

# Sezonowy współczynnik efektywności pomp ciepła (SPF) – metody obliczeniowe

dr inż. Bartosz Radomski, Wydział Inżynierii Środowiska i Inżynierii Mechanicznej, Katedra Budownictwa i Geoinżynierii, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

## 1. Wprowadzenie

Koncentracja na budynkach o niemal zerowym zużyciu energii (nZEB) spowodowała, że dostarczane do nich niskotemperaturowe ciepło w sezonie grzewczym oraz wysokoparametrowy chłód w sezonie chłodniczym mogą pochodzić wyłącznie ze źródeł odnawialnych [1, 2]. Jedną z możliwości jest zastosowanie rozwiązań technicznych bazujących na wykorzystaniu jako źródła ciepła i chłodu pomp ciepła, które cieszą się coraz to większym zainteresowaniem ze strony potencjalnych użytkowników, inwestorów, projektantów czy wykonawców systemów grzewczych. Podstawowym wskaźnikiem porównawczym dla pomp ciepła w trybie grzewczym jest współczynnik wydajności grzewczej (COP) definiowany jako stosunek mocy grzewczej do pobieranej mocy elektrycznej, obliczany zgodnie z normą PN-EN 14511. Dla pomp ciepła gruntowych podawany najczęściej dla parametrów W10/W35 (woda-woda) lub B0/W35 (grunt-woda), natomiast dla pomp ciepła typu powietrze-woda A-7/W35 lub A2/W35. Z kolei dla pomp ciepła w trybie chłodniczym podstawowym wskaźnikiem porównawczym jest współczynnik wydajności chłodniczej (EER) definiowany jako stosunek mocy chłodniczej do pobieranej mocy elektrycznej, obliczany zgodnie z normą PN-EN 14511. Dla pomp ciepła typu powietrze-woda podawany najczęściej dla parametrów A35/W7 lub A35/W18 [3–7].

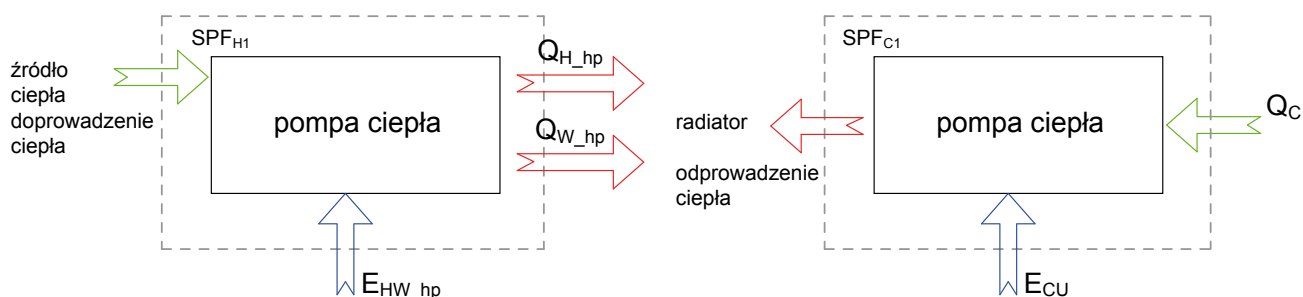
Ze względu na to, iż parametry zarówno dolnego, jak i górnego źródła ciepła mogą być zmienne w ciągu roku, wskaźnik ten jest często niewystarczający do podjęcia odpowiedniej decyzji w kwestii wyboru konkretnego rozwiązania, a już kompletnie nie nadaje się do porównania dwóch różnych układów technologicznych z użyciem tego samego

urządzenia. Tym bardziej że w klimacie chłodnym (Polska) dla budynków energooszczędnych i pasywnych do 80% zapotrzebowania na ciepło na cele grzewcze mieści się w przedziale temperatur od  $-9^{\circ}\text{C}$  do  $+9^{\circ}\text{C}$ . Dla pomp ciepła typu powietrze-woda oprócz temperatury powietrza zewnętrznego istotna jest jego zawartość wilgoci, co ogółem można nazwać potencjałem energetycznym wilgotnego powietrza zewnętrznego (otoczenia). Miarą obejmującą efektywność wytwarzania ciepła pomp ciepła w trybie grzewczym i chłodniczym w ciągu roku jest sezonowy współczynnik efektywności pomp ciepła (SPF). Osiąga on wysoką wartość w przypadku, gdy w trybie grzewczym temperatura górnego źródła ciepła jest możliwie jak najniższa oraz temperatura dolnego źródła możliwie jak najwyższa, natomiast w trybie chłodniczym – odwrotnie. Generalnie osiąga on wysoką wartość, jeżeli różnica temperatur między dolnym a górnym źródłem ciepła jest jak najmniejsza. Kolokwialnie współczynnik SPF charakteryzuje jakość układu technologicznego, im jest on wyższy, tym bardziej energooszczędny jest system wytwarzania ciepła i/lub chłodu.

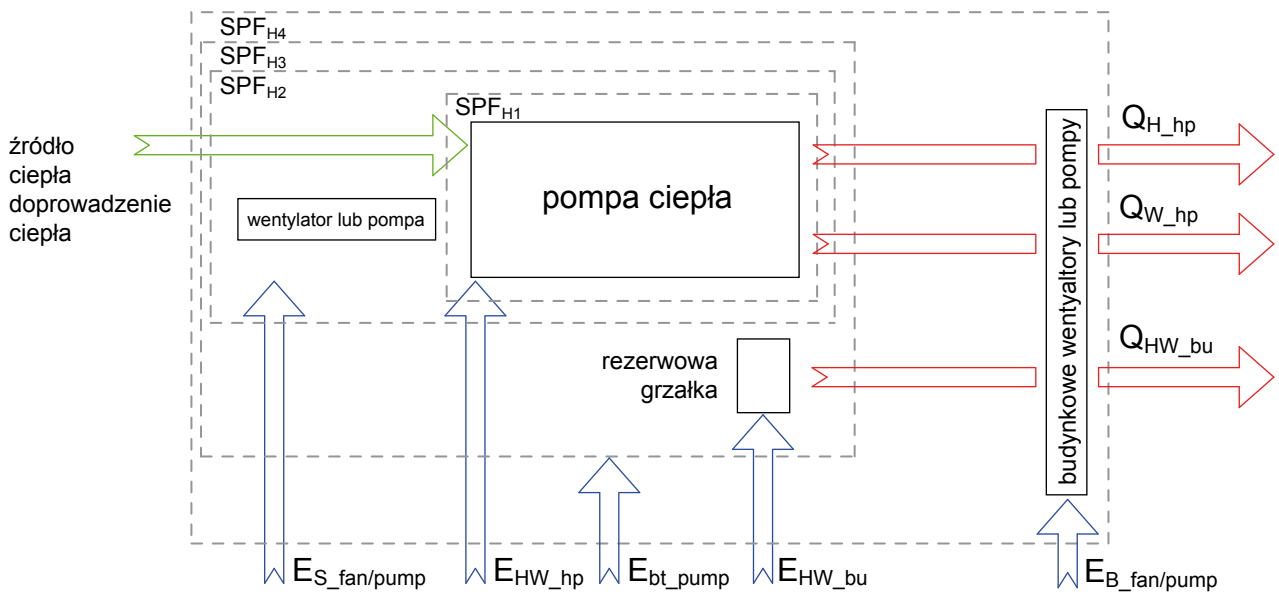
Budynki lub obszary zurbanizowane można traktować jako układy termodynamicznie otwarte, przez co możliwe jest ich bilansowanie, wykorzystując zgodnie z I zasadą termodynamiki równanie bilansu energii [8]. W taki sam sposób można potraktować źródło ciepła i chłodu w postaci pompy ciepła, uwzględniając różne granice osłony kontrolnej układu termodynamicznego (rys. 1).

## 2. Metodyka obliczeń SPF

Istnieje kilka metod obliczeniowych służących do wyznaczenia sezonowego współczynnika efektywności pomp ciepła



Rys. 1. Ogólne granice systemu  $SPF_{H1}$  i  $SPF_{C1}$  – według SEPAMO [9]



Rys. 2. Różne granice systemu w trybie grzewczym  $SPF_{H1, H2, H3, H4}$  – według SEPAMO [9]

SPF zgodnie z polskimi wytycznymi. Wskaźnik ten jest używany głównie w celu empirycznych porównań pracy rzeczywistych instalacji względem współczynnika efektywności COP/EER deklarowanego przez producentów i obliczane w kontrolowanych warunkach laboratoryjnych.

Na podstawie wyników pomiarów zebranych w ciągu całego roku lub kilku lat można wyznaczyć wskaźnik SPF zgodnie ze znanymi metodami obliczeniowymi. Dane dotyczące wydajności w poszczególnych trybach pracy dla rocznych warunków klimatycznych stanowią wartości reprezentatywne dla danego roku, które kolejno odnosząc do danych klimatycznych wieloletnich, mogą zobrazować rzeczywiste zużycie energii w budynku w perspektywie długoterminowej. Znając sezonową wydajność systemu, w prosty sposób można obliczyć jej rentowność, czy przyszłe wydatki ponoszone na utrzymanie komfortu klimatycznego w danym obiekcie. Otrzymane wyniki metodą doświadczalną dla konkretnego budynku z określonym systemem utrzymania komfortu klimatycznego z wykorzystaniem pompy ciepła są trudne do porównania z innymi obiektami z tożsamym technicznym wyposażeniem obiektu. Trudnością jest obiektywizacja stosowania konkretnego systemu jako rozwiązania rekomendowanego (reprezentatywnego), gdyż efektywność systemu zależy od wielu zmiennych, począwszy od samego zapotrzebowania na energię obiektu, poprzez procentowy udział na cele grzewcze lub na cele przygotowania ciepłej wody użytkowej, czy wykorzystanie pasywnego chłodzenia w celu regeneracji dolnego źródła ciepła, po klimat czy warunki geologiczne. Dla budynków niskoenergetycznych i pasywnych współczynnik SPF w trybie grzewczym będzie kształtować się raczej na niskim poziomie, przede wszystkim z uwagi na znaczną przewagę ilości energii potrzebnej do przygotowania wysokotemperaturowego ciepła na cele podgrzewu ciepłej wody użytkowej w stosunku

do niskotemperaturowego ciepła na cele ogrzewcze budynków. Odwrotna sytuacja będzie mieć miejsce dla współczynnika SPF w trybie chłodniczym, gdzie dla przedmiotowych obiektów z wykorzystaniem najczęściej wyłącznie pasywnego chłodzenia osiąga się bardzo wysokie wartości współczynnika. Sezonowy współczynnik efektywności pompy ciepła (SPF) w trybie grzewczym jest najczęściej wyrażany jako stosunek ciepła dostarczanego do systemu ciepłowniczego (łącznie z ciepłem na cele przygotowania c.w.u.) do energii elektrycznej napędowej pompy ciepła. W zależności od przyjętej osłony kontrolnej zalicza się tu energię elektryczną dla obsługi sprężarki pompy ciepła, pomp obiegowych (obiegu dolnego oraz górnego źródła ciepła), wentylatorów czy grzałki elektrycznej. Różny poziom szczegółowości określonej jako wkład energetyczny prowadzi do różnych wartości SPF danego systemu zaopatrzenia w ciepło. Zmienny poziom szczegółowości podawany jako dane wejściowe na różnych etapach obliczania SPF prowadzi do innych wartości współczynnika. Sezonowy współczynnik efektywności pompy ciepła (SPF) można obliczyć dla kilku osłon kontrolnych (rys. 2) i w zależności od badanej osłony kontrolnej należy mierzyć i archiwizować inną ilość danych (tab. 1).

W przypadku pomp ciepła typu powietrze-woda w badaniu Fraunhofera [9] wiele ze wskazanych w tabeli 1 parametrów jest tożsamych. Dane dotyczące dolnego źródła ciepła są zastępowane danymi dotyczącymi wentylatorów zlokalizowanych w jednostce zewnętrznej. Dodatkowo mierzy się temperaturę zewnętrzną i wilgotność względną powietrza zewnętrznego.

Granica bilansowa  $SPF_{H1}$  uwzględnia wyznaczenie współczynnika SPF tylko dla samej sprężarki pompy ciepła.  $SPF_{H2}$  obejmuje swoim zakresem również pompy obiegowe/wentylatory dolnego i górnego źródła ciepła.  $SPF_{H3}$  obejmuje dodatkowo grzałkę szczytową/ogrzewanie rezerwowe, natomiast

**Tabela 1.** Mierzone parametry pomp ciepła solanka/woda w badaniu Frauhofera [9]

	Czas pracy	Ilość energii	Konsumpcja energii	Temperatura zasilania	Temperatura powrotu	Przepływ	Dostarczone ciepło w czasie pracy	Średnia moc w czasie pracy
	[h]	[kWh]	[kWh]	[°C]	[°C]	[m <sup>3</sup> /h]	[kW]	[kW]
	suma	suma	suma	średnia	średnia	średnia	średnia	średnia
Pompa ciepła – łącznie	X		X				X	X
Sprężarka	X		X					X
Górne źródło ciepła		X		X	X	X	X	
Dolne źródło ciepła		X		X	X	X	X	
Instalacja dystrybucji ciepła CO		X		X	X	X	X	
Instalacja dystrybucji ciepła CWU		X		X	X	X	X	
Szczytowe źródło ciepła			X					X
Wyposażenie pomiarowe			X					X
Pompa obiegowa instalacji dystrybucji ciepła CO			X					X
Pompa obiegowa górnego źródła ciepła			X					X
Pompa obiegowa dolnego źródła ciepła			X					X

SPF<sub>H4</sub> zawiera jeszcze urządzenia służące do dystrybucji ciepła, tj. wentylatory lub pompy obiegowe po stronie dystrybucji. Minimalną ilość zbieranych danych dla różnych typów pomp ciepła, przedstawiono w tabeli 2.

### 3. Charakterystyka dostępnych metod

Dostępnych jest kilka metod obliczeniowych służących do wyznaczania efektywności energetycznej pracy pomp ciepła. Uwzględniają one poszczególne rodzaje pomp ciepła, w tym typu powietrze-woda (ASHP), typu gruntowe glikol/woda (GSHP), typu woda-woda (WSHP), typu powietrze-powietrze (AIR/AIR), a także różne rodzaje trybu pracy,

w tym grzanie, chłodzenie, przygotowanie CWU, połączone działanie oraz praca w warunkach częściowego obciążenia. Niektóre metody obliczeniowe są bardziej dokładne i uwzględniają w swoim algorytmie więcej aspektów, w tym m.in. pompy obiegowe i wentylatory, okres rozmrażania, straty w trybie czuwania, regulację wydajności cykli włączania/wyłączania. Macierz dostępnych metod obliczeniowych wraz ze wskazaniem ich daty wydania przedstawiono w tabeli 3. Wszystkie przedstawione w dalszej części metody są aktualnie obowiązujące.

Modele obliczeniowe/algorytmy poszczególnych metod obliczeniowych wraz ze wskazaniem granic stosowania danej metody omówiono poniżej.

**Tabela 2.** Mierzone parametry dla różnych typów pomp ciepła [9]

		A/W	DX/W	B/W	W/W	A/A
Pobór energii elektrycznej – ogółem	[kWh]	X	X	X	X	X
Szczytowe źródło ciepła	[kWh]	X	X	X	X	X
Pobór energii elektrycznej – pompy/wentylatory dla DŻC	[kWh]	X	X	X	X	
Pobór energii elektrycznej – pompy/wentylatory dla GŻC	[kWh]	X	X	X	X	
Energia wyjściowa ogrzewanie/chłodzenie	[kWh]	X	X	X	X	X
Energia na cele CWU	[kWh]	X	X	X	X	opcja
SPF zgodnie z granicami systemu	[-]	X	X	X	X	X
Średnia temperatura zasilania GŻC	[°C]	X	X	X	X	X
Średnia temperatura powrotu GŻC	[°C]	X	X	X	X	X
Średnia temperatura zasilania – dystrybucja	[°C]	X	X	X	X	
Średnia temperatura powrotu – dystrybucja	[°C]	X	X	X	X	
Średnia temperatura zasilania DŻC	[°C]			X	X	
Średnia temperatura powrotu DŻC	[°C]			X	X	
Średnia temperatura w pomieszczeniu	[°C]	X	X	X	X	X
Średnia temperatura powietrza zewnętrznego	[°C]	X	X	X	X	X
Średnia wilgotność względna powietrza zewnętrznego	[%]	X				X

Tabela 3. Zestawienie aktualnych metod wyznaczania efektywności energetycznej pomp ciepła

Rok wydania	Model obliczeniowy dla SPF	Rodzaj pompy ciepła				Tryb pracy				Aspekty w obliczaniu mocy					Obliczenia	
		ASHP	GSHP/WSHP	AIR/AIR	Grzanie	Chłodzenie	Przygotowanie CWU	Połączone działanie	Częściowe obciążenie	Uwzględnia pompy i wentylatory	Okres rozmrażania	Straty w trybie czuwania	Regulacja wydajności cykli włączania/wyłączania	Inne	COP/EER	SPF/SEER
PN-EN 14511-1:2018-08	2018		X	X	X	X				X	X					
PN-EN 16147:2017-04	2017		X	X				X		X	X	X			X	
PN-EN 14825:2019-03	2019	X	X	X		X			X	X	X		X		X	X
PN-EN 15316-4-2:2017-06	2017	X	X	X		X		X	X	X	X	X	X	X		X

• **PN-EN 14511-1:2018-08 – wersja angielska [10]**

„Klimatyzatory, ziębiarki cieczy i pompy ciepła do grzania i ziębienia oraz ziębiarki do procesów przemysłowych, ze sprężarkami o napędzie elektrycznym – Część 1: Terminy i definicje”.

Przedstawiona norma PN-EN 14511-1:2018-08 jest kolejną aktualizacją pierwotnej normy PN-EN 14511-2:2008. W niniejszej Normie Europejskiej określono wyłącznie terminy i definicje dotyczące danych znamionowych i charakterystyk klimatyzatorów powietrza, ziębiarek cieczy i pomp ciepła wykorzystujących jako czynnik przekazujący ciepło powietrze, wodę lub solankę, ze sprężarkami o napędzie elektrycznym, stosowanych do ogrzewania i/lub ziębienia pomieszczeń. Nie dotyczy pomp ciepła do przygotowania ciepłej wody użytkowej, jakkolwiek niektóre definicje mogą być do nich stosowane. Przedstawiona norma zawiera wyłącznie warunki i definicje dla oceny wydajności pomp ciepła, nie przedstawia metody obliczeniowej oraz algorytmu przeprowadzenia obliczeń. W niniejszym artykule przedstawiono tę normę z uwagi na terminologię, która stosowana jest w kolejno omawianych dokumentach.

• **PN-EN 16147:2017-04 – wersja angielska [11]**

„Pompy ciepła ze sprężarkami o napędzie elektrycznym – Badanie, raport oceny i wymagania dotyczące oznakowania pomp ciepła do przygotowania ciepłej wody użytkowej”.

Przedstawiona norma PN-EN 16147:2017-04 jest aktualizacją normy PN-EN 16147:2011. W niniejszej Normie Europejskiej ustalono metody badań i sposób opracowania raportu oceny oraz ustalono wymagania dotyczące etykietowania pomp ciepła typu powietrze/woda, solanka/woda, woda/woda oraz typu bezpośrednio odparowanie czynnika ziębniczego/wody, z elektrycznie napędzanymi sprężarkami,

przyłączonymi do podgrzewacza zasobnikowego ciepłej wody lub z wbudowanym takim podgrzewaczem do przygotowania ciepłej wody użytkowej. Ta norma obejmuje wyłącznie procedury badawcze instalacji z pompami ciepła do przygotowywania ciepłej wody. Procedur badawczych do trybu jednoczesnego przygotowywania ciepłej wody i ogrzewania pomieszczeń nie rozważa się w niniejszej normie. Tryb jednoczesny oznacza, że przygotowanie ciepłej wody i ogrzewanie pomieszczeń są realizowane w tym samym czasie i mogą na siebie nawzajem oddziaływać. W przypadku pomp ciepła składających się z kilku części, współczynnik sezonowej efektywności energetycznej jest wyznaczany zgodnie z normą PN-EN 14825. Norma PN-EN 16147:2017-04 ma zastosowanie wyłącznie do podgrzewaczy wody, które są dostarczane wspólnie z pompą ciepła i zasobnikiem. W przypadku podgrzewaczy wody składających się z kilku części, z połączeniami chłodniczymi, niniejsza Norma Europejska ma zastosowanie tylko do tych zaprojektowanych i dostarczanych jako komplet. Niniejsza Norma Europejska nie zawiera żadnych wymagań co do jakości wody. Do stosowania niniejszego dokumentu niezbędne są podane dokumenty powołane w normie PN-EN 14511-1:2018-08.

W normie przedstawiono ogólne wymagania dotyczące badań, w tym dotyczące stosowanej aparatury pomiarowej. Podano niepewności pomiaru dla określonych wielkości oraz dopuszczalne odchyłki od nastawionych wartości, wskazano m.in. wytyczne dla pomieszczenia do badań zewnętrznego wymiennika, montażu i podłączenie powietrznych pomp ciepła. Dział 6 zawiera badanie efektywności i określenie zużycia energii pomp ciepła na cele przygotowania ciepłej wody użytkowej, w tym omówiono czas podgrzewania, pobór mocy w stanie gotowości do pracy oraz wyznaczenie energii użytecznej, zużycia energii elektrycznej i współczynnika efektywności COP w referencyjnych cyklach poboru.



Model może być zastosowany do obliczenia współczynnika sezonowej wydajności na cele przygotowania ciepłej wody użytkowej pompy ciepła typu powietrze/woda, solanka/woda, woda/woda oraz typu bezpośrednio odparowanie czynnika ziębniczego/wody, z elektrycznie napędzanymi sprężarkami, przyłączonymi do podgrzewacza zasobnikowego ciepłej wody lub z wbudowanym takim podgrzewaczem do przygotowania ciepłej wody użytkowej. Obliczenia przeprowadza się dla referencyjnych cykli poboru, które definiowane są jako 24-godzinny cykl pomiarowy i w tym cyklu określa się czas rozpoczęcia i całkowitą ilość energii (ekwiwalent w kWh pobieranej ciepłej wody) dla każdego poboru. Rozróżniono pobór energii przez wentylatory w pompach ciepła bez przyłącza kanału wentylacyjnego oraz z przyłączem kanału, a także pobór energii przez pompy do przetłaczania cieczy.

Współczynnik efektywności  $COP_{DHW}$  dla całego cyklu poboru oblicza się z równania (1):

$$COP_{DHW} = \frac{Q_{TC}}{W_{EL-TC}} \quad (1)$$

gdzie:

$Q_{TC}$  – całkowita użyteczna energia cieplna w czasie całego cyklu poboru, w kWh,

$W_{EL-TC}$  – całkowite zużycie energii elektrycznej w czasie cyklu poboru, w kWh.

Roczne zapotrzebowanie na ciepło użyteczne i energię elektryczną napędową można obliczyć jako sumę poszczególnych cykli poboru. Z takiej zależności możliwe jest obliczenie sezonowego współczynnika efektywności pomp ciepła (SPF). Norma ta umożliwia obliczenie  $SPF_{DHW}$  wyłącznie na cele przygotowania ciepłej wody użytkowej oraz na podstawie przeprowadzonych badań i zarejestrowanych pomiarów.

#### • PN-EN 14825:2019-03 – wersja angielska [12]

„Klimatyzatory, agregaty do chłodzenia cieczy oraz pompy ciepła ze sprężarkami napędzanymi elektrycznie, do ogrzewania i chłodzenia pomieszczeń – Badanie i ocena w warunkach częściowego obciążenia oraz obliczanie wydajności sezonowej”.

Przedstawiona norma PN-EN 14825:2019-03 jest kolejną aktualizacją pierwotnej normy PN-EN 14825:2012. Swoim zakresem obejmuje klimatyzatory, pompy ciepła i agregaty chłodzenia cieczy, w tym agregaty komfortu oraz procesowe. Do stosowania niniejszego dokumentu niezbędne są podane dokumenty powołane w normie PN-EN 14511-1:2018-08, z wyjątkiem urządzeń jednokanałowych, dwukanałowych, szaf sterowniczych oraz jednostek kontroli precyzyjnej. Zakres obejmuje pompy ciepła typu bezpośrednio odparowanie-woda (solanka) zgodnie z EN 15879-1:2011. [14] Niniejszy dokument obejmuje także hybrydowe pompy ciepła zgodnie z definicją zawartą w normie.

Standard przedstawia model obliczeniowy dla kalkulacji sezonowego współczynnika efektywności (SPF) pomp ciepła ze sprężarkami o napędzie elektrycznych do celów grzewczych i chłodniczych. Pompy ciepła są testowane dla szeregu warunków częściowego obciążenia z przeznaczeniem do ogrzewania lub chłodzenia obiektu w temperaturze ustawionej na 16°C przy różnych temperaturach zewnętrznych. W dokumencie podano temperatury i warunki obciążenia częściowego oraz metody obliczeniowe do określenia sezonowej efektywności energetycznej w trybie chłodzenia SEER i  $SEER_{on}$ , sezonowej efektywności energetycznej chłodzenia pomieszczeń  $\eta_{s,c}$ , sezonowego współczynnika wydajności w trybie grzania SCOP,  $SCOP_{on}$  i  $SCOP_{net}$  oraz sezonowej efektywności energetycznej ogrzewania pomieszczeń  $\eta_{s,h}$  i wskaźnika sezonowej wydajności energetycznej SEPR. Takie metody obliczeń mogą być oparte na obliczonych lub zmierzonych wartościach. W przypadku wartości mierzonych niniejszy dokument obejmuje metody badań do określania wydajności, wartości EER i COP w trybie aktywnym w warunkach częściowego obciążenia. Obejmuje również metody badań mocy wejściowej w trybie wyłączanego termostatu, trybie gotowości, trybie wyłączonym i trybie ogrzewania karteru.

Model może być zastosowany do obliczenia współczynnika sezonowej wydajności pompy ciepła typu powietrze-woda, woda-woda, grunt-woda i powietrze-powietrze. Współczynnik efektywności w trybie chłodzenia SEER dla całego roku oblicza się z równania (2), natomiast współczynnik wydajności w trybie grzania SCOP dla całego roku oblicza się z równania (3).

$$SEER = \frac{Q_C}{Q_{CE}} \quad (2)$$

gdzie:

$Q_C$  – referencyjne roczne zapotrzebowanie na chłód, w kWh,

$Q_{CE}$  – roczne zużycie energii elektrycznej w celu wytworzenia chłodu, w kWh.

$$SCOP = \frac{Q_H}{Q_{HE}} \quad (3)$$

gdzie:

$Q_H$  – referencyjne roczne zapotrzebowanie na ciepło, w kWh,

$Q_{HE}$  – roczne zużycie energii elektrycznej w celu wytworzenia ciepła, w kWh.

Obliczenia sezonowego współczynnika efektywności pomp ciepła SPF (SEER/SCOP) przeprowadza się przy zastosowaniu metody przedziałów temperatury, z dokładnością do 1°C, w metodzie podany jest zakres czasu pracy pompy ciepła dla danej temperatury. Sezon chłodniczy jest reprezentowany przez jeden klimat, który zawiera temperatury z przedziału od 17°C do 40°C, podczas gdy dla sezonu grzewczego

zawiera temperatury z przedziału od  $-30^{\circ}\text{C}$  do  $+15^{\circ}\text{C}$  z podziałem na trzy klimaty (chłodny, średni oraz ciepły). Zapotrzebowanie energii na cele grzewcze/chłodnicze oraz liczba godzin pracy pompy ciepła są określane dla różnych klimatów, biorąc pod uwagę kilka aspektów, m.in. klimat, typ budynku i jego charakterystykę, punkt biwalentny oraz wewnętrzne zyski ciepła. Danymi wejściowymi są wskaźniki COP dla wskazanych temperatur ( $+12$ ,  $+7$ ,  $+2$ ,  $-7$ ,  $-15^{\circ}\text{C}$ ). Pompa ciepła powinna być testowana przy obciążeniu częściowym, dostarczając wymaganą ilość ciepła dla każdego poziomu temperatury. Roczne zapotrzebowanie na ciepło jest obliczane jako iloczyn mocy maksymalnej pompy ciepła oraz jej liczby godzin pracy. Ograniczeniem dla pracy pompy ciepła jest dolna granica temperatury, do której urządzenie może poprawnie funkcjonować.

Zdecydowanym plusem metodyki przedstawionej w normie jest fakt, że obejmuje ona swym zakresem wszystkie typy pomp ciepła (z wyjątkiem pomp ciepła wykorzystujących powietrze wyrzutowe typu EAHP). Kalkulacje można przeprowadzić w trybie chłodniczym oraz grzewczym w dość dokładny sposób, nawet przy częściowym obciążeniu. Minusem jest nieczytelny model obliczeniowy oraz kilka ograniczeń. Jedno z nich to fakt, iż częściowe obciążenie pompy ciepła można wyznaczyć tylko dla trzech z góry narzuconych warunków klimatycznych dla określonego profilu obciążania cieplnego budynku. Kolejną niedoskonałością jest brak możliwości przeprowadzenia obliczeń dla przygotowania ciepłej wody użytkowej.

#### • PN-EN 15316-4-2:2017-06 – wersja angielska [13]

„Charakterystyka energetyczna budynków – Metoda obliczania zapotrzebowania na ciepło przez instalację i sprawności układu – Część 4-2: Źródła ciepła w pomieszczeniach, instalacje z pompami ciepła, Moduł M3-8-2, M8-8-2”.

Przedstawiona norma PN-EN 15316-4-2:2017-06 jest aktualizacją normy PN-EN 15316-4-2:2008. Swoim zakresem obejmuje pompy ciepła do ogrzewania i chłodzenia, do przygotowania ciepłej wody użytkowej oraz połączonych układów ogrzewania/chłodzenia i przygotowania ciepłej wody użytkowej pracujące naprzemiennie lub jednocześnie. Niniejsza norma podaje metodę obliczania w warunkach ustalonych, co odpowiada jednemu krokowi obliczeń. Wyniki tych obliczeń są wkomponowane w większy model obliczeniowy budynków i uwzględniają wpływ warunków zewnętrznych i sterowania budynkiem, które wpływają na zapotrzebowanie energii do ogrzewania dostarczanej przez układ pomp ciepła. Celem niniejszej normy jest ustandaryzowanie wymaganych danych wejściowych, metod obliczeniowych, wymaganych danych wyjściowych. Wytwarzanie ciepła przez układy pomp ciepła przewidzianych do ogrzewania pomieszczeń i przygotowania ciepłej wody użytkowej, włączając w to sterowanie dla pomp ciepła ze sprężarkami różnego typu, w tym napędzanymi elektrycznie,

silnikiem spalinowym, obiegiem absorpcyjnym zasilanych ciepłem, przy wzajemnej konfiguracji źródła ciepła i układu dystrybucji ciepła. Norma podzielona jest na moduły dotyczące konkretnych aplikacji, typu tylko podgrzew CWU, tylko układy chłodzące itd. Względem poprzedniej wersji normy obecna została rozbudowana o obliczenia godzinowe i miesięczne.

W normie przedstawiony został model obliczeniowy do kalkulacji zapotrzebowania na energię instalacji grzewczej i obliczania jej sprawności. Dane wejściowe do obliczeń, jak i wydajność grzewcza COP są określane zgodnie z normami europejskimi lub krajowymi. Obliczenia można przeprowadzić dla systemu pracującego na cele przygotowania ciepłej wody użytkowej i centralnego ogrzewania równocześnie lub oddzielnie dla dwóch osłon kontrolnych. Pierwsza osłona kontrolna  $\text{SPFH}_{w,gen}$  opisuje całkowity współczynnik sezonowej wydajności systemu grzewczego i obejmuje swym zakresem pompę ciepła w trybie ogrzewania i przygotowania ciepłej wody użytkowej, grzałkę elektryczną, system dystrybucji energii oraz ogrzewanie zapasowe pomieszczenia. Druga osłona kontrolna  $\text{SPFH}_{whp}$  zawarta jest w pierwszej i charakteryzuje sezonowy współczynnik efektywności pompy ciepła w odniesieniu do ciepła wytwarzanego przez pompę ciepła w trybie centralnego ogrzewania oraz przygotowania c.w.u., pobór energii pomocniczej i energię pomocniczą dla trybu gotowości. Metodyka uwzględnia różne czynniki fizyczne, które mogą mieć wpływ na SPF i wymagany nakład energii elektrycznej, m.in. typ pompy ciepła, rodzaj źródła ciepła i jego temperatura, efekty pracy sprężarki przy częściowym obciążeniu (on-off, modulacja) oraz straty cieplne układu.

W normie PN-EN 15316-4-2:2017-06 zawarto dwie metody obliczeniowe – uproszczoną oraz szczegółową. Różnice między nimi to dane wejściowe, uwzględnione warunki pracy oraz okres obliczeniowy.

Metoda uproszczona – okresem obliczeniowym jest sezon grzewczy, a dane dotyczące wydajności pompy ciepła pobierane są z gotowego zestawienia tabelarycznego, natomiast warunki pracy dotyczą typologii danej aplikacji, co oznacza, że nie są indywidualnie rozróżnialne. Metoda znajduje swoje zastosowanie do prostego i szybkiego oszacowania wydajności danej pompy ciepła.

Metoda szczegółowa – okresem obliczeniowym dla metody szczegółowej jest wybrany przedział temperaturowy opisujący częstotliwość występowania określonej temperatury zewnętrznej, a obliczenia przeprowadzane są w warunkach eksploatacji pompy ciepła, która odpowiada na zapotrzebowanie energii dla danego przedziału temperaturowego. W załączniku do normy podana jest metodologia obliczeń umożliwiająca wykorzystanie rzeczywistych danych klimatycznych dla konkretnej lokalizacji.

Straty ciepła systemu dystrybucji można ocenić w zależności, czy ciepło jest dostarczane dla przygotowania ciepłej wody użytkowej czy dla centralnego ogrzewania. Obciążenie

grzewcze pomieszczeń zostaje obliczone na podstawie stopni odniedni grzania, które są określone przez różnicę pomiędzy temperaturą powietrza na zewnątrz a temperaturą z danego zakresu.

Plusem stosowania niniejszej normy jest model obliczeniowy, który jest bardzo szeroki i dokładny. Obejmuje swym zakresem tryb grzewczy budynku oraz przygotowanie wody użytkowej. Model jest dostosowany do różnych klimatów oraz temperatur, określa w transparentny sposób zapotrzebowanie i straty ciepła obiektu, a także definiuje ilość odzyskanej energii. Metodyka nie wymaga badania pompy ciepła dla częściowych obciążeń, zawiera wartości domyślne, które mogą zostać użyte. Obliczenia SPF mogą zostać przeprowadzone dla całego systemu utrzymania komfortu klimatycznego lub samej pompy ciepła. Minusem jest skomplikowanie i długość algorytmu, istnieje nadmiarowa liczba aspektów branych pod uwagę podczas obliczeń. Metodyka zawiera odniesienia do innych norm, a sam model wymaga dużej wiedzy dotyczącej rozpatrywanego obiektu. Uproszczenie wynikające z wykorzystania wartości domyślnych dla częściowego obciążenia może skutkować obniżeniem dokładności przeprowadzonych obliczeń w stosunku do stanu rzeczywistego. Model nie uwzględnia trybu chłodniczego pompy ciepła.

#### 4. Podsumowanie

Miarą ujmującą efektywność wytwarzania ciepła w trybie grzewczym i chłodniczym pomp ciepła w ciągu roku jest sezonowy współczynnik efektywności pomp ciepła – Seasonal Performance Factor (SPF), który można obliczyć dla różnych osłon kontrolnych na podstawie danych pomiarowych lub metodą obliczeniową. Współczynnik SPF może posłużyć do porównania ze sobą całych układów technologicznych z uwzględnieniem urządzeń pomocniczych jak pompy obiegowe, wentylatory, czy dodatkowe grzałki elektryczne, a nie jedynie samych sprężarek pomp ciepła, jak w przypadku współczynników EER i COP określanych dla konkretnych danych temperaturowych w kontrolowanych warunkach laboratoryjnych. Przedstawiono i opisano dostępne metody obliczeniowe, wskazując ich plusy i minusy. Wskazano wrażliwe parametry i czynniki wpływające na jego wartość. Przedstawione obliczenia

mogą w dość dokładny sposób przybliżyć rzeczywiste roczne wartości współczynnika efektywności pomp ciepła, lecz nie należy spodziewać się pełnej zbieżności pomiędzy wartościami obliczonymi a uzyskanymi w wyniku badań empirycznych.

#### BIBLIOGRAFIA

- [1] Radomski B., Projektowanie instalacji sanitarnych w budynkach pasywnych – studium przypadku, Inżynier Budownictwa 9/2016
- [2] Radomski B., Projektowanie w budynkach pasywnych instalacji ziębniwej, przygotowania ciepłej wody użytkowej i wentylacji mechanicznej nawiewno-wywiewnej, Inżynier Budownictwa 11/2016
- [3] Rubik M., Lachman P., Szacowanie SCOP na podstawie wytycznych VDI 4650 cz. 1 i cz. 2. Kalkulator SCOP, II Kongres PORT PC, Warszawa, 2013
- [4] Sun X., Wang Z., Li X., Xu Z., Yang Q., Yang Y., Seasonal heating performance prediction of air-to-water heat pumps based on short-term dynamic monitoring. Renewable Energy, Volume 180, 2021, str. 829–837
- [5] Singh Gaur S., Fitiwi D.Z., Curtis J., Heat pumps and our low-carbon future: A comprehensive review. Energy Research & Social Science, tom 71, 2021
- [6] Dongellini M., Naldi C., Morini G. L., Seasonal performance evaluation of electric air-to-water heat pump systems. Applied Thermal Engineering, tom 90, 2015, str. 1072–1081
- [7] Dyrektywa 2009/28/WE w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych zmieniająca i w następstwie uchylająca dyrektywę 2001/77/WE oraz 2003/30/WE, 2009
- [8] Mróz T., Radomski B., Aspekty energetyczne współczesnego środowiska zabudowanego. Przegląd budowlany 7–8/2018
- [9] Nordman R., Andersson K., Axell M., Lindahl M., Calculation methods for SPF for heat pump systems for comparison, system choice and dimensioning. Energy Technology, SP Report 2010:49, SP Technical Research Institute of Sweden
- [10] PN-EN 14511-1:2018-08 – wersja angielska: Klimatyzatory, ziębiarki cieczy i pompy ciepła do grzania i ziębienia oraz ziębiarki do procesów przemysłowych, ze sprężarkami o napędzie elektrycznym – Część 1: Terminy i definicje
- [11] PN-EN 16147:2017-04 – wersja angielska: Pompy ciepła ze sprężarkami o napędzie elektrycznym – Badanie, raport oceny i wymagania dotyczące oznakowania pomp ciepła do przygotowania ciepłej wody użytkowej
- [12] PN-EN 14825:2019-03 – wersja angielska: Klimatyzatory, agregaty do chłodzenia cieczy oraz pompy ciepła ze sprężarkami napędzanymi elektrycznie, do ogrzewania i chłodzenia pomieszczeń – Badanie i ocena w warunkach częściowego obciążenia oraz obliczanie wydajności sezonowej
- [13] PN-EN 15316-4-2:2017-06 – wersja angielska: Charakterystyka energetyczna budynków – Metoda obliczania zapotrzebowania na ciepło przez instalację i sprawności układu – Część 4-2: Źródła ciepła w pomieszczeniach, instalacje z pompami ciepła, Moduł M3-8-2, M8-8-2
- [14] PN-EN 15879-1:2011 – wersja angielska: Badanie i charakterystyki pomp ciepła ze sprężarkami o napędzie elektrycznym, z gruntem jako dolnym źródłem ciepła, do ogrzewania i/lub chłodzenia pomieszczeń – Część 1: Pompy ciepła grunt-woda

## V Międzynarodowa Konferencja Naukowa



Environmental challenges in civil engineering  
Zagadnienia inżynierii środowiska w budownictwie

**Opole, 26-28 Wrzesień 2022**

e-mail: [ecce2022@po.edu.pl](mailto:ecce2022@po.edu.pl)

www: <https://ecce2022.po.edu.pl/>