

Sebastian PATER, Włodzimierz CIESIELCZYK

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

Katedra Inżynierii Chemicznej i Procesowej, Wydział Inżynierii i Technologii Chemicznej, Politechnika Krakowska, Kraków

Analiza funkcjonowania pompy ciepła współpracującej z urządzeniami wykorzystującymi różne nośniki energii**Wstęp**

Aktualnie dużym zainteresowaniem w instalacjach centralnego ogrzewania (CO), a także systemach przygotowania ciepłej wody użytkowej (CWU) w budynkach mieszkalnych cieszą się instalacje hybrydowe [Joniec i in., 2015]. Praca tych systemów polega na wzajemnym współdziałaniu co najmniej dwóch urządzeń wykorzystujących różne nośniki energii, w tym źródła odnawialne. W warunkach polskich, w takich instalacjach najczęściej stosuje się pompy ciepła, kolektory słoneczne, kotły na biomasę, a także urządzenia korzystające z tradycyjnych nośników energii (kotły gazowe czy kotły na paliwo stałe) [Neupauer i in., 2010].

W systemach hybrydowych ciepło wytwarzane na potrzeby funkcjonowania np. instalacji CO powinno być w pierwszej kolejności generowane przez urządzenia wykorzystujące odnawialne źródła energii (OZE). Dopiero przy ich zbyt małej mocy grzewczej, lub w niesprzyjających warunkach pogodowych następuje aktywacja urządzeń korzystających z nieodnawialnych źródeł energii. Istotną kwestią działania instalacji hybrydowych jest kompensowanie zalet i wad urządzeń składowych systemu, ponieważ większość OZE odznacza się zmiennym strumieniem energii dostarczanej lub odbieranej w ciągu roku, dnia, a nawet godziny [Paska i in., 2005; Chochołowski i Czekalski, 2005]. Dodatkowo instalacje hybrydowe umożliwiają pracę urządzenia, które w danych warunkach zapotrzebowania na ciepło charakteryzuje się najniższymi kosztami eksploatacyjnymi [Qi i in., 2014].

Duże znaczenie instalacji hybrydowych, które przyczyniają się do rozwoju wydajnych i niedrogich technologii opartych o OZE, zostało podkreślone przez wpisanie tego typu systemów na listę strategicznych priorytetów badawczych i innowacji Europejskiej Platformy Technologicznej Wytwarzania Ciepła i Chłodzenia ze Źródeł Odnawialnych (European Technology Platform on Renewable Heating and Cooling) [Sanner B. i in., 2013].

W pracy przedstawiono wybrane aspekty pracy pompy ciepła typu solanka/woda współpracującej z kolektorami słonecznymi oraz kotłem gazowym w instalacji hybrydowej w budynku mieszkalno-usługowym zlokalizowanym na obrzeżach Krakowa. Instalacja działa w warunkach rzeczywistych nieprzerwanie od września 2011 roku.

Badania doświadczalne**Instalacja**

Rozpatrywana multiwalentna instalacja hybrydowa pokrywała zapotrzebowania na ciepło do przygotowywania CWU oraz na potrzeby CO w okresie zimowym, a także chłodzenia w okresie letnim pomieszczeń budynku. W jej skład wchodziły:

Gruntowy wymiennik ciepła pionowy, w postaci trzech odwiertów (każdy o głębokości wynoszącej 70 m) jest dolnym źródłem ciepła (DŹC) pompy ciepła jest. Pomiędzy odwiertami, w których umieszczono pojedynczą U-rurkę, zachowano siedmiometrowe odstępy. Płynem pośredniczącym w wymianie ciepła w odwiertach jest wodny roztwór glikolu propylenowego o stężeniu objętościowym wynoszącym 40%, który w dalszej części pracy skrótowo nazwano solanką. Moc grzewcza pompy ciepła w warunkach B0/W35 wynosi 10,4 kW.

Próżniowo-rurowe kolektory słoneczne z rurką ciepła (jeden kolektor 12-rurowy, pięć kolektorów 20-rurowych) są kolejnymi urządzeniami grzewczym w instalacji. Kolektory zamontowano na połaci dachu o nachyleniu 35° i odchylonej od kierunku południowego o 10°.

Sumaryczna powierzchnia apertury kolektorów wynosi 10,53 m².

Gazowy kocioł kondensacyjny (jednofunkcyjny, wiszący), w którym spalano gaz ziemny wysokometanowy był jedynym urządzeniem grzewczym w instalacji wykorzystującym konwencjonalne źródło energii jest Moc nominalna kotła była regulowana w zakresie od 7,2 do 19,5 kW.

Zbiorniki do magazynowania ciepła zastosowane w instalacji:

- kombinowany zbiornik akumulacji ciepła (tzw. zbiornik w zbiorniku) o pojemności całkowitej wynoszącej 0,8 m³ (0,2 m³ przypada na wewnętrzny zbiornik c.w.u.),
- zbiornik buforowy o pojemności 1,5 m³.

Systemy sterowania DigiENERGY (2 szt.) w układzie regulacji kaskadowej sterowały pracą instalacji.

Współpraca pompy ciepła i kotła gazowego

Wspólna pracy pompy ciepła i kotła gazowego w instalacji była realizowana równolegle. Pompa ciepła pracowała w całym zakresie temperatur zewnętrznych. Natomiast kocioł gazowy był włączany, gdy moc pompy ciepła nie pokrywała zapotrzebowania na moc grzewczą CO, w czasie przerw w pracy pompy ciepła (potrzebnych do regeneracji dolnego źródła ciepła) oraz przy niskich wartościach współczynnika efektywności pracy pompy ciepła COP (najczęściej poniżej 3,6). Wartości współczynnika COP pompy ciepła wyliczono według równania

$$\text{COP} = \frac{Q}{P_m} \quad (1)$$

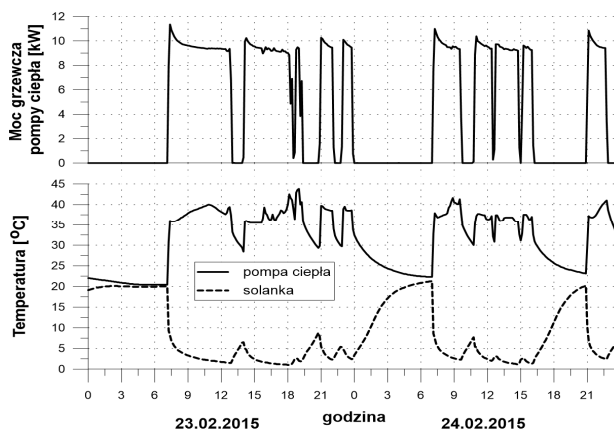
gdzie:

Q – moc grzewcza pompy ciepła, [W]

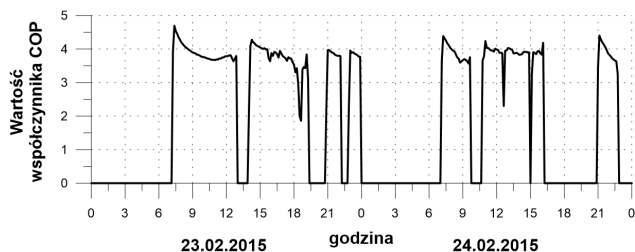
P_m – moc elektryczna pobierana przez sprężarkę, elementy regulacyjne i zabezpieczające oraz urządzenia zapewniające przepływ czynników pośredniczących w przekazywaniu ciepła wewnątrz pompy ciepła, [W].

Wyniki i dyskusja**Zmiany parametrów pracy pompy ciepła i kotła gazowego**

Na rys. 1-3 przedstawiono przykładowy przebieg zmian wybranych parametrów pracy pompy ciepła i kotła gazowego w dniach 23 i 24 lutego 2015 roku.



Rys. 1. Zmiany mocy grzewczej pompy ciepła, temperatury solanki na wylocie z gruntowego wymiennika ciepła i wody na wylocie z pompy ciepła w dniach 23-24 lutego 2015 roku

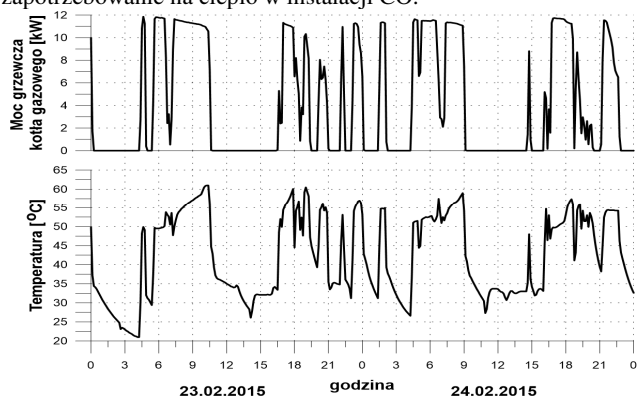


Rys. 2. Przebieg zmian wartości współczynnika COP pompy ciepła w dniach 23-24 lutego 2015

Moc grzewcza pompy ciepła (Rys. 1) po kilkunastu minutach od rozpoczęcia jej pracy obniżała się do ok. 9,5 kW, natomiast temperatura solanki wpływającej z dolnego źródła ciepła zawierała się w przedziale od 1 do 5°C. Temperatura wody na wylocie z pompy ciepła (zasileniu instalacji CO) nie przekroczyła 45°C.

Najwyższe wartości współczynnika COP (ok. 4,5) pompa ciepła uzyskiwała po kilkugodzinnej przerwie w pracy, która była ustawiona w godzinach nocnych (Rys. 2). W tym czasie zapotrzebowanie na ciepło instalacji CO było pokrywane przez kocioł gazowy (Rys. 3). W ciągu dnia większą część ciepła do instalacji doprowadzała pompa ciepła.

Kocioł gazowy, dysponujący większą mocą grzewczą w porównaniu do pompy ciepła, podgrzewał wodę do temperatury w zakresie ok. 50÷62°C (Rys. 3), co umożliwiło pokrywanie szczytowego zapotrzebowanie na ciepło w instalacji CO.



Rys. 3. Zmiany mocy grzewczej oraz temperatury wody na wylocie z kotła gazowego 23-24 lutego 2015 roku

Współpraca pompy ciepła i kolektorów słonecznych

W ciągu sezonu grzewczego DŹC powinno zapewnić taki strumień ciepła, który będzie pozwalał na pracę pompy ciepła z wysoką wydajnością. Kluczową rolę ogrywa tutaj proces regeneracji DŹC. W rozpatrywanej instalacji proces ten wspomagano m.in. poprzez doprowadzanie do DŹC dodatkowego ciepła zmagazynowanego w zasobniku buforowym, które zostało wcześniej wytworzone przez kolektory słoneczne.

Proces wspomaganie regeneracji gruntu z użyciem ciepła wytworzonego przez kolektory słoneczne prowadzono przez 11 dni września 2014 roku. Czas trwania procesu był zróżnicowany i wynosił od 2,0 do 13,5 h. Sumarycznie przekazano do DŹC 849,2 MJ ciepła, zużywając na przeprowadzenie całego procesu 70,6 MJ energii elektrycznej.

Dobową sprawność konwersji energii promieniowania słonecznego na ciepło przez kolektory słoneczne wyznaczono ze wzoru

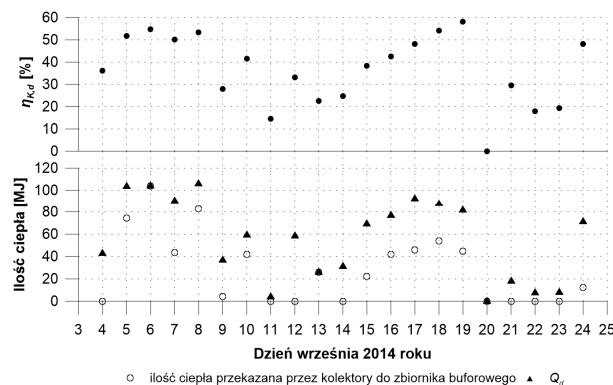
$$\eta_{K,d} = \frac{Q_d}{Q_{K,d}}, \quad (2)$$

gdzie:

Q_d – ilość ciepła wytworzonego przez kolektory słoneczne w ciągu doby, [MJ/d]

$Q_{K,d}$ – ilość energii promieniowania słonecznego padająca na całkowitą powierzchnię kolektorów w ciągu doby, [MJ/d].

Jeżeli w ciągu dnia kolektory słoneczne przekazywały wytworzone ciepło do zbiornika buforowego (Rys. 4), osiągały one wyższą sprawność (sięgającą ok. 50%) w porównaniu do dni, w których ciepło przekazywały tylko na przygotowanie c.w.u. w zbiorniku kombinowanym. We wrześniu 2014 roku średnia sprawność kolektorów słonecznych wyniosła 41,6%, co jest wynikiem prawie o 10% wyższym od średniej rocznej sprawności kolektorów słonecznych wynoszącej 32,0% w 2014 roku.



Rys. 4. Sprawność oraz produkcja ciepła przez kolektory we wrześniu 2014 r.

Podsumowanie i wnioski

Współpraca pompy ciepła z kolektorami słonecznymi, a także kotłem gazowym w instalacji hybrydowej pozwoliła na uzyskanie wysokich wartości współczynnika SPF (sezonowy współczynnik efektywności) pompy ciepła w sezonach grzewczych.

W każdym kolejnym sezonie grzewczym nie odnotowano obniżania się wartości SPF, lecz nawet niewielki jej wzrost. W sezonie grzewczym 2014/2015 wartość ta wynosiła 3,80, co było wynikiem zadowalającym w porównaniu do danych przedstawionych przez *Miarę i in.*, [2011] dla kilkudziesięciu instalacji z gruntową pompą ciepła współpracującą w warunkach rzeczywistych z ogrzewaniem niskotemperaturowym, gdzie uzyskano średnio wartości SPF od 3,63 do 3,79.

Średnia, roczna sprawność wytwarzania ciepła w warunkach rzeczywistych przez kocioł gazowy wynosiła w 2014 roku 78%, co było wynikiem zbliżonym do odnotowanego w raporcie [Energy Saving Trust, 2009], w którym dla kilkudziesięciu kotłów otrzymano roczną sprawność wynoszącą 82,5 ± 4%.

LITERATURA

- Chochowski A., Czekalski D., (2005). Badania eksploatacyjne hybrydowego systemu zasilania energią z wykorzystaniem układu archiwizacji, transmisji i przetwarzania danych. *Inż. Roln.*, 14, 45-53
- Energy Saving Trust, (2009). *Final Report: In-situ monitoring of efficiencies of condensing boilers and use of secondary heating* (10.2015): https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/180950/In-itu_monitoring_of_condensing_boilers_final_report.pdf
- Joniec W., Rybka K., Orysiak A., (2015). 19th International Symposium on High Voltage Engineering – ISH 2015. *Rynek Inst.*, 4, 8-12
- Miara M., Günther D., Kramer T., Oltersdorf T., Wapler J., (2011). *Heat pump efficiency analysis and evaluation of heat pump efficiency in real-life conditions. Final report* (10.2015): http://wp-effizienz.ise.fraunhofer.de/download/final_report_wp_effizienz_en.pdf
- Neupauer K., Gluszek A., Magiera J., (2010). Sterownik nowego typu dla instalacji hybrydowych z odnawialnymi źródłami energii. *Inż. Ap. Chem.*, (2010), 49(3), 87-88
- Paska J., Sałek M., Surma T., 2005. Wytwarzanie energii elektrycznej i ciepła w systemach hybrydowych. *Wiad. Elektr.*, 12, 3-13
- Qi Z., Gao Q., Liu Y., Yan Y.Y., Spittler J.D., (2014). Status and development of hybrid energy systems from hybrid ground source heat pump in China and other countries. *Renew. Sust. Energy Rev.*, 29, 37-51. DOI: 10.1016/j.rser.2013.08.059
- Sanner B. i in., 2013. Strategic research and innovation agenda for renewable heating & Cooling. Pub. Office EU, Luxembourg