

Maciej ROZPONDEK

Wyższa Szkoła Techniczna w Katowicach, Wydział Architektury, Budownictwa i Sztuk Stosowanych, ul. Rolna 43, 40-555 Katowice; e-mail: maciej.rozpondek@wst.com.pl

Grzegorz KASPRZYK

Wyższa Szkoła Techniczna w Katowicach, Wydział Architektury, Budownictwa i Sztuk Stosowanych, ul. Rolna 43, 40-555 Katowice; e-mail: grzegorzkasprzyk@interia.pl

ENERGETYCZNO-EKOLOGICZNE ASPEKTY ZASTOSOWANIA POMPY CIEPŁA W BUDYNKU JEDNORODZINNYM

s. 75-86

STRESZCZENIE

Przedstawiono zastosowanie odnawialnych źródeł energii w budynkach. Scharakteryzowano współczynniki wydajności pomp ciepła. Przeanalizowano aspekty energetyczno-ekologiczne systemów ogrzewania w domach jednorodzinnych. Zaproponowano rozwiązanie multiwalentnego systemu ogrzewania z pompą ciepła jako głównym źródłem ciepła.

SŁOWA KLUCZOWE

odnawialne źródła energii, pompa ciepła, dom jednorodzinny

WPROWADZENIE

Poprawa jakości życia przejawiająca się przyrostem powierzchni i standardu wyposażenia mieszkań, budynków biurowych i usługowych oraz możliwością uzyskania optymalnego mikroklimatu w pomieszczeniach powoduje znaczne zużycie energii. W Unii Europejskiej udział energii zużywanej w sektorach mieszkaniowym i usługowym stanowi już 40% w stosunku do całkowitego i ma tendencję wzrostową, szczególnie ze względu na coraz częstsze wprowadzanie systemów klimatyzacji jako standardowego wyposażenia mieszkań [1]. Budynek jest podstawowym artefaktem – przedmiotem użytkowym, który jest konieczny dla zaspokojenia potrzeb ludzkich. Zapewnienie komfortowego środowiska wewnątrz budynku, w sposób energooszczędny wyznacza efektywne i ekonomiczne jej wykorzystanie w aspektach spełnienia kryteriów zdrowia, wydajności pracy i wypoczynku. Budynkiem, który umożliwia maksymalizację efektywności działań użytkowników i sprawne zarządzanie zasobami energii przy minimalnych kosztach eksploatacji jest budynek inteligentny – definicja European Intelligent Building Group [2]. Dla spełnienia tych wymogów w rozwiązaniach projektowych systemów stabilizacji temperatury stosuje się odnawialne źródła energii – OZE oraz systemy hybrydowe, zapewniające bezpieczeństwo eksploatacyjne przy korzystaniu z dodatkowych,

konwencjonalnych ale przede wszystkim proekologicznych technologii [3]. Jednym ze sposobów minimalizacji zużycia energii do ogrzewania jest optymalne wykorzystanie systemu pasywnego ogrzewania słonecznego wyrażane bezwymiarowym wskaźnikiem użytecznych do ogrzewania pomieszczeń zysków ciepła od nasłonecznienia SHF. Ponadto w fazie projektowania budynku bardzo istotnym jest optymalizacja jego wymiarów i kształtu, która jest określana stosunkiem pola powierzchni budynku A do jego objętości V , wpływająca bezpośrednio na straty ciepła przez przenikanie do otoczenia [4]. Jest to szczególnie istotne w Polsce, w której na cele grzewcze zużywa się 12 mln Mg węgla kamiennego, co wraz z emisją ze środków transportu jest przyczyną ostatniego miejsca w Europie w rankingu czystości powietrza (pyły zawieszane PM 10 i PM 2,5). W postulowanej zmianie paradygmatu rozwojowego energetyki na pierwszym miejscu wymieniono innowacje technologiczne – proefektywnościowe, zastosowanie OZE oraz inteligentną infrastrukturę. W bazowej segmentacji nowej trajektorii rozwojowej energetyki w segmencie pierwszym – efektywności energetycznej wymieniono m.in. domy pasywne, a w segmencie drugim wyszczególniono źródła fotowoltaiczne PV budynkowe oraz pompy ciepła [5]. Przy zastosowaniu wybranego sposobu ogrzewania budynku, przyjęto jako kryterium względne koszty ogrzewania, które są funkcją gęstości zabudowy. Jeżeli jest ona mniejsza od ok. 3500 m³/ha, wówczas bardziej opłacalne jest stosowanie indywidualnych źródeł ciepła np. pieców węglowych, zamiast pozyskiwania czynnika grzewczego z ciepłowni, elektrociepłowni lub z lokalnej ciepłowni. Jeżeli przyjmiemy, że względne koszty ogrzewania przy ogrzewaniu pompami ciepła – bez uwzględnienia korzyści ekologicznych – są w przybliżeniu równe piecom węglowym, to gęstość zabudowy może stanowić także właściwe kryterium dla ich zastosowania [6]. Przy energooszczędnym budownictwie należy bezwzględnie przestrzegać zasady, że oszczędność energii nie może pogorszyć jakości środowiska wewnętrznego [7]. Przy projektowaniu konstrukcji budynków o niskiej energochłonności, które są podstawą zrównoważonego rozwoju, należy uwzględnić przewidywane zmiany klimatyczne, czyli wzrost globalnej temperatury, najlepiej dla parametrów klimatu Design Summer Year. Zgodnie z nimi wyróżnia się cztery podstawowe zasady nisko energochłonnego, zrównoważonego rozwoju – rys. 1 [8]. Przedstawione zasady proponuje się uzupełnić o dodatkową zasadę obejmującą zastosowanie odnawialnych źródeł energii, zapewniających optymalne wykorzystanie lokalnych zasobów do ogrzewania budynków, co na rysunku zaznaczono linią przerywaną. Jest to szczególnie istotne wobec przyjętych zobowiązań: piętnastoprocentowej redukcji gazów cieplarnianych do 2020 roku oraz wchodzących wymogów warunków technicznych WT 2017, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, czyli przede wszystkim maksymalnej wartości rocznego zużycia energii pierwotnej EP = 95 kWh/(m² · a) [9,10]. Wartość ta obejmuje wszystkie pozycje bilansu energetycznego: ogrzewanie, wentylację, chłodzenie, przygotowanie ciepłej wody użytkowej i oświetlenie.



Rys. 1. Zasady projektowania nisko energochłonnych budynków – opracowanie na podstawie [8]
 Fig. 1. Principles of designing low energy buildings – adaptation based on the [8]

Rodzaj i parametry przyjętych założeń zależą głównie od położenia geograficznego budynków. Z analizy przewidywanego wzrostu temperatury Ziemi o 2 K, wynika, że spowoduje to przykładowo:

- zmniejszenie liczby stopniogrzewania z 3988 do 3396, czyli spadek o 592 HDD,
- zwiększenie liczby stopniogrzewania z 533 do 893, czyli wzrost o 360 CDD.

Tak więc chociaż liczba stopniogrzewania zmniejszy się o $HDD - CDD = 232$ i nastąpi zmniejszenie zapotrzebowania na ogrzewanie o ok. 17%, to jednocześnie wzrośnie zapotrzebowanie na chłodzenie o ok. 40%, co wynika z różnic w sprawnościach: wytwarzania ciepła – $\eta_{heat} = 0,5 \div 0,85$ (w zależności od zastosowanego paliwa) i wytwarzania chłodu – $\eta_{cool} = 0,25 \div 0,30$. W konsekwencji zmniejszenia popytu ulegnie obniżeniu sprawność przesyłowa ciepła grzejnego. W efekcie zmian klimatycznych wystąpi wzrost zapotrzebowania na energię elektryczną do produkcji chłodu, powodujący konieczność inwestycji dla zwiększenia mocy elektrowni [8,11,12]. Z wykonanych, na podstawie danych przedstawionych w ECOFYS [13] obliczeń sumy wartości stopniogrzewania i chłodzenia dla wybranych 30 miast w Europie wynika, że za wyjątkiem dwóch miast – Palermo i Ateny, liczba stopniogrzewania jest większa od chłodzenia, nawet kilkunastokrotnie. Przykładowo dla Warszawy wartości stopniogrzewania – HDD i chłodzenia – CDD wynoszą odpowiednio 3747 i 82, a dla niektórych miast w Norwegii i Finlandii CDD są równe zero [14]. Tak więc optymalny dobór sposobu ogrzewania budynków ma bardzo duże znaczenie dla ograniczenia zużycia energii pierwotnej – EP. Nowoczesne rozwiązania technologiczne umożliwiają pobór ciepła ze źródeł tzw. rozproszonych, takich jak słońce, woda i wiatr. Umożliwia to otrzymanie znacznych oszczędności wynikających ze zmniejszenia strat związanych z przesyłaniem energii. Wykorzystanie odnawialnych źródeł energii wielokrotnie zmniejsza emisję zanieczyszczeń i gazów cieplarnianych do środowiska naturalnego. Stosowanie nowoczesnych technologii pozyskiwania ciepła nie tylko zapewnia nowe miejsca pracy na poziomie lokalnym, ale także wspiera rozwój coraz efektywniejszych technologii w jego pozyskiwaniu. Na podstawie liczby zainstalowanych i wykonanych urządzeń grzewczych wykorzystujących OZE w Polsce można określić, w przybliżeniu, ich moce cieplne i udziały w zależności od sposobu pozyskiwania ciepła – tabl. 1[15].

Tabela 1. Oszacowana moc cieplna zainstalowanych urządzeń grzewczych wykorzystujących OZE w Polsce – opracowanie własne na podstawie [15]

Lp.	Rodzaj urządzenia	Przyjęta liczba instalacji	Średnia moc cieplna/gęstość strumienia cieplnego* – urządzenia	Moc cieplna urządzeń	Udział OZE w Polsce
				\dot{Q} GW	%
1	Kotły na biomasę	106 000 szt.	30 kW	3,18	72,03
2	Pompy ciepła	50 000 szt.	12 kW	0,6	13,59
3	Kolektory słoneczne	1 300 000 m ²	*400 W/m ²	0,52	11,78
4	Ciepłownie geotermalne	6	zróżnicowana	0,115	2,6
5	Razem			4,415	100

Szacuje się, że w Polsce jest 3 825 000 działających pieców i kotłów węglowych zainstalowanych w domach jednorodzinnych [16]. Zwiększenie udziału OZE spowoduje radykalną redukcję emisji zanieczyszczeń do powietrza i umożliwi spełnienie wymogu EP zgodnie z Dz. U. RP z 13 sierpnia 2013 poz. 926 w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki na potrzeby ogrzewania, wentylacji oraz przygotowania ciepłej wody użytkowej. Ustawa przewiduje od 1 stycznia 2017. dla budynku jednorodzinnego obniżenie jednostkowego wskaźnika zużycia ciepła z aktualnych 120 do 95 kWh/(m² • a) oraz dalsze jego zmniejszenie od 1 stycznia 2021 do 70 kWh/(m² • a) [10].

Charakterystyka pomp ciepła do ogrzewania budynków.

Po raz pierwszy pompa ciepła do ogrzewania domu została zainstalowana w 1928 roku przez Haldana, a w 1941 roku za pomocą pompy ciepła była ogrzewana Politechnika w Zurychu [17]. Zasada działania pompy ciepła polega na przesunięciu ciepła na wyższy poziom temperaturowy w wyniku przebiegu termodynamicznego przy użyciu energii mechanicznej, dzięki temu można je wykorzystać w zastosowaniach technicznych. W obiegu lewo bieżnym Carnota dla pompy ciepła, ciepło oddane Q do czynnika grzejnego (górne źródło ciepła) jest równe sumie ciepła pobieranego Q_0 ze źródła niskotemperaturowego (dolne źródło ciepła) i pracy L zużytej w sprężarce. Wartość przebiegu procesu dla pompy cieplnej jest określana współczynnikiem wydajności równym stosunkowi ciepła Q do wydatkowanej pracy mechanicznej L , który oznacza się ε lub COP (Coefficient of Performance – współczynnik wydajności pompy ciepła). Największa wartość współczynnika jest otrzymywana przy szczególnie niskiej pracy sprężania. Współczynnik COP zależy tylko od wartości poszczególnych temperatur. Dla obiegu Carnota współczynnik ε oznacza się ε_c i jest on równy stosunkowi temperatury T , przy której ciepło jest przekazywane czynnikowi grzejnemu, do różnicy temperatur T górnego źródła ciepła i T_0 dolnego źródła ciepła, przy której ciepło jest pobierane:

$$\varepsilon_c = \frac{T}{T - T_0}$$

Rzeczywiste wartości współczynników zmniejszają się w wyniku strat, powodując zwiększenie różnicy temperatur T i T_0 . Wszystkie straty i odchylenia od idealnego, teoretycznego obiegu Carnota zawierają się w całkowitym współczynniku sprawności η_{total} . Rzeczywisty współczynnik wydajności ε_{real} jest więc równy:

$$\varepsilon_{real} = \varepsilon_c \cdot \eta_{total}$$

gdzie - $\eta_{total} = 0,4-0,6$.

Dla mniejszych wydajności pomp ciepła tj. dla mocy poniżej 60 kW, jak w przypadku ogrzewania domów jednorodzinnych, przyjmuje się, że $\eta_{total} = 0,4$ [18]. W pracy [19] stopień doskonałości rzeczywistego obiegu sprężarkowych pomp ciepła podano w węższym zakresie, bez sprecyzowania mocy cieplnej, czyli $\eta_{gr} = 0,5-0,6$. Również w [20] stwierdzono, że wartość stosunku rozważanej wydajności pompy ciepła do teoretycznej wydajności idealnego, odwróconego obiegu Carnota zawiera się w tych samych granicach od 0,5 do 0,6 η_c . Firmy produkujące pompy ciepła wskazują na ścisły związek zużycia energii elektrycznej z wartością strumienia ciepła pochodzącego z dolnego źródła i wysokością temperatury czynnika oddawaną w skraplaczu. Współczynniki wydajności, które są charakterystyczne dla pomp ciepła, przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Stosowane charakterystyczne współczynniki wydajności pomp ciepła

Współczynnik efektywności pompy ciepła	Symbol	Charakterystyka	Uwagi
Współczynnik wydajności obiegu Carnota	ε_c	teoretyczny	sprężarkowe pompy ciepła
Współczynnik wydajności pompy ciepła	COP (Coefficient of Performance)	zmienny, zależny od warunków działania	określany wg PN EN 14 511
Sezonowy współczynnik wydajności sprężarkowej pompy ciepła w warunkach rzeczywistych	SPF (Seasonal Performance Factor)	odniesienie do jednego roku	minimalna wartość SPF_{min} jest funkcją średniej sprawności konwersji energii pierwotnej w elektryczną w UE
Sezonowy współczynnik wydajności sprężarkowej pompy ciepła	SCOP (Seasonal Coefficient of Performance)	szacowany za pomocą symulacyjnych programów komputerowych	stosuje się w projektowanych instalacjach

Zgodnie z Dziennikiem Ustaw nr 201 poz. 1240 [21] wartości sprawności wytwarzania ciepła dla ogrzewania w źródłach należy przyjmować dla pompy:

- woda-woda w nowych/istniejących budynkach: 3,8/3,5,
- glikol-woda w nowych/istniejących budynkach: 3,5/3,3,
- powietrze-woda w nowych/istniejących budynkach: 2,7/2,5.

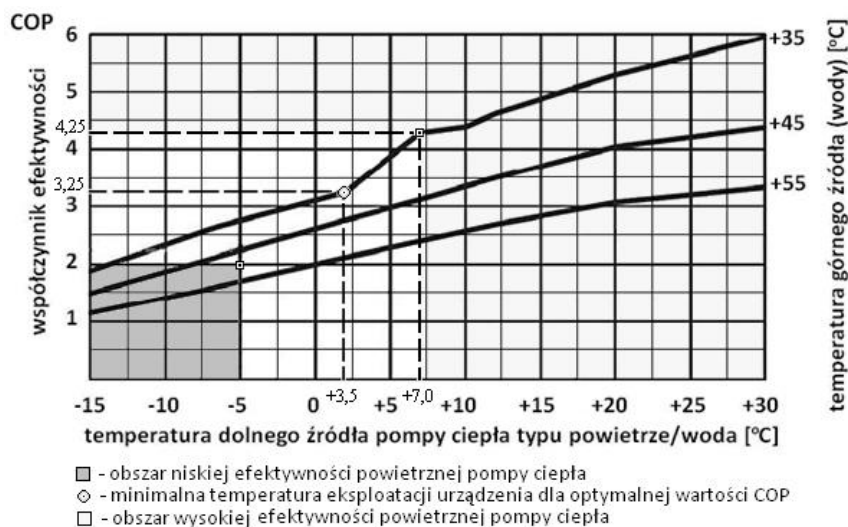
Dla przygotowania ciepłej wody w źródłach należy przyjmować dla pompy:

- woda-woda w nowych/istniejących budynkach: 3,0/4,5,
- glikol-woda w nowych/istniejących budynkach: 2,6/3,8,
- powietrze-woda w nowych/istniejących budynkach: 2,2/3,1.

W literaturze [22] przedstawiono wyniki badań średnich sezonowych współczynników wydajności pomp ciepła SPF dla 78 budynków o średniej powierzchni użytkowej $A = 192,4 \text{ m}^2$, które wynosiły odpowiednio dla:

- gruntowego źródła ciepła – 3,72 w okresie 14 miesięcy,
- powietrze/woda – 2,99 w okresie rocznym,
- woda/woda – 3,39 w okresie rocznym.

Na rysunku 2 przedstawiono ścisłą zależność współczynnika efektywności (wydajności) pompy ciepła COP od różnicy temperatury źródła górnego i dolnego dla typowej pompy ciepła typu powietrze-woda, dla której wskazane jest zastosowanie szczytowego wspomaganie – dodatkowym źródłem ciepła – dla temperatur zewnętrznych wynoszących poniżej 0°C [23].



Rys. 2. Przykładowa charakterystyka współczynnika (wydajności) efektywności COP pompy ciepła typu powietrze/woda – opracowanie własne na podstawie [23]

Fig. 2. Example of a characteristic efficiency heat pump air to water - study based on [23]

Przy tendencji systematycznego zmniejszania zapotrzebowania na energię do ogrzewania pomieszczeń rośnie udział c.w.u. w bilansie energetycznym, co w konsekwencji powoduje znaczne obniżenie sezonowego współczynnika wydajności pompy ciepła SCOP. W [24] przedstawiono interesujące szwedzkie rozwiązanie technologiczne pompy powietrzno-gruntowej, w której zastosowano uźbrowane elementy aluminiowe w wymienniku ciepła. Innym ciekawym rozwiązaniem do ogrzewania budynków jest połączenie kondensacyjnego kotła gazowego z powietrzną pompą ciepła [25]. Wg [26] w 2013 roku w 21 krajach Unii Europejskiej udział w sprzedaży instalacji pomp ciepła typu grunt-woda wynosił 13%, a pomp powietrze-woda odpowiednio 18%, przy rocznej sprzedaży wynoszącej około 766 000 sztuk. W Polsce w roku 2015 sprzedaż pomp ciepła wyniosła 22 095 sztuk, w tym np.:

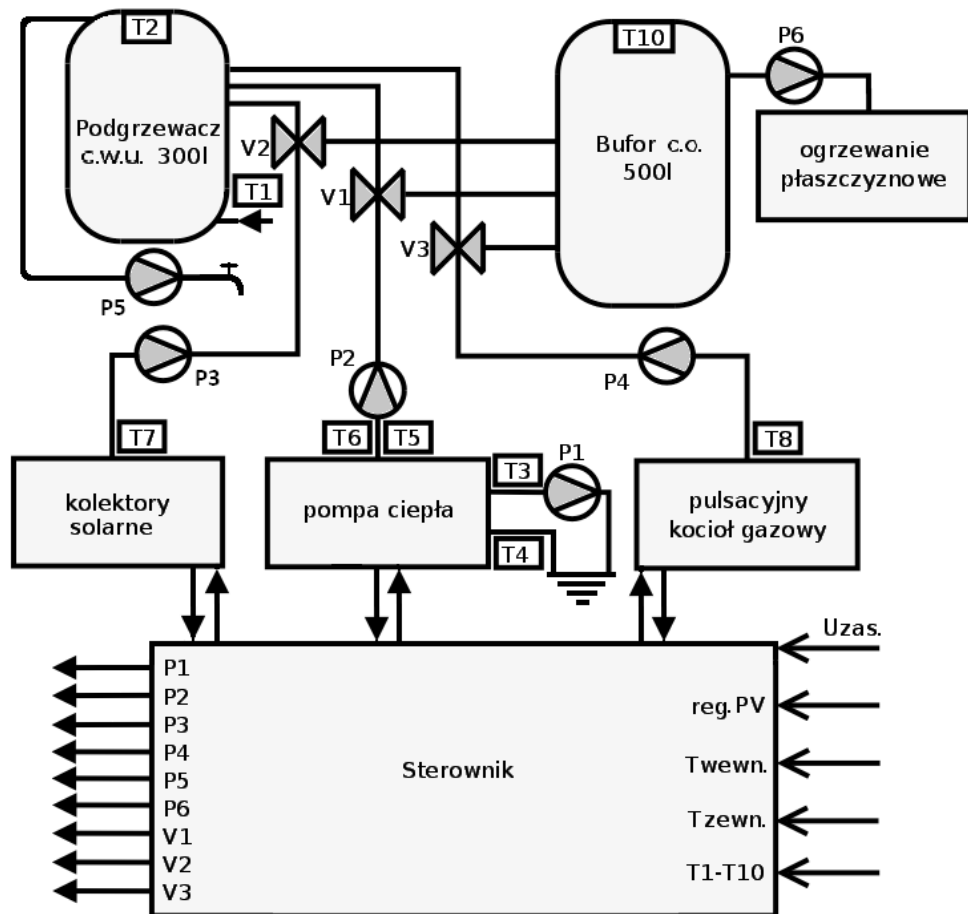
- solanka-woda: 4930 sztuk – 22,3%,
- woda-woda: 86 sztuk – 0,4%,
- powietrze/woda: 3916 sztuk – 17,7% [27].

W stosunku do roku 2014 wystąpił wzrost sprzedaży pomp ciepła o ok. 70%, generując przyrost produkcji w poprzednich sześciu latach średnio o ok. 15%. W roku 2016 przewiduje się dalszą tendencję wzrostową produkcji pomp ciepła na poziomie 15-20%. Wzrost sprzedaży ogranicza dwukrotnie niższe dofinansowanie w programie

Prosument dla pomp ciepła w stosunku do instalacji fotowoltaicznych. Dla instalacji fotowoltaicznych dofinansowanie wynosi 40%, co sprzyja ich stosowaniu na dużą skalę nie tylko w domach jednorodzinnych. Warto wskazać na wzajemne powiązania technologiczne wymienionych instalacji, np. wspólne sterowniki, bufory, zasobniki, niezależność eksploatacji, itd. Inwestowanie w następne, innego rodzaju OZE, ogranicza zużycie poprzedniego, podnosząc koherentność systemu. Jest to tym bardziej wskazane, że te rozwiązania technologiczne się uzupełniają [28].

Zastosowanie OZE w budynku jednorodzinym – systemy grzewcze

Systemy ogrzewania budynków z zastosowaniem pompy ciepła najczęściej są przedstawiane w układach mono-, bi- i multiwalentnych, czyli z zastosowaniem tylko pompy ciepła, pompy ciepła współpracującej z kotłem grzewczym lub z ciepłem dostarczanym z sieci zewnętrznej oraz pompy ciepła współdziałającej z dwoma źródłami – kotłem grzewczym i kolektorem słonecznym [29-34]. Przy określaniu zapotrzebowania na ciepło określa się tzw. szczytową moc grzewczą obiektu. W układzie biwalentnym można rozważyć wersję doboru pompy o mocy średniej. W takim przypadku znacznie obniża się koszty inwestycyjne i eksploatacyjne instalacji z pompą ciepła [35]. Zastosowanie pomp ciepła znacząco redukuje emisję CO₂, przy czym szczególnie zalecane jest użycie do napędu pompy ciepła energii elektrycznej pochodzącej z generatora napędzanego paliwem z biomasy lub biogazu, które jeszcze bardziej obniża pośrednią emisję CO₂. Dla pompy ciepła typu powietrze/woda o współczynniku SCOP = 3,5 emisja CO₂ wynosi poniżej 12 g/kWh ciepła, a dla pompy ciepła solanka/woda dla wartości SCOP = 4 jest niższa od 10 g/kWh ciepła [25]. Do oceny eksploatacyjnej układów ogrzewania budynków wykorzystuje się wykresy uporządkowanych częstotliwości występowania temperatur zewnętrznych powietrza. W analizowanym budynku w III strefie klimatycznej średnie temperatury wynoszą odpowiednio dla całego okresu grzewczego +2°C (czas ogrzewania ok. 4800 godzin), a dla całego roku +8,1°C. W przypadku Katowic, liczba dni, w których temperatura jest mniejsza od 0°C wynosi 104 [36], natomiast dla Berlina już tylko 50 dni [18]. Średnio przez około 20 dni w roku temperatura zewnętrzna w Katowicach wynosi - 6°C, a dla temperatury poniżej - 10°C – liczba dni dla Katowic jest mniejsza od 10, tj. przeciętnie ok. 8. Udział ciepła wytworzonego w układzie biwalentnym przez pompę ciepła w okresie grzewczym stanowi wtedy około 85% [20,30,31]. Dla pompy ciepła powietrze-woda udział OZE stanowi wówczas od 48 do 57% [25]. Na rys. 3 przedstawiono oryginalne, własne rozwiązania projektu procesowego zastosowania odnawialnych źródeł energii w aktywnych systemach sterowania zasilaniem c.o. oraz produkcją c.w.u. z udziałem trzech źródeł ciepła dla energooszczędnego budynku jednorodzinego o ogrzewanej powierzchni użytkowej A = 138,4 m², w którym roczne zużycie energii wynosi 60 – 70 kWh/(m²·a) [34]. Do ogrzewania domu jako główne źródło zastosowano elektryczną sprężarkową pompę ciepła z poziomym wymiennikiem gruntowym.



Legenda:

- P1-P6 – sygnały wyjściowe sterujące pracą pomp obiegowych,
- V1-V3 – sygnały wyjściowe sterujące pracą elektrozaworów rodzaju pracy źródeł ciepła,
- Uzas – wejście napięcia zasilającego,
- reg.PV – sygnał regulatora ładowania ogniw fotowoltaicznych,
- Twewn – temperatura powietrza pomieszczenia wyposażonego w nastawnik temperatury,
- Tzewn – temperatura powietrza na zewnątrz budynku,
- T1-T10 – temperatury charakterystycznych punktów instalacji c.o. i c.w.u.

Rys. 3. Schemat sterowania systemami centralnego ogrzewania i ciepłej wody użytkowej (c.w.u.) z trzema niezależnymi źródłami ciepła – opracowanie własne

Fig. 3. Schematic of systems control central heating and domestic hot water (dhw) with three independent heat sources - to develop their own

Przy najczęściej występującym rozwiązaniu w układach biwalentnych, czyli dla pompy ciepła z kotłem gazowym, źródła mogą działać równolegle lub alternatywnie. W układzie równoległym kocioł grzewczy włączany jest wówczas, gdy moc pompy nie zapewnia w pełni pokrycia zapotrzebowania na ciepło. Przy działaniu alternatywnym, przy niskiej temperaturze zewnętrznej, najczęściej od -3 do -7°C, dla której moc cieplna pompy jest niewystarczająca, układ c.o. i c.w.u. domu zasilany jest wyłącznie przez kocioł, który przy działaniu równoległym i alternatywnym, pełni rolę źródła szczytowego.

Wnioski

Zastosowanie przedstawionej koncepcji multiwalentnego systemu ogrzewania i zasilania c.w.u. z wykorzystaniem OZE w budynkach jednorodzinnych spowoduje istotne zmniejszenie zużycia energii pierwotnej oraz wymierne korzyści ekologiczne w wyniku redukcji emisji ditlenku węgla. Pompy ciepła, ze względu na zalety energetyczno-ekologiczne, powinny spełniać rolę podstawowego źródła energii cieplnej w budynkach. Wsparcie finansowe dla pomp ciepła na poziomie identycznym jak dla fotowoltaiki – 40%, spowodowałoby zwiększenie ich zastosowania na większą skalę w domach jednorodzinnych.

Bibliografia

- [1] Gil, S., Rozpondek, M., Grychowski, T.: Porównanie warunków cieplnych i jakości środowiska wewnętrznego budynku energooszczędnego z budynkiem tradycyjnym. W: Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja 2011 nr 11, s. 459 – 465. ISSN: 0137-3676.
- [2] Praca zbiorowa pod redakcją Niezabitowskiej, E.: Budynek inteligentny t. 1. Potrzeby użytkownika a standard budynku inteligentnego. Gliwice: Wydawnictwo Politechniki Śląskiej 2005. s. 42, 47-49, 175-183. ISBN 83-7335-224-4.
- [3] Mikoś, J. Budownictwo ekologiczne. Gliwice: Wydawnictwo Politechniki Śląskiej 2000. s. 119-122, 235-243. ISBN: 83-88000-52-7.
- [4] Laskowski, L.: Ochrona cieplna i charakterystyka energetyczna budynku. Warszawa: Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej 2005. s. 95-101, 108-110, 131-141. ISBN: 978-83-7207-528-4.
- [5] Popczyk, J.: Zmiana paradygmatu rozwoju energetyki. Konferencja naukowa p.t.: Cud energetyczny? Polityka zrównoważonego rozwoju w gospodarce komunalnej – doświadczenia szwedzkie i polskie realia. Wyższa Szkoła Techniczna w Katowicach – Ambasada Królestwa Szwecji. Katowice, 6 czerwiec 2016.
- [6] Ziębik, A., Szargut, J.: Podstawy gospodarki energetycznej – wydanie drugie poprawione. Gliwice: Wydawnictwo Politechniki Śląskiej 1997. s. 73-76. PL ISSN: 0434-0825.
- [7] Praca zbiorowa pod redakcją Popiołka, Z.: Energooszczędne kształtowanie środowiska wewnętrznego. Ener-Indoor Centrum Energetycznie Efektywnych Technik i Systemów. Gliwice: Wydawnictwo Politechniki Śląskiej 2005. s. 5-9. ISBN: 83-922941-1-4.
- [8] Holmes, M.: Low Energy Design Techniques for a Sustainable Future. Loughborough University. Tłumaczenie polskie: Projektowanie energooszczędnych budynków podstawą zrównoważonego rozwoju. Praca zbiorowa pod redakcją Popiołka Z.: Energooszczędne kształtowanie środowiska wewnętrznego. Ener-Indoor Centrum Energetycznie Efektywnych Technik i Systemów. Gliwice: Wydawnictwo Politechniki Śląskiej 2005, s. 22-48. ISBN: 83-922941-1-4.
- [9] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/28/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych. Dz.U. UE L 09.140.16.

- [10] Dz. Ustaw Rzeczypospolitej Polskiej z 13 sierpnia 2013r. Poz. 926. Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 5 lipca 2013 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie.
- [11] Holmes, M., Hacker, J.: Low-energy Design Techniques for a Sustainable Future. 2006. p. 1-12: [przełgądany 17 czerwca 2016]. Dostępny w: http://nceub.org.uk/dokuwiki/lib/exe/fetch.php?media=nceub:uploads:members:w2006:session6:w2006_holmes_hacker.pdf
- [12] Liszka, Sz., Pasierb, S.: Energetyka a zmiany klimatu. Warszawa: Instytut na rzecz Ekorozwoju 2008. s. 21-24. ISBN: 978-83-7556165-4. [przełgądany 12 kwietnia 2016]. Dostępny w: http://www.ine-isd.org.pl/theme/UploadFiles/File/publikacje/broszury/energetyka_a_zmiany_klimatu.pdf
- [13] Boermans, T., Petersdorff, C.: U-Values For better energy performance of buildings. Raport of Ecofys for Eurim. 10/2007, p. 15-17, 45-47, 58-61, 68 76. [przełgądany 7 kwietnia 2016]. Dostępny w: http://www.ecofys.com/files/files/ecofys_2007_uvaluesenergyperformancebuildings.pdf
- [14] Gil, S., Rozpondek, M.: Potential for energy saving in heating and ventilating systems in office buildings. W: The Holistic Approach to Environment 3 (2013)2, 101-112. ISSN: 1848-0071.
- [15] Starościk, J.: Rynek ciepła z OZE w Polsce i Niemczech. W: Polski Instalator 2014 nr 7-8, s. 1-4 [przełgądany 20 lipca 2016]. Dostępny w: http://ahk.pl/uploads/media/08.21_Polski_Instalator_Rynek_ciepła_z_OZE_w_Polsce_i_w_Niemczech_03.pdf
- [16] Dworakowska, A.: Stan techniczny domów jednorodzinnych ogrzewanych węglem. Podsumowanie i komentarz do badań. Efektywność energetyczna w Polsce. Przegląd 2015. Kraków: Instytut Ekonomii Środowiska 2016. s. 11. [przełgądany 20 września 2016]. Dostępny w: www.iee.org.pl
- [17] Lewandowski, W.: Proekologiczne odnawialne źródła energii – wydanie czwarte uaktualnione. Warszawa: Wydawnictwa Naukowo-Techniczne 2007. ISBN: 978-83-204-3339-5. s. 285, 297-299.
- [18] Rietschel, H., Reiss, W.: Heiz- und Klimatechnik. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag 1968 – tłumaczenie polskie: Ogrzewanie i klimatyzacja. Warszawa: Arkady 1972. s. 78-82, 510-515.
- [19] Rubik, M.: Pompy ciepła. Poradnik. Warszawa: Branżowy Ośrodek Informacji Naukowej, Technicznej i Ekonomicznej „Instal” 1996. s. 16, 38-42, 80-89. ISBN: 83-905134-5-5.
- [20] Foit, H.: Zastosowanie odnawialnych źródeł ciepła w ogrzewnictwie i wentylacji. Gliwice: Wydawnictwo Politechniki Śląskiej 2013. s. 84-92, 113-129, 138-148. ISBN: 978-83-7880-016-3.
- [21] Dz.U. 2008 nr 201 poz. 1240. Aktualny tekst jednolity. Stan prawny na dzień: 13 października 2014. Ostatnia zmiana: Dz.U. 2013 nr 0 poz. 45. [przełgądany 24 wrzesień 2016]. Dostępny w: <http://www.ciib.pl/Baza-przepisow-budowlanych/Przepisy/Dz-U-2008-201-1240>
- [22] Miara, M.: Performance/optimization of state-of-the art residential heat pump. Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE. IEA-Annex 32, Expert meeting, Kyoto, 05.12.2007. [przełgądany 20 lipca 2016]. Dostępny w: http://www.annex32.net/pdf/presentations/Annex32_workshop_HPC2008_Miara.pdf
- [23][przełgądany 2 listopada 2015]. Dostępny w: www.fachowyinstalator.pl/pompy-ciepła-modernizacja-ogrzewania-z-wykorzystaniem-powietrznych-pomp-ciepła.html
- [24] Mcklorlds Ltd install new Jifon AirGo heat pump. A press release from Jifon AB, October 02, 2014. [przełgądany 12 marca 2016]. Dostępny w: <http://www.ehpa.org/about/news/article/mcklorlds-ltd-install-revolutionary-new-jifon-airgo-heat-pump/>
- [25] Lachman, P.: Układy hybrydowe – pompa ciepła z kotłem gazowym. Wpływ na sieci elektroenergetyczne i ochronę środowiska. Polski Instalator 4/2015, s. 38-42. [przełgądany 4 września 2016]. Dostępny w: http://www.portpc.pl/pdf/artykuly/053_Lachman_042015_Pl.pdf
- [26] Nowak, T., Westring, P.: Heat pump market development in Europe. 7th EHPA European Heat Pump Forum. May 20th, 2014 Berlin, Germany. [przełgądany 12 lutego 2016]. Dostępny w: http://forum.ehpa.org/fileadmin/red/_EHPA_Archive_Forum/7th_Forum/Presentations/7_Nowak_EU_

heat_pump_statistics.pdf

[27] Poland a spectacular growth of the air heat pump market in 2015. PORT PC. 2 Luty 2016. [przełgądany 2 września 2016]. Dostępny w: <http://www.ehpa.org/about/news/article/poland-a-spectacular-growth-of-the-air-heat-pump-market-in-2015/>

[28] Jak rozwija się polski rynek pomp ciepła? Wywiad z Pawłem Lachmanem. Gram w zielone. pl – portal zielona energia. 1 Luty 2016. [przełgądany 12 września 2016]. Dostępny w: <http://gramzielone.pl/dom-energooszczedny/20250/jak-rozwija-sie-polski-rynek-pomp-ciepła-wywiad>

[29] Foit, H.: Wyznaczanie optymalnej postaci źródła ciepła zawierającego kolektory słoneczne dla zaopatrzenia w ciepło budynku mieszkalnego. Praca zbiorowa pod redakcją Popiołka Z.: Energooszczędne kształtowanie środowiska wewnętrznego. Ener-Indoor Centrum Energetycznie Efektywnych Technik i Systemów. Gliwice: Wydawnictwo Politechniki Śląskiej 2005. s. 128-134. ISBN: 83-922941-1-4.

[30] Magiera, J., Pater, S.: Bivalent heating installation with a heat pump and solar collectors for a residential building. Environment Protection Engineering 2012, vol. 38, nr 2, p. 127-140. [przełgądany 18 marca 2016]. Dostępny w: http://epe.pwr.wroc.pl/2012/2_2012/Magiera_2-2012.pdf

[31] Lachman, P. Układy hybrydowe – pompa ciepła z kotłem gazowym. Analiza dla domu jednorodzinne. Polski Instalator 5/2015, s. 16-20. [przełgądany 12 września 2016]. Dostępny w: http://www.portpc.pl/pdf/artykuly/050_Lachman_052015_Pl.pdf

[32] Gil, S., Tomczek, J., Rozpondek, M.: Strategiczny Projekt Badawczy p.t.: Zintegrowany system zmniejszenia eksploatacyjnej energochłonności budynków – zadanie badawcze nr 5: Zoptymalizowanie zużycia energii elektrycznej w budynkach. Politechnika Śląska PBS-5/RM1/2010 – etap 9: „Analiza głównych czynników wpływających na zużycie energii cieplnej w budynkach”.

[33] Gil, S., Rozpondek, M.: Strategiczny Projekt Badawczy p.t.: Zintegrowany system zmniejszenia eksploatacyjnej energochłonności budynków – zadanie badawcze nr 5: Zoptymalizowanie zużycia energii elektrycznej w budynkach. Politechnika Śląska PBS-5/RM1/2010 – etap 10: „Analiza wariantowa systemów ogrzewania i wentylacji pod kątem ograniczenia zużycia energii.

[34] Kasprzyk, G.: Opracowanie projektu procesowego zastosowania wybranych odnawialnych źródeł energii w domu jednorodzinne. Praca dyplomowa inżynierska. Wyższa Szkoła Techniczna – Wydział Architektury, Budownictwa i Sztuk Stosowanych. Katowice, marzec 2016.

[35] Buczek, A., Telejko, T.: Pompy ciepła. Praca zbiorowa. Odnawialne i nieodnawialne źródła energii. Poradnik. Kraków-Tarnobrzeg: Wydawca TARBONUS 2008. s. 241-245, 249-253. ISBN: 978-83-7394-220-2.

[36] Nantka, B.: Instalacje grzewcze i wentylacyjne w budownictwie. Gliwice: Wydawnictwo Politechniki Śląskiej 2000. s. 12, 203-205. PL ISSN: 0434-0825.

ENERGETIC AND ECOLOGICAL ASPECTS OF USING A HEAT PUMP IN A SINGLE FAMILY HOUSE

SUMMARY

The use of renewable energy sources in buildings has been presented. The coefficients of heat pumps' performance have been characterized. The energy and ecological aspects of operating of heating systems in a single-family houses have been analysed. The solution of multivalent heating systems with a heat pump as a primary source of heat was proposed.

KEYWORDS

renewable energy sources, heat pump, single family house