

EKSPERYMENTALNE BADANIA POMPY OBIEGOWEJ ZASILANEJ ENERGIĄ TERMICZNĄ

Jurij DOBRIANSKI*, Michał DUDA**, Daniel CHLUDZIŃSKI**

* Uniwersytet Warmiński – Mazurski, Katedra Elektrotechniki i Energetyki,
ul. Oczapowskiego 11, 10-736 Olsztyn,
e-mail: dobr@uwm.edu.pl

Streszczenie: Celem badań zaprezentowanych w referacie jest rozwój nowych systemów słonecznego ogrzewania wody, które zamiast pomp elektrycznych wykorzystują pompy zasilane energią termiczną. Badania zostały przeprowadzone na modelu laboratoryjnym obiegu, który składał się z: grzałki elektrycznej 1,5 kW, umieszczonej nad nią pompy zasilanej energią termiczną oraz umieszczonego poniżej grzałki zasobnika ciepłej wody. Odległość na jaką transportowane było ciepło w dół wynosiła 1,5 m. Próby przeprowadzono dla strumienia ciepła 150, 570 i 840 W dostarczonego do obiegu. Podczas badań obieg pracował stabilnie osiągając sprawność przekazywania ciepła od 60 do 70%.

Słowa kluczowe: Fizyka budowli, przekazywanie ciepła w dół, kolektory słoneczne

1. WPROWADZENIE

Obecnie, energia słoneczna staje się bardzo ważnym źródłem energii odnawialnej. Najlepszym przykładem jej wykorzystania są instalacje ogrzewania wody z kolektorami słonecznymi. Cyrkulacja wody w tego typu instalacjach realizowana jest na dwa sposoby: w systemie termosyfonowym (konwekcja pasywna) i w systemie cyrkulacji wymuszonej (konwekcja wymuszona).

Metoda termosyfonowa do transportu ciepła wykorzystuje konwekcję naturalną. Czynnik podgrzany w kolektorze zmniejsza swoją gęstość i powstająca w wyniku tego siła wyporu wymusza cyrkulację w pętli kolektor – zbiornik. Instalacja termosyfonowa działa samoczynnie, dopasowuje się do aktualnych warunków zewnętrznych i nie wymaga w zasadzie żadnej obsługi manualnej poza okresową konserwacją [4]. Instalacje termosyfonowe poprzez swoją prostotę są trwałe i niezawodne.

W drugim przypadku, gdy kolektor umieszczony jest powyżej zasobnika ciepłej wody, pompy elektryczne są wykorzystywane do wymuszenia cyrkulacji nośnika pomiędzy

zasobnikiem a kolektorem. Rozwiązanie to jest najczęściej stosowane ze względu na bardziej uniwersalne cechy użytkowe. Jednakże badania przeprowadzone wykazały że elementami instalacji słonecznych najczęściej ulegającymi awarii są w pierwszym rzędzie pompy, a następnie układy sterujące [[3].

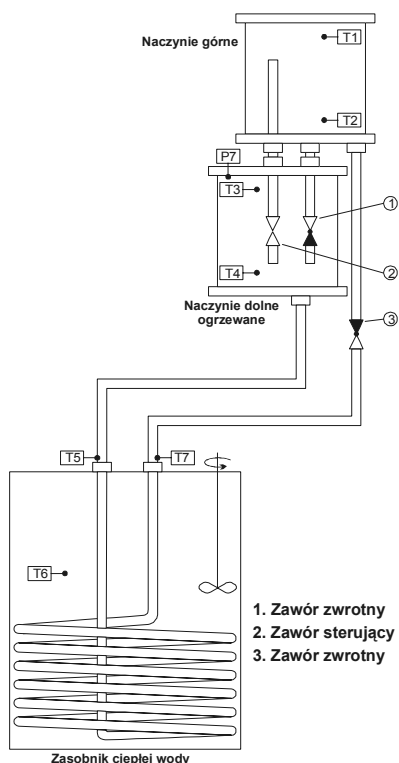
Interesującym zagadnieniem jest opracowanie sposobu samoczynnej cyrkulacji nośnika przy górnym usytuowaniu źródła ciepła. Naprakai at. al. [7] proponują do tego celu zastosować solarną termiczną pompę wody. Powyższe rozwiązanie do przetłaczania cieczy wykorzystuje ciśnienie pary wytworzonej przez kolektor lub inne źródło ciepła. Rozwiązanie i zasadę działania opisali Orda i Mahkanov [2]. W pracach [6],[5] zostały przedstawione wyniki badań instalacji słonecznej ogrzewania wody z termiczną pompą wodną. Przy wysokości obiegu od 0,75 do 2 m sprawność przekazywania ciepła takiej instalacji wynosi 32- 42%. Wadą rozwiązania jest cyklicznie zmieniające się ciśnienie w obiegu w zakresie od -15 kPa do 15 kPa, jak również to, że pierwszy cykl pompowania następuje dopiero po ogrzaniu nośnika w naczyniu ogrzewanym do temperatury około 80°C. Dobriański i Yohanis [1] opisują nieco inny sposób na rozwiązanie samoczynnego przekazywania ciepła w dół. Proponują w instalacji, w której to ciepło ma być przekazywane zamontować dodatkowe dwa naczynia z jednej strony połączone zamknięciem cieczowym oraz kanałem pośrednim z zaworem zwrotnym a z drugiej obiegiem wymiennika umieszczonego w zasobniku ciepła. W tym przypadku zakres pracy instalacji jest znacznie szerszy, jednakże ze względu na zastosowanie nośnika o temperaturze wrzenia 100°C obieg wymaga utrzymania wewnątrz układu podciśnienia.

W referacie zaprezentowane zostały badania pompy obiegowej zasilanej energią termiczną pracującą z dwoma czynnikami roboczymi.

2. BUDOWA INSTALACJI BADAWCZEJ

Model instalacji badawczej składa się z trzech głównych elementów:

- pompy, naczynia dolnego, w którym ciecz jest ogrzewana oraz naczynia górnego, w którym okresowo gromadzona jest ciecz ochłodzona w zasobniku ciepła i które umieszczone jest w najwyższym punkcie instalacji,
- zasobnika ciepła umieszczonego w najniższym punkcie instalacji,
- źródła ciepła umieszczone pomiędzy zasobnikiem ciepła a naczyniem dolnym pompy.



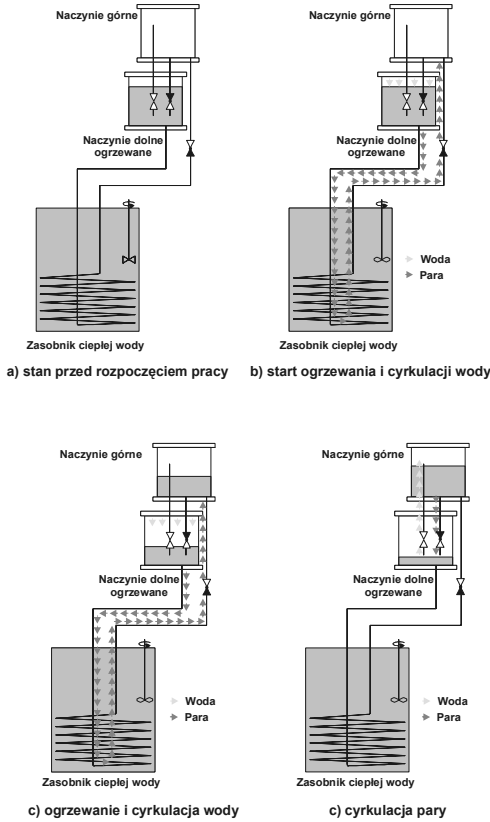
- T₁ = Temperatura pary w naczyniu górnym
- T₂ = Temperatura cieczy w naczyniu górnym
- T₃ = Temperatura pary w naczyniu dolnym
- T₄ = Temperatura cieczy w naczyniu dolnym
- T₅ = Temperatura cieczy na wejściu do zasobnika
- T₆ = Temperatura cieczy w zasobniku
- T₇ = Temperatura cieczy na wyjściu z zasobnika
- P₈ = Ciśnienie pary w naczyniu dolnym

Rys. 1 Rozmieszczenie czujników temperatury i ciśnienia
Fig. 1 Temperature and pressure sensors arrangement

Badania zostały przeprowadzone przy wysokości obiegu 1,5 m i stałym strumieniu energii doprowadzonej 150, 570 oraz 840 W. Jako źródło ciepła zastosowana została grzałka elektryczna. Wszystkie dane eksperymentalne rejestrowano z częstotliwością 1 Hz. Temperatura w naczyniu górnym jak i dolnym mierzona była w dwóch punktach, a w zasobniku w jednym punkcie, przy czym w celu uniknięcia stratyfikacji temperatury ciecz w zasobniku była mieszana. Dodatkowo dokonywano pomiaru ciśnienia pary czynnika roboczego wewnątrz naczynia górnego i dolnego oraz chwilowej prędkości przepływu nośnika ciepła w obiegu. Do pomiaru ciśnienia wykorzystano przetwornik ciśnienia o dokładności pomiaru 0,25%. Natomiast do pomiarów temperatury zastosowano czujniki termoparowe typu K o dokładności $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$. Ilość energii doprowadzonej do grzałki elektrycznej określona została poprzez rejestrację jej napięcia i natężenia prądu zasilania dokonanej z dokładnością 0,25%. Rejestracji chwilowej prędkości przepływu nośnika ciepła dokonano z wykorzystaniem przepływomierza elektromagnetycznego o dokładności 1%. Schemat instalacji badawczej i rozmieszczenia czujników pomiarowych przedstawiono na rysunku Rys. 1.

2.1. Zasada działania pompy

Obieg instalacji wyposażony w pompę obiegową zasilaną termicznie pracuje cyklicznie. Ciepło doprowadzane do naczynia dolnego ogrzewa nośnik ciepła wraz z pompującym czynnikiem roboczym zgromadzonym w tym naczyniu. W wyniku ogrzewania czynnik roboczy paruje i objętość pary w naczyniu dolnym wzrasta. Przyrost objętości pary powoduje wypieranie ogrzanego nośnika poprzez gałąź opadową, zasobnik ciepła do naczynia górnego. Obniżenie poziomu nośnika w naczyniu dolnym powoduje otwarcie pływakowego zaworu sterującego umieszczonego w tym naczyniu i wyrównanie ciśnienia pary czynnika roboczego w obydwu naczyniach. W tym momencie chłodny nośnik z naczynia górnego zlewany jest do naczynia dolnego. Wraz z nośnikiem ciepła zlewane są skropliny pary czynnika roboczego, który skrapla się w naczyniu górnym podczas etapu pompowania. Przejście od etapu zlewania do etapu ponownego przetłaczania nośnika ciepła przez obieg zasobnika następuje po wypełnieniu nośnikiem naczynia dolnego do poziomu przy którym zawór sterujący zostaje zamknięty. Na rysunku Rys. 2 przedstawiono etapy pracy obiegu z pompą zasilaną energią termiczną.



Rys. 2 Etapy pracy pompy termicznej
Fig. 2 Operation stages of the thermal pump model

3. ANALIZA

Skumulowana energia termiczna w zasobniku ciepła została obliczona z równania (1).

$$Q_{zas} = m_w \cdot c_w \cdot (t_{koń} - t_{pocz}) \quad (1)$$

gdzie: m_w jest masą wody w zasobniku ciepła, c_w pojemność cieplna właściwa wody, $(t_{koń} - t_{pocz})$ przyrost temperatury w zasobniku ciepła.

Sprawność przekazywania ciepła przy wykorzystaniu pompy zasilanej termicznie została zdefiniowana jako ilość energii termicznej zgromadzonej w zasobniku do całkowitej ilości energii elektrycznej pobranej przez grzałkę elektryczną.

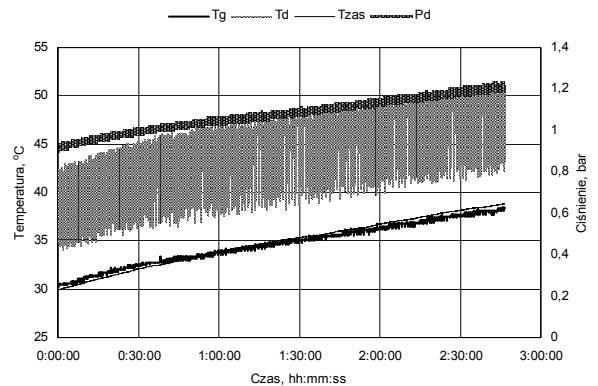
$$\eta_t(\%) = \frac{Q_{zas}}{E_{tot}} \times 100 \quad (2)$$

gdzie: Q_{zas} energia termiczna zgromadzona w zasobniku, E_{tot} całkowita ilość energii elektrycznej dostarczonej do grzałki.

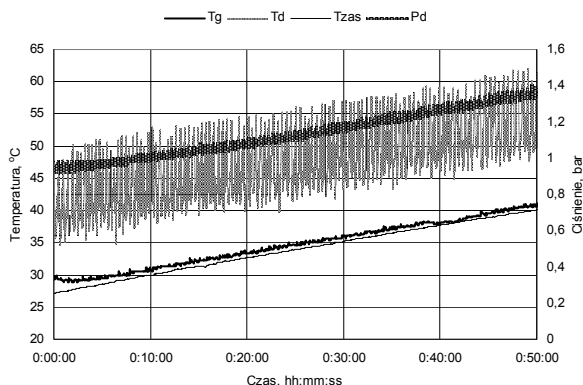
4. WYNIKI I DYSKUSJA

Strumień ciepła dostarczony do obiegu regulowany był przez transformator zasilający grzałkę. Ogrzanie wody w naczyniu dolnym, tym samym czynnika roboczego powodowało wytworzenie dodatkowej masy pary i przyrost jej ciśnienia. Po przekroczeniu wartości ciśnienia wynikającego z różnicy poziomów usytuowania naczyń dolnego i górnego oraz oporów hydraulicznych przepływu wody w obiegu zasobnika ciepła, rozpoczynała się cyrkulacja ogrzanej wody. Para czynnika roboczego w naczyniu górnym skraplana była przez chłodną wodę powracającą z zasobnika ciepła. Otwarcie zaworu sterującego 2 powodowało jednocześnie zamknięcie zaworu zwrotnego 3 oraz otwarcie zaworu zwrotnego 1. Nadmiar pary czynnika roboczego podczas etapu pompowania, przez zawór sterujący przepływał do naczynia górnego, a ciecz z naczynia górnego przez zawór zwrotny 1 spływała do naczynia dolnego. Kolejny cykl rozpoczynał się po zamknięciu zaworu sterującego, przy czym przyrost masy pary w naczyniu dolnym i związane z tym wypieranie cieczy z tego naczynia powodowało zamknięcie zaworu zwrotnego 1 oraz otwarcie zaworu zwrotnego 3.

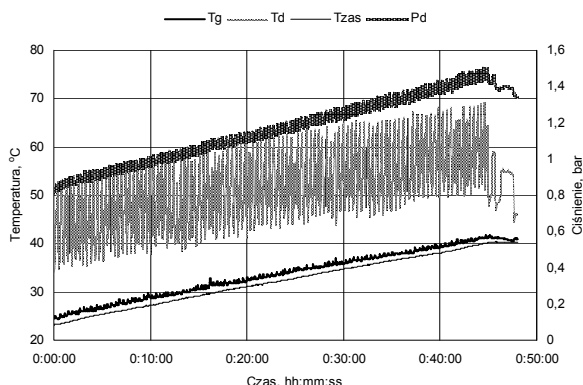
Na rysunkach Rys. 3-5 przedstawiono wyniki eksperymentów przy trzech różnych wielkościach strumienia ciepła doprowadzonego do obiegu. W każdym z tych eksperymentów zaobserwowano proporcjonalny do wzrostu temperatury w zasobniku, wzrost temperatury w naczyniu dolnym, co potwierdza stabilną pracę obiegu.



Rys. 3 Temperatura wody (T_d) i ciśnienie pary (P_d) w naczyniu dolnym, temperatura wody w zasobniku (T_{zas}), temperatura wody w naczyniu górnym (T_g) dla strumienia ciepła 150 W
Fig. 3 Water temperature (T_d) and vapor pressure (P_d) in lower vessel, water temperature in storage tank (T_{stor}), water temperature in top vessel (T_t) for heating stream 150 W



Rys. 4 Temperatura wody (T_d) i ciśnienie pary (P_d) w naczyniu dolnym, temperatura wody w zasobniku (T_{zas}), temperatura wody w naczyniu górnym (T_g) dla strumienia ciepła 570 W
 Fig. 4 Water temperature (T_d) and vapor pressure (P_d) in lower vessel, water temperature in storage tank (T_{stor}), water temperature in top vessel (T_t) for heat stream 570 W



Rys. 5 Temperatura wody (T_d) i ciśnienie pary (P_d) w naczyniu dolnym, temperatura wody w zasobniku (T_{zas}), temperatura wody w naczyniu górnym (T_g) dla strumienia ciepła 840 W
 Fig. 5 Water temperature (T_d) and vapor pressure (P_d) in lower vessel, water temperature in storage tank (T_{stor}), water temperature in top vessel (T_t) for heat stream 840 W

Podobną prawidłowość można było również zaobserwować w przypadku wzrostu temperatury w naczyniu górnym, którego temperatura nieznacznie przewyższała temperaturę wody w zasobniku, za wyjątkiem przedstawionym na Rys. 3. Początkowo temperatura w naczyniu dolnym przewyższała temperaturę w zasobniku, poczym po godzinie trwania eksperymentu temperatury się wyrównały, a w końcu temperatura w zasobniku była wyższa od temperatury w naczyniu dolnym. Świadczyć to może o niewielkim strumieniu ciepła przenoszonym do naczynia górnego przez parę czynnika roboczego, co przy wydłużonych cyklach pracy wynikających z małego strumienia energii doprowadzonej do obiegu i braku izolacji naczyń, ilość ciepła odpływająca do otoczenia przewyższała ilość ciepła do niego dopływającego.

5. PODSUMOWANIE

Badany obieg z pompą zasilaną energią termiczną pracował stabilnie zarówno przy strumieniu ciepła doprowadzonego 140 W jak i 840 W. Przy czym sprawność przekazywania ciepła przy strumieniu zasilającym 140 W wynosiła 63% a przy strumieniach 570 i 840 W – 71%. Obecnie prowadzone są badania mające na celu zmniejszenie różnicy temperatury pomiędzy naczyniem dolnym a zasobnikiem ciepła.

EXPERIMENTAL STUDIES OF CIRCULATING PUMP POWERED BY THERMAL ENERGY

Summary: The aim of the research presented in this paper is a development of new systems of solar water heating, which use thermal energy powered pumps instead of electricity ones. The research was conducted on a laboratory circuit model which consisted of: electric heater 1,5kW, thermal energy powered pump placed above the heater as well as a heated water accumulator tank placed below the heater. Vertical distance for which the heat was conveyed downward equaled 1,5m. Tests were carried out for loop supplied with heat stream equal to 150, 570 and 840W. During the tests operation of the circuit was stable reaching heat exchange efficiency between 60 and 70%.

Literatura

[1] Dobriansky Y., Yohanis Y. G. *Cyclical reverse thermosiphon*. Archives of Thermodynamics 31 (2010) 3-32
 [2] Orda E., Mahkanov K., *Development of "low-tech" solar thermal water pumps for use in developing countries*. Solar Energy Engineering 126(2) (2004) 768-773
 [3] Pantelion S. *Reliability of hot water solar systems in Greece*. Solar Energy. 44, 6, 1990, s. 305-313
 [4] Pluta Z., *Słoneczne instalacje energetyczne*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2007
 [5] Roonprasang N., Naprakai P., Pratinthong N. *A new version a solar water heating system coupled with a solar water pump*. Applied Energy 86 (2009) 1423-1430
 [6] Roonprasang N., Naprakai P., Pratinthong N. *A novel thermal water pump for circulating water in a solar water heating system*. Applied Thermal Engineering 29 (2009) 1598-1605
 [7] Roonprasang N., Naprakai P., Pratinthong N. *Experimental studies of new solar heater system using a solar water pump*. Energy 33 (2008) 639-646
 [8] Sumathy K., *Experimental studies on a solar water pump*. Applied Thermal Engineering 19 (1999) 449-459