Wpływ warunków klimatycznych i obciążenia cieplnego budynku na efektywność energetyczną pomp ciepła powietrze/woda z płynną regulacją mocy

inż. Krzysztof Piechurski, dr inż. Małgorzata Szulgowska-Zgrzywa | Rynek Instalacyjny 10/2016 | 19.10.2016

Wiele pomp ciepła powietrze/woda wyposażanych jest obecnie w sprężarki z inwerterem. Ich zaletą jest możliwość dopasowania mocy urządzenia do chwilowych potrzeb grzewczych budynku. Przeprowadzenie analizy SCOP pompy ciepła regulowanej poprzez zmianę prędkości sprężarki przy użyciu inwertera częstotliwości wymaga pozyskania informacji na temat COP urządzenia w warunkach obciążenia częściowego, a te nie zawsze są łatwo dostępne.

W artykule *Obliczanie rocznej efektywności pomp ciepła powietrze/woda* [1] przedstawiono metodę obliczania rocznego współczynnika efektywności energetycznej pomp ciepła typu powietrze/woda proponowaną w normie PN-EN 14825 [2].
Opisano kolejne kroki obliczeniowe oraz pokazano zastosowanie tej metody do analizy wpływu danych klimatycznych wybranych miejscowości w Polsce oraz przyjętego punktu biwalentnego na roczny wskaźnik efektywności energetycznej pompy ciepła powietrze/woda regulowanej w trybie on/off.
Obecnie wiele pomp ciepła powietrze/woda wyposażanych jest w sprężarki z inwerterem. Ich zaletą jest możliwość dopasowania mocy urządzenia do chwilowych potrzeb grzewczych budynku.
Przeprowadzenie analizy SCOP pompy ciepła regulowanej poprzez zmianę prędkości sprężarki przy użyciu inwertera częstotliwości wymaga pozyskania informacji na temat COP urządzenia w warunkach obciążenia częściowego. Zasadniczo dostęp do takich danych testowych nie jest szeroko oferowany przez producentów pomp ciepła, co utrudnia przeprowadzenie odpowiednich obliczeń.
W niniejszym artykule pokazano wyniki szacowania SCOP typoszeregu pomp ciepła regulowanych w sposób płynny dla tego samego budynku jednorodzinnego, w tych samych lokalizacjach, co w pierwszej części artykułu [1].

Efektywność energetyczna pompy ciepła powietrze/woda z regulacją mocy

Dane pompy ciepła

Sezonowa efektywność pompy ciepła powietrze/woda zgodnie z zapisami normy PN-EN 14825 [2] może być wyrażona poprzez szacowany współczynnik $SCOP_{on}$, $SCOP_{net}$ i SCOP. W niniejszym opracowaniu wszystkie analizy dotyczą wartości $SCOP_{on}$, co uzasadniono w [1].
Współczynnik efektywności energetycznej pompy ciepła powietrze/woda obliczany jest na podstawie mocy grzewczej urządzenia, wartości COP (dane dostarczane przez producenta), obciążenia cieplnego budynku oraz danych dotyczących wartości temperatury zewnętrznej.
Pompy ciepła opisywane są zgodnie z PN-EN 14511 [3] poprzez dane dotyczące mocy i COP w charakterystycznych punktach definiowanych przez normę.
Dla pomp ciepła o mocy regulowanej w trybie on/off opis zamieszczany przez producentów jest najczęściej jednoznaczny i stanowi dobrą podstawę dla wszelkich symulacji.

W przypadku pomp ciepła ze sprężarką z inwerterem częstotliwości sytuacja jest zdecydowanie bardziej skomplikowana, gdyż do przeprowadzenia rzetelnej analizy pracy takiego urządzenia konieczne jest zapoznanie się z wartościami COP oraz mocy osiąganych przy zmiennym obciążeniu (a więc zmiennej częstotliwości inwertera).
Norma [3], zgodnie z którą producenci badają swoje urządzenia, nie narzuca obowiązku przedstawiania danych pompy ciepła w funkcji zmiennej prędkości pracy sprężarki. Efektem

jest najczęściej pokazywanie charakterystyk jedynie dla wybranej częstotliwości inwertera (np. maksymalnej), co dla dokładnej analizy pracy pompy ciepła jest niewystarczające. Stosunkowo często brakuje informacji, przy jakiej częstotliwości inwertera przeprowadzone zostały pomiary.
Testy przy zmiennym obciążeniu pompy ciepła zaleca norma PN-EN 14825 [2]. Ich wyniki służą do obliczenia efektywności energetycznej urządzenia na potrzeby etykiety energetycznej, nie są jednak przydatne do wykonywania analiz w warunkach odmiennych niż założone na potrzeby sporządzenia danej etykiety.
Dane pomiarowe zgodne z PN-EN 14825 [2] dostarczane są najczęściej dla wybranych temperatur zasilania i obciążeń pompy ciepła.
Porównanie wartości mocy i temperatur stanowiących podstawę obliczenia etykiety energetycznej analizowanego urządzenia z danymi stanowiącymi podstawę do obliczenia SCOP tego samego urządzenia zainstalowanego w rzeczywistym obiekcie prawdopodobnie wykaże znaczące różnice. Przełożą się one na różnice w wartości COP. W wyniku tego zdecydowano o wykonaniu obliczeń na podstawie pomiarów zgodnych z PN-EN 14511 [3]. Dane te, dla wybranego do analizy typoszeregu pomp ciepła z regulowaną sprężarką, zamieszczono w **tabeli 1** – dla minimalnej, nominalnej i maksymalnej częstotliwości inwertera.

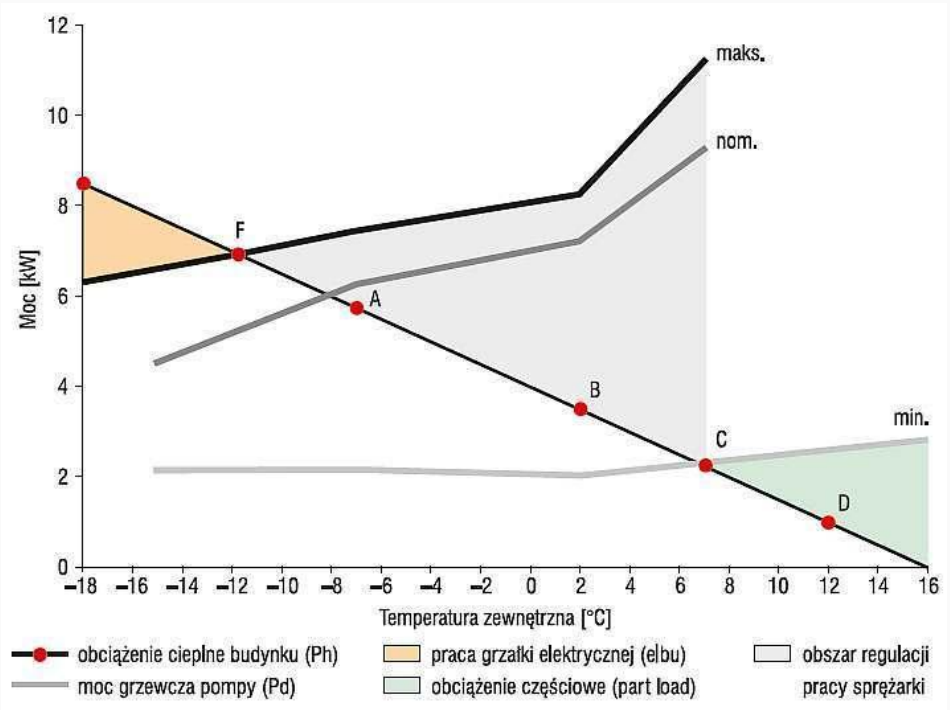
nr PC regulacja	Parametry dla temp. zasilania 35°C wg PN-EN 14511 [3]					
	częst.	T_j	–15°C	–7°C	2°C	7°C
(I)PC-1 inwerter	min.	moc, kW	2,92	2,72	2,98	3,66
		COP	2,43	3,85	3,38	4,07
	nom.	moc, kW	6,34	8,08	10,12	12,02
		COP	2,44	3,01	3,69	4,44
	maks.	moc, kW	7,99	0,09	10,82	15,82
		COP	2,02	2,30	3,08	3,86
(I)PC-2 inwerter	min.	moc, kW	2,10	2,14	2,02	2,30
		COP	2,46	3,07	3,79	4,11
	nom.	moc, kW	4,51	6,24	7,21	9,27
		COP	2,38	3,02	3,62	4,37
	maks.	moc, kW	6,62	7,46	8,25	11,21
		COP	2,46	2,89	3,34	4,00
(I)PC-3 inwerter	min.	moc, kW	1,25	1,04	1,49	1,75
		COP	2,32	2,81	3,34	4,22
	nom.	moc, kW	2,74	4,04	5,48	6,19
		COP	2,32	2,79	3,63	4,40
	maks.	moc, kW	3,92	5,17	5,68	8,12
		COP	2,10	2,31	3,12	3,50

Oznaczenia:
COP – wskaźnik efektywności pompy ciepła;
$COP_{bin}(T_j)$ – wartość COP jednostki pod obciążeniem częściowym w danej temperaturze zewnętrznej T_j;
$elbu(T_j)$ – moc elektrycznej grzałki wspomagającej w danej temperaturze zewnętrznej T_j, kW;
h_j – liczba godzin występowania danej temperatury zewnętrznej Tj;
$Ph(T_j)$ – obciążenie cieplne budynku w danej temperaturze Tj, kW;
$Pd(T_j)$ – moc grzewcza pompy ciepła powietrze/woda w danej temperaturze T_j, kW;
PLR – współczynnik obciążenia częściowego (part load ratio);
T_j – temperatura zewnętrzna w danym kroku, °C;
T_{biv} – temperatura biwalentna, °C;
T_{TOL} – minimalna temperatura pracy pompy ciepła, °C;
$T_{design,h}$ – temperatura obliczeniowa, °C;
SCOP – sezonowy współczynnik efektywności pompy ciepła (z energią dla grzałki elektrycznej oraz energią pomocniczą dla nieaktywnych trybów pracy);
$SCOP_{on}$ – sezonowy współczynnik efektywności pompy ciepła w trybie grzewczym (z energią dla grzałki elektrycznej);
$SCOP_{net}$ – sezonowy współczynnik efektywności pompy ciepła w trybie grzewczym (bez energii dla grzałki elektrycznej);
j – numer kroku (bin).

Tabela 1. Dane typoszeregu pomp ciepła o mocy regulowanej poprzez zmianę częstotliwości inwertera: moc C/A/W – moc dla strefy colder (C), average (A), warmer (W)

Przykładowa analiza pracy pompy ciepła z regulacją mocy dla budynku jednorodzinnego

Dane wejściowe do analizy to dom jednorodzinny we Wrocławiu o projektowym obciążeniu cieplnym 8,5 kW (dla $T_{design,h}$ = –18°C). Założono, że pompa ciepła (I)PC-2 współpracować będzie bezpośrednio z systemem grzewczym o temperaturze zasilania 35°C.
Obliczenia wartości $SCOP_{on}$ wykonano dla danych COP oraz mocy pompy ciepła uzyskanych z pomiarów przeprowadzonych zgodnie z normą PN-EN 14511 [3] dla trzech wybranych częstotliwości pracy inwertera – maksymalnej (maks.), nominalnej (nom.) i minimalnej (min.).
Graficzną interpretację procesu obliczeń SCOP zawiera **rys. 1**. Zaznaczone na nim punkty A–F są punktami, od których rozpoczyna się analizę.



Rys. 1. Graficzna interpretacja obliczeń według PN-EN 14825 dla analizowanej pompy ciepła z regulowaną sprężarką; rys. archiwa autorów

Obliczenia $SCOP_{on}$, zamieszczone w **tabeli 2**, wykonano zgodnie z procedurą i wzorami opisanymi w pierwszej części artykułu [1]. Jako dane wejściowe wykorzystano dane klimatyczne strefy II (reprezentowanej w niniejszym opracowaniu przez Wrocław) oraz parametry pracy urządzenia (I)PC-2 na podstawie pomiarów przeprowadzonych zgodnie z PN-EN 14511 [3], zamieszczone w **tabeli 1**.

T_j	h_j	PLR	$P_h(T_j)$	$P_d(T_j)$	COP	$COP_{bin}(T_j)$	elbu(T_j)	Energia elektryczna	Energia grzewcza
°C	h	–	kW	kW	–	–	kW	kWh	kWh
–18 ⋮ –12	2 ⋮ 21	100% ⋮ 82%	8,5 ⋮ 7,0	6,8 ⋮ 6,9	2,48 ⋮ 2,62	2,48 ⋮ 2,62	1,7 ⋮ 0,1	9 ⋮ 57	17 ⋮ 147
–11	30	79%	6,8	6,8	2,68	2,68	0,0	76	203
–10	24	76%	6,5	6,5	2,75	2,75	0,0	57	156
–9	47	74%	6,3	6,3	2,84	2,84	0,0	104	294
–8	54	71%	6,0	6,0	2,94	2,94	0,0	110	324
–7	52	68%	5,8	5,8	3,03	3,03	0,0	99	299
–6 ⋮ 6	106 ⋮ 299	65% ⋮ 29%	5,5 ⋮ 2,5	5,5 ⋮ 2,5	3,10 ⋮ 4,05	3,10 ⋮ 4,05	0,0 ⋮ 0,0	188 ⋮ 184	583 ⋮ 748
7	310	26%	2,3	2,3	4,11	4,11	0,0	170	698
8	315	24%	2,0	2,4	4,17	4,16	0,0	151	630
9	252	21%	1,8	2,4	4,24	4,21	0,0	105	441
10	247	18%	1,5	2,5	4,30	4,25	0,0	87	371
11	262	15%	1,3	2,5	4,37	4,28	0,0	77	328
12	188	12%	1,0	2,6	4,43	4,29	0,0	44	188
13	227	9%	0,8	2,6	4,49	4,28	0,0	40	170
14	168	6%	0,5	2,7	4,56	4,19	0,0	20	84
15	162	3%	0,3	2,8	4,62	3,85	0,0	11	41
							Σ	**5 008**	**17 909**
									$SCOP_{on}$ = 3,58

Tabela 2. Obliczenie SCOP według normy PN-EN 14825 dla urządzenia w budynku we Wrocławiu

Wartości dla temperatur zewnętrznych, dla których nie prowadzono badań, uzyskano poprzez interpolację/ekstrapolację liniową.

W przypadku pomp ciepła regulowanych za pomocą inwertera zmiana mocy urządzenia wpływa na chwilowe wartości COP.

W zakresie regulacji (pomiędzy maksymalną a minimalną prędkością pracy sprężarki) następuje, w przybliżeniu, dopasowanie generowanej mocy grzewczej do chwilowych potrzeb budynku. Powyżej lub poniżej tego zakresu praca przebiega przy stałej częstotliwości inwertera (odpowiednio maksymalnej lub minimalnej).

W dokładnej ocenie pracy takiego urządzenia problemem okazuje się niekiedy brak dostępu do odpowiednich danych. Idealnym rozwiązaniem byłaby znajomość charakterystyki zmienności mocy i COP w zależności od częstotliwości inwertera.

W analizowanym przypadku dostępne były wartości dla minimalnej oraz maksymalnej prędkości pracy sprężarki, a ponadto charakterystyka dla częstotliwości nominalnej, czyli takiej, przy której pompa ciepła pracuje w najbardziej efektywny energetycznie sposób. Dane te pozwalają na sporządzenie wykresu rzeczywistego przebiegu mocy i COP przy współpracy z analizowanym budynkiem.

Na podstawie charakterystyki obciążenia cieplnego budynku określono hipotetyczny przebieg mocy urządzeń z regulacją oraz odpowiadające mu przebiegi chwilowych COP przy zmiennej temperaturze zewnętrznej.

W analizowanym przypadku w zakresie temperatur zewnętrznych od –18 do –11°C (rys. 1, tabeli 2) moc pompy ciepła nie jest wystarczająca i jej praca wspomagana jest pracą grzałki elektrycznej.
Powyżej temperatury punktu biwalentnego w przypadku pompy ciepła z regulacją następuje dopasowanie mocy urządzenia do potrzeb grzewczych budynku, a tym samym zmienia się częstotliwość inwertera. Zmiana ta jest dodatkowym parametrem koniecznym do uwzględnienia przy interpolacji wartości COP.

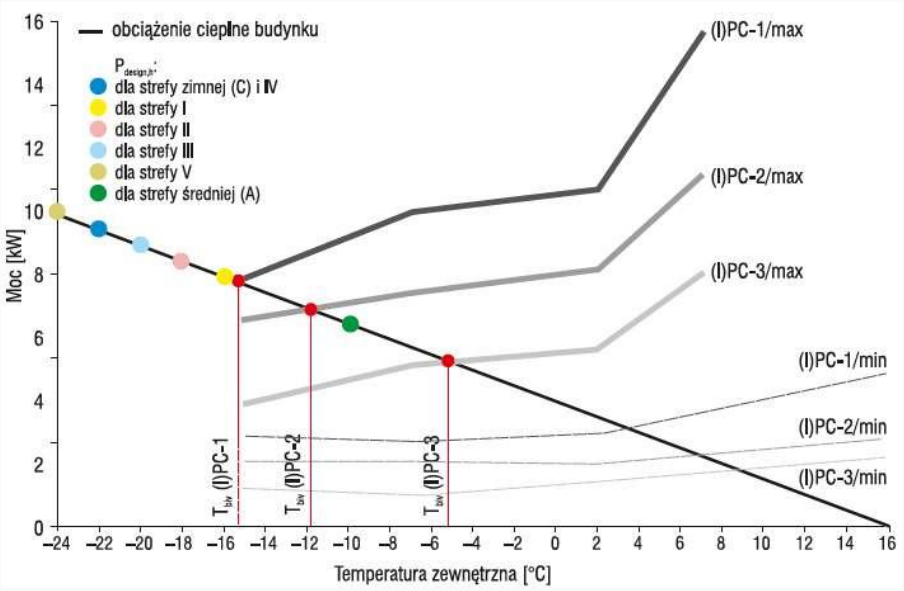
Poniżej mocy odpowiadającej pracy z minimalną prędkością inwertera pompa ciepła przechodzi w tryb regulacji on/off. Dopiero wtedy, a więc w znacznie mniejszym zakresie niż w przypadku pomp ciepła bez regulacji, istotnym czynnikiem korygującym wartość COP staje się wpływ współczynników uwzględniających cykliczną pracę urządzenia przy obciążeniu częściowym.

W tabeli 2 zmniejszenie to widoczne jest w coraz niższej wartości $COP_{bin}(T_j)$ w stosunku do COP wraz ze spadkiem obciążenia cieplnego, a więc wzrostem różnicy między zapotrzebowaniem na ciepło do ogrzewania a minimalną mocą generowaną przez pompę ciepła.

W przykładzie przedstawionym w tabeli 2 i na rys. 1 sytuacja ta widoczna jest powyżej temperatury zewnętrznej 7°C.
Wartość $SCOP_{on}$ obliczona jest na podstawie ilorazu oszacowanej ilości wyprodukowanej energii cieplnej i zużytej energii elektrycznej. Ze względu na to, że daną wejściową do obliczeń jest projektowe obciążenie cieplne, wartości te są prawdopodobnie zawyżone względem realnego zużycia energii (nie uwzględniono zysków ciepła), jednak sama wartość $SCOP_{on}$ powinna dość dobrze odzwierciedlać efektywność urządzenia w analizowanym obiekcie.

Opis obliczeń

Przykładowe obliczenia sezonowej efektywności energetycznej dla typoszeregu trzech pomp ciepła powietrze/woda regulowanych w trybie on/off wykonano w pierwszej części artykułu [1].
W niniejszym artykule zaprezentowano wyniki podobnych obliczeń dla typoszeregu pomp ciepła regulowanych za pomocą inwertera częstotliwości pracy sprężarki. Obliczenia dla wszystkich pomp ciepła i stref klimatycznych wykonano analogicznie do przykładu zamieszczonego w poprzednim punkcie artykułu. Dopasowanie mocy poszczególnych urządzeń do obciążenia cieplnego budynków zaprezentowano na **rys. 2**. Wybrano urządzenia, których charakterystyki COP są zbliżone do charakterystyk pomp ciepła analizowanych w poprzednim artykule [1] (regulowanych on/off), co przedstawiono w **tabeli 1** i w **tabeli 3** (przypomnienie charakterystyk pomp ciepła bez inwertera).



Rys. 2. Projektowe obciążenie cieplne budynku i punkty biwalentne dla analizowanego typoszeregu pomp ciepła; rys. archiwa autorów

Nr PC regulacja	Parametry dla temp. zasilania 35°C wg PN-EN 14511 [3]				
	T_j	–15°C	–7°C	2°C	7°C
PC-1 on/off	moc, kW	5,90	7,30	9,40	11,30
	COP	2,28	3,10	4,00	4,70
PC-2 on/off	moc, kW	4,20	5,50	7,20	8,40
	COP	2,60	3,20	4,20	4,80
PC-3 on/off	moc, kW	2,97	4,00	5,10	6,40
	COP	2,20	2,90	3,80	4,60

Tabela 3. Dane typoszeregu pomp ciepła o mocy regulowanej w trybie on/off: moc C/A/W – moc dla strefy colder (C), average (A), warmer (W)

Obliczenia, z założeniem stałej temperatury zasilania instalacji 35°C, wykonano dla strefy zimnej (C) oraz średniej (A), a także dla miast z pięciu stref klimatycznych Polski: Kołobrzegu, Wrocławia, Lublina, Olsztyna oraz Suwałk.
Przyjęto identyczną izolacyjność cieplną obiektu we wszystkich lokalizacjach, co skutkuje różnym obciążeniem cieplnym budynku w różnych strefach klimatycznych.

Wyniki analizy

Wyniki obliczeń $SCOP_{on}$, zarówno dla pomp ciepła regulowanych w trybie on/off, jak i za pomocą inwertera częstotliwości, zestawiono na **rys. 3** i **rys. 4**.

Klimat	Strefa zimna (C)	Suwałki (strefa V)	Olsztyn (strefa IV)	Lublin (strefa III)	Wrocław (strefa II)	Kołobrzeg (strefa I)	Strefa średnia (A)
T_{obl}, °C	–22	–24	–22	–20	–18	–16	–10
P_{obl}, kW	9,5	10,0	9,5	9,0	8,5	8,0	6,5
	3,27	3,27	3,56	3,49	3,58	3,84	3,74
$SCOP_{on}$							
	100%	100%	109%	107%	109%	117%	114%

Rys. 3. Wartości $SCOP_{on}$ dla optymalnie dobranego urządzenia z płynną regulacją mocy w każdej ze stref klimatycznych; rys. archiwa autorów

Rys. 4. Wartości SCOPon dla wszystkich konfiguracji analizowanego systemu grzewczego; rys. archiwa autorów

Klimat	Strefa zimna (C)			Suwałki (strefa V)			Olsztyn (strefa IV)			Lublin (strefa III)			Wrocław (strefa II)			Kołobrzeg (strefa I)			Strefa średnia (A)		
nr urz.	(I)PC-1	(I)PC-2	(I)PC-3	(I)PC-1	(I)PC-2	(I)PC-3	(I)PC-1	(I)PC-2	(I)PC-3	(I)PC-1	(I)PC-2	(I)PC-3	(I)PC-1	(I)PC-2	(I)PC-3	(I)PC-1	(I)PC-2	(I)PC-3	(I)PC-1	(I)PC-2	(I)PC-3
T_{biv}, °C	–15	–12	–5	–15	–12	–5	–15	–12	–5	–15	–12	–5	–15	–12	–5	–15	–12	–5	–15	–12	–5
	3,16	3,27	2,73	3,16	3,27	2,69	3,35	3,56	3,13	3,31	3,49	2,97	3,41	3,58	3,18	3,62	3,84	3,72	3,55	3,74	3,53
$SCOP_{on}$																					
	-3%	100%	-17%	-3%	100%	-18%	-6%	100%	-12%	-5%	100%	-15%	-5%	100%	-11%	-6%	100%	-3%	-5%	100%	-6%

Efektywność energetyczna pomp ciepła regulowanych w trybie on/off, na podstawie obliczeń przedstawionych w pierwszej części artykułu [1]

nr urz.	PC-1	PC-2	PC-3	PC-1	PC-2	PC-3	PC-1	PC-2	PC-3	PC-1	PC-2	PC-3	PC-1	PC-2	PC-3	PC-1	PC-2	PC-3	PC-1	PC-2	PC-3
T_{biv}, °C	–11	–7	–3	–11	–7	–3	–11	–7	–3	–11	–7	–3	–11	–7	–3	–11	–7	–3	–11	–7	–3
$SCOP_{on}$	2,95	3,05	2,59	2,95	3,02	2,53	3,19	3,43	2,98	3,10	3,28	2,79	3,14	3,40	3,00	3,25	3,68	3,57	3,22	3,59	3,35

Pomimo możliwości płynnej regulacji osiąganej mocy wartości $SCOP_{on}$ pomp ciepła z inwerterem częstotliwości wykazują podobną do urządzeń bez możliwości płynnej regulacji wrażliwość na zmianę przyjętych do obliczeń danych klimatycznych oraz punktu biwalentnego.

Rozbieżności w wynikach dla poszczególnych stref są znaczące i w skrajnym przypadku (Kołobrzeg i Suwałki) wynoszą ponad 17%. Dla przypomnienia – dla analizowanego w artykule [1] typoszeregu pomp ciepła bez regulacji było to 21%.

Warto również ponownie podkreślić konieczność świadomego podejścia do wyników uzyskanych dla strefy klimatu zimnego (C) (właściwego wg [2] dla Polski), dla której osiągnięty wynik (3,27) jest najniższy z analizowanych i właściwy jedynie dla najzimniejszej, V strefy (Suwałki).

Zdecydowanie wyższe (od 7 do 17%) wartości $SCOP_{on}$dla pozostałych stref obszaru Polski wskazują na zasadność wykorzystania do analiz efektywności energetycznej danych klimatycznych jak najbardziej zbliżonych do rzeczywistych.

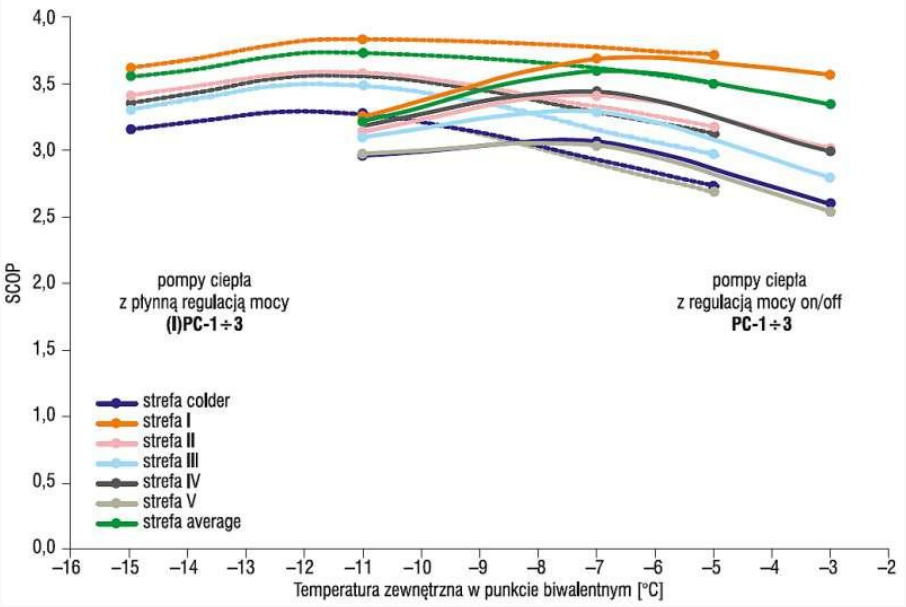
Pomimo możliwości zmniejszenia lub zwiększenia generowanej mocy, również pompy ciepła z płynną regulacją w przypadku nieodpowiednio dobranej wielkości urządzenia pracują ze znacznie gorszymi, w stosunku do doboru optymalnego, wartościami $SCOP_{on}$. Wynika to m.in. ze spadku COP urządzenia w okresach pracy z maksymalną prędkością sprężarki, wzrostu ilości energii zużywanej przez wspomagającą grzałkę elektryczną (znaczące w przypadku niedowymiarowania jednostki) oraz koniecznością regulacji w trybie on/off w przypadku zapotrzebowania niższego od minimalnej mocy generowanej przy najniższych prędkościach sprężarki (przewymiarowanie jednostki).

Rozbieżności względem najlepszego urządzenia w przypadku niedowymiarowania wynoszą od 3 do 18%, co nie odbiega od wartości uzyskanych dla pomp regulowanych w trybie on/off.

Problem niedowymiarowania jest oczywiście mniej istotny w cieplejszych regionach (przykład: Kołobrzeg) i bardziej istotny w regionach chłodniejszych (przykład: Suwałki).

Spadek wartości $SCOP_{on}$ wynika głównie ze wzrostu udziału energii elektrycznej dostarczanej do grzałki pomocniczej. Ten dość istotny spadek wartości $SCOP_{on}$ dla najmniejszej pompy w typoszeregu dostarcza informacji, że punkt biwalentny na poziomie –5°C jest zbyt wysoki dla obszaru Polski.

Wpływ przewymiarowania urządzenia jest natomiast w przypadku analizowanego typoszeregu mniej istotny (od 3 do 6%). Jednak dodatkową niekorzystną konsekwencją zbyt niskiej temperatury punktu biwalentnego będzie wzrost kosztów inwestycji.
Przy porównywaniu wartości $SCOP_{on}$ dla analizowanych pomp ciepła z regulacją płynną i on/off wyraźnie widoczne jest uzyskiwanie nieco lepszych (o 4–7%) sezonowych efektywności energetycznych przez pompy ciepła z płynną regulacją mocy (**rys. 5**).



Rys. 5. Wpływ doboru punktu biwalentnego na wartość SCOP obu analizowanych typoszeregów pomp ciepła powietrze/woda; rys. archiwa autorów

Różnice w wynikach spowodowane są różnym wpływem współczynnika degradacji opisującego straty wynikające z cyklicznej pracy (regulacji on/off) pomp ciepła oraz faktem uwzględniania zmiany wartości COP w wyniku zmiany częstotliwości pracy inwertera dla urządzeń z płynną regulacją.

Regulacja za pomocą cyklicznych włączeń i wyłączeń ma na tyle istotny dla analizowanych urządzeń wpływ, że pomimo charakterystyki COP przebiegającej powyżej charakterystyki urządzeń wyposażonych w inwerter częstotliwości osiągają one niższe wartości $SCOP_{on}$.

Urządzenia regulowane w trybie on/off wykazały też dużą wrażliwość na odchylenia od optymalnego punktu biwalentnego.

Jak pokazano na **rys. 4**, zastosowanie pompy ciepła z przetwornikiem częstotliwości umożliwia obniżenie punktu biwalentnego instalacji (w analizowanym przypadku z –7 do –12°C) bez pogorszenia osiąganych wartości $SCOP_{on}$. Wpływa to na większą pewność niskich kosztów eksploatacji instalacji nawet w okresie występowania bardzo niskich temperatur zewnętrznych dzięki zmniejszeniu udziału grzałki elektrycznej w produkcji energii cieplej.

Podsumowanie

Przedstawiona w artykule analiza szacowanych wartości $SCOP_{on}$ pomp ciepła powietrze/woda dla przykładowego domu jednorodzinnego potwierdza, że urządzenia te z powodzeniem mogą być stosowane jako samodzielne źródło ciepła do ogrzewania pomieszczeń.

Pomimo przeciwnej zmiany mocy urządzenia w stosunku do obciążenia cieplnego budynku poprawnie dobrana pompa ciepła tego typu (szczególnie wyposażona w przetwornik częstotliwości) osiąga zadowalające wartości SCOP nawet w statystycznie najzimniejszych obszarach Polski (np. 3,27 dla Suwałk).

Dla regionu najcieplejszego ta sama PC osiągnie prawdopodobnie SCOP wyższy o ok. 17% (3,84 dla Kołobrzegu).

Przy źle zaprojektowanej mocy (nieodpowiednim punkcie biwalentnym) osiągana efektywność może się jednak znacznie obniżyć, niezależnie od stosowanego sposobu regulacji. W analizowanym przypadku rozbieżności te wynosiły nawet do –18% względem najkorzystniej dobranego urządzenia.

Zaprezentowana metoda obliczeniowa, opisana w normie PN-EN 14825, dość dobrze nadaje się do analizy pracy pomp ciepła powietrze/woda. Pozwala oszacować wartość $SCOP_{on}$ zarówno pomp ciepła z regulacją mocy w trybie on/off, jak i płynną.

Co ważne, do oszacowania należy wykorzystać dane dotyczące obciążenia cieplnego konkretnego obiektu oraz dane klimatyczne z planowanej lokalizacji urządzenia (budynku).

Wpływ danych klimatycznych jest wyraźnie widoczny w wynikach metody obliczeniowej.

Pewną niedogodnością jest powszechny brak danych wejściowych do obliczeń pomp ciepła z regulacją mocy. Jednak jeśli dane takie są dostępne, nie należy ich pomijać w obliczeniach, gdyż wpływ częstotliwości inwertera widoczny jest zarówno w wartości mocy pompy ciepła, jak i COP.

Płynna zmiana mocy pompy ciepła z regulacją zmniejsza wpływ współczynnika degradacji na wartość $SCOP_{on}$urządzenia.

Na zakończenie podkreślić należy, że warto poświęcić czas na poprawny dobór pomp ciepła powietrze/woda. Proces ten każdorazowo powinien być poprzedzony analizą współpracy urządzenia z budynkiem, wykonaną przez osoby mające odpowiednią wiedzę w tej dziedzinie.

Literatura

1. Piechurski K., Szulgowska-Zgrzywa M., *Obliczanie rocznej efektywności pomp ciepła powietrze/woda*, „Rynek Instalacyjny” nr 6/2016, s. 35–40.
2. PN-EN 14825:2014-02 *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.*
3. PN-EN 14511-1:2014-02 *Klimatyzatory, ziębiarki cieczy i pompy ciepła ze sprężarkami o napędzie elektrycznym, do grzania i ziębienia. Część 1: Terminy, definicje i klasyfikacja.*

Źródło: Rynek Instalacyjny: http://www.rynekinstalacyjny.pl/artykul/id4121,wplyw-warunkow-klimatycznych-i-obciazenia-cieplnego-budynku-na-efektywnosc-energetyczna-pomp-ciepla-powietrzewoda-z-plynna-regulacja-mocy