

Sebastian PATER, Janusz MAGIERA, Aneta GLUSZEK, Krzysztof NEUPAUER

e-mail: sebatater@chemia.pk.edu.pl

Wydział Inżynierii i Technologii Chemicznej, Politechnika Krakowska, Kraków

Wykorzystanie pompy ciepła w instalacji z odnawialnymi źródłami energii do chłodzenia pasywnego

Wprowadzenie

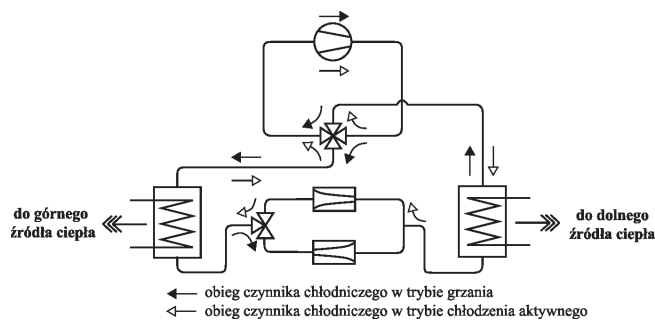
Jedną z konsekwencji systematycznego wzrostu cen konwencjonalnych nośników energii jest tendencja do obniżenia energochłonności obiektów budowlanych. Redukcję zużycia energii pochodzącej z ropy, węgla, czy gazu, a tym samym zmniejszenie kosztów użytkowania obiektów budowlanych, można osiągnąć poprzez zwiększenie udziału odnawialnych źródeł energii (OZE) w całkowitym bilansie energii konsumowanej na cele grzewcze, jak również chłodnicze. Pomimo tego, iż Polska nie należy do krajów o bardzo wysokich średnich temperaturach zewnętrznych w okresie lata, od wielu lat obserwuje się wzrost sprzedaży systemów klimatyzacyjnych poprawiających komfort cieplny w użytkowanych obiektach budowlanych [Kaczmarczyk, 2007]. Do chłodzenia powietrza w takich systemach najczęściej stosuje się chłodziarki wykorzystujące obiegi ziębnicze realizowane za pomocą sprężarek napędzanych energią elektryczną [Recknagel i in., 1994]. Odpowiednio oprzyrządowana pompa ciepła może również współpracować z urządzeniem klimatyzacyjnym, doprowadzając zarówno czynnik grzejny do ogrzewania powietrza w zimie, jak i czynnik chłodzący do ochładzania powietrza w lecie.

W niniejszej pracy przedstawiono wyniki badań pracy pompy ciepła, w warunkach rzeczywistych, w hybrydowej instalacji do ogrzewania oraz chłodzenia budynku mieszkalno-usługowego, o powierzchni użytkowej wynoszącej 460 m², zlokalizowanego na obrzeżach Krakowa. Omawiany system obejmuje po stronie wytwarzania energii cieplnej cztery źródła ciepła: kolektory słoneczne próżniowo-rurkowe, kominiek z płaszczem wodnym i wymiennikiem ciepła, kondensacyjny kocioł gazowy oraz pompę ciepła typu solanka/woda z pionowym gruntowym wymiennikiem ciepła. Szczegółowej analizie poddano dane doświadczalne uzyskane z pracy pompy ciepła w trybie chłodzenia pasywnego wybranych pomieszczeń budynku w okresie letnim 2012 roku.

Chłodzenie pasywne

Chłodzenie pomieszczeń obiektów budowlanych z wykorzystaniem pompy ciepła może się odbywać w sposób aktywny lub pasywny. W aktywnym trybie chłodzenia (Rys. 1) pompa ciepła pracuje jak typowa chłodziarka, odprowadzając za pomocą sprężarki ciepło z górnego źródła ciepła do dolnego. Górnym źródłem ciepła może być ogrzewanie powierzchniowe (podłogowe, sufitowe i ścienne), klimakonwektory, chłodziacze w systemach klimatyzacyjnych lub woda lodowa, natomiast dolnym źródłem wymiennik gruntowy, woda gruntowa lub powietrze zewnętrzne [Kaczmarczyk, 2007].

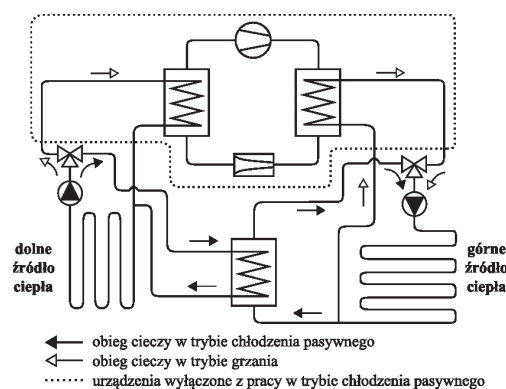
W rewersyjnej pompie ciepła aktywny tryb chłodzenia realizowany jest poprzez odpowiednie ustawienie zaworu czterodrogowego powodujące, że skraplacz i parownik zamieniają się funkcjami. Takie roz-



Rys. 1. Schemat pracy rewersyjnej pompy ciepła

wiązanie wiąże się z zastosowaniem dodatkowego zaworu rozprężnego działającego w odwrotnym kierunku niż zawór rozprężny używany w trybie grzania pompy ciepła. Innym sposobem aktywnego chłodzenia jest zamiana pracy dolnego i górnego źródła ciepła przez układ zaworów trójdrogowych i wymienników ciepła, z pominięciem obiegu termodynamicznego [Piszczatowska i Żukowski, 2010]. Jeżeli w trybie chłodzenia aktywnego dolnym źródłem ciepła pompy ciepła jest wymiennik gruntowy lub woda gruntowa efektywność energetyczna takiego systemu jest wyższa, niż w przypadku tradycyjnej klimatyzacji [Guo i in., 2012]. Systemy te są jednak kosztowne w eksploatacji ze względu na duże zużycie energii elektrycznej.

Pompa ciepła pracująca w trybie chłodzenia pasywnego, dzięki dodatkowemu wymiennikowi ciepła z układem odpowiednio sterowanych zaworów trójdrogowych i bez użycia sprężarki, przekazuje nadmiar ciepła z górnego źródła ciepła do dolnego źródła ciepła (Rys. 2). Jako dolne źródło ciepła występuje tutaj grunt w postaci pionowego wymiennika ciepła (sondy pionowej), który w okresie letnim charakteryzuje się niższą temperaturą w porównaniu do tej, która panuje w chłodzonych pomieszczeniach. Zmiany temperatury zewnętrznej w małym stopniu wpływają na temperaturę gruntu na głębokościach poniżej 10 m. Dzięki temu grunt charakteryzuje się ustabilizowaną temperaturą w ciągu roku wynoszącą ok. 10°C [Yu i in., 2010; Piszczatowska i Żukowski, 2010].



Rys. 2. Schemat pracy pompy ciepła z funkcją chłodzenia pasywnego

Wyniki badań

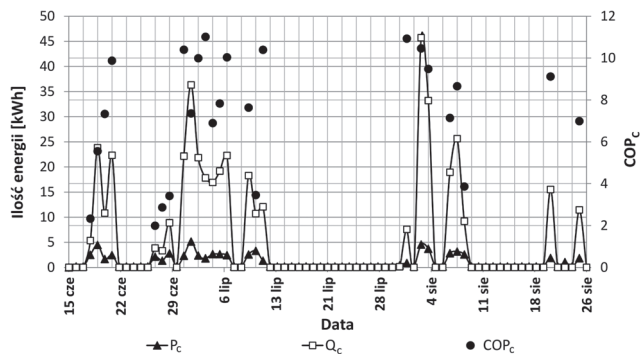
W omawianej instalacji od połowy czerwca do końca sierpnia 2012 roku w chłodnicy centrali wentylacyjno-klimatyzacyjnej następowało schładzanie powietrza nadmuchiwane do dwóch pomieszczeń budynku o łącznej powierzchni użytkowej wynoszącej 45,2 m² i kubaturze równej 113,0 m³. Odebrane w chłodnicy ciepło przekazywano za pośrednictwem dodatkowego wymiennika ciepła solance (wodnemu roztworowi glikolu propylenowego o stężeniu objętościowym wynoszącym 30%) przepływającej przez trzy pionowe gruntowe sondy, z pojedynczą U-rurką. Każda z sond miała głębokość równą 70 m, a odstępy pomiędzy nimi wynosiły 7 m.

Dobowe wartości współczynnika wydajności chłodniczej pompy ciepła, przedstawione na rys. 3, określono ze wzoru:

$$COP_c = \frac{Q_c}{P_c} \quad (1)$$

gdzie:

 Q_c – dobowa ilość ciepła odebranego w chłodnicy [kWh], P_c – dobowy pobór energii elektrycznej przez pompy obiegowe i sterowanie pompy ciepła [kWh].



Rys. 3. Dobowe zmiany wydajności chłodniczej pompy ciepła

Wysokie wartości COP_C w przedziale od 5,5 do 11,0 odnotowano w dniach, w których ilość ciepła odebranego od powietrza w chłodnicy wynosiła powyżej 12 kWh. Wartość sezonowego współczynnika wydajności chłodniczej pompy ciepła określono ze wzoru [Park i in., 2013]:

$$CSPF = \frac{\sum Q_C}{\sum P_C} \quad (2)$$

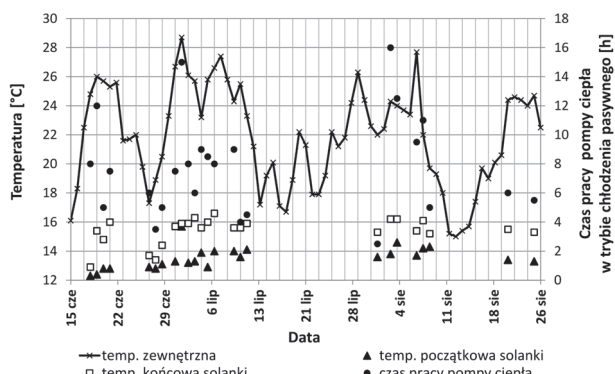
gdzie:

Q_C – całkowita ilość ciepła odebranego w chłodnicy w rozpatrywanym okresie czasu [kWh],

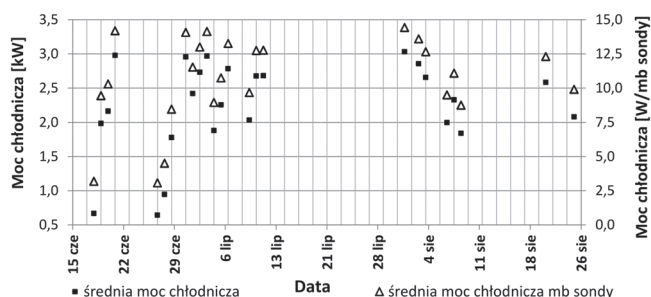
P_C – całkowity pobór energii elektrycznej przez pompę ciepła w rozpatrywanym okresie czasu [kWh].

Dla badanego okresu czasu (69 dni) wartość $CSPF$ wyniosła 5,92. Jeżeli w obliczeniach uwzględną się tylko te dni, w których pompa ciepła pracowała w trybie chłodzenia pasywnego (25 dni) wówczas $CSPF = 7,14$.

Czas pracy pompy ciepła w trybie chłodzenia pasywnego dla większości dni wynosił od 4 do 12 h (Rys. 4). W badanym okresie czasu podczas chłodzenia pasywnego temperatura początkowa solanki na wyjściu z sond pionowych, po oddaniu ciepła do gruntu, wynosiła od 12,3 do 15,7°C, a końcowa od 12,9 do 16,6°C. Jeżeli proces chłodzenia był prowadzony przez kilka dni z rzędu obserwowano wzrost, zarówno temperatury początkowej, jak i końcowej solanki względem poprzedniego dnia. Wartości COP_C w przedziale od 9,0 do 11,0 odnotowano w dniach, w których średnia moc chłodnicza sondy pionowej (Rys. 5), uzyskana z ilorazu Q_C i czasu pracy pompy ciepła, była wyższa od 2,5 kW.

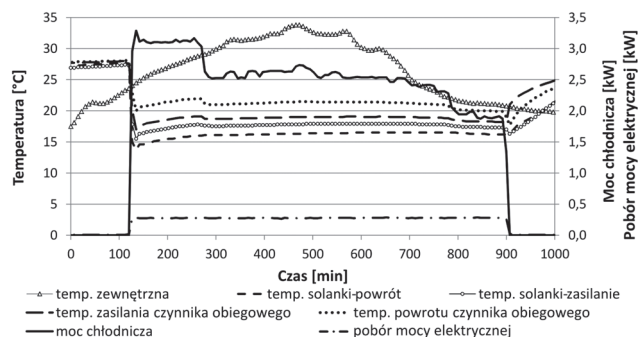


Rys. 4. Dobowe zmiany parametrów pracy instalacji



Rys. 5. Dobowe zmiany średniej mocy chłodniczej pionowej sondy gruntowej

Na rys. 6 przedstawiono przykładowy przebieg zmian wybranych parametrów pracy instalacji w trybie chłodzenia pasywnego. Wraz ze wzrostem temperatury powrotu solanki oraz temperatury powietrza zewnętrznego obniża się moc chłodnicza sondy pionowej. Podczas pracy chłodzenia pasywnego pobór mocy elektrycznej przez pompy obiegowe i sterowanie pompy ciepła wynosił około 280 W.



Rys. 6. Wybrane parametry pracy instalacji w dniu 3 sierpnia 2012 roku

Podsumowanie i wnioski

Chłodzenie pasywne, w porównaniu do chłodzenia aktywnego lub tradycyjnej klimatyzacji, charakteryzuje się wyższą efektywnością energetyczną, wynikającą wyłącznie z poboru energii do napędu pomp obiegowych dolnego i górnego źródła ciepła oraz systemu sterowania pompy ciepła. Takie rozwiązanie umożliwia również regenerację dolnego źródła ciepła i akumulację dodatkowego ciepła w gruncie, które może być wykorzystane w sezonie grzewczym. Wykorzystując pompę ciepła unika się wyższych kosztów eksploatacyjnych systemu chłodzenia oraz instalacji dwóch oddzielnych systemów do chłodzenia i ogrzewania pomieszczeń budynku.

W okresie 69 dni pompa ciepła pracowała w trybie chłodzenia pasywnego tylko przez 25 dni i w tym czasie przekazała do gruntu 443,2 kWh ciepła, co wiązało się ze zużyciem 74,6 kWh energii elektrycznej. Wartość sezonowego współczynnika wydajności chłodniczej pompy ciepła wyniosła 5,92. Pod koniec badanego okresu czasu zaobserwowano wzrost temperatury początkowej solanki na wyjściu z sond pionowych o 1,0°C w stosunku do początku badań.

W okresie letnim 2013 roku kontynuowane były badania przedmiotowej instalacji w obszarze chłodzenia pasywnego, z uwzględnieniem między innymi regeneracji złoza w obszarze dolnego wymiennika ciepła poprzez wprowadzanie do niego nadmiaru ciepła pochodzącego od kolektorów słonecznych.

LITERATURA

- Kaczmarczyk A., 2007. Trzy systemy: grzanie c.o., c.w.u. i chłodzenie pasywne – jedna pompa ciepła. *Technika chłodnicza i klimatyzacja*, **139**, nr 9, 370-373
- Recknagel H., Sprenger E., Hönnmann W., Schramek E., 1994. *Ogrzewanie i klimatyzacja*. EWFE-Polonia, Gdańsk. (ISBN: 83-7122-000-6)
- Piszczatowska U., Żukowski M., 2010. Charakterystyka aktywnych i pasywnych systemów chłodzenia za pomocą pompy ciepła. *Budownictwo i Inżynieria Środowiska*, **1**, nr 3, 241-244
- Guo Y., Zhang G., Zhou J., Wu J., Shen W., 2012. A techno-economic comparison of a direct expansion ground-source and a secondary loop ground-coupled heat pump system for cooling in a residential building. *Applied Thermal Engineering*, **35**, 29-39. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2011.09.032
- Yu X., Zhai X.Q., Wang R.Z., 2010. Design and performance of a constant temperature and humidity air-conditioning system driven by ground source heat pumps in winter. *Energy Conversion and Management*, **51**, 2162-2168. DOI: 10.1016/j.enconman.2010.03.009
- Park H., Lee J.S., Kim W., Kim Y., 2013. The cooling seasonal performance factor of a hybrid ground-source heat pump with parallel and serial configurations. *Applied Energy*, nr 102, 877-884. DOI: 10.1016/j.apenergy.2012.09.035

Praca została wykonana przy wsparciu finansowym z projektu „Politechnika XXI wieku – Program rozwojowy Politechniki Krakowskiej – najwyższej jakości dydaktyka dla przyszłych polskich inżynierów” współfinansowanego ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego.