dr inż. Adrian Trząski[1)]

Analiza porównawcza wartości sezonowego współczynnika efektywności grzewczej pomp ciepła określonej różnymi metodami

Comparative analysis of heat pump's seasonal coefficient of performance values estimated with various methods

DOI: 10.15199/33.2019.01.07

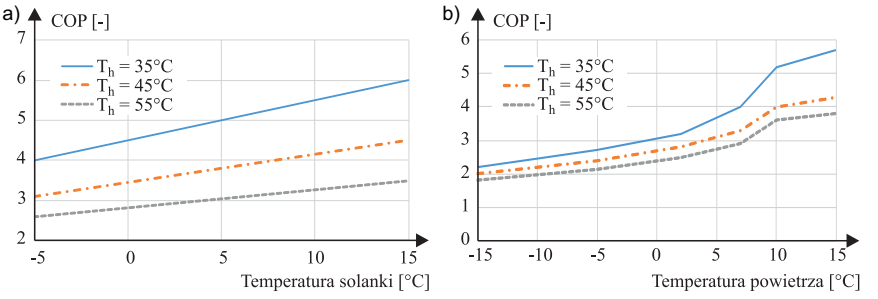
Streszczenie. W artykule porównano wartości sezonowego współczynnika efektywności grzewczej wybranych pomp ciepła, określone na podstawie normy PN-EN 14825, wytycznych VDI 4650 oraz danych szacunkowych zawartych w rozporządzeniu w sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku. W ramach przeprowadzonej analizy wskazano na różnice w uzyskanych wynikach oraz przyczyny ich występowania. Wykorzystane metody różnią się od siebie zarówno sposobem, jak i zakresem uwzględnienia poszczególnych czynników mających wpływ na wartość sCOP. Pomimo że żadna z porównywanych metod nie uwzględnia wszystkich czynników związanych z eksploatacją pomp ciepła, podkreślono, że pozwalają one na istotną poprawę jakości analiz energetycznych w stosunku do wykorzystania danych szacunkowych.

Słowa kluczowe: COP; współczynnik efektywności grzewczej; pompa ciepła; efektywność energetyczna.

Abstract. The paper presents comparison of values of seasonal coefficient of performance of selected heat pumps, determined on the basis of PN-EN 14825, VDI 4650 guidelines and estimated data provided in the regulation on the methodology for determining the energy performance of a building. In the analysis, the differences in the obtained results an well as the causes for their occurrence were indicated. The methods used differ in both the way and scope of taking into account various factors affecting the sCOP value. Although none of the compared methods takes into account all of the factors related to the operation of heat pumps, it was emphasized that they allow a significant improvement in the quality of energy analyses compared to the use of estimated data.

Keywords: COP; coefficient of performance; heat pump; energy efficiency.

Efektywność energetyczna źródeł ciepła wykorzystywanych w budynkach odgrywa kluczową rolę w kształtowaniu ich zapotrzebowania na energię końcową oraz pierwotną. Z tego względu wybór odpowiedniego źródła ciepła może decydować o spełnieniu wymagań stawianych nowo wznoszonym budynkom [10, 12, 13]. Jednym ze sposobów poprawy wskaźnika EP budynku jest wykorzystanie pomp ciepła [2], ale ze względu na silne uzależnienie ich efektywności od warunków eksploatacyjnych (rysunek 1), bardzo istotne jest prawidłowe określenie sezonowego współczynnika efektywności grzewczej (sCOP/SPF) z uwzględnieniem zarówno warunków klimatycznych, jak i parametrów instalacji grzewczej oraz przygotowania ciepłej wody użytkowej [3, 5, 11].



Rys. 1. Przykładowa zależność wartości współczynnika efektywności grzewczej pomp ciepła (COP) od warunków eksploatacyjnych: a) pompa ciepła solanka-woda; b) pompa ciepła powietrze-woda

Fig. 1. Example of dependence of the Coefficient of Performance on operating conditions of: a) brine-water heat pump; b) air-water heat pump

W zależności od dostępności danych w obliczeniach charakterystyki energetycznej budynków można wykorzystywać wartość średniej sezonowej sprawności wytwarzania ciepła określonej na podstawie danych udostępnionych przez producenta lub dostawcę źródła ciepła, wyników kontroli systemów ogrzewania lub też na podstawie danych szacunkowych przedstawionych w tabelach zawartych w metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej [9]. W związku z tym, że na etapie projektowania dostępność danych dotyczących planowanych źródeł energii jest często ograniczona jedynie do wskazania wykorzystywanej technologii, to właśnie dane szacunkowe stanowią najłatwiej dostępne źródło informacji. Dane te nie uwzględniają jednak wielu

[1)] Politechnika Warszawska; Wydział Instalacji Budowlanych, Hydrotechniki i Inżynierii Środowiska; adrian.trzaski@pw.edu.pl

podstawowych czynników wpływających na rzeczywistą efektywność pomp ciepła, takich jak ich charakterystyka techniczna, warunki klimatyczne, czy też założenia dotyczące punktu biwalentnego. Zgodnie z zapisami dyrektywy 2009/125/WE [1], od września 2015 r. pompy ciepła powinny być opatrzone odpowiednią etykietą energetyczną (oznaczaną literami od G do A+++) nadawaną na podstawie wskaźnika średniej sezonowej efektywności grzewczej. Wartość wskaźnika sCOP, określana na potrzeby certyfikacji energetycznej zgodnie z PN-EN 14825 [7], obliczana jest jednak na podstawie odgórnie narzuconych danych klimatycznych oraz deklarowanej przez producenta charakterystyki obciążenia cieplnego [6]. Z tego względu dane dotyczące efektywności energetycznej, widniejące na etykiecie energetycznej pomp ciepła, powinny służyć jedynie porównaniu różnych źródeł ciepła i nie umożliwiają poprawnej analizy ich efektywności w budynkach.

Jedną z możliwości uzyskania danych dotyczących efektywności określonej pompy ciepła w znanych warunkach eksploatacyjnych jest wykorzystanie metody obliczeniowej opisanej w normie PN-EN 14825, która z powodzeniem może być stosowana w przypadku budynków o dowolnej lokalizacji [4]. Innym rozwiązaniem jest metoda zaproponowana przez Stowarzyszenie Inżynierów Niemieckich w wytycznych VDI 4650 [14], która została wykorzystana m.in. do opracowania kalkulatora sCOP, dostępnego na stronie Polskiej Organizacji Rozwoju Technologii Pomp Ciepła [8]. Zwykle jednak największą dokładność obliczeń można uzyskać, wykorzystując specjalne programy symulacyjne, pozwalające uwzględnić najszerszy zakres parametrów mogących mieć wpływ na efektywność pomp ciepła.

Analiza porównawcza

W ramach przeprowadzonej analizy porównano sezonowy współczynnik efektywności grzewczej wybranych pomp ciepła solanka-woda oraz powietrze-woda, zasilających budynek jednorodzinny, zlokalizowany w Warszawie (III strefa klimatyczna t_{e_o} = -20°C), o obliczeniowym zapotrzebowaniu na moc grzewczą 12 kW. Średnią wartość współczynnika efektywności grzewczej określono czterema metodami:

1) na podstawie PN-EN 14825 z wykorzystaniem narzuconych danych klimatycznych;

2) na podstawie PN-EN 14825 z wykorzystaniem danych klimatycznych dla Warszawy (III strefa klimatyczna, t_{e_o} = -20°C);

3) na podstawie wytycznych VDI 4650 zaadaptowanych przez PORTPC;

4) na podstawie danych szacunkowych określonych w metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynków [9].

Moc pompy ciepła w poszczególnych przypadkach określono przy założeniu temperatury punktu biwalentnego na poziome t_{biv} = -10°C. We wszystkich wariantach przyjęto graniczną temperaturę ogrzewania t_{gr} = 12°C, a jako uzupełniające źródło ciepła grzałkę elektryczną oraz równoległy tryb pracy. W celu zilustrowania wpływu parametrów instalacji grzewczej na efektywność pompy ciepła, obliczenia wykonano w przypadku dwóch poziomów temperatury zasilania w instalacji c.o.: t_h = 35 lub 55°C. Przyjęte do obliczeń charakterystyki pomp ciepła przedstawiono w tabelach 1 i 2.

W przypadku normy PN-EN 14825 w celu obliczenia średniego współczynnika efektywności grzewczej na obszarze Europy określono trzy strefy klimatyczne:

Tabela 1. Przyjęte do obliczeń parametry pompy ciepła powietrze-woda
Table 1. Air to water heat pump properties used for calculations

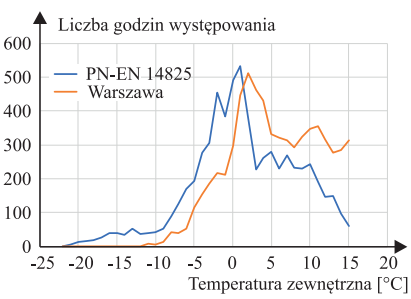
T_h [°C]	Moc/COP	Temperatura powietrza zewnętrznego [°C]					
		-20	-15	-7	2	7	12
35	q [kW]	6,8	7,4	8,8	10,8	13,5	18,3
	COP	2,0	2,2	2,6	3,2	4,0	5,4
55	q [kW]	6,7	7,6	8,7	10,5	12,2	15,5
	COP	1,6	1,8	2,1	2,5	2,9	3,7

Tabela 2. Przyjęte do obliczeń parametry pompy ciepła solanka-woda
Table 2. Brine to water heat pump properties used for calculations

T_h [°C]	Moc/COP	Temperatura solanki [°C]				
		-5	0	5	10	15
35	q [kW]	6,9	7,8	8,7	9,5	10,4
	COP	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0
55	q [kW]	5,8	6,3	6,9	7,4	7,8
	COP	2,6	2,8	3,1	3,3	3,5

- A – strefa średnia (Average) o zewnętrznej temperaturze obliczeniowej T_{e_o} = –10°C;
- C – strefa zimna (Colder) o zewnętrznej temperaturze obliczeniowej T_{e_o} = –22°C;
- W – strefa ciepła (Warmer) o zewnętrznej temperaturze obliczeniowej T_{e_o} = 2°C.

Strefy te, poza wartością obliczeniowej temperatury zewnętrznej, różnią się między sobą również liczbą godzin występowania określonych wartości temperatury oraz liczbą godzin pracy pompy ciepła. W ramach tego podziału Polska została zakwalifikowana do strefy chłodnej. Porównując liczbę godzin występowania określonej wartości temperatury powietrza zewnętrznego w strefie chłodnej oraz w przypadku typowego roku meteorologicznego dla Warszawy (rysunek 2), stwierdzono znaczne rozbieżności w czasie występowania poszczególnych wartości temperatury wskazujące na to, iż klimat w Warszawie jest cieplejszy, co powinno skutkować korzystniejszymi warunkami pracy pomp ciepła typu powietrze-woda.

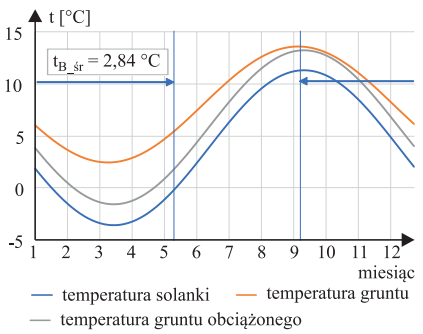


Rys. 2. Porównanie danych klimatycznych wg normy PN-EN 14825 dla klimatu „zimnego" oraz dla Warszawy
Fig. 2. Comparison of climatic data provided by PN-EN 14825 for the „Colder" climate and for Warsaw

W przypadku wytycznych VDI 4650 warunki klimatyczne są uwzględniane za pośrednictwem współczynników korekcyjnych o określonej wartości w zależności od przyjętej strefy klimatycznej, założonej maksymalnej wartości temperatury w instalacji c.o. oraz założonej temperatury granicznej ogrzewania i punktu biwalentnego. W przypadku eksploatacji pomp ciepła typu powietrze-grunt, oprócz parametrów powietrza zewnętrznego, wpływających na wymaganą wartość temperatury zasila-

nia w instalacji grzewczej, niezwykle istotna jest również wartość temperatury solanki. Temperatura ta decyduje o rzeczywistej różnicy temperatury pomiędzy dolnym (grunt) a górnym (woda zasilająca w instalacji c.o.) źródłem ciepła.

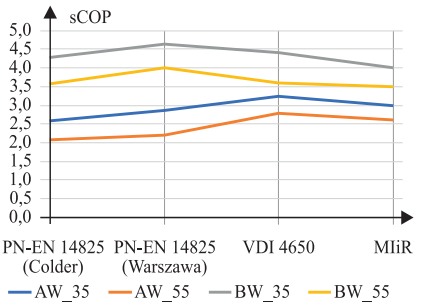
Biorąc pod uwagę charakter zmienności temperatury gruntu na głębokości ułożenia wymiennika ciepła, z uwzględnieniem jego obciążenia przez pobór ciepła za pomocą pompy ciepła, w rzeczywistości temperatura solanki może się zmieniać w ciągu roku w dość szerokim zakresie (rysunek 3).



Rys. 3. Roczny przebieg temperatury gruntu na głębokości posadowienia wymiennika ciepła: nieobciążonego, obciążonego działaniem pompy ciepła oraz temperatura solanki zasilającej pompę ciepła
Fig. 3. Annual profiles of temperature of brine and the ground at the heat exchanger depth with and without heat load of the heat pump

W ramach obliczeń wykonywanych zgodnie z normą PN-14825, zakładana jest stała wartość temperatury solanki w ciągu całego roku (np. wartość odpowiadająca typowemu punktowi pracy pompy ciepła t_B = 0°C). W przypadku wytycznych VDI 4650 temperatura solanki jest uwzględniana w obliczeniach za pośrednictwem współczynnika korekcyjnego, którego wartość zależy od przyjętej minimalnej wartości temperatury solanki w ciągu roku. Aby uwzględnić zmienność temperatury solanki w ciągu roku, w obliczeniach dla Warszawy zmodyfikowano metodę opisaną w normie PN-EN 14825, zastępując czas występowania danej wartości temperatury powietrza zewnętrznego godzinowym profilem temperatury powietrza oraz odpowiadającym mu profilem temperatury solanki, przy założeniu poziomego wymiennika ciepła ułożonego na głębokości 1,5 m.

Na podstawie wyników obliczeń (rysunek 4) zaobserwowano dość znaczne rozbieżności pomiędzy wartościami sCOP określonymi wg poszczególnych metod.



Rys. 4. Wartości sCOP uzyskane wg poszczególnych metod
Fig. 4. sCOP values obtained according to various methods

Obliczone wartości często dość znacznie odbiegają od wartości szacunkowych zawartych w rozporządzeniu w sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku (tabela 3). W zależności od wybranej metody oraz typu pompy ciepła rozbieżności te osiągały wartości od -21 do + 16%. W metodzie zgodnej z normą PN-EN 14825 wykorzystanie danych klimatycznych dotyczących konkretnej lokalizacji może w istotny sposób wpływać na wartość sCOP. W przypadku Warszawy osiągnięto wyniki o ok. 10% większe od wartości obliczonych dla klimatu zimnego.

Na podstawie otrzymanych wyników stwierdzono również dość duże rozbieżności pomiędzy wynikami uzyskanymi wg normy PN-EN 14825 oraz wytycznych VDI 4650. Znamienny jest fakt, iż rozbieżności te miały odmienny charakter w zależności od typu pompy ciepła. W przypadku pomp powietrze-woda metoda VDI 4650 dała korzystniejsze wartości sCOP niż metoda wg normy PN-EN 14825, natomiast w przypadku pomp ciepła solanka-woda metoda VDI wykazała większą wartość sCOP jedynie w odniesieniu do wartości dla klimatu zimnego, ustępując jednak wartościom określonym dla Warszawy.

Tabela 3. Rozbieżności obliczonych wartości sCOP w porównaniu z szacunkowymi zawartymi w rozporządzeniu w sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej [11]
Table 3. Deviations of the results of calculations from the estimated average sCOP values recommended by the regulation [11]

Typ	t_h [°C]	sCOP			
		PN-EN 14825 (Colder) [%]	PN-EN 14825 (Warszawa) [%]	VDI 4650 [%]	MIiR [-]
AW	35	-13	-5	8	–
	55	-21	-15	7	–
BW	35	7	16	10	–
	55	2	14	3	–

Podsumowanie

Zgodnie z wynikami analizy, wartości sCOP obliczone różnymi metodami często znacznie odbiegają od wartości szacunkowych podanych w rozporządzeniu w sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej. Potwierdza to, że wielkości te powinny być wykorzystywane jedynie w przypadku braku dokładniejszych danych, bazujących na danych producenta lub wynikach pomiarów w istniejących instalacjach. Rozbieżności te wynikają z faktu, iż zawarte w rozporządzeniu dane nie uwzględniają wielu istotnych czynników, takich jak charakterystyka konkretnego urządzenia, warunki klimatyczne, czy charakterystyka energetyczna budynku.

Różnica wyników uzyskanych poszczególnymi metodami obliczeniowymi, to efekt zakresu i sposobu uwzględnienia poszczególnych czynników. Zarówno norma PN-EN 14825, jak i wytyczne VDI 4650 uwzględniają charakterystykę pomp ciepła w podobny sposób. Ograniczenia wynikające z wykorzystania narzuconych danych klimatycznych w normie PN-EN 14825 sprawiają, że wartości sCOP obliczone na tej podstawie można wykorzystywać jedynie do porównania efektywności różnych pomp ciepła.

W przypadku normy PN-EN 14825 wykorzystanie danych klimatycznych konkretnej lokalizacji pozwala na dokładniejsze uwzględnienie wpływu lokalnych warunków pogodowych. W kontekście oceny charakterystyki energetycznej budynków zwiększa to znacznie jakość uzyskiwanych wyników.

Metoda VDI 4650 uwzględnia wprawdzie obok warunków klimatycznych takie czynniki, jak graniczna wartość temperatury powietrza zewnętrznego, czy temperatura dolnego źródła ciepła, ale jako metoda skrócona bazuje ▶

na wielu uogólnieniach. Stosowane są m.in. współczynniki poprawkowe, co sprawia, że dokładność uzyskiwanych wyników zależy w znacznej mierze od tego, w jakim stopniu analizowany przypadek odpowiada przyjętym założeniom. Z tego względu metoda opisana w normie PN-EN 14825, wykorzystująca rzeczywiste i nieprzetworzone dane, jest znacznie bardziej uniwersalna i pozwala na dosyć łatwą jej adaptację w celu uwzględnienia dodatkowych czynników.

Wykazane różnice obliczonych wartości sCOP pokazują, jak istotne jest uwzględnienie rzeczywistych warunków eksploatacyjnych. PN-EN 14825 nie uwzględnia wprawdzie takich czynników, jak wpływ zysków ciepła na profil zapotrzebowania na moc, czy też wpływ pracy przy częściowym obciążeniu na wartość COP, ale pozwala na uwzględnienie wielu parametrów, co stanowi jednak istotny krok w kierunku poprawy jakości obliczeń bazujących na danych szacunkowych.

Literatura

[1] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/125/WE z 21 października 2009 r. ustanawiająca ogólne zasady ustalania wymogów dotyczących ekoprojektu dla produktów związanych z energią (Dz.U. UE L 285/10 z 31.10.2009 r.).

[2] Kubski Piotr. 2011. „O możliwości poprawy wskaźnika EP budynku przez zastosowanie pompy ciepła". *Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja* (10): 413 – 416.

[3] Obstawski Paweł, Michał Chaberski. 2016. „Analiza techniczno-ekonomiczna zastosowania gruntowej i powietrznej pompy ciepła w budynku jednorodzinnym – studium przypadku". *Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury*, t. XXXIII, z. 63, 11 – 12: 355 – 363.

[4] Piechurski Krzysztof, Małgorzata Szulgowska-Zgrzywa. 2016. „Obliczanie rocznej efektywności pomp ciepła powietrze/woda". *Rynek Instalacyjny* (6): 35 – 40.

[5] Piechurski Krzysztof, Małgorzata Szulgowska-Zgrzywa. 2016. „Wpływ warunków klimatycznych i obciążenia cieplnego budynku na efektywność energetyczną pomp ciepła powietrze/woda z płynną regulacją mocy". *Rynek Instalacyjny* (10): 21 – 26

[6] PN-EN 14511-1:2018-08 Klimatyzatory, ziębiarki cieczy i pompy ciepła ze sprężarkami o napędzie elektrycznym, do grzania i ziębienia. Część 1: Terminy, definicje i klasyfikacja.

[7] PN-EN 14825:2016-08 Klimatyzatory, ziębiarki cieczy i pompy ciepła ze sprężarkami o napędzie elektrycznym, do grzania i ziębienia. Badanie i ocena w warunkach niepełnego obciążenia oraz obliczanie wydajności sezonowej.

[8] Polska Organizacja Rozwoju Technologii Pomp Ciepła http://portpc.pl/kalkulator-scop/ (dostęp 20.12.2018 r.).

[9] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z 18 marca 2015 r. w sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku lub części budynku oraz świadectw charakterystyki energetycznej (Dz.U. 2015, poz. 376).

[10] Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z 5 lipca 2013 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. 2013, poz. 926).

[11] Sobieraj Michał. 2015. „Sprężarkowa pompa ciepła systemu powietrze/woda. Konstrukcja i badania". *Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja* (7): 269 – 276.

[12] Trząski Adrian. 2015. „Wymagania dla budynków po 2020 roku a rozwiązania konwencjonalne i OZE – cz. 1". *Rynek Instalacyjny* (7 – 8).

[13] Trząski Adrian. 2015. „Wymagania dla budynków po 2020 roku a rozwiązania konwencjonalne i OZE – cz. 2". *Rynek Instalacyjny* (10).

[14] VDI 4650 Obliczanie pomp ciepła, Skrócona metoda obliczania rocznego współczynnika efektywności pomp ciepła, Elektryczne pompy ciepła do ogrzewania pomieszczeń i podgrzewu c.w.u.

Przyjęto do druku: 21.12.2018 r.