

Hubert Latała
Katedra Inżynierii Rolniczej i Informatyki
Akademii Rolniczej w Krakowie

STRATY CIEPŁA W KOLEKTORZE CIECZOWYM W FUNKCJI TEMPERATURY OTOCZENIA

Streszczenie

Straty ciepła w płaskich kolektorach cieczowych uzależnione są od wielu czynników. Wpływ na wartość strat mają nie tylko cechy konstrukcyjne (dobra izolacja) ale również warunki otoczenia, w których pracują kolektory. W prezentowanej pracy przedstawiono wyniki eksperymentu dotyczącego wyliczenia zastępczego współczynnika strat ciepła oraz określenia wielkości całkowitych strat ciepła dla płaskich kolektorów w zależności od termicznych warunków ich pracy.

Słowa kluczowe: kolektory słoneczne, straty ciepła, energia słoneczna

Wstęp

Ilość ciepła jaką można uzyskać z płaskich kolektorów cieczowych zależy głównie od właściwości absorbera i pokrycia ze specjalnego szkła. Na ten zysk wpływa również materiał izolacyjny, który ma zminimalizować straty ciepła przez ścianki boczne i tył kolektora. Szczególnie ma to znaczenie podczas pracy w niższych temperaturach otoczenia. Ponadto ze względu na warunki pracy kolektorów materiały termoizolacyjne powinny cechować się: dużą trwałością, niską higroskopijnością, odpornością na wysokie temperatury i odpornością na starzenie. Nie bez znaczenia w stratach ciepłych jest też obudowa kolektora, która najczęściej stanowi konstrukcję nośną i zarazem chroni warstwę izolacyjną [Mokrzycki 2005].

W kolektorach słonecznych o wysokiej jakości wykonania osiąga się duże wartości współczynnika transmisyjno-absorbcyjnego przy małych wartościach zastępczego współczynnika strat ciepłych, który dla obecnie produkowanych kolektorów powinny zawierać się w granicach od 3 do 10 W/m² K. Relacje wymienionych powyżej parametrów gwarantują wysoką sprawność kolektora [Wiśniewski i in. 2001].

Celem sprawdzenia czy płaskie kolektory cieczowe pracujące w zintegrowanym systemie ogrzewania tunelu foliowego odpowiadają wymogą dotyczącym wielkości współczynnika strat ciepłych podjęto zadanie oszacowania strat ciepłych w funkcji temperatury otoczenia.

Opis obiektu badań

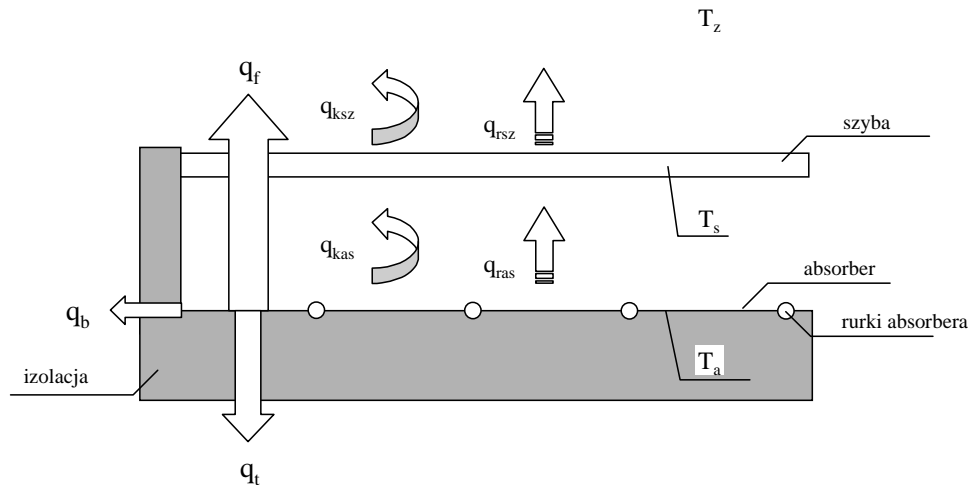
System konwersji promieniowania słonecznego stanowiły 4 płaskie kolektory cieczowe połączone ze zbiornikiem magazynującym ciepło. Łączna powierzchnia kolektorów absorbujących energię słoneczną wynosiła $7,1 \text{ m}^2$. Ustawione były pod kątem 45° do podłoża i skierowane płaszczyzną na południe.

Wnętrze układu absorber kolektora – węzownica wypełnione było płynem niezamrażającym – glikolem. Zainstalowana w tym układzie pompa cyrkulacyjna wymuszała ruch czynnika grzewczego w momencie, gdy jego temperatura była wyższa od temperatury wody w zbiorniku. Ciepło magazynowano w zbiorniku o pojemności 6 m^3 , który wypełniony był 3000 litrów wody.

Metodyka badań

Do realizacji postawionego celu wykonano pomiary następujących parametrów: natężenia promieniowania słonecznego (E_s), temperatury otoczenia (T_z), temperatury czynnika grzewczego na wejściu (T_{we}) i wyjściu (T_{wy}) z kolektora, ilości czynnika grzewczego przepływającego przez kolektory.

Całkowite promieniowanie słoneczne (E_s) padające na poziomą powierzchnię mierzono pyranometrem CM3 w zakresie długości fali promieniowania elektromagnetycznego od $0,2$ do $2,8 \text{ }\mu\text{m}$. Prędkość wiatru monitorowana była czasowym wiatromierzem o zakresie pomiarowym od 0 do 50 m/s . Ilość czynnika grzewczego przepływającego przez kolektory mierzono przepływomierzem turbinkowym przeznaczonym do pracy w podwyższonej temperaturze. Ze względu na to, że powierzchnia frontowa płaskiego kolektora cieczowego ma największy udział w strumieniu strat ciepłych w porównaniu do jego ścian bocznych wykonano obliczenia strat ciepła dla tej powierzchni. Uwzględniając strumień transmisji ciepła przez konwekcję i promieniowanie. Analizując strumień strat ciepła z absorbera do otoczenia (rys.1) przyjęto następujące założenia upraszczające: stan ustalony procesu, uśrednione wartości temperatury absorbera i szyby dla całej ich powierzchni, jednowymiarowy kierunek ruchu ciepła od absorbera do otoczenia (ze względu na mały wymiar grubości kolektora w stosunku do pozostałych jego wymiarów). Powyższe założenia pozwoliły na zapis strumienia strat ciepła z kolektora w postaci równań (1 i 2) [Pluta 2000]. Strumień strat ciepła przez powierzchnię frontową dotyczy konwekcji swobodnej w przestrzeni zamkniętej między absorberem i szybą (q_{kas}) oraz promieniowania między tymi elementami kolektora (q_{ras}) (1).



Rys. 1. Strumienie strat ciepła w płaskim kolektorze cieczowym
Fig. 1. heat loss fluxes in flat liquid collector

$$q_{a-s} = q_{kas} + q_{ras} = \alpha_{k1} (T_{asr} - T_s) + \frac{\sigma (T_{asr}^4 - T_s^4)}{\frac{1}{\epsilon_a} + \frac{1}{\epsilon_s} - 1} \quad (1)$$

gdzie:

- α_{k1} – współczynnik przyjmowania ciepła dla konwekcji swobodnej w przestrzeni zamkniętej $W/m^2 K$,
- T_{asr} – średnia temperatura absorbera, K
- T_s – temperatura szyby, K
- ϵ_a – emisyjność absorbera, -
- ϵ_s – emisyjność szyby, -
- σ – stała Stefana-Boltzmana, $W/m^2 K^4$

A następnie ten strumień ciepła związany z konwekcją (q_{ksz}) i promieniowaniem (q_{rsz}) jest przekazywany od szyby do otoczenia (2).

$$q_{s-z} = q_{ksz} + q_{rsz} = \alpha_{k2} (T_s - T_z) + \epsilon_s \sigma (T_s^4 - T_N^4) \quad (2)$$

gdzie:

- α_{k2} – współczynnik przyjmowania ciepła na powierzchni zewnętrznej kolektora [$W/m^2 K$],
- T_z – temperatura powietrza na zewnątrz, K
- T_N – równoważna temperatura nieboskłonu, K

Współczynnik przyjmowania ciepła dla konwekcji swobodnej w przestrzeni zamkniętej pochylonej pod pewnym kątem (α_{k1}) wyznaczono na podstawie zależności kryterialnych [Hollands cyt. Pluta 2000].

$$\alpha_{k1} = f(\text{Nu}, \lambda_p, d_p) \quad (3)$$

λ_p – przewodność cieplna powietrza [W/m K],

T_z – temperatura powietrza na zewnątrz, K

T_N – równoważna temperatura nieboskłonu, K

Natomiast współczynnik przyjmowania ciepła na powierzchni zewnętrznej kolektora (α_{k2}) wyliczono na podstawie wzoru McAdamsa [McAdams cyt. Pluta 2000].

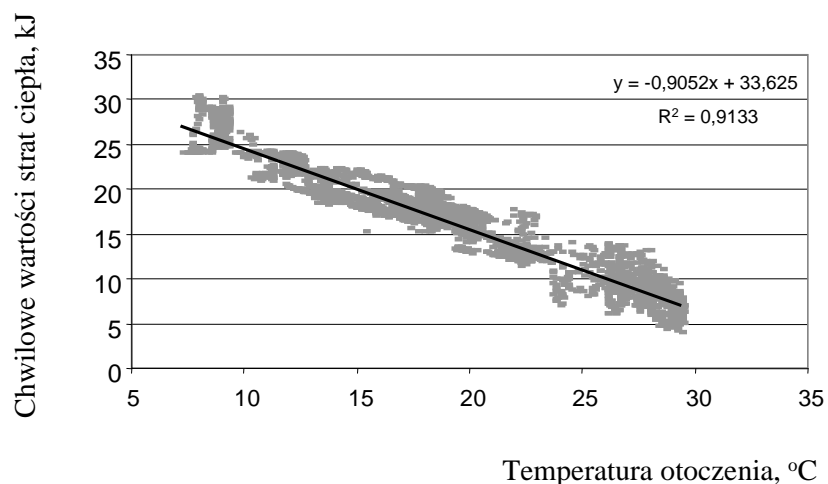
$$\alpha_{k2} = 5,7 + 3,8 v \quad (4)$$

v – prędkość wiatru, m/s

Straty przez powierzchnie tylną kolektora zależą głównie od przewodności cieplnej izolacji i jej grubości. Na podstawie otrzymanych wyników wyliczono straty ciepła z płaskiego kolektora słonecznego oraz zastępczy współczynnik strat ciepła kolektora U_L , zawierający w sobie składowe strat zarówno przez konwekcję jak i promieniowanie.

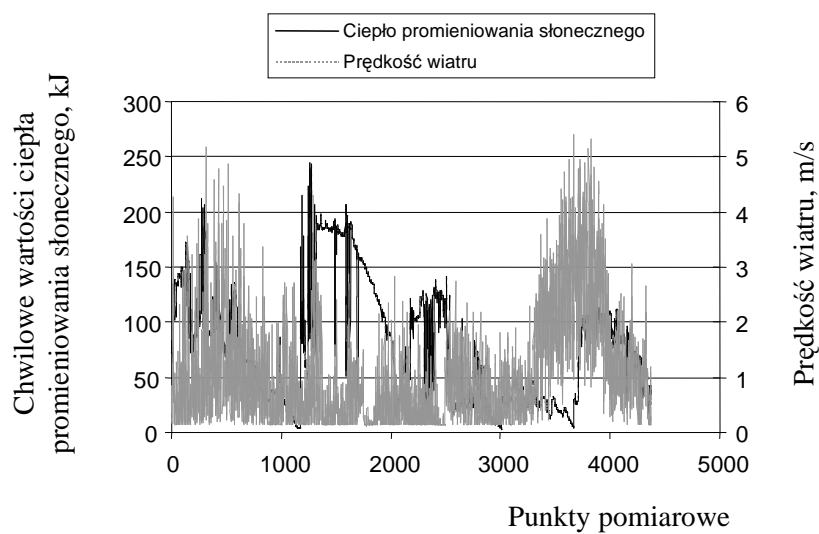
Wyniki i dyskusja

Na rysunku 2 przedstawiono chwilowe wartości strat ciepła, których wartości zostały wyliczone dla 30 sekundowych przedziałów czasowych. Prezentowane dane dotyczą 5540 punktów pomiarowych w zakresie temperatur otoczenia od 7,2 do 29,4°C. W tym zakresie największe, chwilowe straty ciepła z płaskiego kolektora cieczowego osiągnęły wartości 30,5 kJ. Natomiast w temperaturze bliskiej 30°C straty ciepła spadały do wartości 4,1 kJ. Siłę wzajemnego powiązania między analizowanymi zmiennymi określa współczynnik determinacji, który osiągnął wartość 0,91 (rys. 2.). Z kolei rozrzut analizowanych danych wynika z warunków w jakich wykonywano eksperyment. Na rysunku 3 przedstawiono zmiany chwilowych wartości ciepła promieniowania słonecznego oraz prędkość wiatru dla analizowanych punktów pomiarowych. Podczas prowadzonego eksperymentu ciepło dostępne z promieniowania słonecznego zmieniało się w granicach od 2,1 do 244,1 kJ. Odpowiadało to natężeniu promieniowania słonecznego na płaską powierzchnię w zakresie od 10 do 1143 W/m². Prędkość wiatru nie przekroczyła 5,4 m/s przy średniej na poziomie 1 m/s.



Rys. 2. Chwilowe wartości strat ciepła płaskich kolektorów cieczowych w funkcji temperatury otoczenia

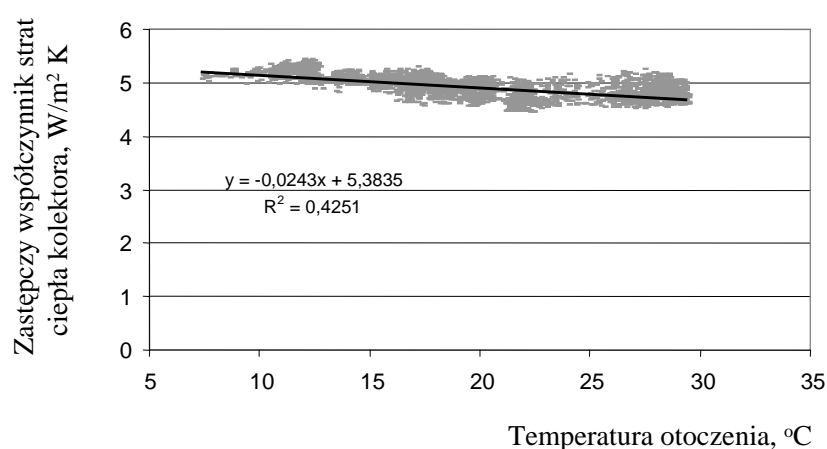
Fig. 2. Instantaneous heat loss values of flat liquid collectors as a function of ambient temperature



Rys. 3. Chwilowe wartości ciepła promieniowania słonecznego oraz prędkość wiatru dla analizowanych punktów pomiarowych

Fig. 3. Instantaneous values of solar radiation heat and wind velocity for analyzed measuring points

Kolejnym parametrem, który poddano analizie był zastępczy współczynnik strat ciepła kolektora U_L . Jego wartość wyliczono uwzględniając straty ciepła przez obudowę i frontową część kolektora. Współczynnik U_L zawiera w sobie składowe strat zarówno przez konwekcję jak i promieniowanie. Wartość U_L zmieniała się w przedziale od 4,4 do 5,5 $W/m^2 K$ (rys. 4). Dość wysoki rozrzut wartości współczynnika strat ciepła (współczynnik determinacji wyniósł jedynie 0,42) był wynikiem nie tylko wpływu temperatury otoczenia ale również spowodowany różną prędkością wiatru.



Rys. 4. Zastępczy współczynnik strat ciepła kolektora U_L w funkcji temperatury otoczenia

Fig. 4. Substitute heat loss factor of the collector U_L as a function of ambient temperature

Po przeanalizowaniu wyników danych eksperymentalnych stwierdzono znaczny wpływ temperatury otoczenia na wartości strat ciepła z płaskiego kolektora cieczowego. Ponadto analizując wartości zastępczego współczynnika strat ciepłych stwierdzono, że dla badanych kolektorów wartość tego współczynnika zawiera się w dolnym zakresie podanym w publikacji Wiśniewskiego i in. 2001. Świadczyć to może jedynie o bardzo dobrej izolacji analizowanych kolektorów.

Wnioski

1. Chwilowe straty ciepłe kolektora w zakresie warunków termicznych prowadzonego eksperymentu zmieniały się od 30,5 do 4,1 kJ.
2. Wraz ze wzrostem temperatury otoczenia straty ciepłe kolektora malały w tempie około 1,19 kJ/°C.

3. Wartość zastępczego współczynnika strat ciepła kolektora zawierała się w przedziale od 4,4 do 5,5 W/m² K. Stosunkowo niska wartość tego współczynnika świadczy o dobrej izolacji kolektora.

Bibliografia

Mokrzycki E. 2005. Podstawy gospodarki surowcami energetycznymi. Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH. Ss. 423.

Pluta Z. 2000. Podstawy teoretyczne fototermicznej konwersji energii słonecznej. Polit. Warszawska.

Wiśniewski G., Gołębiowski S., Gryciuk M. 2001. Kolektory słoneczne – poradnik wykorzystania energii słonecznej. Centralny Ośrodek Informacji Budownictwa PP. Warszawa. ss 192.

HEAT LOSS IN A LIQUID COLLECTOR AS A FUNCTION OF AMBIENT TEMPERATURE

Summary

Heat loss in flat liquid collectors are dependent on many factors. The loss value is not only dependent on design features (good insulation) but also on ambient conditions, in which collectors work. The presented work includes results of the experimental calculation of substitute heat loss factor and determination of total heat losses for flat collectors depending on thermal conditions of their operation.

Key words: solar collectors, heat loss, solar energy