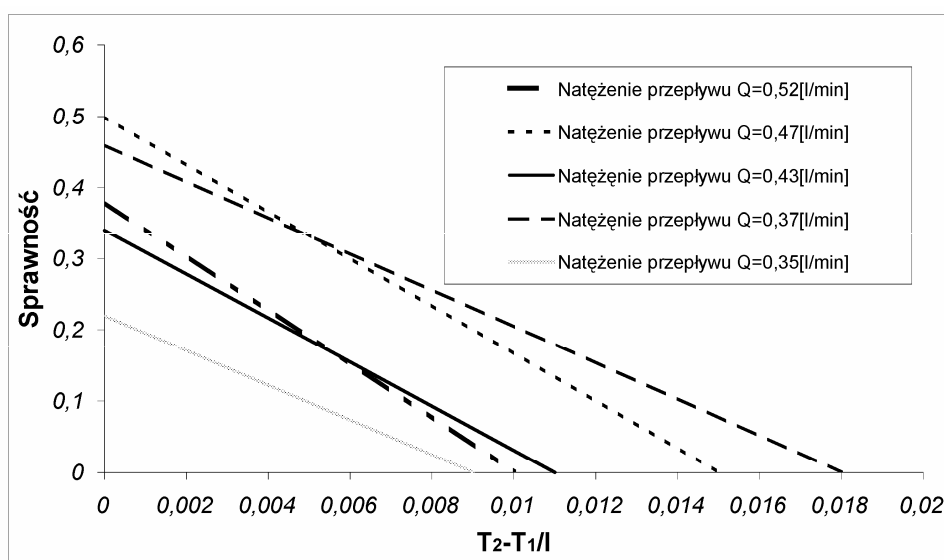
		22 lipca 2003r.	23 lipca 2003r.	24 lipca 2003r.	25 lipca 2003r.	26 lipiec 2003r.
Natężenie promieniowania padające na kolektor	I [W/m ²]	903,51	1119,75	1017,93	877,34	951,65
Chwilowa sprawność max.	η_{\max} [%]	59	62	52	59	55
Chwilowa sprawność min.	η_{\min} [%]	38	-	37	36	44
Moc użyteczna max.	Q _u [kW]	0,269	0,35	0,278	0,271	0,263
Moc użyteczna min.	Q _u [kW]	0,175	-	0,190	0,165	0,210
Objętościowe natężenie przepływu	Q [l/min]	0,56	0,26	0,42	0,43	0,36
Prędkość przepływającej cieczy przez kolektor	c [m/s]	0,37	0,20	0,28	0,288	0,24

Tabela 2. Najważniejsze wyniki obliczeń wybranych dni w miesiącu sierpniu

Table 2. The most significant calculation results of selected days in August

		3 sierpień 2003r.	13 sierpień 2003r.	14 sierpień 2003r.	15 sierpień 2003r.	17 sierpień 2003r.
Natężenie promieniowania słonecznego padającego na kolektor	I [W/m ²]	941,13	678,21	959,9	919,69	980,03
Chwilowa sprawność max.	η_{\max} [%]	50	61	53	64	27
Chwilowa sprawność min.	η_{\min} [%]	38	46	34	50	22
Moc użyteczna max.	Q _u [kW]	0,236	0,204	0,256	0,297	0,135
Moc użyteczna min.	Q _u [kW]	0,182	0,155	0,165	0,231	0,111
Objętościowe natężenie przepływu	Q [l/min]	0,52	0,37	0,43	0,47	0,35
Prędkość cieczy przepływającej przez kolektor	c [m/s]	0,34	0,24	0,28	0,31	0,23

Zbadano też wpływ natężenia przepływu przez badany kolektor czynnika roboczego na jego sprawność.



Rys. 3. Wpływ różnych natężeń przepływu czynnika roboczego na charakterystyki sprawnościowe cieczowego kolektora przy T_2 w wybranych dniach miesiąca sierpnia

Fig. 3. Influence of various flow intensity of the working substance upon the efficiency characteristics of the liquid collector at T_2 for the selected days of August

Podsumowanie

Zgodnie z oczekiwaniami chwilowa sprawność kolektora rosła wraz ze wzrostem natężenia promieniowania słonecznego. Sprawność ta dochodziła do 64% co w porównaniu z kolektorami produkowanymi seryjnie (których sprawność dochodzi do 80%) jest dość dobrym wynikiem. Natężenie przepływu czynnika roboczego przez kolektor ma duży wpływ na jego sprawność co wykazano na rysunku 3. Natężenia przepływu miały tak niskie wartości ze względu na trudności z utrzymaniem szczelności urządzenia. Zastosowane uszczelnienia nie zezwalały na stosowanie wyższych ciśnień co miało też dosyć znaczący wpływ na skalę badań.

Wnioski

Badany kolektor wymaga jeszcze modernizacji polegającej na zmniejszeniu stosunku całkowitej objętości cieczy do jego powierzchni czynnej co wpłynie na poprawę jego sprawności, zastosowanie innego rodzaju uszczelnień zapewniających poprawną pracę przy wyższych ciśnieniach.

Uzyskane wyniki wskazują kierunek dalszych badań i modernizacji prototypu, a także sugerują całkiem nowe rozwiązania.

Bibliografia

Kaiser H. 1995. Wykorzystanie energii słonecznej. Wydawnictwa AGH. Kraków.

Smolec W. 2000. Fototermiczna konwersja energii słonecznej. PWN. Warszawa.

Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej. Dane dotyczące parametrów słonecznych w określonych dniach lipca i sierpnia 2003.

INFLUENCE OF SELECTED FACTORS UPON THE EFFICIENCY OF POLYCARBONATE SOLAR COLLECTOR

Summary

The paper presents the research results regarding the influence of selected factors upon the efficiency of polycarbonate solar collector with a new design. The collector was designed and constructed in the Chair of Electrical Engineering and Power Generation of Uniwersytet Warmińsko-Mazurski in Olsztyn. The research results suggest that the designed collector performs its function well, however, it still requires certain minor improvements and modernization.

Key words: solar energy, solar collector, efficiency