

Paulina RADZAJEWSKA*

Porównanie charakterystyk cieplnych kolektorów słonecznych płaskich i rurowych – przegląd wybranych rozwiązań technicznych

STRESZCZENIE: Kolektory słoneczne często i chętnie stosuje się do wspomagania podgrzewu ciepłej wody użytkowej bądź ogrzewania pomieszczeń czy basenów. W artykule scharakteryzowano kolektory słoneczne płaskie i rurowe – opisano ich budowę, zasadę działania oraz różne sposoby montażu na obiektach budowlanych. Przedstawiono podstawowe parametry techniczne i eksploatacyjne omawianych paneli. Zdefiniowano ich sprawność cieplną oraz podano postać podstawowej funkcji, która wyraża tę sprawność w zależności od temperatury zredukowanej, dla stanu ustalonego kolektora (tzw. równanie Hottela-Whilliera-Blissa). Przedstawiono i omówiono uproszczoną (liniową) charakterystykę sprawności modelowego kolektora słonecznego. Znajomość charakterystyk cieplnych kolektorów słonecznych jest potrzebna do prawidłowego ich doboru w zależności od rodzaju instalacji, zastosowania, warunków klimatycznych w miejscu montażu, a także od poziomu wymaganej temperatury, jaką użytkownik chce uzyskać. Wybrano i opisano kilka przykładów, występujących w literaturze obcojęzycznej, dotyczących analiz porównawczych charakterystyk cieplnych kolektorów płaskich i rurowych na podstawie przeprowadzonych badań eksperymentalnych w różnych warunkach klimatycznych lub przy zastosowaniu symulacji komputerowych. Omówiono trendy oraz perspektywy rozwoju kolektorów słonecznych.

SŁOWA KLUCZOWE: kolektory słoneczne, sprawność optyczna, charakterystyki cieplne

* Mgr inż. – Politechnika Białostocka, Katedra Ciepłownictwa, Ogrzewnictwa i Wentylacji, Białystok;
e-mail: p.radzajewska@doktoranci.pb.edu.pl

Wprowadzenie

Instalacje solarne można wykorzystywać do podgrzewania c.w.u., ogrzewania pomieszczeń w budynkach lub do ogrzewania basenów. Z uwagi na to, że kolektory słoneczne mogą pracować przez cały rok, częściej wykorzystuje się je do podgrzewu c.w.u., w czasie gdy eksploatacja instalacji centralnego ogrzewania odbywa się zimą i w okresach przejściowych, kiedy zyski energii słonecznej są stosunkowo niskie. Systemy solarne montowane są przede wszystkim w budynkach mieszkalnych, budynkach użyteczności publicznej – szkołach, szpitalach, a także w hotelach bądź campingach oraz stosowane są w zakładach przemysłowych, produkcyjnych czy rolnictwie (Wiśniewski i in. 2008; Zielonko-Jung i Marchwiński 2012; Tytko 2014).

Decydując się na zakup kolektorów słonecznych, użytkownik powinien odpowiedzieć sobie na pytanie: jakie typy i wielkości kolektorów wybrać, aby pokrywały one zapotrzebowanie na ciepło w jak największym stopniu oraz nie wytwarzały jego nadwyżek. Instalacja solarna nie powinna być przewymiarowana, bo to wiąże się z wyższymi kosztami instalacyjnymi i eksploatacyjnymi.

1. Kolektory słoneczne płaskie i rurowe – budowa, zasada działania, sposoby montażu

Kolektory słoneczne zamieniają energię promieniowania słonecznego w ciepło i przekazują je medium roboczemu, tj. nośnikowi ciepła. Przekazanie energii następuje w absorberze. Zasada konwersji energii słonecznej w użyteczne ciepło wynika z właściwości cieplnych materiałów, z których zbudowany jest kolektor, a także z właściwości absorpcyjnych powłok kryjących (Zawadzki i in. 2003).

Na rynku dostępnych jest wiele typów kolektorów słonecznych. Różnią się one między sobą:

- ◆ konstrukcją (PN EN ISO 9488), np. kolektory płaskie, próżniowe, próżniowe rurowe, paraboliczne rynnowe, paraboliczne, zespolone paraboliczne skupiające (CPC), itd.;
- ◆ rodzajem nośnika ciepła (Wolańczyk 2011) – cieczowe (nośnikiem może być woda, glikol, olej) oraz powietrzne (nośnikiem jest gaz, szczególnie powietrze);
- ◆ temperaturą czynnika roboczego – nisko-, średnio- i wysokotemperaturowe.

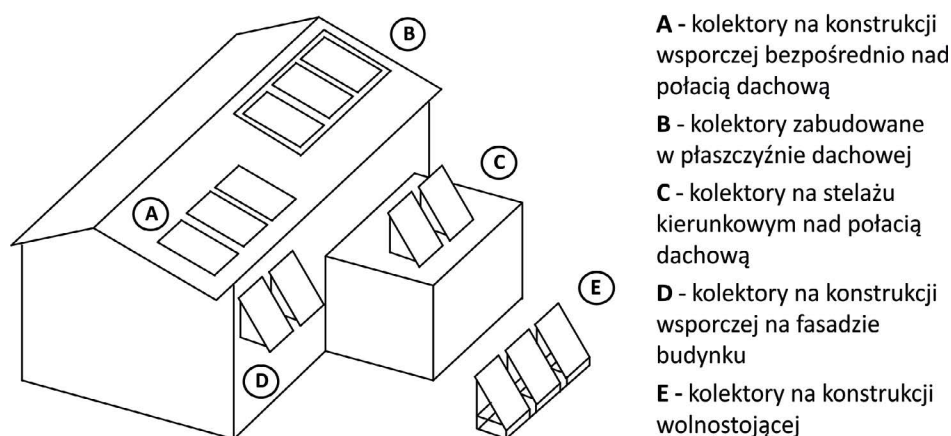
Najczęściej stosuje się kolektory płaskie i rurowe próżniowe.

Kolektor płaski składa się z izolowanej obudowy, absorbera, rurek przepływowych oraz przykrycia, jakim najczęściej jest szyba solarna. Obudowy wykonane są najczęściej z aluminiowych elementów spawanych, blach duraluminiowych uformowanych w odpowiedni sposób bądź jako wyprofilowane wytłoczki lub z tworzyw sztucznych. Cechuje je odporność na korozję oraz wytrzymałość pod względem mechanicznym. Można je malować na dowolny kolor. Z kolei

w obudowie ułożona jest warstwa izolacji, a następnie absorber charakteryzujący się dobrym przewodnictwem cieplnym. Do produkcji absorberów i ich powłok wykorzystuje się materiał łatwo podlegający obróbce mechanicznej, o małej gęstości, odporny na korozję i wysokie temperatury, tj. cienką blachę, aluminium, stal lub miedzianą taśmę, do której przytwierdzone są następnie rurki przepływowe ułożone w różnych konfiguracjach (układ szeregowo-równoległy, szeregowy, serpentynowy czy równoległy). W celu zwiększenia zdolności pochłaniających absorberów pokrywa się je powłokami selektywnymi, tj. czarnym niklem, czarnym chromem, czarnym kobaltem, czarną miedzią lub czarnym molibdenem czy też związkami tytanu. Powłoki te odznaczają się małą emisyjnością promieniowania termicznego z powierzchni rozgrzanego absorbera i dużą zdolnością absorpcji promieniowania słonecznego (Zawadzki i in. 2003; Wołańczyk 2011; Wiśniewski i in. 2008, 2006).

Na koniec kolektor przykrywa się hartowaną szybą solarną o obniżonej zawartości żelaza, wytrzymałą na zginanie, naciski oraz ścieranie spowodowane wiatrem, śniegiem, gradem lub piaskiem. Dodatkowo, szyba pokryta jest od wewnętrznej strony powłokami antyrefleksyjnymi zmniejszającymi odbicie promieniowania słonecznego od granicy faz powietrze szkło. Zamiast powłok antyrefleksyjnych można zastosować strukturę pryzmatyczną (Zawadzki i in. 2003).

Rozwiązaniem zaawansowanym technologicznie są kolektory próżniowe rurowe złożone ze szklanych rur o podwójnej ściance, których końce stopione są ze sobą na kształt bańki termosu. Rury te wykonane są zazwyczaj ze szkła borowo – krzemowego. Funkcję izolacji cieplnej spełnia występująca w przestrzeni między ściankami rury próżnia wielkości 10^{-6} barów. Na zewnętrznej powierzchni wewnętrznej ścianki rury szklanej występuje warstwa absorbera – cienka, uformowana blacha (miedziana albo aluminiowa) przewodząca ciepło i przylegająca do rury w taki sposób, aby zapewnić kontakt cieplny, z reguły na całym obwodzie. Ogrzewanie płynu w rurach może zachodzić na dwa sposoby: poprzez zamkniętą pojedynczą rurę (tzw. heat pipe) bądź poprzez kanały przepływowe w kształcie litery U, z czynnikiem grzewczym (Wiśniewski i in. 2008; Zielonko-Jung i Marchwiński 2012).



Rys. 1. Sposoby montażu kolektorów słonecznych
Źródło: opracowanie własne

Fig. 1. Ways of installing solar panels

Biorąc pod uwagę rodzaj obiektu, przeznaczenie instalacji solarnej, konstrukcję dachu oraz ukształtowanie i zabudowę terenu, kolektory słoneczne można zabudować w płaszczyźnie dachu bądź zamontować na (Zawadzki i in. 2003):

- ◆ konstrukcji wsporczej bezpośrednio nad połącją dachową;
- ◆ konstrukcji wsporczej na fasadzie budynku;
- ◆ stelażu kierunkowym na dachu płaskim;
- ◆ konstrukcji wolnostojącej.

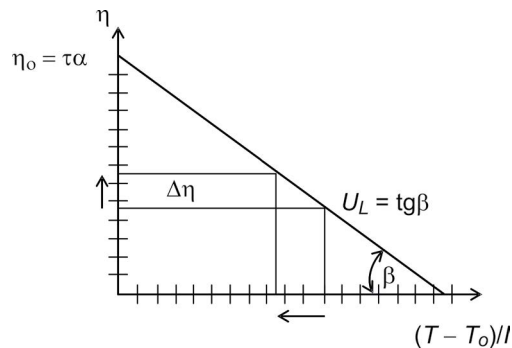
2. Charakterystyka cieplna kolektorów słonecznych

Podstawowymi parametrami technicznymi i eksploatacyjnymi kolektorów słonecznych są (Wiśniewski i in. 2008):

- ◆ sprawność chwilowa – η [%];
- ◆ powierzchnia kolektora – A [m²];
- ◆ temperatura czynnika grzewczego – T [K];
- ◆ przyrost temperatury czynnika roboczego – ΔT [K];
- ◆ temperatura absorbera – T_{abs} [K];
- ◆ współczynnik strat ciepła z absorbera – U_L [W/m²·K];
- ◆ prędkość przepływu czynnika grzewczego przez kolektor – v [m/s];
- ◆ współczynnik transmisji (absorpcji) – $\tau\alpha$;
- ◆ jednostkowe natężenie przepływu czynnika grzewczego przez kolektor (w odniesieniu do powierzchni jednostkowej kolektora) – \dot{m} [kg/m²·s lub l/m²·s lub m³/m²·s];
- ◆ jednostkowe opory przepływu czynnika grzewczego przez kolektor – Δp [Pa/m²];
- ◆ trwałość kolektora [lata].

Sprawność cieplna to iloraz mocy użytecznej odebranej w danej chwili przez przepływającą przez kolektor ciecz roboczą oraz mocy promieniowania słonecznego, które dociera do jego zewnętrznej powierzchni. Na sprawność chwilową kolektora wpływa: jednostkowe natężenie przepływu czynnika grzewczego przez kolektor, ciepło właściwe czynnika roboczego, przyrost temperatury czynnika roboczego, powierzchnia kolektora, natężenie promieniowania słonecznego padającego na powierzchnię kolektora. Wpływ też mają cechy konstrukcyjne urządzenia, a przede wszystkim właściwości przesłony przezroczystej oraz powłoki absorbera, skuteczność izolacji termicznej w danych warunkach. Poniżej przedstawiono uproszczoną (liniową) charakterystykę sprawności modelowego kolektora słonecznego (rys. 2) (Wiśniewski i in. 2008).

Z powyższej charakterystyki wynika, że sprawność danego kolektora słonecznego zależy od wartości wyrażenia $(T - T_o)/I$ zwanego „temperaturą zredukowaną.” Widzimy, że wraz ze wzrostem natężenia promieniowania słonecznego I oraz wzrostem temperatury otoczenia i przy spadku temperatury czynnika grzewczego T w kolektorze jego sprawność wzrasta (Wiśniewski i in. 2008).



Rys. 2. Charakterystyka sprawności modelowego kolektora słonecznego
Źródło: opracowanie własne

Fig. 2. Characteristics of the efficiency of the model of the solar collector

Przy obliczeniach sprawności kolektora wykorzystuje się tzw. zredukowaną różnicę temperatur T_m^* płynu przenoszącego ciepło w kolektorze, tzn. uwzględniającą natężenie promieniowania słonecznego i temperaturę otoczenia (Wiśniewski i in. 2008):

$$T_m^* = \frac{t_m - t_a}{G} \quad (1)$$

gdzie:

- $t_m = t_{in} + \Delta T/2$ – średnia temperatura płynu przenoszącego ciepło w kolektorze [°C],
- t_a – temperatura otoczenia [°C],
- G – natężenie promieniowania słonecznego [W/m²].

Poniżej podano postać podstawowej funkcji, która wyraża sprawność cieplną kolektora w zależności od temperatury zredukowanej (poniższe równanie określone jest dla stanu ustalonego kolektora – to tzw. równanie Hottela-Whilliera-Blissa) (Wiśniewski i in. 2008):

$$\eta = \eta_o - a_1 \cdot T_m^* - a_2 \cdot (T_m^*)^2 \quad (2)$$

gdzie:

- a_1 – liniowy współczynnik strat ciepła przy $(T_m - T_a) = 0$ [W/m²·K],
- a_2 – nieliniowy współczynnik zależności strat ciepła od temperatury [W/m²·K],
- η_o – sprawność optyczna – sprawność przetwarzania promieniowania słonecznego w ciepło przy temperaturze otoczenia równej średniej temperaturze cieczy roboczej w kolektorze.

Wyższa sprawność optyczna oznacza pełniejsze wykorzystanie promieniowania słonecznego padającego na powierzchnię kolektora. Zależy ona przede wszystkim od strat przenikania promieniowania słonecznego przez pokrycie kolektora i od własności absorpcyjnych (pochłaniania promieniowania) absorbera (Wiśniewski i in. 2008).

Charakterystyki cieplne w funkcji temperatury zredukowanej oraz współczynniki a_1 i a_2 otrzymuje się na podstawie badań laboratoryjnych zgodnie z normą PN-EN ISO 9806 (dawniej PN-EN 12975). W wyniku przeprowadzonych badań uzyskuje się wykres, który stanowi podstawę do oszacowania wydajności cieplnej badanego kolektora słonecznego. Im wyższa sprawność optyczna, tym wykorzystanie promieniowania słonecznego dochodzącego do kolektora jest pełniejsze. Sprawność optyczna η_0 , współczynniki a_1 oraz a_2 zależą przede wszystkim od rodzaju kolektora, rozwiązań konstrukcyjnych i wymiennika ciepła absorbera, izolacji cieplnej elementów grzewczych, a także obudowy (Wiśniewski i in. 2008; Mirowski 2012).

3. Przegląd wybranych przykładów porównania charakterystyk cieplnych kolektorów płaskich i rurowych występujących w literaturze

Rodrigueza-Hidalgo i inni (2012) przeprowadzili badania eksperymentalne na terenie kampusu uczelni w Madrycie, mające na celu porównanie charakterystyk cieplnych dwóch zestawów kolektorów słonecznych (płaskich tradycyjnych i płaskich próżniowych) o powierzchni brutto $50,75 \text{ m}^2$ w tych samych warunkach pogodowych. Budowy obu kolektorów były podobne: szklana pokrywa, absorber, rurki przepływowe w układzie serpentynowym oraz aluminiowa rama. Różniły się tylko medium roboczym (w tradycyjnym kolektorze płaskim czynnikiem było powietrze pod ciśnieniem atmosferycznym, a w próżniowym – gaz szlachetny) oraz izolacją. W badanym kolektorze próżniowym typowa izolacja cieplna z wełny mineralnej została zastąpiona warstwą kryptonu pod ciśnieniem poniżej ciśnienia atmosferycznego (100 mbar).

Porównując obie technologie, zaobserwowano, że temperatura wylotowa jest wyższa w przypadku kolektora próżniowego. Kolektory próżniowe musiały być eksploatowane w wyższym zakresie temperatur, ponieważ były one stosowane do produkcji c.w.u., na potrzeby klimatyzacji zimą oraz na cele centralnego ogrzewania latem, a kolektory płaskie – tylko na cele ciepłej wody użytkowej. Podczas eksperymentu okazało się też, że na wlocie do kolektorów były różne temperatury. Tradycyjne kolektory płaskie pracowały w niższym zakresie temperatur, a więc na początku wydawało się, że charakteryzują się one większą wydajnością. W celu prawidłowego porównania wydajności badanych paneli, wprowadzono nowy model eksperymentalny kolektorów tradycyjnych, w którym temperatura na wlocie była równa temperaturze na wlocie do kolektorów próżniowych. Porównując znowu wydajność kolektorów próżniowych i zmienionych kolektorów tradycyjnych dla całego dnia, zauważono tylko niewielkie różnice w wartościach sprawności. Ponadto okazało się, że izolacja w postaci próżni w pozytywny sposób wpływa na ograniczenie strat ciepła przez obudowę na drodze przewodzenia. Przy zastosowaniu kolektorów

próżniowych, będziemy też mieli mniejsze straty ciepła przez szklaną pokrywę (Rodriguez-Hidalgo i in. 2012; Żukowski 2014).

W 2007 r. we Włoszech wykonano instalację z dwoma kolektorami płaskimi (o powierzchni brutto $5,16 \text{ m}^2$) i jednym kolektorem rurowym ($3,9 \text{ m}^2$) na dachu University of Padova. Kolektory płaskie wyposażone były w absorbery miedziane pokryte powłoką selektywną, a rury przepływowe ułożone równolegle. Natomiast kolektor rurowy składał się z 21 rur z lustrem parabolicznym. Zambolin i Del Col (2010), na podstawie przeprowadzonych badań na wymienionym obiekcie, porównali charakterystyki cieplne tych dwóch typów paneli w warunkach stacjonarnych i quasi zmiennych (zgodnie z normą EN 12975-2). Porównując krzywe wydajności uzyskane w stanie stacjonarnym i quasi zmiennym, należy stwierdzić, że są one zgodne w swoich zakresach niepewności pomiarowych zarówno w przypadku kolektorów płaskich, jak i kolektora rurowego. Sprawność optyczna badanych paneli płaskich malała w godzinach rannych i popołudniowych z uwagi na większe straty ciepła (wzrost promieniowania odbitego). W kolektorze próżniowym straty wydajności są mniejsze ze względu na ich geometrię – większa powierzchnia absorbera wystawiona jest na promieniowanie słoneczne przez dłuższy okres dnia.

Zambolin i Del Col przedstawili również zależności sprawności kolektorów słonecznych od tzw. temperatury zredukowanej, które pokrywały się z charakterystykami teoretycznymi występującymi w literaturze. Okazało się, że kolektor płaski jest bardziej wrażliwy na różnicę między temperaturą czynnika przenoszącego ciepło w kolektorze a temperaturą otoczenia. Współczynniki kolektora uzyskane w warunkach quasi zmiennych mogą być stosowane do symulacji wytwarzania rocznej energii w regionie charakteryzującym się określonymi warunkami klimatycznymi. Mogą też być one wykorzystywane w tworzeniu dziennych charakterystyk sprawności kolektorów, stanowiących łatwe w użyciu narzędzie do szybkiej oceny kolektorów bez uwzględniania systemu, w jakim mają pracować, w szerokim zakresie warunków pracy (Zambolin i Del Col 2010; Żukowski 2014).

W Szwecji, Adsten wraz z zespołem (2002) przy użyciu symulacji komputerowych w programie MINSUN, przeprowadził analizę porównawczą kolektorów płaskich i rurowych próżniowych (nachylonych pod kątem 45°) dla warunków klimatycznych Sztokholmu, Lund i Lulei leżących w północnej Europie. Do obliczeń wykorzystano dane meteorologiczne z lat 1983 – 1998 pozyskane ze Szwedzkiego Instytutu Meteorologicznego i Hydrologicznego SMHI. Większe średnie roczne ilości energii konwertowanej na ciepło otrzymano z kolektorów rurowych (przy temperaturze roboczej 50°C), tj. 668 kWh/m^2 (Sztokholm), 675 kWh/m^2 (Lund) oraz 631 kWh/m^2 (Lulea). Dla porównania średnie roczne ilości tej energii pochodzącej z kolektorów płaskich wyniosły 337 kWh/m^2 (Sztokholm), 337 kWh/m^2 (Lund) oraz 298 kWh/m^2 (Lulea). Maksymalne odchylenie od rocznej wartości średniej ilości ciepła dla okresu 16 lat wyniosło około 20% dla paneli płaskich i około 15% dla paneli próżniowych rurowych. Jednak analiza porównawcza bazowała tylko na obliczeniach komputerowych.

Z kolei Brunold, Frey i Frei (1994) porównali trzy różne typy kolektorów słonecznych: kolektor próżniowy rurowy ($1,912 \text{ m}^2$) wyprodukowany przez Jacques Giordano Industries we Francji, kolektor próżniowy rurowy ($1,191 \text{ m}^2$) zmontowany przez German Microtherm Energietechnik GmbH z rur próżniowych wyprodukowanych przez Shiroky (Japonia) oraz prototyp kolektora płaskiego ($2,183 \text{ m}^2$) wykorzystującego szkło kapilarne jako przezroczystą izolację

(skonstruowany przez Solar-Energie-Technik w Niemczech). Pomiary zostały przeprowadzone zgodnie z normą ISO 9806-1.2 z jedną różnicą – prędkość wiatru przyjęto w przedziale 0–1,5 m/s, zamiast 2–4 m/s (tak, jak mówi norma). W oparciu o wyniki badań i przy użyciu programu komputerowego BWE92, obliczono moc cieplną brutto kolektorów. Okazało się, że do zastosowania w warunkach wysokich temperatur lepsze są kolektory próżniowe rurowe od kolektora płaskiego z przezroczystą izolacją. Tylko w dolnym zakresie temperatur, sprawność badanego kolektora płaskiego przewyższa sprawność wymienionych kolektorów próżniowych. Należy dodać, że w rozpatrywanym zakresie temperatur tradycyjne kolektory płaskie są nadal najlepszym rozwiązaniem.

Ayompe i inni (2011) przez okrągły rok monitorowali pracę dwóch instalacji podgrzewu c.w.u., z czego każda wyposażona była w podgrzewacz ciepłej wody ze stali nierdzewnej (model HM 300L D) o pojemności 300 litrów, jednostkę sterującą oraz kolektory słoneczne. Jeden system współpracował z dwoma kolektorami płaskimi K420-EM2L, każdy o powierzchni brutto $2,18 \text{ m}^2$ i o powierzchni apertury 2 m^2 , połączonych szeregowo, co daje łączną powierzchnię 4 m^2 , a drugi z kolektorem rurowym próżniowym Thermomax HP200 typu *heat pipe* – powierzchni absorbera 3 m^2 . Oba systemy pracowały w tych samych warunkach pogodowych. Badania zostały przeprowadzone w Dublinie w Irlandii, a charakterystyki energetyczne tych systemów zostały porównane w skali doby, miesiąca i roku. Otrzymane wyniki wykazały, że przy rocznym nasłonecznieniu 1087 kWh/m^2 , system z płaskimi kolektorami słonecznymi pozyskał 1984 kWh energii cieplnej, a kolektory rurowe 2065 kWh . W ciągu roku kolektory płaskie wyprodukowały 496 kWh/m^2 , a rurowe – 681 kWh/m^2 . Roczna średnia sprawność kolektora płaskiego wyniosła 46,1%, a rurowego – 60,7%. Otrzymane wyniki dostarczają cennych informacji dla użytkowników, producentów oraz instalatorów.

W publikacjach można też znaleźć wyniki badań dotyczące porównania różnych typów kolektorów rurowych. Hayek Assaf i Lteif (2011) przeprowadzili badania eksperymentalne wydajności dla kolektora rurowego z przepływem wody i kolektora rurowego typu *heat pipe* w okresie zimy (listopad – styczeń) dla lokalnych warunków pogodowych, jakie panują wzdłuż wschodniego wybrzeża Morza Śródziemnego. Każdy kolektor składał się z 20 rur próżniowych. Stanowisko badawcze zlokalizowane było na parkingu Notre Dame University głównego kampusu w Zouk-Mosbeh, na północ od Bejrutu w Libanie. Otrzymane wyniki pokazały, że wydajność kolektora typu *heat pipe* jest prawie o 15–20% wyższa niż standardowego kolektora rurowego. Jednak kolektory typu *heat pipe* mają dłuższy okres zwrotu kosztów z uwagi, że są droższe w zakupie na lokalnym rynku. Natomiast Gao i inni (2013) porównali wydajność cieplną instalacji z kolektorem rurowym z przepływem wody (WGETsc) oraz instalacji z kolektorem rurowym, w którym do wymiennika ciepła przymocowana jest U-rurka (UpETsc), dla tej samej krzywej sprawności. Pomiary były wykonywane na stanowisku badawczym w Pekinie. Okazało się, że średnia wydajność cieplna kolektora WGETsc jest mniejsza i magazynuje on o 25–30% energii mniej niż UpETsc.

4. Trendy oraz perspektywy rozwoju kolektorów słonecznych

Kolektory słoneczne narażone są na działanie czynników wewnętrznych (od strony systemów solarnych), czynników zewnętrznych (warunków pogodowych, tj. opadów, wiatru), a także na uszkodzenia mechaniczne. Materiały, z jakich są wykonane, stosowane technologie produkcji oraz rozwiązania techniczne mają istotne znaczenie w zachowaniu trwałości i sprawności tych urządzeń podczas okresu eksploatacji, tj. minimum 20–25 lat. Trendy, jakie występują na rynku kolektorów to (Hewalex 2015; Jeleń 2013; Vaillant 2015; Viessmann 2014):

- ◆ absorbery typu Aluminium – Miedź (aluminiowa blacha, orurowanie miedziane) oraz typu Aluminium – Aluminium (aluminiowa blacha i aluminiowe orurowanie);
- ◆ łączenie płyty z orurowaniem przy zastosowaniu spawania laserowego;
- ◆ zwiększanie udziału szkła strukturyzowanego i czystego;
- ◆ aluminium – materiał często stosowany w obudowach;
- ◆ absorbery z powłoką wysokoselektywną;
- ◆ popularyzowanie szkła z warstwami antyrefleksyjnymi;
- ◆ zwiększanie udziału szkła o grubości 3,2 mm, zamiast 4,0 mm;
- ◆ innowacyjny system połączeń wtykanych rur próżniowych;
- ◆ możliwość wymiany rur (połączenie „na sucho” bez bezpośredniego kontaktu czynnik solarnego i nośnika ciepła);
- ◆ możliwość obrotu każdej rury próżniowej wokół jej osi pozwala na optymalne ustawienie absorbera względem Słońca.

Producenci kolektorów dążą do zachowania bądź podwyższania ich parametrów, jednocześnie próbując uzyskiwać niższe koszty produkcji (Jeleń 2013).

Nowym rozwiązaniem technicznym są kolektory hybrydowe – urządzenie łączące kolektor słoneczny z panelem fotowoltaicznym. Kolektor płaski zlokalizowany w tylnej części odbiera nadmiar ciepła z modułu fotowoltaicznego i przekazuje je do instalacji centralnego ogrzewania lub do podgrzewu ciepłej wody użytkowej. Poprzez odbiór ciepła kolektor schładza komórki fotowoltaiczne, co zwiększa znacząco efektywność układu prądowego w porównaniu ze standardowymi rozwiązaniami PV (Soldach 2016).

W ostatnich latach rynek kolektorów słonecznych w Polsce dynamicznie się rozwijał dzięki dotacjom unijnym i dopłatom w ramach programu NFOŚiGW na zakup oraz montaż tych urządzeń. W ramach programu kolektorowego w latach 2010–2014 NFOŚiGW wydał 450 mln zł. Powstało 67,3 tys. instalacji z kolektorami o łącznej powierzchni 483,3 tys. m². Nastąpił rozwój technologii kolektorów oraz spadek cen. Polscy producenci eksportowali dużą część paneli słonecznych, przede wszystkim do Niemiec, co może dowodzić wysokiej jakości sprzedawanych produktów oraz konkurencyjności naszego przemysłu kolektorowego. Gdy dofinansowanie się skończyło, rynek zaczął zwalniać. Nie ma systemowego wsparcia, które pozwoliłoby na wieloletnią, stabilną perspektywę rozwoju branży polskich producentów i instalatorów (Gramwziane 2015).

Podsumowanie

Kolektory słoneczne są często i chętnie stosowane w wspomaganie podgrzewu ciepłej wody użytkowej, ogrzewania basenu, czy nawet pomieszczeń. Znajomość charakterystyki cieplnej kolektora słonecznego jest niezbędna do właściwego doboru tego urządzenia w zależności od zastosowania, rodzaju instalacji, warunków klimatycznych w miejscu montażu oraz od poziomu wymaganej temperatury, jaką chcemy uzyskać (Zambolin i Del Col 2010). Na stronach internetowych producenci paneli podają wiele informacji na ten temat, ale bazują oni na wartościach otrzymanych w warunkach laboratoryjnych. Na rynku można również zaobserwować nowe rozwiązanie techniczne, jakim są kolektory hybrydowe – połączenie panelu fotowoltaicznego i kolektora słonecznego, które charakteryzują się większą efektywnością układu prądowego niż tradycyjne rozwiązania PV.

W literaturze obcojęzycznej można znaleźć publikacje dotyczące analiz porównawczych kolektorów płaskich i rurowych wykonanych na podstawie przeprowadzonych badań eksperymentalnych w różnych warunkach klimatycznych bądź przy użyciu symulacji komputerowych. Do tej pory nie zostały wykonane wiarygodne badania eksperymentalne, które pozwoliłyby na rzetelną ocenę efektywności energetycznej różnych typów kolektorów słonecznych w warunkach klimatycznych Polski.

Artykuł napisano w ramach realizacji pracy własnej nr MB/WBiŚ/14/2015 i sfinansowano ze środków na naukę MNiSW.

Literatura

- ADSTEN, M. i PERERS, B. 2002. Wackelgard E. The influence of climate and location on collector performance. *Renewable Energy* 25, s. 499–509.
- AYOMPE i in. 2011 – AYOMPE, L.M., DUFFY, A., MC KEEVER, M., CONLON, M., McCORMACK, S.J. 2011. Comparative field performance study of flat plate and heat pipe evacuated tube collectors (ETCs) for domestic water heating systems in a temperate climate. *Energy* 36, s. 3370–3378.
- BRUNOLD i in. 1994 – BRUNOLD, S., FREY, R. i FREI, U. 1994. A comparison of three different collectors for process heat applications. SPIE Proceedings, Volume 2255, Optical Materials Technology for Energy Efficiency and Solar Energy Conversion XIII.
- GAO i in. 2013 – GAO, Y., ZHANG, Q., FAN, R., LIN, X. i YU, Y. 2013. Effects of thermal mass and flow rate on forced-circulation solar hot-water system: Comparison of water-in-glass and U-pipe evacuated-tube solar collectors. *Solar Energy* 98, s. 290–301.
- Gramwzielone (2015). [Online] Dostępne w: www.gramwzielone.pl [Dostęp: 10.07.2016].
- HAYEK i in. 2011 – HAYEK, M., ASSAF, J. i Lteif, W. 2011. Experimental Investigation of the Performance of Evacuated-Tube Solar Collectors under Eastern Mediterranean Climatic Conditions. *Energy Procedia* 6, s. 618–626.
- Hewalex. 2015. *Informator techniczno-handlowy: Technika solarna*.
- JELEŃ, I. 2013. Kolektory słoneczne płaskie – wczoraj i ... dziś. *Instal Reporter* 5, s. 20–26.

- MIROWSKI, A. 2012. *Podręcznik dobrych praktyk na bazie szwajcarskich i polskich doświadczeń w zakresie wykorzystania odnawialnych źródeł energii. Kolektory słoneczne. Pompy Ciepła*. Wydany w ramach realizacji projektu „Szwajcarsko-Polska wymiana doświadczeń w zakresie energii odnawialnej”, Nr 0015/P/2/2012.
- PN EN ISO 9488 Energia słoneczna – Terminologia.
- RODRIGUEZ-HIDALGO i in. 2012 – RODRIGUEZ-HIDALGO, M.C., RODRIGUEZ-AUMENTE, P.A., LECUONA, A. i NOGUEIRA, J. Experimental comparison of evacuated flat plate collector performance with conventional flat plate collectors for residential applications. In proceedings of 6th European Thermal Sciences Conference EURO THERM 2012, Poitiers – Futuroscope France, 2012.
- Soldach. 2016. [Online] Dostępne w: www.soldach.pl [Dostęp: 10.07.2016].
- Tytko, R. 2014. *Urządzenia i systemy energetyki odnawialnej*. Kraków: Wyd. i Drukarnia Towarzystwa Słowaków w Polsce.
- Vaillant. 2015. [Online] Dostępne w: www.vaillant.pl [Dostęp: 10.07.2016].
- Viessmann. 2014. Materiały drukowane firmy Viessmann: Ogrzewanie energią słoneczną.
- WIŚNIEWSKI i in. 2006 – WIŚNIEWSKI, G., GOŁĘBIOWSKI, S., GRYCIUK, M. i KUROWSKI, K. 2006. *Kolektory słoneczne Poradnik wykorzystania energii słonecznej*. Wyd. III, Centralny Ośrodek Informacji Budownictwa PP, Warszawa.
- WIŚNIEWSKI i in. 2008 – WIŚNIEWSKI, G., GOŁĘBIOWSKI, S., GRYCIUK, M., KUROWSKI, K. i WIĘCKA, A. 2008. *Kolektory słoneczne: energia słoneczna w mieszkalnictwie, hotelarstwie i drobnym przemyśle*. Warszawa: Dom Wydawniczy MEDIUM.
- WOLAŃCZYK, F. 2011. *Jak wykorzystać дарowaną energię. O kolektorach słonecznych i ogniwach fotowoltaicznych*. Krosno: Wyd. i Handel Książkami „KaBe”.
- ZAMBOLIN, E. i DEL COL, D. 2010. Experimental analysis of thermal performance of flat plate and evacuated tube solar collectors in stationary standard and daily conditions. *Solar Energy* 84, s. 1382–1396.
- ZAWADZKI, M. Praca zbiorowa. 2003. *Kolektory Słoneczne, Pompy Ciepła – Na Tak*. Wydawnictwo ZAWADZKI Mirosław Zawadzki, Kobyłka, Polska Ekologia.
- ZIELONKO-JUNG, K. i MARCHWIŃSKI, J. 2012. *Łączenie zaawansowanych i tradycyjnych technologii w architekturze proekologicznej*. Warszawa: Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej.
- ŻUKOWSKI, M. 2014. Porównanie charakterystyk ciepłych instalacji z płaskimi i rurowymi kolektorami słonecznymi. *Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja* nr 2.

Paulina RADZAJEWSKA

Comparison of the thermal characteristics of flat plate solar collectors and tubular solar collectors – overview of selected technical solutions

Abstract

Solar collectors are used to support hot water heating or space heating and swimming pools. The article presents flat plate solar collectors and tube solar collectors – describe their construction, principle of operation and different ways of mounting buildings. The basic technical and operating parameters of collectors are presented. The thermal efficiency of discussed panels was defined. In this paper a basic form of the function which expresses the efficiency depending on the temperature of the reduced steady state collector (ie. The equation Hottel-Whilliera-Bliss) is provides. It is presented and discussed simplified (linear) characteristics of the performance model of the solar collector. Knowledge of the characteristics of thermal solar collectors is needed to properly select them depending on the type of installation, the application, the climatic conditions at the installation site, as well as the required temperature level, which the user wants to get. They are chosen and described some examples found in foreign literature, which discussed the comparative analysis of the thermal characteristics of flat plate solar collectors and tube solar collectors on the basis of experimental studies in different climatic conditions or by using computer simulations. Discussed the trends and prospects of solar collectors.

KEYWORDS: solar collectors, optical efficiency, thermal characteristics