

## BADANIE STRAT ENERGII W PŁASKIM KOLEKTORZE SŁONECZNYM

Jarosław Knaga

*Katedra Energetyki Rolniczej, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie*

**Streszczenie.** W opracowaniu przedstawiono wyniki badań płaskiego kolektora słonecznego, obecnie powszechnie stosowanego w systemach ciepłowniczych służących do przygotowania cwu. Przeprowadzona analiza statystyczna wyników pozwoliła na opracowanie istotnej zależności opisującej zmienność jednostkowego strumienia traconej energii przez kolektor przy natężeniu promieniowania słonecznego mniejszym niż  $50 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ . Strumień traconej energii na kolektorze jest silnie związany z różnicą temperatur między wodą w wymienniku a temperaturą otoczenia.

**Słowa kluczowe:** energetyka alternatywna, płaski kolektor słoneczny, energia

### Wstęp

W drugiej połowie XX wieku potrzeby energetyczne zaspakajano głównie w oparciu o spalanie paliw stałych. Urynkowienie gospodarki pod koniec ubiegłego stulecia ujawniło złą kondycję polskiego górnictwa węglowego [Chochowski, Czekalski 1999]. Przyczyniło się to do znacznego wzrostu cen energii. Rosnące ceny energii wraz z rosnącymi wymogami proekologicznymi spowodowały poszukiwanie nowych alternatywnych źródeł energii (cieki wodne, energia słońca, wiatru, energia geotermalna) w oparciu, o które można ograniczyć spalanie paliw stałych. Szczególną uwagę należy zwrócić na energię słoneczną, która jest ogólnie dostępna i darmowa, ale jej zgodność występowania z potrzebami bytowymi człowieka jest bardzo mała.

Obecnie korzystanie z zasobów energii alternatywnej nie tylko powinno przynosić korzyści związane z ograniczeniem zanieczyszczenia środowiska naturalnego, ale musi być też ekonomicznie uzasadnione. Gwałtowny rozwój techniki elektronicznej jak i technologii wytwarzania materiałów, przyczynił się do podniesienia sprawności urządzeń służących do spalania paliw kopalnych. Stąd, pojawia się potrzeba prowadzenia badań urządzeń energetyki alternatywnej, które pozwolą na modernizację istniejących rozwiązań konstrukcyjnych jak i optymalizację procesu eksploatacji tych urządzeń w systemach energetycznych.

Jednym z najczęściej stosowanych urządzeń energetyki alternatywnej jest kolektor słoneczny, a w szczególności kolektor typu płaskiego. Tego typu kolektor słoneczny znalazł duże zastosowanie w systemach ciepłowniczych służących do przygotowania ciepłej wody użytkowej (cwu) [Wiśniewski i in. 2001, Wołoszyn 2000], a to za sprawą prostej budowy, łatwego montażu i krótkiego okresu zwrotu nakładów poniesionych przy adaptacji najczęściej istniejącej instalacji.

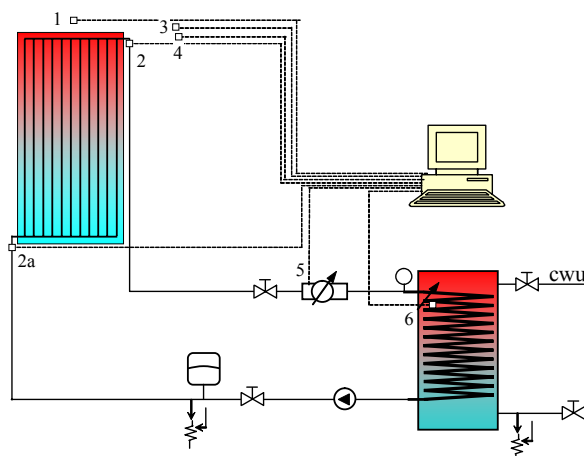
## Cel pracy

Celem pracy będzie przeprowadzenie badań płaskiego kolektora słonecznego, które pozwolą na wyznaczenie wielkości jak i określenie zmienności strumienia traconej energii. Otrzymane wyniki badań posłużą do opracowania charakterystyk opisujących zależność strumienia traconej energii w płaskim kolektorze słonecznym.

## Przedmiot i metodyka badań

Przedmiotem badań był płaski kolektor słoneczny KSC-AE/200S o wymiarach zewnętrznych  $2 \times 1$  m, powierzchni czynnej  $1,85 \text{ m}^2$  i pojemności czynnika roboczego  $3,1 \text{ dm}^3$ .

Badanie strumienia strat energii w płaskim kolektorze słonecznym przeprowadzono na stanowisku laboratoryjnym zlokalizowanym w Katedrze Energetyki Rolniczej, na Wydziale Agrotechnologii Akademii Rolniczej w Krakowie.



Rys. 1. Schemat układu pomiarowego płaskiego kolektora słonecznego; 1 – czujnik natężenie promieniowania słonecznego, 2, 2a – czujnik temp. na wejściu i wyjściu kolektora, 3 – czujnik temp. otoczenia, 4 – czujnik wilgotności powietrza, 5 – czujnik natężenie przepływu cieczy roboczej, 6 – czujnik temp. cwu

Fig. 1. Schematic presentation of the measuring system for a flat-plate solar collector: 1 – solar radiation intensity sensor, 2, 2a – temperature sensor at the inlet and outlet of the collector, 3 – ambient temperature sensor, 4 – air humidity sensor, 5 – working liquid flow rate sensor, 6 – usable warm water temperature sensor

Kolektor słoneczny był połączony z wymiennikiem ciepła o pojemności  $120 \text{ dm}^3$ , instalacją wyposażoną w standardową pompę obiegową wymuszającą natężenie przepływu w trzech zakresach.

## Badanie strat energii...

Układ pomiarowy jest oparty na pomiarze: temperatury (czynnika roboczego, cwu, otoczenia), natężenia przepływu czynnika roboczego, natężenia promieniowania słonecznego, oraz wilgotności powietrza (rys. 1). Pomiary temperatury prowadzono: w wymienniku, na wejściu i wyjściu kolektora słonecznego, przy czym pomiary na wyjściu i wejściu były realizowane czujnikami parowanymi (czujniki o identycznych charakterystykach, wykorzystywane w licznikach energii ciepła). Ponadto mierzono wilgotność powietrza oraz temperaturę otoczenia. Wszystkie wielkości mierzone rejestrowano bezpośrednio na PC, z wykorzystaniem aplikacji napisanej w programie DasyLab 6.0, obsługującym kartę pomiarową PCL 818L.

Tabela 1. Specyfikacja stanowiska badawczego  
Table 1. Testing post specification

Nr	Wielkość mierzona	Rodzaj i typ przyrządu pomiarowego
1	Natężenie promieniowania słonecznego	pyranometr CM3 025453, czułość; 15,61 [ $\mu\text{V}/\text{W}/\text{m}^2$ ], niestabilność $\pm 1\%$
2, 2a	Temperatura na wejściu i wyjściu kolektora słonecznego	czujnik temperatury PT 100, zakres; $-30\div 110$ [ $^{\circ}\text{C}$ ], dokładność; 0,01 [ $^{\circ}\text{C}$ ]
3	Temperatura otoczenia	czujnik temperatury PT 100, zakres; $-30\div 60$ [ $^{\circ}\text{C}$ ], dokładność; 0,1 [ $^{\circ}\text{C}$ ]
4	Wilgotność powietrza	przetwornik wilgotności PWW 2200/5, zakres; $0\div 100\%$ RH, dokładność; $\pm 2\%$
5	Natężenie strumienia objętości cieczy roboczej	przepływomierz MTWH, $Q_{\text{NOM}}= 7,0$ [ $\text{m}^3/\text{h}$ ], 2,5 [ $\text{dm}^3/\text{impuls}$ ]
6	Temperatura wody w zbiorniku	czujnik temperatury PT 100, zakres temperatur $0\div 100$ [ $^{\circ}\text{C}$ ], dokładność; 0,1 [ $^{\circ}\text{C}$ ]

Wartości wielkości mierzonych rejestrowano w dwu wariantach tj. z kontrolną częstotliwością sekundową i z uśrednieniem trzystu pomiarów kontrolnych, co jest podyktowane znaczną inercyjnością układu. Szczegółową specyfikację elementów układu pomiarowego zamieszczono w tabeli 1, a podane dokładności mierzonych wielkości odnoszą się do zestawu czujnika wraz z przetwornikiem. Czynnikiem roboczym, będącym w obiegu pomiędzy kolektorem słonecznym a wymiennikiem był 30 % roztwór glikolu, którego ciśnienie robocze wynosiło 1,5 [kPa].

Do analizy wielkości strumienia energii rozpraszanej przez kolektor słoneczny wybrano obserwacje, które zarejestrowano przy natężeniu promieniowania mniejszym niż  $50 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ . Przy tak małym natężeniu promieniowania kolektor słoneczny był poddany

ekspozycji promieniowania rozproszonego i odbitego, które praktycznie nie jest absorbowane. Stąd część strumienia energii niesionego przez czynnik roboczy jest przejmowana przez kolektor słoneczny, a jego wartość można wyznaczyć na podstawie zależności 1;

$$\dot{Q} = \dot{V} \cdot \rho \cdot c_p \cdot (t_{wej} - t_{wyj}) \quad (1)$$

gdzie:

- $\dot{Q}$  – Strumień energii [W],
- $\dot{V}$  – strumień czynnika roboczego [ $\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ],
- $\rho$  – gęstość czynnika roboczego [ $\text{kg} \cdot \text{dm}^{-3}$ ],
- $c_p$  – ciepło właściwe czynnika roboczego [ $\text{J} \cdot (\text{kg} \cdot \text{deg})^{-1}$ ],
- $t_{wej}$  – temperatura na wejściu kolektora [ $^{\circ}\text{C}$ ],
- $t_{wyj}$  – temperatura na wyjściu kolektora [ $^{\circ}\text{C}$ ].

Energia Q przejmowana przez kolektor słoneczny w takich warunkach jest następnie tracona tylko na osłonach kolektora w postaci strumienia ciepła konwekcji i promieniowania. Podstawy teoretyczne rozkładu strat energii w tego typu kolektorze słonecznym przedstawił Chwieduk w opracowaniu [1994].

## Wyniki badań

W oparciu o wyniki badań przeprowadzone na płaskim kolektorze słonecznym wyznaczono strumień traconej energii z zależności 1. Następnie po przeprowadzeniu analizy statystycznej w zakresie podstawowym ustalono czynniki mające istotny wpływ na wielkość strumienia ciepła traconego przez osłony absorbera. Najistotniejszymi czynnikami są temperatura otoczenia, jak i temperatura czynnika roboczego na wejściu do kolektora, a w dalszej kolejności natężenie przepływu. Wpływ tych czynników na jednostkowy strumień strat dobrze opisuje równanie regresji liniowej trzech zmiennych, które wyznaczono przy współczynniku determinacji  $R^2=0,91$ :

$$\dot{Q} = 5,46 \cdot T_{wej} - 5,64 \cdot T_O + 21,1 \cdot \dot{V} - 36,8 \quad (2)$$

gdzie:

- $\dot{Q}$  – strumień traconego jednostkowego ciepła [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ ],
- $\dot{V}$  – natężenie przepływu [ $\text{dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ ],
- $T_{wej}$  – temperatura czynnika roboczego na wejściu do kolektora [ $^{\circ}\text{C}$ ],
- $T_O$  – temperatura otoczenia [ $^{\circ}\text{C}$ ],

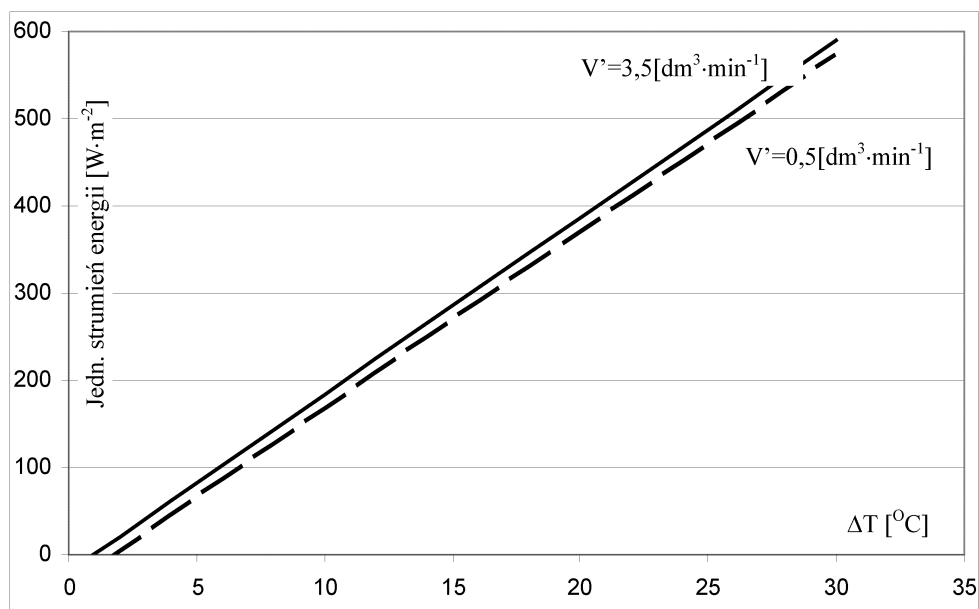
Identyczna siła oddziaływania temperatury wejściowej i temperatury otoczenia (zależność 2) na wielkość strumienia traconego ciepła pozwoliły na uproszczenie modelu funkcjonalnego do dwu zmiennych, wprowadzając różnicę temperatur  $\Delta T = T_{wej} - T_O$ . stąd:

$$\dot{Q} = 20,29 \cdot \Delta T + 5,44 \cdot \dot{V} - 38,3 \quad (3)$$

gdzie:

- $\dot{Q}$  – strumień traconego jednostkowego ciepła [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ ],
- $\Delta T$  – różnica temperatur czynnika roboczego na wejściu do kolektora i otoczenia [ $^{\circ}\text{C}$ ],
- $\dot{V}$  – natężenie przepływu [ $\text{dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ ].

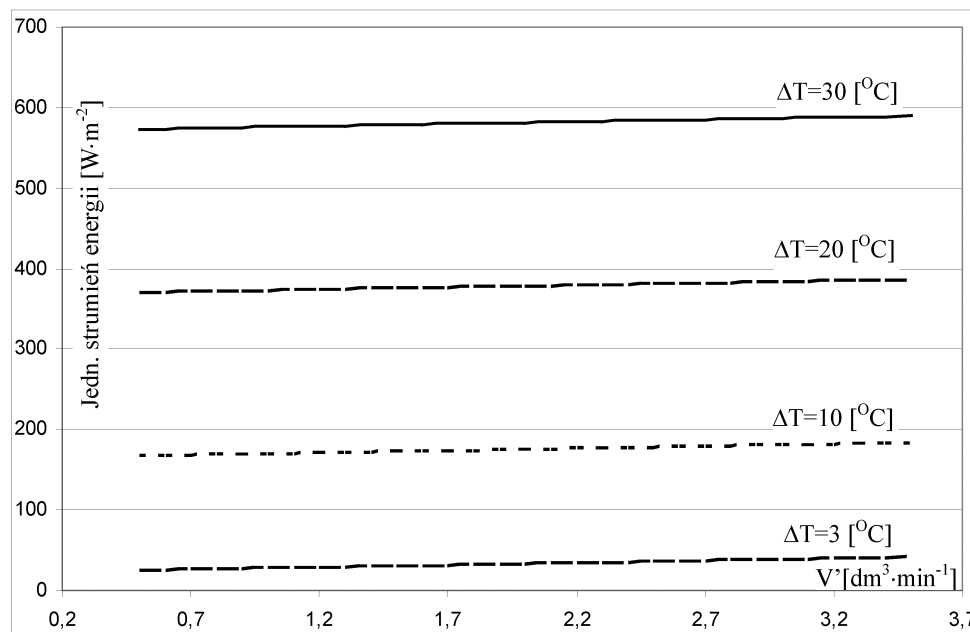
W celu zobrazowania wpływu różnicy temperatur (czynnika roboczego na wejściu do kolektora i otoczenia), oraz natężenia przepływu na wielkość jednostkowego strumienia traconego ciepła przez kolektor, opracowano na podstawie zależności 3 zestaw charakterystyk (rys. 2, 3).



Rys. 2. Zależność strumienia traconej energii w płaskim kolektorze od różnicy temperatur między czynnikiem roboczym na wejściu do kolektora a otoczeniem

Fig. 2. Dependence of the stream of energy lost in a flat-plate solar collector on the difference in temperatures between the working medium at the collector inlet and the environment

Z przedstawionej zależności 3, oraz rysunków 2 i 3 wynika, że różnica temperatur i natężenie przepływu mają podobny wpływ na jednostkową moc strat, ale różnią się siłą oddziaływania. Ze wzrostem różnicy temperatur (czynnika roboczego na wejściu do kolektora i otoczenia) wzrasta moc tracona o 20,3 W na każdy stopień Celsjusza (rys. 2).



Rys. 3. Zależność strumienia traconej energii w płaskim kolektorze od natężenia przepływu  
 Fig. 3. Dependence of the stream of energy lost in a flat-plate solar collector on the rate of flow

Silna zależność mocy jednostkowej od różnicy temperatur jest sprawą oczywistą, a określenie ilościowe daje podstawę do racjonalnego wykorzystania potencjalnych możliwości układów sterujących w systemach solarnych.

Natomiast natężenie przepływu czynnika roboczego na ilość traconej mocy ma znacznie słabsze oddziaływanie, a jego wzrost o  $1 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$  przekłada się na wzrost jednostkowej mocy strat o kilka wat.

## Podsumowanie

Na wielkość jednostkowego strumienia traconego ciepła w kolektorze słonecznym największy wpływ ma różnica temperatur, co ujmuje zależność (2). Tracony strumień energii jest na tyle duży, iż można by pokusić się o przeprowadzenie badań, które pozwolą na określenie jego rozkładu na poszczególne powierzchnie. Pozwoliłoby to na określenie sposobu poprawienia ochrony cieplnej absorbera. Natomiast w eksploatowanych kolektorach słonecznych tak dużą traconą moc można wykorzystać do schłodzenia przegrzanej ciepłej wody użytkowej w czasie mniejszego zapotrzebowania, a nie zrzucić - tak jak w obecnie stosowanych systemach sterujących.

Znacznie słabsze oddziaływanie natężenie przepływu czynnika roboczego na jednostkową moc traconą jest korzystne ze względu na prostsze wykonanie układów sterujących, przy możliwości zastosowania większych częstotliwości próbkowania w czasie dużych zmian natężenia promieniowania słonecznego.

## Bibliografia

- Chochowski A., Czekalski D.** 1999. Słoneczne instalacje grzewcze, COIB, Warszawa, ISBN 80-255-2422-4.
- Chwieduk D.** 1994. Słoneczne i gruntowe systemy grzewcze, Zagadnienia symulacji funkcjonowania i wydajności cieplnej, Studia z Zakresu Inżynierii Nr 37, Komitet Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN, Warszawa. s. 43-48.
- Wiśniewski G., Gołębiowski S., Gryciuk M.** 2001. Kolektory słoneczne, poradnik wykorzystania energii słonecznej. COIB, Warszawa. ISBN 83-204-0418-5.
- Woloszyn M.** 2000. Kolektory słoneczne – wykorzystanie energii słonecznej do przygotowania ciepłej wody użytkowej. Technika Rolnicza nr 5. s. 23-26.

## ENERGY LOSSES IN A FLAT-PLATE SOLAR COLLECTOR

**Abstract.** The paper presents the results of testing a flat-plate solar collector, which presently has been generally used in heating systems intended for preparing usable warm water. The statistical analysis of the results has made it possible to establish a significant relationship describing the variability of the unit stream of energy lost by the collector at the solar radiation intensity below  $50 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ . The stream of energy lost by the collector is strongly connected with the difference between the temperature of water in the exchanger and ambient temperature.

**Key words:** alternative power engineering, flat-plate solar collector, energy

### Adres do korespondencji:

Jarosław Knaga; e-mail: knaga@ar.krakow.pl  
Katedra Energetyki Rolniczej,  
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie  
ul. Balicka 116B  
30-149 Kraków