

EFEKTYWNOŚĆ ABSORBERA W FUNKCJI TEMPERATURY OTOCZENIA I PARAMETRÓW EKSPLOATACYJNYCH KOLEKTORA CIECZOWEGO

Hubert Latała

Katedra Inżynierii Rolniczej i Informatyki, Akademii Rolniczej w Krakowie

Streszczenie. W pracy przedstawiono wyniki badań dotyczące efektywności absorbera w funkcji temperatury otoczenia i parametrów eksploatacyjnych płaskiego kolektora cieczowego. Na efektywność absorbera, jako wymiennika ciepła, mają wpływ nie tylko cechy konstrukcyjne, ale również parametry eksploatacyjne kolektora. Wzrost wartości współczynnika eksploatacyjnego parametrów kolektora wpłynął na polepszenie efektywności absorbera natomiast zmiany temperatury otoczenia w niewielkim stopniu wpłynęły na jakość pracy absorbera.

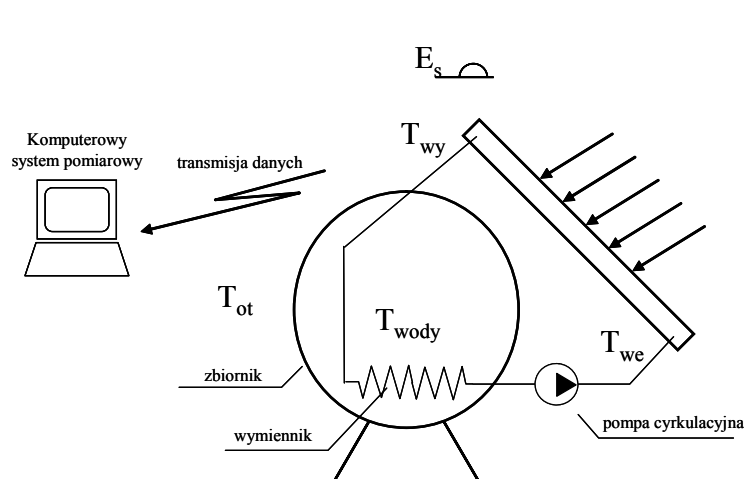
Słowa kluczowe: kolektory słoneczne, energia słoneczna, absorber

Wstęp

Decydującym elementem odpowiedzialnym za konwersję energii promieniowania słonecznego w płaskich kolektorach jest absorber. Jego konstrukcja (kanały przepływowe, materiał) wraz z powłoką, która powinna charakteryzować się wysokim współczynnikiem absorpcji, decydują o przewodności cieplnej i odporności na korozję [Pluta 2000]. Nie bez znaczenia jest również wartość współczynnika emisji promieniowania cieplnego do otoczenia. Ze względu na to ilość energii promieniowania słonecznego, która może być zamieniona na ciepło za pośrednictwem absorbera jest wypadkową energii zaabsorbowanej i wypromieniowanej do otoczenia.

W praktyce stosuje się pokrycia selektywne absorberów, które charakteryzują się wysokim współczynnikiem absorpcji w zakresie długości fali do $3\mu\text{m}$ i małym współczynnikiem emisji powyżej $3\mu\text{m}$. Granica ta wynika z widma promieniowania słonecznego docierającego do powierzchni Ziemi, jak również z faktu, że nagrzany absorber kolektora emituje najwięcej energii w zakresie długości fal od 7 do $9\mu\text{m}$ [Pluta 2000]. W związku z tym, żeby ocenić jakość absorbera, w kontekście jego pracy jako wymiennika ciepła, posłużyć się można stosunkiem wartości oporu cieplnego w relacji absorber - otoczenie do oporu między płynem w kolektorze i otoczeniem. Należy w tym miejscu zwrócić uwagę na zapis wyrażenia opisującego efektywność absorbera. Szczególnie różnice te dotyczą sposobu obliczenia oporu cieplnego między płytą absorbera a kanałami przepływowymi. Wpływ na to mają między innymi kierunek przepływu czynnika jak i sposób połączenia tych elementów.

Na podstawie tych informacji w pracy postawiono sobie za cel przeanalizowanie efektywności absorbera kolektora cieczowego, który posiadał płaski absorber selektywny z równoległe umieszczonymi kanałami przepływowymi, w zależności od temperatury otoczenia i jego parametrów eksploatacyjnych. W czasie prowadzonego eksperymentu monitorowano parametry, które przedstawiono na schemacie ideowym (rys. 1.).



Rys. 1. Schemat ideowy systemu konwersji promieniowania słonecznego
Fig. 1. Schematic diagram showing solar radiation conversion system

Metodyka badań

Do realizacji postawionego celu wykonano pomiary następujących parametrów: natężenia promieniowania słonecznego (E_s), temperatury otoczenia (T_{ot}), temperatury czynnika grzewczego na wejściu (T_{we}) i wyjściu (T_{wy}) z kolektora oraz natężenia przepływu czynnika grzewczego przez kolektor (m_w). Wymienione parametry były mierzone i rejestrowane w przedziałach 30 sekundowych przez komputerowy system pomiarowy. Pomiary przeprowadzono, w zmiennych warunkach otoczenia w miesiącu czerwcu i październiku, w obiekcie badawczym zlokalizowanym na terenie Wydziału Agrotechnologii Akademii Rolniczej w Krakowie. System konwersji promieniowania słonecznego stanowiły 4 płaskie kolektory cieczowe skierowane płaszczyzną czynną na południe (rys. 1.). Łączna powierzchnia absorbera konwertującego energię słoneczną wynosiła $7,1 \text{ m}^2$. Ciepło z kolektorów przekazywane było do wody zgromadzonej w zbiorniku przez wymiennik wykonany w kształcie węzownicy o powierzchni wymiany $1,38 \text{ m}^2$. W układzie kolektory - węzownica znajdował się płyn niezamarzający glikol, za którego ruch odpowiadała pompa cyrkulacyjna. Zbiornik o pojemności 6 m^3 wypełniony był 3000 litrów wody.

Efektywność absorbera...

Na podstawie zebranych danych eksperymentalnych wyliczono współczynnik efektywności absorbera (F') według poniższej zależności:

$$F' = \frac{\frac{1}{U_L}}{W \left[\frac{1}{U_L (D_z + (W - D_z) F)} + \frac{1}{2\pi\lambda_D} \ln \left(\frac{D_z}{D_w} \right) + \frac{1}{\pi D_w h_w} \right]} \quad (1)$$

gdzie:

- U_L – zastępczy współczynnik strat ciepła kolektora [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \text{K}^{-1}$],
- W – rozstaw rur [m],
- D_z – zewnętrzna średnica rury [m],
- D_w – wewnętrzna średnica rury [m],
- λ_D – przewodność cieplna materiału [$\text{W} \cdot \text{m K}$],
- F – sprawność żebra absorbera [-],
- h_w – współczynnik przejmowania ciepła w rurze [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \text{K}^{-1}$].

Sprawność żebra absorbera (F) wyznaczono według zależności (2), natomiast parametr absorbera (m) wyliczono z zależności (3):

$$F = \frac{\tanh \left(m \frac{W - D_z}{2} \right)}{m \frac{W - D_z}{2}} \quad (2)$$

$$m = \sqrt{\frac{U_L}{\lambda_p \delta}} \quad (3)$$

gdzie:

- λ_p – przewodność cieplna absorbera [$\text{W} \cdot \text{m K}^{-1}$],
- δ – grubość absorbera [m].

Współczynnik odprowadzenia ciepła z kolektora (F_R) wyliczono według zależności (4):

$$F_R = \frac{m_w \cdot c_w}{A_k \cdot U_L} \cdot \left(1 - \exp \frac{-A_k \cdot U_L \cdot F'}{m_w \cdot c_w} \right) \quad (4)$$

gdzie:

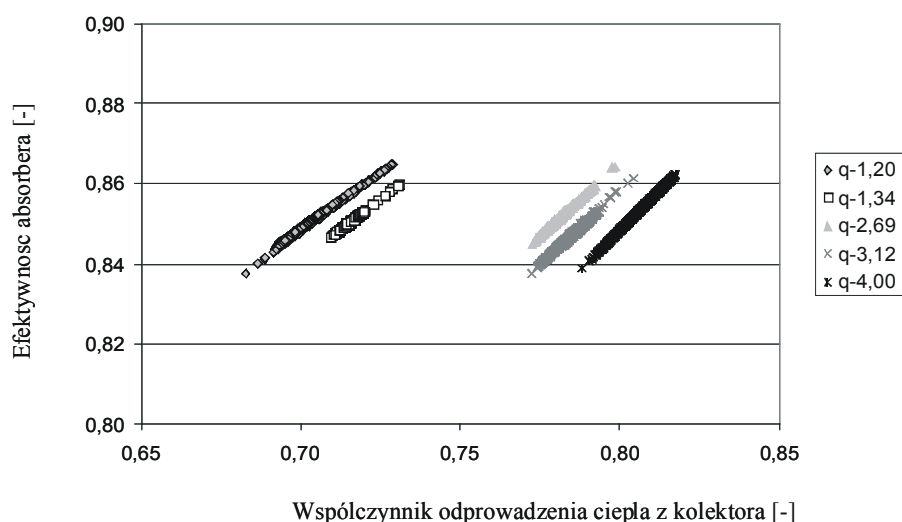
- m_w – jednostkowe natężenie przepływu czynnika grzewczego [kg/s],
- c_w – ciepło właściwe czynnika [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \text{K}^{-1}$],
- A_k – powierzchnia absorbera [m^2].

Współczynnik eksploatacyjny parametrów kolektora (k_e):

$$k_e = \frac{m_w \cdot c_w}{A_k \cdot U_L} \quad (5)$$

Wyniki i dyskusja

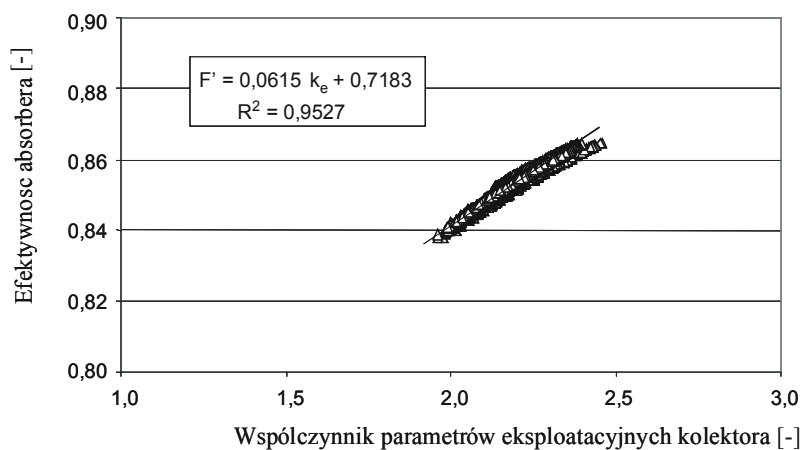
Na podstawie danych uzyskanych z przeprowadzonego eksperymentu i obliczeń wykonanych według metodyki badań otrzymano wyniki, które poddano analizie. Realizując założony cel pracy zestawiono wartości współczynnika efektywności absorbera z parametrami wpływającymi na jego pracę. Na rysunku 2 przedstawiono zmiany efektywności absorbera w funkcji współczynnika odprowadzenia ciepła z kolektora cieczowego. Wartość tego współczynnika (równanie 1), zwanego również współczynnikiem efektywności kolektora, można interpretować jako iloraz oporu cieplnego między absorberem a powietrzem zewnętrznym i oporu między czynnikiem grzewczym a powietrzem na zewnątrz. Wzrost temperatury absorbera zależy głównie od natężenia promieniowania słonecznego, strat cieplnych oraz warunków, w jakich odbywa się odbiór ciepła użytecznego [Latała 2006]. Efektywność absorbera jest więc miarą jego jakości, która głównie zależy od cech konstrukcyjnych. Efektywność ta nie zmienia się w znaczący sposób w związku z ilością masy czynnika przepływającego przez absorber. Jedynie wzrastała wartość współczynnika odprowadzenia ciepła z kolektora. Analizę wykonano dla 5 różnych ilości przepływu czynnika - począwszy od $1,2 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$ a kończąc na $4,0 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$.



Rys. 2. Efektywność absorbera w funkcji współczynnika odprowadzenia ciepła z kolektora

Fig. 2. Absorber efficiency in function of coefficient of heat removal from the collector

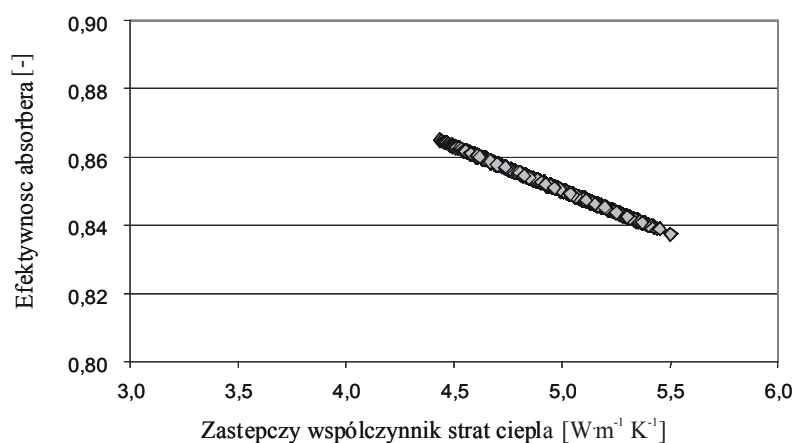
Zmiany efektywności absorbera w funkcji współczynnika parametrów eksploatacyjnych kolektora przedstawiono na rysunku 3. Zaliczamy do nich ilość czynnika przepływającego przez kolektor i jego ciepło właściwe, które wprost proporcjonalnie wpływają na efektywność oraz powierzchnię absorbera i zastępczy współczynnik strat cieplnych, których wzrost wartości obniża efektywność wymiennika jakim jest absorber (równanie 5).



Ryc. 3. Efektywność absorbera w funkcji współczynnika parametrów eksploatacyjnych kolektora cieczowego

Fig. 3. Absorber efficiency in function of coefficient of liquid collector operating parameters

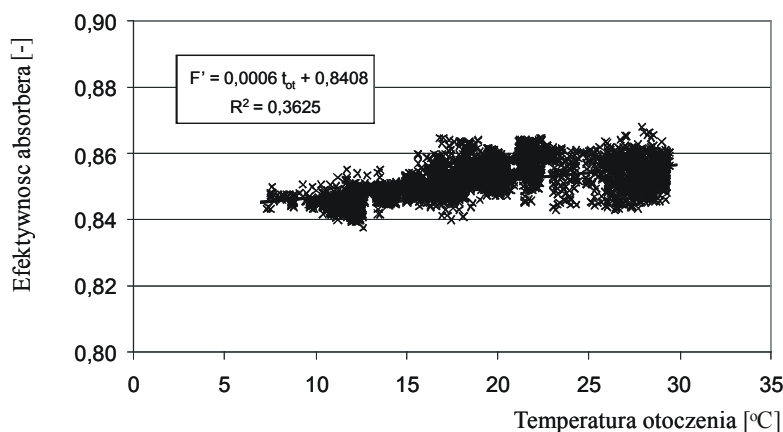
Kolejny wykres (rys. 4.) bardzo dobrze obrazuje wpływ strat ciepłych na efektywność absorbera, która obniża się w wyniku wzrostu wartości zastępczego współczynnika strat ciepłych. Istotną rzeczą w tym przypadku jest izolacja cieplna kolektora, a szczególności ograniczenie strumienia ciepła skierowanego od absorbera do otoczenia [Latała 2006].



Rys. 4. Efektywność absorbera w funkcji zastępczego współczynnika strat ciepła

Fig. 4. Absorber efficiency in function of substitute heat loss coefficient

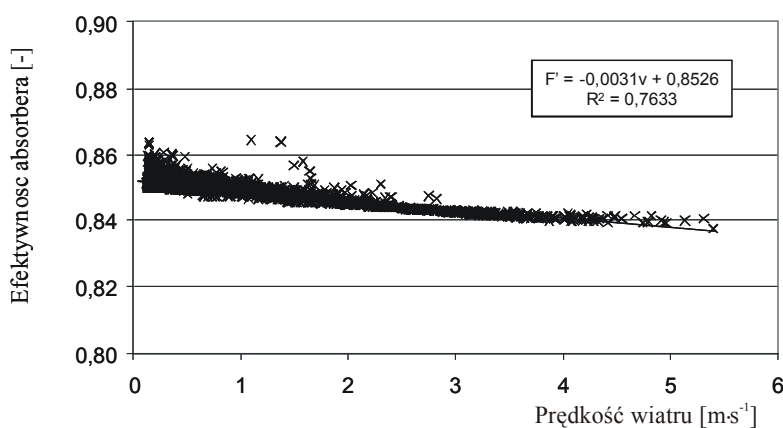
Temperatura otoczenia zmieniająca się w trakcie trwającego eksperymentu od 7,3 do 29,4°C nie wpływała w znaczący sposób na efekt pracy absorbera (rys. 5). Świadczy o tym wartość współczynnika determinacji na poziomie $R^2=0,36$. Natomiast lekko zarysowująca się tendencja wzrostowa zakłócana była przez wpływy innych czynników takich jak na przykład prędkość wiatru czy też zmienny poziom natężenia promieniowania słonecznego.



Rys. 5. Efektywność absorbera w funkcji temperatury otoczenia

Fig. 5. Absorber efficiency in function of ambient temperature

Na rycinie 6 zobrazowano zmiany efektywności absorbera w funkcji prędkości wiatru. Wzrost siły wiatru obniża efektywność absorbera powodując jednocześnie obniżenie zdolności konwersji promieniowania słonecznego na ciepło użyteczne. Wpływ tego czynnika określony przez współczynnik determinacji na poziomie $R^2=0,76$ wskazuje na siłę jego oddziaływania.



Rys. 6. Efektywność absorbera w funkcji prędkości wiatru

Fig. 6. Absorber efficiency in function of wind velocity

Współczynnik efektywności absorbera (zwany również współczynnikiem efektywności kolektora [Pluta 2000]) jest miarą sprawności absorbera w procesie zamiany promieniowania słonecznego na ciepło zawarte w czynniku przepływającym przez kanały absorbera. Na lepszą efektywność absorbera ma wpływ wzrost masy przepływającego czynnika oraz większa wartość współczynnika parametrów eksploatacyjnych kolektora. Natomiast obniżenie jego sprawności spowodowane jest wzrostem zastępczego współczynnika strat ciepła kolektora oraz wzrostem prędkości wiatru. Na słabe oddziaływanie temperatury otoczenia najprawdopodobniej wpłynęła dobra izolacja cieplna kolektora.

Wnioski

1. Na efektywność absorbera, jako miarę jego jakości, mają wpływ nie tylko cechy konstrukcyjne, ale również parametry eksploatacyjne kolektora.
2. Wzrost wartości współczynnika eksploatacyjnego parametrów kolektora wpłynął na polepszenie efektywności absorbera.
3. Wzrost wartości zastępczego współczynnika strat ciepła od $3,8$ do $5,5 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ spowodował $3,1\%$ spadek efektywności absorbera.
4. Obniżenie efektywności absorbera powodował również wzrost prędkości wiatru, którego wartość zmieniała się od 0 do $5,4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.
5. Temperatura otoczenia zmieniająca się od $7,3$ do $29,4^\circ\text{C}$, miała ograniczony wpływ na efektywność absorbera.

Bibliografia

- Latała H. 2006. Straty ciepła w kolektorze cieczowym w funkcji temperatury otoczenia. Inżynieria Rolnicza 11(86). s. 291-297.
- Pluta Z. 2000. Podstawy teoretyczne fototermicznej konwersji energii słonecznej. Politechnika Warszawska. s. 195.

ABSORBER EFFICIENCY IN FUNCTION OF AMBIENT TEMPERATURE AND OPERATING PARAMETERS OF LIQUID COLLECTOR

Abstract. The paper presents results of tests regarding absorber efficiency in function of ambient temperature and operating parameters of flat liquid collector. The efficiency of an absorber (as a heat exchanger) is affected both by constructional features and the collector operating parameters. Increased value of operating coefficient for the collector parameters ensured improved absorber efficiency, whereas ambient temperature fluctuations affected the absorber operation quality only to a small extent.

Key words: solar radiation collectors, solar energy, absorber

Adres do korespondencji:

Hubert Latała; e-mail: rtlatała@cyf-kr.edu.pl
Katedra Inżynierii Rolniczej i Informatyki
Akademia Rolnicza w Krakowie
ul. Balicka 116B
30-149 Kraków