

**Bernadeta RAJCHEL, Robert KLIMCZAK**

Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa im. S. Pigonia w Krośnie

## **WYKORZYSTANIE POMPY CIEPŁA W DOMU JEDNORODZINNYM JAKO SYSTEMU PRZYJAZNEGO ŚRODOWISKU PRZYRODNICZEMU**

### **Streszczenie**

W artykule omówiono temat wykorzystania jednego z alternatywnych źródeł energii w domach jednorodzinnych. W Polsce rośnie zainteresowanie pompami ciepła, które do ogrzewania, wentylacji oraz do przygotowania ciepłej wody użytkowej wykorzystują ciepło odpadowe i niskotemperaturowe. Popularność pomp ciepła będzie wzrastać wraz ze wzrostem cen paliw nieodnawialnych i wprowadzeniem nowych dyrektyw w zakresie ochrony środowiska. Wzrost zainteresowania pompami ciepła jest również spowodowany zastrzeżeniem wymagań dotyczących izolacyjności budynków, sprawiając, że w dużym stopniu jest możliwe zapewnienie pełnego pokrycia zapotrzebowania na moc cieplną przy niższych temperaturach powietrza zewnętrznego. Pompy ciepła zapewniają wysoki komfort użytkowania, są bezobsługowe, pracują cicho, eliminują zagrożenie pożarowe, są niezawodne w działaniu oraz nie mają szkodliwego wpływu na środowisko przyrodnicze. Głównym celem artykułu było zaproponowanie zastosowania pompy ciepła w budownictwie jednorodzinny, poprzez przygotowanie projektu, a następnie wykonanie montażu i uruchomienie układu chłodniczego.

**Słowa kluczowe:** alternatywne źródła energii, pompa ciepła, budownictwo jednorodzinne

## **USE OF HEAT PUMP IN A SINGLE-FAMILY HOUSE AS THE ENVIRONMENTAL-FRIENDLY SYSTEM**

### **Summary**

The following article discuss using one of alternative energy source in single-family houses. The interest for heat pumps in Poland keeps rising. They use low-temperature and waste heat for heating, ventilation and for hot water preparation. The popularity of heat pumps will increase along with increasing prices for non-renewable fuels and introducing new directives in environmental protection area. Interest increase for heat pumps is also caused by requirements concerning buildings insulation, in large degree making

possible to satisfy full coverage for heat power with low-temperature outdoor air. Heat pumps ensure high usage comfort, they are maintenance-free, they operate quietly, they eliminate fire hazard, they are reliable and do not have negative influence on environment. The main goal of this article was to propose to use of a heat pump in single-family housing, though the preparation of the project, and then the assembly and commissioning of the refrigeration system.

**Keywords:** alternative sources of energy, heat pump, single-family housing

## 1. Wprowadzenie

Obecny postęp cywilizacyjny oraz wzrost poziomu życia ludzi na świecie powoduje stałe zwiększenie zapotrzebowania na energię. Niestety zasoby paliw kopalnych – węgla kamiennego i brunatnego, gazu ziemnego oraz ropy naftowej, są na wyczerpaniu, a ich eksploatacja negatywnie wpływa na środowisko. Analiza światowych rezerw surowców energetycznych pokazuje, że udokumentowane zasoby tych surowców wystarczą, przy obecnym ich zużyciu na: ok. 53 lata – gaz, ok. 51 lat – ropa naftowa, ok. 153 lata – węgiel [Gawlik i Mokrzycki 2017, s. 6]. Stale zmniejszające się zasoby paliw stałych to problem dla gospodarki światowej. Jednak większym problemem jest skażenie środowiska produktami spalania, tj. tlenkami węgla, siarki i azotu, a także pyłami. W związku z tym jest konieczne odchodzenie od paliw konwencjonalnych, zwłaszcza w Polsce, gdzie węgiel jest zarazem podstawowym surowcem energetycznym, jak i poważnym zagrożeniem dla środowiska naturalnego. Dlatego należy dążyć do zminimalizowania zużycia tego surowca i zastąpić go odnawialnymi źródłami energii, jakimi są: energia słoneczna, geotermalna, energia wody oraz wiatru, energia otrzymywana z biomasy oraz pompy ciepła.

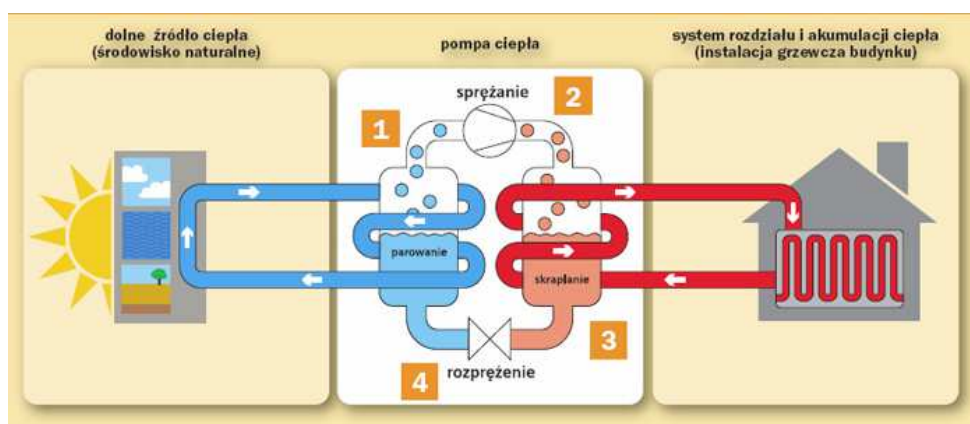
Pompa ciepła to urządzenie, które wykorzystując źródła energii odnawialnej i odpadowej, przyczynia się do znacznych oszczędności energii. Zaletą pomp ciepła jest brak szkodliwości dla środowiska. Co więcej, zastępując nimi konwencjonalne źródła energii, wpływa się na poprawę stanu środowiska naturalnego poprzez zmniejszenie emisji szkodliwych substancji do otoczenia. W zależności od zapotrzebowania, istnieje również możliwość pracy tych urządzeń w układzie odwracalnym, tzn. jako urządzenia grzewcze lub chłodzące [Kotruchow 2011, s. 16].

W Polsce rośnie zainteresowanie pompami ciepła, które do ogrzewania, wentylacji oraz do przygotowania ciepłej wody użytkowej wykorzystują ciepło odpadowe i niskotemperaturowe. Zainteresowanie to jest spowodowane również wzrostem cen nieodnawialnych źródeł energii. Pompy ciepła zapewniają wysoki komfort użytkowania, są bezobsługowe, pracują cicho, eliminują zagrożenie pożarowe, są niezawodne w działaniu oraz nie mają szkodliwego wpływu na środowisko.

Celem artykułu jest zaproponowanie zastosowania pompy ciepła w budownictwie jednorodzinnym, poprzez przygotowanie projektu, a następnie wykonanie montażu oraz uruchomienie układu chłodniczego.

## 2. Pompa ciepła – zasada działania

Pompa ciepła to urządzenie transportowe, które przenosi ciepło ze źródła dolnego, tj.: powietrze, woda, grunt, które ma niższą temperaturę, do źródła o wyższej temperaturze – górnego, tj. grzejnik, ogrzewanie podłogowe (ryc. 1). Aby ten proces był możliwy, warunkiem jest dostarczenie energii z zewnątrz. Zatem na użyteczną energię cieplną tego urządzenia składa się ilość ciepła pobrana z dolnego źródła oraz ilość ciepła odpowiadająca energii napędowej. Zasada działania pompy ciepła jest taka sama, jak działanie lodówki. Różnią się tylko funkcją, jaką dane urządzenie ma pełnić i zakresem parametrów pracy. W urządzeniu chłodniczym wykorzystuje się ciepło pobrane przy niskiej temperaturze, zaś w pompie ciepła wykorzystuje się ciepło oddane przy wysokiej temperaturze [Zalewski 2001, s. 54].



Ryc. 1. Zasada działania pompy ciepła

Źródło: Zalewski 2001, s. 54

Pompy ciepła stosuje się również wówczas, gdy zachodzi potrzeba jednoczesnego lub alternatywnego odbierania ciepła ze źródła dolnego czy też oddawania go do górnego źródła. Jednym z istotnych parametrów definiujących pompę ciepła jest współczynnik COP (ang. Coefficient of Performance), czyli współczynnik wydajności cieplnej. Precyzuje on, ile energii elektrycznej trzeba dostarczyć do napędu sprężarki oraz pompy obiegowej glikolu, aby uzyskać pewną ilość energii cieplnej.

### 3. Obliczenia do projektu

W niniejszym rozdziale zaprezentowano wyniki obliczeń niezbędnych do opracowania projektu budowlanego instalacji i montażu pompy ciepła. Pompa ciepła będzie współpracować z poziomym gruntowym wymiennikiem ciepła. Zaplanowano instalację wewnętrzną centralnego ogrzewania. Gruntowy wymiennik ciepła będzie zasilany przez pompę ciepła z bezpośrednim odparowaniem. Pompa będzie stanowić źródło ciepła dla ogrzewania obiektu i przygotowania ciepłej wody użytkowej.

Projektowany dom jednorodzinny będzie budowany w miejscowości Kłodawa k. Jasła, gm. Brzyska, woj. podkarpackie. Będzie to budynek parterowy, wolnostojący, niepodpiwniczony, wykonany w technologii tradycyjnej z dociepleniem.

Projektowana instalacja grzewcza budynku jest instalacją niskotemperaturową z rozdziałem dolnym w układzie zamkniętym z wymuszonym obiegiem, gdzie czynnik grzewczy będzie rozprowadzany w układzie dwururowym.

Podstawowe dane wyjściowe przyjęte do projektu są następujące:

Lokalizacja - budynek mieszkalny znajduje się w III strefie klimatycznej Polski, gdzie:

- ◆  $\theta_e$  - najniższa temperatura w III strefie klimatycznej;  $\theta_e = -20^{\circ}\text{C}$ , wg PN-EN 12831:2006,
- ◆  $\theta_m$  - średnia temperatura w III strefie klimatycznej;  $\theta_m = 7,6^{\circ}\text{C}$ , wg PN-EN 12831:2006,
- ◆ temperatura pomieszczeń ogrzewanych  $16\text{--}24^{\circ}\text{C}$ , wg PN-EN 12831:2006,
- ◆ czynnikiem grzewczym będzie woda o temperaturze  $35/30^{\circ}\text{C}$ ,
- ◆ głębokość zwierciadła wód podziemnych na obszarze, gdzie jest posadowiony budynek, jest poniżej 1 m;  $G_w > 1$  m [PN-EN 12831:2006].

Dane domu:

- ◆ powierzchnia zabudowy -  $137\text{ m}^2$ ,
- ◆ kubatura części, która będzie ogrzewana -  $250\text{ m}^3$ ,
- ◆ powierzchnia ogrzewania -  $90\text{ m}^2$ ,
- ◆ kubatura budynku -  $607\text{ m}^3$ .

#### 3.1. Zapotrzebowanie budynku na ciepło

Całkowite zapotrzebowanie na ciepło budynku jest sumą zapotrzebowania ciepła na pokrycie strat ciepła przez przegrody oraz zapotrzebowanie ciepła na pokrycie strat związanych z ogrzaniem powietrza wentylacyjnego. Określenie zapotrzebowania mocy cieplnej budynku wykonano zgodnie z normą PN-EN 12831:2006. Temperaturę wewnętrzną pomieszczeń oraz temperatury zewnętrzne dla obszaru, w którym projektowany jest budynek, przyjęto wg normy PN-EN

12831:2006. Decyzja o zastosowaniu pompy ciepła powinna być każdorazowo poprzedzona ekspertyzą opartą na ocenie efektywności energetycznej projektowanej instalacji. W tym celu obliczono wg PN-EN 12831:2006 współczynnik efektywności ( $\epsilon$ ) pompy ciepła, który jest równy 4,4. Na podstawie współczynnika efektywności pompy ciepła w projekcie zastosowano ogrzewanie podłogowe. Obliczono zapotrzebowanie na moc cieplną budynku, czyli sporządzono bilans cieplny budynku oparty o normę PN-EN 12381:2006.

W celu wyliczenia całkowitego obciążenia cieplnego budynku ( $\Phi_{HL}$ ) obliczono:

- ◆ sumę projektowanych strat ciepła przez przenikanie we wszystkich przestrzeniach nieogrzewanych bez uwzględnienia ciepła wymienianego wewnątrz określonych granic instalacji,  $\Phi_{T,i} = 3,885$  kW;
- ◆ sumę projektowych wentylacyjnych strat ciepła wszystkich przestrzeni ogrzewanych bez uwzględnienia ciepła wymienianego wewnątrz określonych granic instalacji,  $\Phi_{V,i} = 1,7$  W;
- ◆ całkowitą nadwyżkę ciepła budynku, wymaganą do skompensowania skutków przerw w ogrzewaniu,  $\Phi_{RH,i} = 0,99$  kW.

Obciążenie cieplne budynku  $\Phi_{HL}$  wyniosło 6,575 kW.

Następnie określono moc na potrzeby ciepłej wody użytkowej. W budownictwie mieszkaniowym średnie zużycie ciepłej wody użytkowej o temperaturze 45°C wynosi 40 dm<sup>3</sup>/24 h. Podczas projektowania instalacji przyjęto 200 W mocy cieplnej na osobę (Krzyżaniak, Koczyk 2016, s. 3), czyli dla gospodarstwa 4-osobowego:

$$Q_{ww} = 4 \cdot 0,2 \text{ kW} = 0,8 \text{ kW.}$$

W sumie obciążenie ogrzewnicze przy ogrzewaniu i podgrzewaniu ciepłej wody wynosi:

$$Q_{HL} = 6,575 + 0,8 = 7,357 \text{ kW}$$

### 3.2. Powierzchnia kolektora oraz dobór pompy ciepła

Powierzchnię kolektora poziomego gruntowego obliczono zgodnie z normą PN-EN 15879-1 *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*. Moc chłodniczą lub moc pobieraną ze źródła w momencie projektowania [kW] obliczono ze wzoru:

$$Q_0 = Q_{wp} - P_{el}$$

gdzie:

$P_{el}$  – pobór prądu pompy ciepła w momencie projektowania, kW,

$Q_{wp}$  – moc grzewcza instalacji z pompą ciepła, kW.

Do obliczeń przyjęto  $Q_{wp} = 9,1$  kW i  $P_{el} = 2,7$  kW i otrzymano moc chłodniczą

$$Q_0 = 9100 - 2700 = 6400 \text{ W} = 6,4 \text{ kW}$$

Przyjęto następującą właściwą moc pobieraną ze źródła:  $q = 25 \text{ W/m}^2 = 0,025 \text{ kW/m}^2$ .

Zatem powierzchnia kolektora

$$A = Q_0/q = 6,4 \text{ kW} / 0,025 \text{ kW/m}^2 = 256 \text{ m}^2$$

Biorąc pod uwagę możliwość wystąpienia okresowych przerw w poborze energii elektrycznej z sieci zewnętrznej, zaprojektowano moc pompy ciepła większą o 10%, przy założeniu, że przerwa nie będzie trwała dłużej niż 4 godziny:

$$Q_{wp} = 1,1 \cdot Q_{HL} = 1,1 \cdot 7,357 \text{ kW} = 7,14 \text{ kW}$$

Z przedstawionych obliczeń wynika, że na potrzeby ogrzania projektowanego budynku oraz przygotowania ciepłej wody użytkowej należy dobrać pompę o mocy 7 kW. Zaproponowano pompę ciepła firmy „THERMOGOLV” ZIRIUS M2-7 wraz ze zbiornikiem akumulacyjnym o pojemności 500 l [[http://www.thermogolv.pl/oferta/zirius\\_m2](http://www.thermogolv.pl/oferta/zirius_m2), dostęp: 19.06.2019].

#### 4. Prace wykonawcze w instalacji pompy ciepła

Głównym źródłem ciepła do ogrzania budynku i przygotowania ciepłej wody użytkowej będzie zainstalowana pompa ciepła ZIRIUS M2-7 z bezpośrednim odparowaniem. Urządzenie to można zastąpić innym urządzeniem o takich samych parametrach oraz sposobie podłączenia do instalacji grzewczej. Na pompę ciepła ZIRIUS M2-7 składają się dwa urządzenia, tj. jednostka ze sterownikiem oraz zbiornik akumulacyjny. Ciepła woda użytkowa pozyskiwana będzie z wymiennika przepływowego. Dzięki temu rozwiązaniu, ze względu na niewielką ilość wody stojącej w wymienniku, uda się uniknąć rozmnażania bakterii Legionella.

Zadaniem pompy ciepła będzie utrzymywanie temperatury wody kotłowej w zbiorniku akumulacyjnym o temperaturze zadanej przez użytkownika. Sterownik urządzenia ma za zadanie kontrolę pracy bufora, m.in. umożliwia podwyższenie temperatury w buforze w okresach taniej taryfy prądu elektrycznego, monitoruje temperaturę na wyjściu PC i wyjściu oraz wejściu z dolnego źródła, a także kontroluje ciśnienie w instalacji. Ze zbiornika buforowego czynnik grzewczy będzie tłoczony pompami obiegowymi do instalacji ogrzewania podłogowego. Instalacja ogrzewania podłogowego będzie układem zamkniętym, zabezpieczonym naczyniem wzbiorczym przeponowym, zaworem bezpieczeństwa oraz manometrem.

#### 4.1. Zagospodarowanie działki

Na terenie działki zostanie wykonana instalacja dolnego źródła, czyli poziomego gruntowego wymiennika, będącego dolnym źródłem dla pompy ciepła, która ma za zadanie ogrzać budynek oraz przygotować ciepłą wodę użytkową. Dolne źródło zostanie wykonane w postaci wężownicy ułożonej na głębokości około 1 m, co nie będzie miało wpływu na dalsze prace przy projektowaniu ogrodu. Nad powierzchnią, na której będzie wykonany gruntowy poziomy wymiennik ciepła, nie należy układać kostki brukowej, płyt betonowych lub innych obiektów związanych na stałe z gruntem. Na powierzchni dolnego źródła można projektować ogrody, lecz należy pamiętać o wyborze takich gatunków roślin i krzewów, aby nie zacieniały znacznej powierzchni terenu, na którym będzie wykonane dolne źródło. Należy również wziąć pod uwagę głębokość i wielkość korzeni, które mogą uszkodzić przewody wymiennika gruntowego.

#### 4.2. Montaż instalacji dolnego źródła

Podczas wykonywania robót montażowych należy zwrócić uwagę na właściwe wykonanie wykopu, obsypki, jak i ewentualne zabezpieczenie napotkanych przewodów (np. kabli elektrycznych). Dno wykopu, w którym będą układane rury wymiennika, należy wyrównać i usunąć ostre kamienie lub gruz, mogące uszkodzić wierzchnią warstwę rury, co może skutkować jej przyspieszoną korozją. Przewody dolnego źródła są rurami miedzianymi o długości 75 m i średnicy 12,5 mm, pokrytymi polietylenem o wysokiej gęstości. Zakopuje się je w gruncie na głębokości 0,8–1 m w rozstawie 0,8–1 m. Rury w wykopach należy układać z dużą starannością, możliwie jak najbardziej płasko, zwracając uwagę, aby nie zostały załamane lub zagięte. Po ułożeniu rur w wykopie i montażu układu chłodniczego należy poddać go próbie szczelności. Po wykonaniu próby szczelności, rury należy obsypać 20 cm warstwą piasku, a następnie uzupełnić wykop gruntem rodzimym (fot. 1.).

Podczas instalacji dolnego źródła należy zachować minimalne odległości, tj. 1,5 m od przewodów wodociągowych i rur kanalizacyjnych. Krzyżujące się rury należy zaizolować na długości około 1 m, za pomocą rur izolacyjnych. Przewody ciepłociągu przechodzącego przez ścianę budynku, łączącego pompę ciepła ze studzienką, w której będą znajdowały się rozdzielacze wraz z zaworem rozprężnym, należy zabezpieczyć izolacją na całej długości. W przypadku, gdy długość przewodu transportującego odparowany czynnik z dolnego źródła do pompy ciepła nie przekracza 5 m, zawór rozprężny montuje się w obudowie pompy ciepła, a jego minimalna średnica to 3/4". Średnica rury zasysającej odparowany czynnik z gruntowego wymiennika gruntowego powinna mieć średnicę min. 7/8". Przewody należy dodatkowo zabezpieczyć rurą osłonową typu DVR 75/25

AROT. Przejście przez fundament lub ścianę należy zabezpieczyć przed dostawaniem się wilgoci lub wody opadowej. Połączenie kolektora ziemnego z rozdzielaczami należy wykonać za pomocą lutu twardego.



Fot. 1. Wykonanie dolnego źródła  
Źródło: Fot. R. Klimczak

#### 4.3. Pomieszczenie techniczne

Pompa ciepła będzie zainstalowana w pomieszczeniu technicznym spełniającym wymagania Rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie oraz wymagania bezpieczeństwa zawarte w PN-EN 378-2:2017-03 *Instalacje ziemnicze i pompy ciepła. Wymagania dotyczące bezpieczeństwa i ochrony środowiska. Część 2: Projektowanie, wykonywanie, sprawdzanie, znakowanie i dokumentowanie.*

Zgodnie z wymogami pomieszczenie, w którym będzie zainstalowane urządzenie grzewcze, powinno mieć wysokość nie mniejszą niż 2,2 m. Powierzchnia tego pomieszczenia powinna być na tyle duża, aby umożliwić łatwy i swobodny montaż oraz dostęp zarówno do pompy ciepła, jak i do pozostałych urządzeń niezbędnych do prawidłowej pracy pompy: pomp obiegowych, naczyń zbiorczych, wymienników ciepła, a także armatury hydraulicznej.

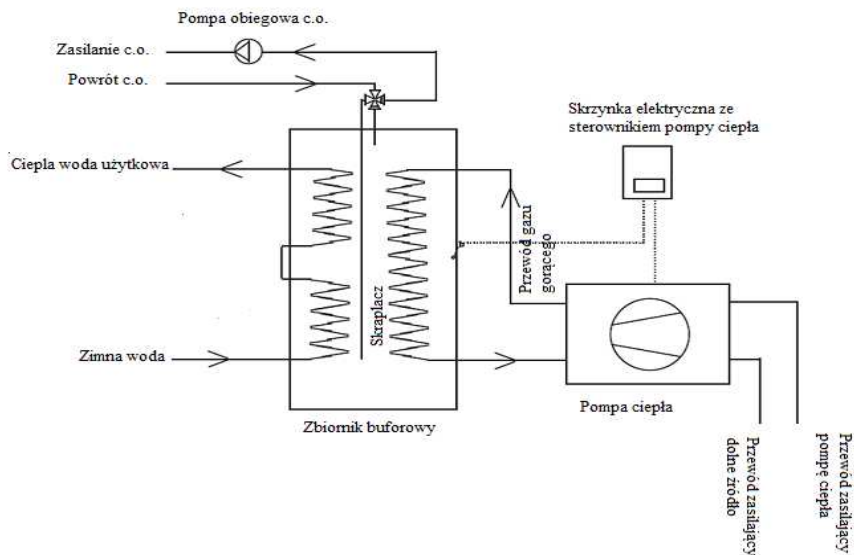
Wymogiem jest również, aby pomieszczenie posiadało kratkę ściekową, zaś powierzchnia posadzki i ścian umożliwiała zachowanie odpowiedniej czystości.

Jeżeli konieczne będzie podwieszenie części instalacji, to wysokość prześwitu w przejściach pod nimi nie powinna być mniejsza niż 2,0 m.



#### 4.4. Podłączenie zbiornika akumulacyjnego (bufora)

Zbiornik buforowy jest wyposażony w miedziane króćce przyłączeniowe, które są początkiem i końcem skraplacza. Skraplacz w zależności od wydajności sprężarki jest wykonany z jednej lub dwóch węzownic po 15 m każda. Do projektowanego budynku została dobrana pompa ciepła o mocy 7 kW, a zbiornik buforowy jest wyposażony w skraplacz o długości 30 m. Do króćca górnego należy przyłączyć przewód gazu gorącego z pompy ciepła. W połowie zbiornika należy połączyć ze sobą dwa wystające króćce, natomiast dolny króciec należy przyłączyć za pomocą przewodu z pompą ciepła. Wszystko należy połączyć za pomocą lutu twardego, zachowując przy tym należyta ostrożność oraz bezpieczeństwo. Przewody należy zaizolować na całej ich długości otuliną INSUL TUBE HT. Jest to izolacja kauczukowa odporna na temperaturę do +175°C. Schemat podłączenia pompy ciepła ze zbiornikiem akumulacyjnym przedstawiono na ryc. 2.



Ryc. 2. Schemat podłączenia pompy ciepła ze zbiornikiem akumulacyjnym

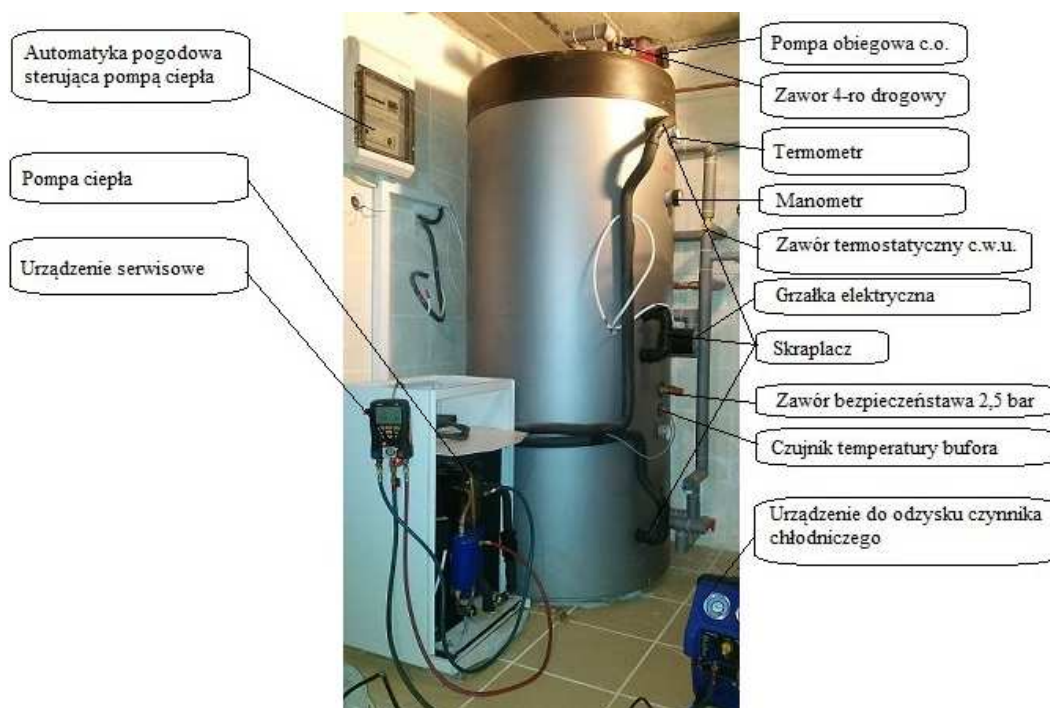
Źródło: [www.vpkollen.se/uploaded/manualer/Megatherm/m2-5scroll.pdf](http://www.vpkollen.se/uploaded/manualer/Megatherm/m2-5scroll.pdf), s. 5, dostęp: 24.10.2018

Montaż układu chłodniczego rozpoczęto od wlotowania rozdzielaczy i zaworu rozprężnego do króćców dolnego źródła (parownika). Na przewody skroplonego i odparowanego czynnika chłodniczego nałożono rurę ochronną (fot. 2). Po połączeniu wszystkich elementów związanych z zaworem rozprężnym dokonano podłączenia agregatu sprężarkowego z buforem (fot. 3).



Fot. 2. Miejsce montażu zaworu rozprężnego

Źródło: Fot. R. Klimczak



Fot. 3. Uzbrojenie oraz podłączenie bufora do pompy ciepła

Źródło: Fot. R. Klimczak

Po prawidłowym wykonaniu instalacji chłodniczej należy wykonać próbę szczelności azotem pod ciśnieniem 28 barów. Jeżeli próba da wynik pozytywny, należy zalać zbiornik buforowy wodą, a następnie można rozpocząć procedurę napełniania układu chłodniczego czynnikiem chłodniczym. W tym rozwiązaniu jest to czynnik R407C o obniżonej temperaturze krzepnięcia. Wcześniej jednak układ chłodniczy należy opróżnić i wytworzyć w nim podciśnienie. Po wytwor-

rzeniu podciśnienia należy napełnić układ czynnikiem chłodniczym (fot. 4.). Po napełnieniu 2/3 objętości układu chłodniczego i podłączeniu skrzynki elektrycznej należy uruchomić pompę ciepła.

#### 4.5. Próby pomontażowe

Po wykonaniu montażu dolnego źródła należy skontrolować poprawność wykonania podłączenia zaworu rozprężnego i sprawdzić wizualnie, czy pętle dolnego źródła za zaworem są zmrożone. Jeżeli rury pokrywa szron, oznacza to, że praca zaworu rozprężnego jest prawidłowa. Po odpowiednim wyregulowaniu zaworu rozprężnego i sprawdzeniu poprawności jego działania, wszystkie elementy należy zaizolować, a następnie zabezpieczyć studzienką rewizyjną.



Fot. 4. Napełnianie układu czynnikiem chłodniczym oraz przykładowy sposób montażu pompy ciepła w studziencie na zewnątrz

*Źródło: Fot. R. Klimczak*

Po wygrzaniu zbiornika buforowego można uruchomić wcześniej napełnioną i odpowietrzoną instalację grzewczą. Należy także sprawdzić poprawność podłączenia, po stronie hydraulicznej, ciepłej wody użytkowej oraz jej dopływ do kurków czerpalnych.

Tak wykonana instalacja grzewcza i układ chłodniczy oraz jego prawidłowe eksploataowanie daje pewność bezawaryjnej i bezobsługowej pracy.

## **5. Montaż instalacji ogrzewania podłogowego**

### **5.1. Przewody i armatura**

Przyłącza hydrauliczne do bufora pompy ciepła w pomieszczeniu technicznym wykonano, stosując kształtki i rury miedziane w technologii zaprasowania. Pozostałe części instalacji grzewczej oraz zasilanie rozdzielaczy zostały zaprojektowane z wykorzystaniem rur wielowarstwowych PURMO CleverFit PE-RT/AL./PE-RT. Rury zabezpieczono izolacją/otuliną Thermaflex wg PN-EN 15632:2015 i rozprowadzono pod posadzką do rozdzielaczy. Do połączenia rur zastosowano złączki PURMO CleverFit Radial. Jest to system trójników, różnego rodzaju złąbek zaciskowych, wykonanych z mosiądzu i tworzywa sztucznego PPSU, które również zabezpieczono otuliną/izolacją. W przypadku przejść przez ściany zastosowano tuleje ochronne.

Do ogrzewania pomieszczeń zastosowano płaszczyznowe ogrzewanie podłogowe. W pomieszczeniu technicznym, pralni, toalecie i łazience zainstalowano dodatkowo grzejniki drabinkowe zasilane grzałką elektryczną z termostatem.

### **5.2. Odpowietrzenie instalacji c.o.**

Przed uruchomieniem ogrzewania podłogowego każdą pętlę indywidualnie odpowietrzono. Ponadto na belkach rozdzielaczy zamontowano odpowietrzniki automatyczne. Zbiornik akumulacyjny oraz instalację do rozdzielaczy wyposażono w odpowietrzniki automatyczne w ich najwyższych punktach, pamiętając, żeby znajdowały się za pompą obiegową.

Aby przystąpić do wykonywania ogrzewania podłogowego, w budynku powinny być spełnione następujące warunki:

- ◆ zamontowana w budynku stolarka okienna i drzwiowa,
- ◆ wykonana instalacja elektryczna,
- ◆ wykonana instalacja wodno-kanalizacyjna i wykonana próba szczelności,
- ◆ podłoże, na którym będzie wykonywana izolacja termiczna, posprzątane z ewentualnych nierówności związanych z tynkowaniem ścian i sufitów lub pracami sztukatorskimi.

### **5.3. Prawidłowe wykonanie posadzki na gruncie**

Ogrzewanie podłogowe to wygodna i coraz częściej stosowana metoda ogrzewania budynków. Jednak aby spełniało swoją rolę, oprócz fachowo wykonanej instalacji grzewczej, powinno być odpowiednio przygotowane podłoże. W przypadku podłogi na gruncie, beton podkładowo-wyrównawczy, tzw. chudy,

należy oczyścić, a następnie wykonać podwójną izolację przeciwwilgociową z folii polietylenowej o grubości 0,2 mm na zakładkę, z wywinięciem na ścianę ponad poziom wylewki. Przed układaniem płyt styropianowych wylewkę należy odizolować od ścian taśmą brzegową. Następnie należy ułożyć płyty styropianowe. Ostatnią warstwą izolacji termicznej jest mata PURMO rolljet, do której za pomocą klipsów zostaną przymocowane rury ogrzewania podłogowego. Wszystkie prace należy wykonywać z dużą starannością, a przed wykonaniem wylewki sprawdzić szczelność instalacji.

#### 5.4. Rozprowadzanie rur

W natynkowych lub podtynkowych skrzynkach rozdzielczych zamontowano rozdzielacze i uzbrojono je w zawory odcinające oraz złączki do rur PURMO CleverFit PE-RT/AL./PE-RT o średnicy 16 mm. Kolejne sekcje ułożono w formie węzownicy ślimakowej. Przed rozpoczęciem układania izolacji termicznej, przy ścianach wzdłuż całego obwodu zamontowano taśmę brzegową. Rury do ostatniej warstwy izolacji termicznej zamocowano za pomocą klipsów przy użyciu takera. Na odcinki rur, które wychodzą z jastrychu do rozdzielacza, nałożono peszel ochronny (czerwony zasilanie, niebieski powrót, fot. 5.).



Fot. 5. Instalacja ogrzewania podłogowego

Źródło: Fot. R. Klimczak

W obrębie drzwi wewnętrznych wykonano szczeliny dylatacyjne, a także w przypadku gdy:

- ◆ powierzchnia jastrychu była większa niż 40 m<sup>2</sup>,
- ◆ długość krawędzi jastrychu była większa niż 8 m,
- ◆ pomieszczenie ma kształt litery C, Z lub L.

W miejscu gdzie będzie przebiegała dylatacja, zamontowano profile dylatacyjne, a na rurki nałożono osłony ochronne.

### 5.5. Próby ciśnieniowe oraz uruchomienie instalacji

Po zakończeniu wykonywania instalacji centralnego ogrzewania podłogowego sprawdzono jej szczelność pod ciśnieniem o 2 bary wyższym od ciśnienia roboczego układu, a nie niższym niż 6 barów. Ciśnienie w układzie zostawiono na czas prac przy wykonywaniu jastrychu, aby mieć lepszą kontrolę nad instalacją.

Po wykonaniu jastrychu i po okresie procesu wiązania cementu (ok. 21 dni) napełniono i uruchomiono instalację według następujących zasad:

- ◆ zamknięto zawory obiegów grzewczych na rozdzielaczu,
- ◆ napełniono i odpowietrzono instalację na odcinku od kotła do rozdzielacza,
- ◆ pojedynczo napełniano i odpowietrzano każdą sekcję na rozdzielaczu.

Po wykonaniu tych czynności przystąpiono do procesu wygrzewania posadzki. Przez pierwsze 3–4 dni wygrzewa się posadzkę czynnikiem o temperaturze 24°C, po czym podnosi się temperaturę czynnika w układzie grzewczym do maksymalnej temperatury, która dla jastrychu cementowego wynosi 55°C i utrzymuje się ją na takim poziomie przez okres od 4–5 dni, jednocześnie obserwując, czy nie dochodzi do niekontrolowanych pęknięć lub „klawiszowania” posadzki w miejscach dylatacyjnych.

Układanie warstwy wykończeniowej rozpoczęto dopiero, gdy wilgotność podsadzki była odpowiednia do zastosowanych materiałów.

## 6. Opłacalność inwestycji

Pompa ciepła oraz instalacje do pozyskiwania ciepła niskotemperaturowego są urządzeniami o wysokich kosztach inwestycyjnych, lecz koszty eksploatacyjne będą znacznie niższe od kosztów eksploatacji tradycyjnych urządzeń. Cena pompy ciepła ZIRIUS M2-7, to wydatek 26 000 zł. W tej cenie inwestor kupuje zbiornik akumulacyjny o pojemności 500 l, pompę ciepła 7 kW i rury dolnego źródła, w tym wypadku trzy pętle po 75 metrów każda oraz otrzymuje pięcioletnią gwarancję na urządzenie i układ chłodniczy od chwili uruchomienia. Zakopanie pętli dolnego źródła to cena 650 zł (1 szt.). Do tego dochodzą koszty uzbrojenia bufora, co daje nam kwotę 4500 zł. Montaż układu chłodniczego oraz uruchomienie pompy ciepła to koszt 2500 zł. Końcowa kwota, jaką poniesie inwestor, to 34 950 zł. Cena za wykonanie 1 m<sup>2</sup> ogrzewania podłogowego wraz z materiałami to koszt 85 zł. Cena ta obejmuje: szafki rozdzielaczowe, rozdzielacze z uzbrojeniem, rury, matę izolacyjną, klipsy, taśmę brzegową i dylatacyjną.

Łączny koszt za wykonanie i uruchomienie instalacji niskotemperaturowego ogrzewania w budynku o powierzchni do ogrzania 100 m<sup>2</sup>, będzie wynosić ok. 8500 zł. Jednak nie trzeba być przygotowanym na tak dużą sumę już na samym

początku inwestycji, ponieważ można to zrobić etapami, począwszy od wykonania dolnego źródła. Decyzja o zastosowaniu tego typu rozwiązania powinna być poprzedzona szczegółową analizą, uwzględniającą wszelkie uwarunkowania zarówno środowiskowe, jak i energetyczne.

Podstawowymi elementami takiej analizy są:

- ◆ izolacyjność cieplna ogrzewanego obiektu budowlanego,
- ◆ warunki lokalne i środowiskowe w aspekcie doboru źródła ciepła niskotemperaturowego (strefa klimatyczna),
- ◆ obecne i perspektywiczne warunki energetyczne,
- ◆ pewność dostawy i cena nośników energii: gazu ziemnego, gazu płynnego, oleju opałowego, ciepła z sieci ciepłowniczej oraz energii elektrycznej,
- ◆ uzyskanie niskoprocentowanych kredytów preferencyjnych w Banku Ochrony Środowiska na mikroinstalacje z Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej.

Biorąc pod uwagę średnią roczną temperaturę w budynku  $21^{\circ}\text{C}$ , powierzchnię do ogrzania ( $100\text{ m}^2$ ), III strefę klimatyczną Polski (projektowa temperatura zewnętrzna to  $-20^{\circ}\text{C}$ ), wskaźnik zapotrzebowania ciepła ( $65\text{ W/m}^2$  – jest to budynek energooszczędny), według dalej przedstawionych cenników paliw (ryc. 3.), koszt ogrzewania pompą ciepła z bezpośrednim odparowaniem wyniesie około 1870 zł. Można zauważyć, że jest to znacznie mniejsza kwota od pozostałych metod ogrzewania budynku i przygotowania ciepłej wody użytkowej.

Przewidywany roczny koszt ogrzewania przy zastosowaniu:			Wyniki obliczeń:		
Pompy ciepła Sofath	1789	zł brutto/rok	Obliczeniowa temperatura zewnętrzna	-20	$^{\circ}\text{C}$
Kotła kondensacyjnego (gaz ziemny E)	3792	zł brutto/rok	Liczba stopniodni	4109	K'doba
Kotła tradycyjnego (gaz ziemny E)	4229	zł brutto/rok	Zapotrzebowanie na moc cieplną dla budynku:	6.5	kW
Kotła kondensacyjnego (propan-butan)	4932	zł brutto/rok	<b>Przewidywane roczne zapotrzebowanie na energię dla celów grzewczych:</b>		
Kotła tradycyjnego (propan-butan)	5606	zł brutto/rok		56.28	GJ/rok
Kotła olejowego	4626	zł brutto/rok		15634	kWh/rok
Kotła na ekogroszek	2959	zł brutto/rok		156	kWh/(m <sup>3</sup> rok)

Założenia:			
<b>Energia elektryczna</b>		<b>Gaz ziemny E</b>	
Cena energii elektrycznej brutto	0.298 zł/kWh	Cena za paliwo gazowe brutto	1.316 zł/m <sup>3</sup>
Opłata sieciowa stała brutto	4.858 zł/m-c	Opłata sieciowa stała brutto	40.147 zł/m-c
Opłata sieciowa zmienna brutto	0.221 zł/kWh	Opłata sieciowa zmienna brutto	0.472 zł/m <sup>3</sup>
Opłata abonamentowa brutto	8.979 zł/m-c	Opłata abonamentowa brutto	7.724 zł/m-c
		Cena za paliwo gazowe propan-butan brutto	2.017 zł/l
		Cena za olej opałowy brutto	2.900 zł/kg
		Cena za ekogroszek brutto	920 zł/tona

Ryc. 3. Porównanie kosztów ogrzewania

Źródło: [www.sofath.pl/kalkulator](http://www.sofath.pl/kalkulator), dostęp: 10.10.2018

Bilans ten jest orientacyjną prognozą zużycia energii. Realne wyniki mogą trochę odbiegać od zaprezentowanej prognozy, a kluczowy wpływ będą miały

m.in. czynniki, takie jak: termoizolacja budynku oraz podłogi na gruncie i temperatura wewnętrzna w ogrzewanym budynku.

Czas zwrotu inwestycji w pompę ciepła w porównaniu do kotła kondensacyjnego z zamkniętą komorą spalania wyniesie około 10 lat. To szacunkowo niedługi okres, biorąc pod uwagę ponad trzydziestoletnią pracę pompy ciepła.

Dowodem opłacalności stosowania tego rodzaju energii jest sprzedaż pomp ciepła, która na terenie Unii Europejskiej w 2014 r. wyniosła 1,7 mln sztuk, w tym w Polsce – 7583 sztuk i wzrasta z roku na rok. W rankingu europejskim Polska awansowała na czwarte miejsce, biorąc pod uwagę sprzedaż gruntowych pomp ciepła. Łącznie w 2014 r., suma pracujących pomp ciepła w Europie to 26 628 508, [[www.globenergia.pl/informacje/aktualnosci/181-pc-pompy-ciepala/5805](http://www.globenergia.pl/informacje/aktualnosci/181-pc-pompy-ciepala/5805), dostęp: 06.10.2018]:

- ◆ 25 287 602 sztuk – powietrzne pompy ciepła,
- ◆ 1 340 906 sztuk – gruntowe pompy ciepła.

W 2017 r. suma pomp ciepła pracujących w Europie wynosiła już 34 424 720, w tym [<https://www.eurobserv-er.org/heat-pumps-barometer-2018>, dostęp: 19.06.2019]:

- ◆ 32 880 160 – powietrzne pompy ciepła,
- ◆ 1 544 560 sztuk – gruntowe pompy ciepła.

W Polsce w 2014 r. pracowało 91 330 sztuk pomp ciepła. W przeciągu kolejnych czterech lat liczba pracujących w Polsce pomp ciepła wzrosła do 194 130 sztuk [<https://globenergia.pl/w-polsce-pracuje-juz-ponad-194-tysiace-pomp-ciepala-po-lacy-najchetniej-kupuja-pompy-powietrze-woda>, dostęp: 19.06.2019].

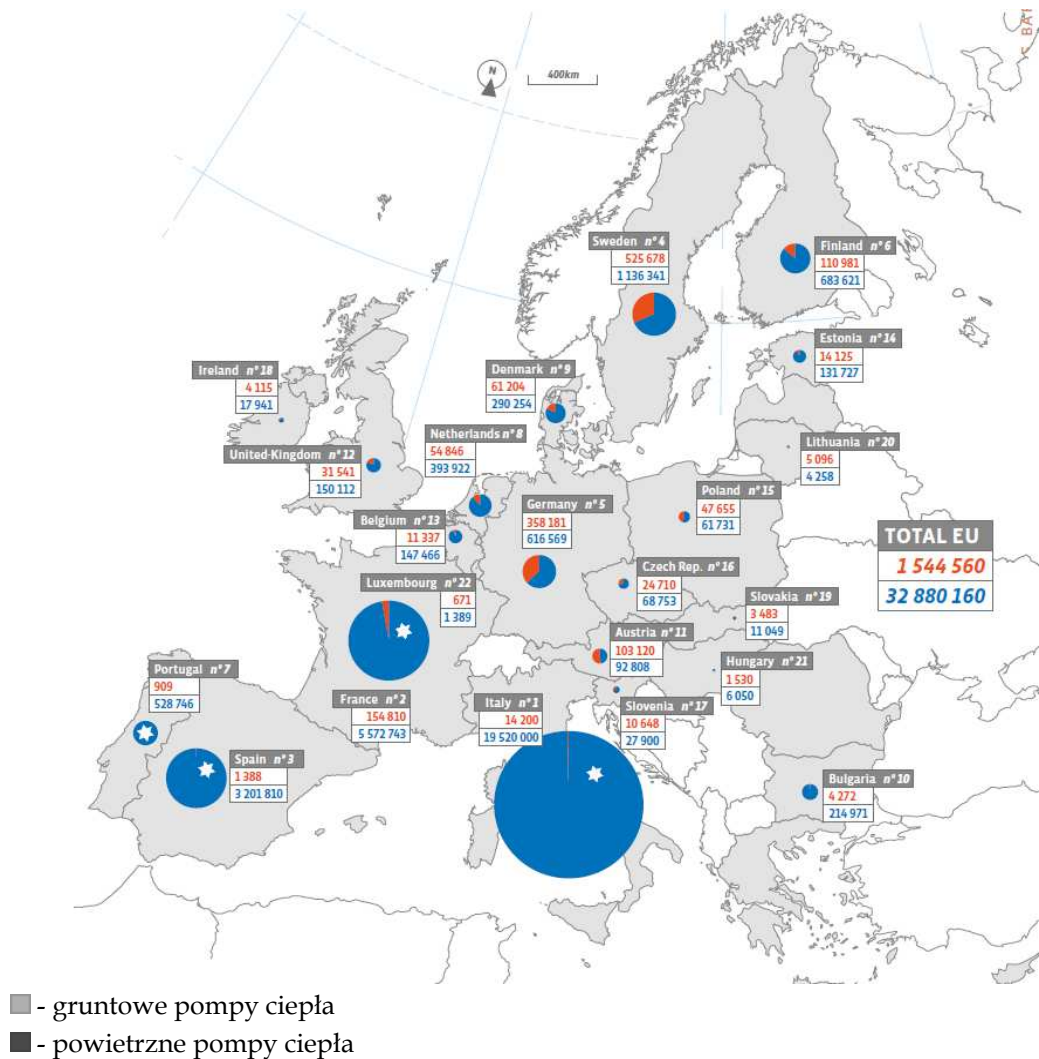
Biorąc pod uwagę przedstawione dane, sporządzone przez *Heat Pumps Barometer, EurObserv'ER*, łatwo zauważyć, że w Polsce jest coraz to większy wzrost zainteresowania tego typu rozwiązaniami ogrzewania budynku i przygotowania ciepłej wody użytkowej. Na rycinie 4. zaprezentowano sprzedaż pomp ciepła w poszczególnych państwach Europy w 2017 r. oraz łączną sprzedaż pomp ciepła z podziałem na powietrzne i gruntowe pompy ciepła [<https://www.eurobserv-er.org/heat-pumps-barometer-2018>, dostęp: 19.06.2019].

Na opłacalność pomp ciepła z bezpośrednim odparowaniem mają również wpływ następujące fakty:

1. Pompa ciepła z bezpośrednim odparowaniem zużywa znacznie mniej energii elektrycznej niż inne rozwiązania stosowane w systemie pompy ciepła. Układ grzewczy z pompą ciepła ZIRIUS M-2 wyróżnia się wysokim współczynnikiem efektywności COP. Sprawność takiego układu jest o około 20% większa od układów, gdzie czynnikiem dolnego źródła jest etanol lub glikol, ponieważ nie są potrzebne pompy obiegowe tłoczące glikol, co daje inwestorowi spore



oszczędności sięgające nawet 25% w skali roku. Średni roczny współczynnik efektywności jest wysoki i oscyluje w granicach COP = 4,3.



Ryc. 4. Sprzedaż pomp ciepła w Europie w 2017 r. wg Heat Pumps Barometer, EurObserv'ER  
 Źródła: <https://www.eurobserv-er.org/heat-pumps-barometer-2018>, dostęp: 19.06.2019

2. Sprężarki spiralne montowane w pompach ciepła ZIRIUS M-2, to sprężarki firmy Copeland typoszeregu ZH Scroll, produkowane przez amerykański koncern Emerson. Przez ekspertów z branży są uważane za najlepsze na świecie sprężarki do pomp ciepła, zarówno pod względem sprawności, jak i niezawodności. Według danych producenta cechują się długą żywotnością, zapewniając 100 000 godzin pracy i 50 000 startów, co przekłada się na ponad trzydziestoletnią pracę urządzenia.

3. Czynnikiem roboczym pracującym w układzie jest gaz chłodniczy R407C. Czynnikiem ten jest niepalny i nie podlega procesom starzenia, a w instalacji, w której próba szczelności dała wynik pozytywny, nie jest potrzebna jego wymiana. Natomiast w instalacjach, gdzie czynnikiem roboczym jest glikol, wymiana będzie nieunikniona, ponieważ z biegiem czasu podlega on procesowi starzenia, co przekłada się na dodatkowe koszty.

4. Przygotowanie ciepłej wody użytkowej odbywa się przepływowo w wymienniku zbiornika akumulacyjnego, co zapobiega powstawaniu bakterii *Legionella* oraz eliminuje konieczność serwisu urządzenia w celu wymiany anody magnezowej czy też usunięcia kamienia ze ścianek zbiornika. Ciepła woda jest ogrzewana tą samą sprężarką bez spadku jej sprawności przy przepływie 20 l/min. zimnej wody.

5. Pompa ciepła ZIRIUS M-2 nie wymaga corocznych przeglądów serwisowych. Posiada pięcioletnią gwarancję na cały układ chłodniczy. Po tym okresie można sprawdzić parametry pompy ciepła, lecz jeżeli nie zauważalna jest zmiana w pracy urządzenia nie jest to konieczne.

## 7. Zakończenie

W dobie globalnego ocieplenia klimatu, będącego skutkiem przemysłowej działalności człowieka, jest konieczne stosowanie urządzeń oraz systemów, które wykorzystują ciepło niskotemperaturowe i odpadowe do ogrzewania, schładzania, wentylacji, a także przygotowania ciepłej wody użytkowej.

Pompy ciepła są urządzeniami, które doskonale nadają się do czerpania energii ze źródeł odnawialnych lub ciepła odpadowego, co znacznie obniża emisję zanieczyszczeń do środowiska, a tym samym ma duży wpływ na jego ochronę. Dodatkowo cechują się one długą żywotnością, niskim poziomem emisji hałasu, możliwością współpracy z innymi odnawialnymi źródłami ciepła, a także dużym komfortem i prostotą obsługi.

Bariera, która ogranicza zastosowanie na dużą skalę pomp ciepła, to wysoki koszt inwestycji. Wykorzystanie pomp ciepła znacznie obniża koszty eksploatacyjne w porównaniu do tradycyjnych urządzeń grzewczych. Jednak coraz częściej, już na etapie projektowania budynku, jest brane pod uwagę niskotemperaturowe ogrzewanie z wykorzystaniem pompy ciepła. Z reguły pracują one w układzie biwalentnym, gdzie dodatkowym źródłem jest grzałka elektryczna, system solarny czy ogniwa fotowoltaiczne.

Aby inwestycja była opłacalna, inwestor, już na etapie projektowania i zagospodarowania terenu wokół budynku, powinien zdecydować, czym będzie ogrzewany budynek oraz w jaki sposób zapewnić ciepłą wodę użytkową. Decydując się na pompę ciepła, inwestor rezygnuje z przyłącza gazowego z sieci, a co

za tym idzie szeregu procedur związanych z wykonaniem projektu zarówno przyłącza, jak i wewnętrznej instalacji gazowej, co obecnie jest bardzo kosztowne. Nie trzeba budować komina spalinowego, a więc rezygnuje się z wizyt kominarza oraz nie ponosi się kosztów zakupu i montażu kotła centralnego ogrzewania.

Pozytywną i najbardziej zachwalaną cechą ogrzewania pompą ciepła jest jej bezobsługowość i bezawaryjność. Inwestor nawet podczas długiej nieobecności w domu będzie miał świadomość, że będzie utrzymywana żądana temperatura. Przy ogrzewaniu pompą ciepła nie trzeba myśleć o zakupie opału oraz miejscu na jego składowanie, co daje kolejne oszczędności na etapie realizowania inwestycji. Samo wykonanie termoizolacji na podłodze i instalacji ogrzewania podłogowego nie jest takie trudne. Pod nadzorem fachowca z branży instalacyjnej można samemu wykonać instalację, co znacznie obniży koszty robocizny. Biorąc pod uwagę kilkuletnie doświadczenie współautora artykułu w wykonywaniu tego typu instalacji, 99,9% użytkowników ma pozytywne opinie o pompach ciepła na bezpośrednim odparowaniu, chwalać sobie bezobsługowość, bezawaryjność, wysoki komfort w eksploatacji oraz niskie rachunki za ogrzewanie i c.w.u.

Popularność pomp ciepła będzie wzrastać wraz ze wzrostem cen paliw nieodnawialnych i wprowadzeniem nowych dyrektyw w zakresie ochrony środowiska. Wzrost zainteresowania pompami ciepła jest spowodowany również zaostrzeniem wymagań dotyczących izolacyjności budynków, sprawiając, że w dużym stopniu jest możliwe zapewnienie pełnego pokrycia zapotrzebowania na moc cieplną przy niższych temperaturach powietrza zewnętrznego.

## Bibliografia

1. Gawlik L, Mokrzycki E., *Paliwa kopalne w krajowej energetyce – problemy i wyzwania*, Polityka energetyczna, t. 20, z. 4, Wydawnictwo IGSMiE PAN, Kraków 2017.
2. Kotruchow T., *Pompy ciepła grunt-woda typu DXW*, InstalReporter, nr 10, e-czasopismo 2011.
3. Krzyżaniak G., Koczyk H., *Zapotrzebowanie na moc cieplną i energię użytkową do podgrzania ciepłej wody użytkowej – metody obliczeń*, Rynek instalacyjny, nr 3, e-czasopismo, 2016.
4. Mokrzycki E., Ney R., Siemek J., *Światowe zasoby surowców energetycznych – wnioski dla Polski*, Rynek Energii, nr 6, Wydawnictwo KAPRINT, Lublin 2008.
5. Zalewski W., *Pompy ciepła sprężarkowe, sorpcyjne i termoelektryczne. Podstawy teoretyczne. Przykłady obliczeniowe*, Wydawnictwo IPPU MASTA, Gdańsk 2001.

## Normy, Akty Normatywne

6. PN-EN 12831:2006, *Instalacje ogrzewcze w budynkach. Metoda obliczania projektowanego obciążenia cieplnego*.
7. PN-EN 15632:2015, *Sieci ciepłownicze – System preizolowanych rur giętkich. Część 1: Klasyfikacja, wymagania ogólne i metody badań*.

8. PN-EN 13163+A1:2015-03, *Wyroby do izolacji cieplnej w budownictwie. Wyroby ze styropianu (EPS) produkowane fabrycznie. Specyfikacja.*
9. PN-EN 15632-1+A1:2015-02, *Sieci ciepłownicze – System preizolowanych rur giętkich. Część 1: Klasyfikacja, wymagania ogólne i metody badań.*
10. PN-EN 378-2:2017-03, *Instalacje ziemne i pompy ciepła. Wymagania dotyczące bezpieczeństwa i ochrony środowiska. Część 2: Projektowanie, wykonywanie, sprawdzanie, znakowanie i dokumentowanie.*
11. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz. U. z 2002 r. Nr 75, poz. 690).

### **Strony internetowe**

12. [http://www.domserwis.pl/index.php?id=pompy\\_dobor](http://www.domserwis.pl/index.php?id=pompy_dobor) (dostęp: 19.06.2019).
13. <http://www.globenergia.pl/informacje/aktualnosci/181-pc-pompy-ciepla/5805> (dostęp: 06.10.2018).
14. [http://www.robmex.com.pl/?s=pomp\\_zasdzial](http://www.robmex.com.pl/?s=pomp_zasdzial) (dostęp: 15.10.2018).
15. <http://www.sofath.pl/kalkulator> (dostęp: 10.10.2018).
16. [http://www.thermogolv.pl/oferta/zirius\\_m2/](http://www.thermogolv.pl/oferta/zirius_m2/) (dostęp: 19.06.2019).
17. <http://www.vpkollen.se/uploaded/manualer/Megatherm/m2-5scroll.pdf> (dostęp: 24.10.2018).
18. <https://globenergia.pl/w-polsce-pracuje-juz-ponad-194-tysiace-pomp-ciepla-polacy-najchetniej-kupuja-pompy-powietrze-woda/> (dostęp: 19.06.2019).
19. <https://www.euroserv-er.org/heat-pumps-barometer-2018> (dostęp: 19.06.2019).