

SPRAWNOŚĆ SOLARNEGO SYSTEMU MAGAZYNUJĄCEGO CIEPŁO W FUNKCJI TEMPERATURY OTOCZENIA

Hubert Latała

Katedra Inżynierii Rolniczej i Informatyki, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Streszczenie. W pracy przedstawiono analizę systemu akumulacji ciepła w zbiorniku wodnym zasilanym z płaskich kolektorów słonecznych. Określono wpływ temperatury otoczenia i temperatury wody w zbiorniku akumulacyjnym na wielkość jednostkowych strat ciepła. Straty te wyliczono dla okresów, w których akumulator nie gromadził ciepła z kolektorów. W przedziałach czasowych, w których zbiornik akumulacyjny był traktowany jako potencjalne źródło ciepła, wyznaczono jego sprawność. Dodatkowo wyznaczono również wartości współczynnika przenikalności cieplnej dla badanego systemu.

Słowa kluczowe: magazynowanie ciepła, sprawność, kolektory słoneczne

Wstęp

Okresowy charakter dostępnego promieniowania słonecznego, którego ciepło można wykorzystać w celach grzewczych na ogół nie pokrywa się z przedziałami czasowymi, w których istnieją potrzeby grzewcze. Szczególnie ma to znaczenie w uprawach pod osłoniętymi, gdzie nadmiar ciepła powstały w wyniku promieniowania słonecznego, może być wykorzystany zarówno jako uzupełnienie systemu grzewczego jak i w przygotowaniu wody technologicznej. Ciepło otrzymane w drodze konwersji promieniowania słonecznego może być gromadzone w formie przyrostu energii wewnętrznej cieczy lub ciał stałych. Wybór układu magazynującego zależy przede wszystkim od rodzaju instalacji i parametrów jakie musi mieć nośnik, który dostarcza ciepło do odbiornika [Pluta 2000; Pluta 2003; Knudsen 2004]. Jako medium w akumulatorach ciepła stosować można również materiały zmieniające stan skupienia wykorzystując ciepło potrzebne do tej przemiany. Stosowanie ich jednak na szerszą skalę wymaga dalszych badań [Regin 2006; Vyshak 2007]. W typowych instalacjach słonecznych, w których pracują kolektory cieczowe, jako akumulatorów ciepła najczęściej używa się zbiorniki wypełnione wodą. Zadaniem ich jest przejście ciepła z kolektorów, a następnie przechowanie ciepła umożliwiając dalsze jego wykorzystanie. Efekt pracy akumulatora ciepła oceniany jest przede wszystkim przez specyficzne potrzeby użytkownika, możliwość samoistnego tworzenia się stref temperaturowych w objętości wody oraz możliwość przechowywania nagromadzonego ciepła przez określony czas w przypadku późniejszego odbioru nagromadzonej energii. Ze względu na fakt przesunięcia w czasie możliwości korzystania ze zgromadzonego ciepła istotną rzeczą jest zdolność utrzymania zgromadzonej energii na odpowiednim poziomie. W praktyce występujące

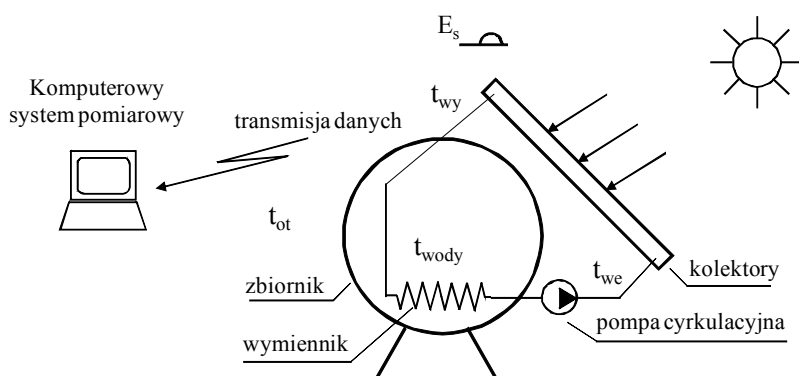
straty obniżają ten parametr wpływając na sprawność akumulatora. W związku z tym podjęto próbę określenia wpływu parametrów takich jak: ciepło promieniowania słonecznego, temperatura powietrza oraz temperatura wody w zbiorniku akumulacyjnym na efekt przechowywania ciepła w zbiorniku akumulacyjnym.

Materiał i metoda

Badania doświadczalne wykonano na stanowisku laboratoryjnym zlokalizowanym na terenie Wydziału Agrotechnologii Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie. System akumulacji ciepła stanowił zbiornik, o pojemności 6 m^3 wypełniony $2,5 \text{ m}^3$ wody, w kształcie walca ustawiony osią wzdłużną równoległą do poziomu podłoża. Wnętrze wykonane było ze stali nierdzewnej izolowanej z zewnątrz i zabezpieczonej blachą stalową.

Źródłem ciepła dla systemu akumulującego ciepło były 4 płaskie kolektory cieczowe skierowane płaszczyzną czynną na południe. Łączna powierzchnia kolektorów wynosiła 8 m^2 . Ciepło z kolektorów przekazywane było do wody w zbiorniku przez wymiennik wykonany w kształcie węzownicy o powierzchni wymiany $1,38 \text{ m}^2$. W układzie kolektory-wężownica znajdował się płyn niezamarzający glikol, za którego ruch odpowiadała pompa cyrkulacyjna.

Na rysunku 1 przedstawiono schemat ideowy stanowiska laboratoryjnego z zaznaczeniem mierzonych wielkości. Monitorowanie danych, ich archiwizacja oraz sterowanie pracą układu wykonywane było za pomocą Komputerowego Systemu Pomiarowego (KSP).



Rys. 1. Schemat ideowy systemu magazynowania ciepła w zbiorniku wodnym

Fig. 1. Schematic diagram of heat storage system in a water tank

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, natężenia przepływu czynnika grzewczego przez kolektor (m_g) oraz temperatury wody w zbiorniku (t_{wody}). Wymienione parametry były mierzone i rejestrowane w przedziałach 30 sekundowych przez KSP. Pomiary przeprowadzono w zmiennych warunkach otoczenia w październiku i listopadzie.

Na podstawie danych eksperymentalnych wyliczono ciepło dostępne z promieniowania słonecznego (Q_s):

$$Q_s = \sum_{i=1}^n E_s \cdot d\tau \quad (1)$$

gdzie:

$d\tau$ – przedział czasowy [s].

Następnie według poniższej zależności wyliczono ciepło użyteczne (Q_u) dla płaskich kolektorów:

$$Q_u = \sum_{i=1}^n m_g \cdot c_g (t_{wy} - t_{we}) \cdot d\tau \quad (2)$$

gdzie:

m_g – jednostkowe natężenie przepływu czynnika grzewczego [$\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$],
 t_{wy}, t_{we} – temperatury czynnika grzewczego na wyjściu i wejściu z kolektora [K],
 c_g – ciepło właściwe glikolu [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$].

Straty ciepła ze zbiornika (Q_{str}) wyliczono według zależności (3):

$$Q_{str} = \sum_{i=1}^n m_w \cdot c_w (t_{sr} - t_{ot}) \cdot d\tau \quad (3)$$

gdzie:

m_w – masa wody [kg],
 c_w – ciepło właściwe wody [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$],
 t_{sr} – średnia temperatura wody w zbiorniku [K].

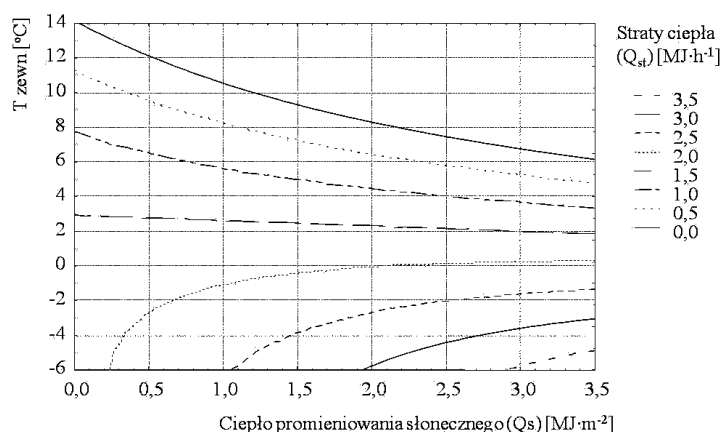
Obliczenia przeprowadzono w arkuszu kalkulacyjnym MS Excel 2003, natomiast wykresy warstwowe wykonano w programie Statistica v.8.

Wyniki

W pierwszej kolejności wykonano obliczenia dotyczące określenia ciepła dostępnego z promieniowania słonecznego oraz ciepła użytecznego z kolektorów. Gromadzenie ciepła w zbiorniku akumulacyjnym obejmowało pierwszy okres w cyklu dobowym, w którym pracowały kolektory. W drugim okresie doby zgromadzone ciepło w zbiorniku było potencjalnie dostępne do wykorzystania. Jednak wpływ warunków zewnętrznych, a w szczególności temperatury otoczenia obniżał ilość zgromadzonego ciepła w akumulatorze.

Na rysunku 2 przedstawiono zależność strat ciepła z akumulatora w funkcji ciepła dostępnego z promieniowania słonecznego i temperatury otoczenia. Mniej energii z promieniowania słonecznego generuje mniej ciepła z kolektorów słonecznych, a tym samym woda w zbiorniku akumulującym posiada niższą temperaturę. Przykładowo siedmiokrotne obniżenie dostępnego ciepła z promieniowania słonecznego dla temperatury otoczenia -5°C

powoduje 43% spadek strat ciepła. Natomiast dla temperatury otoczenia na poziomie 2-3°C zmiana ciepła z promieniowania słonecznego praktycznie nie ma wpływu na zmiany strat ciepła ze zbiornika. Powyżej temperatury otoczenia 3 stopnie wzrost dostępnego ciepła z promieniowania słonecznego wpływa na obniżenie strat z akumulatora.

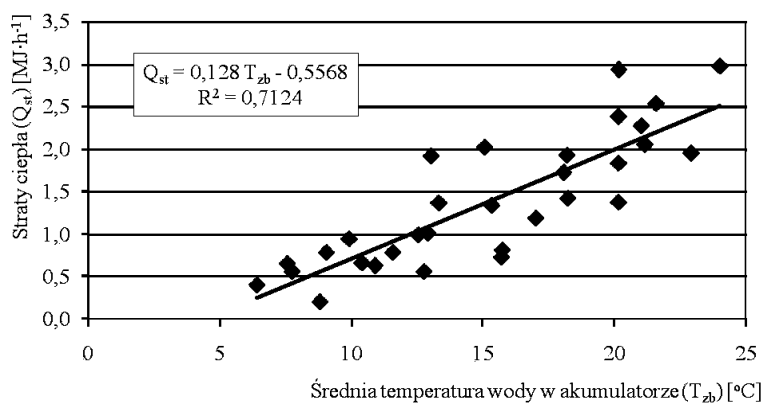


Rys. 2. Straty systemu magazynowania ciepła w funkcji promieniowania słonecznego i temperatury zewnętrznej

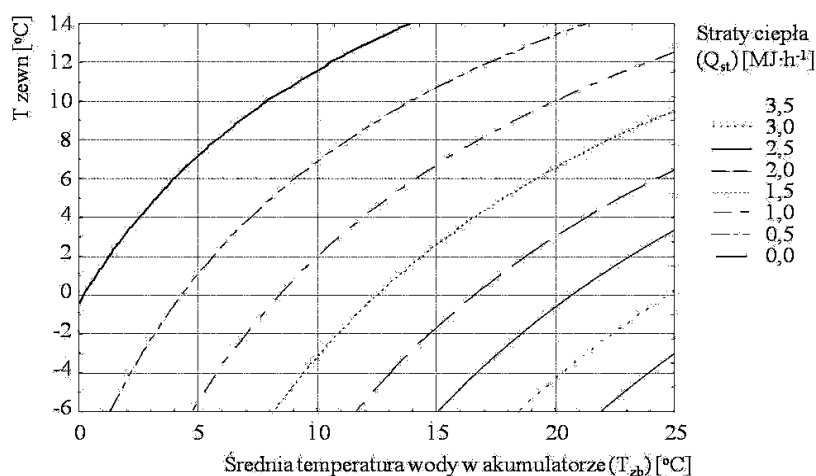
Fig. 2. Heat storage system losses in function of solar radiation and outside temperature

Kolejna analiza obejmowała wpływ średniej temperatury wody w zbiorniku akumulacyjnym na straty ciepła. W zakresie prowadzonego eksperymentu, przy temperaturze otoczenia zmieniającej się od -6°C do 14°C, wyznaczono wartości tych strat przedstawione na rysunku 3. Rozrzut wartości strat ciepła spowodowany był przede wszystkim różnicą temperatur wody w zbiorniku i otoczeniem. Wzrost temperatury wody w akumulatorze od 6 do 24°C przyczynił się do siedmiokrotnego wzrostu strat ciepła. Oznacza to, że prawie dwa razy szybciej rosną straty ciepła w porównaniu ze wzrostem temperatury wody w zbiorniku. Wyznaczona na podstawie danych eksperymentalnych (rys. 3) liniowa korelacja określająca zależność strat ciepła w funkcji temperatury wody w systemie akumulacji osiągnęła wartość 0,84. Kolejnym czynnikiem decydującym o zmienności był współczynnik przenikalności cieplnej badanego zbiornika. Jego wartość średnia była na poziomie 4,1 W·m⁻²·K⁻¹, i w warunkach prowadzonego doświadczenia zmieniała się od 3,2 do 5,2 W·m⁻²·K⁻¹.

Na wykresie warstwicowym (rys. 4) przedstawiono w jaki sposób wartości średniej temperatury i temperatury powietrza otaczającego wpływają na ilość ciepła traconego przez system akumulacji. Przy tej analizie należy zwrócić uwagę na fakt, że w zakresie temperatur poniżej zera i dla strat ciepła poniżej 1,5 MJ·h⁻¹ zaobserwowano znacznie większy wpływ temperatury otoczenia na straty niż miało to miejsce dla wyższych temperatur powietrza. Oznacza to, że należało by poprawić izolację zbiornika. Wykonanie takiego działania spowodowało by ograniczenie wpływu warunków zewnętrznych na zdolność akumulacyjną zbiornika.



Rys. 3. Straty ciepła w funkcji średniej temperatury wody w akumulatorze
Fig. 3. Heat losses in function of average water temperature in the accumulator

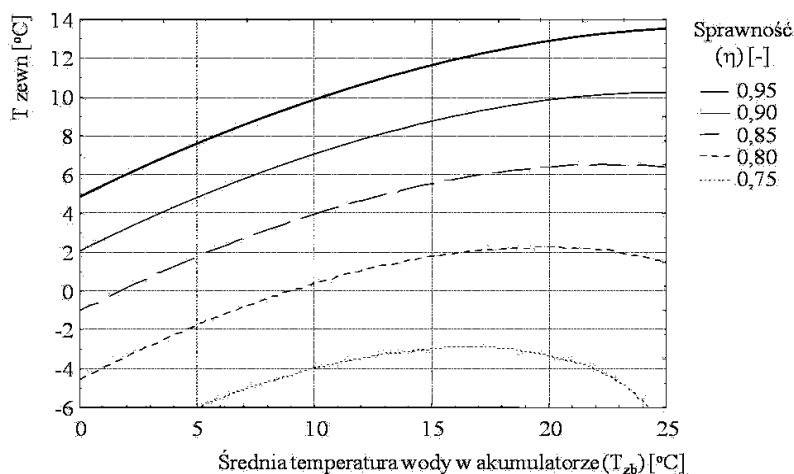


Ryc. 4. Straty systemu magazynowania ciepła w funkcji średniej temperatury wody w akumulatorze i temperatury zewnętrznej
Fig. 4. Heat storage system losses in function of average water temperature in the accumulator and outside temperature

Analizowany system akumulacji ciepła charakteryzował się 84% sprawnością. Przy czym sprawność ta odnosi się jedynie do okresu, którym do zbiornika nie dostarczano ciepła. Innymi słowy system akumulacji znajdował się w gotowości do wykorzystania jako

źródło ciepła. Zmienne warunki doświadczenia sprawiły, że zdolność zachowania zgromadzonego ciepła zmieniała się od 74,2 do 94,9%.

Na rysunku 5 przedstawiono zmiany sprawności systemu magazynowania ciepła w zależności od zmian temperatury otoczenia jak i średniej temperatury wody w akumulatorze. Najwyższe sprawności (94,9%) zanotowano dla minimalnych różnic temperaturowych. Przykładem tego jest temperatura 10°C wody w zbiorniku. Rozgranicza ona dwa obszary: pierwszy dla temperatury wody niższej od temperatury otoczenia i drugi, w którym relacja analizowanych temperatur była odwrotna. O sprawności systemu akumulującego ciepło w głównej mierze decydowała relacja temperatur otoczenia i medium w zbiorniku. Jej średnia wartość wyniosła 84% i według danych doświadczalnych była możliwa do osiągnięcia w zasadzie dla temperatur otoczenia powyżej zera.



Rys. 5. Sprawność systemu magazynowania ciepła w funkcji średniej temperatury wody w akumulatorze i temperatury zewnętrznej

Fig. 5. Heat storage system efficiency in function of average water temperature in the accumulator and outside temperature

W zakresie wykonywanych badań określono zmiany sprawności systemu akumulacyjnego w zależności od temperatury otoczenia i temperatury wody w zbiorniku. Ze względu na porę roku, w której wykonywano doświadczenie, parametry takie jak: temperatura wody w akumulatorze (nie przekraczająca 24°C) oraz zmienna temperatura otoczenia (w zakresie od -6°C do 14°C) miały istotny wpływ na ilość zmagazynowanego ciepła. Efektywność akumulacji ciepła można by zwiększyć poprzez wykorzystanie zbiornika akumulacyjnego jako dolnego źródła pompy ciepła.

Wnioski

1. Średnia sprawność analizowanego systemu magazynowania ciepła była na poziomie 84% i zmieniała się od 74,2 do 94,9%.
2. Zastępczy współczynnik przenikalności cieplnej zbiornika akumulacyjnego osiągał, w zależności od warunków doświadczenia, wartości od 3,2 do 5,2 $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$.
3. Jednostkowe straty ciepła systemu akumulacyjnego, uzależnione od temperatury otoczenia i wody w zbiorniku, zmieniały się w przedziale od 0,2 do 2,9 $\text{MJ}\cdot\text{h}^{-1}$.
4. Wykorzystanie akumulatora ciepła jako źródła wspomagającego wymagałoby poprawy jego izolacji cieplnej.

Bibliografia

- Knudsen S., Furbo S.** 2004. Thermal stratification in vertical mantle heat exchangers with application to solar domestic hot-water systems. *Applied Energy* 78. s. 257-272.
- Pluta Z.** 2000. Podstawy teoretyczne fototermicznej konwersji energii słonecznej. Politechnika Warszawska. ISBN 83-7207-229-9.
- Pluta Z.** 2003. Słoneczne instalacje energetyczne. Politechnika Warszawska. ISBN 83-7207-411-9.
- Regin A.F., Solanki S.C., Saini J.S.** 2006. Latent heat thermal energy storage using cylindrical capsule: Numerical and experimental investigations. *Renewable Energy*. 31. s. 2025-2041.
- Vyshak N.R., Jilani G.** 2007. Numerical analysis of latent heat thermal energy storage system. *Energy Conversion and Management*. 48. s. 2161-2168.

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2005-2008 jako projekt badawczy.

EFFICIENCY OF SOLAR HEAT STORAGE SYSTEM IN FUNCTION OF AMBIENT TEMPERATURE

Abstract. The paper presents analysis of a system for heat accumulation in water tank supplied from flat plate solar collectors. The research allowed to determine the impact of ambient temperature and temperature of water in the accumulation tank on the volume of unit heat losses. These losses were calculated for those periods, in which the accumulator was not collecting heat from collectors. For time intervals, in which accumulation tank was treated as a potential heat source, its efficiency was determined. Additionally, the researchers also determined the values of thermal permeability coefficient for the examined system.

Key words: heat storage, efficiency, solar collectors

Adres do korespondencji:

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