

Paweł OBSTAWSKI<sup>1</sup>  
Michał CHABERSKI<sup>2</sup>

## ANALIZA TECHNICZNO-EKONOMICZNA ZASTOSOWANIA GRUNTOWEJ I POWIETRZNEJ POMPY CIEPŁA W BUDYNKU JEDNORODZINNYM – STUDIUM PRZYPADKU

W artykule dokonano analizy techniczno-ekonomicznej zastosowania gruntowej i powietrznej pompy ciepła pokrywających zapotrzebowanie na ciepło budynku jednorodzinne. Obciążenie cieplne budynku związane ze stratami ciepła przez przegrody zewnętrzne oraz wentylację grawitacyjną obliczono zgodnie z normą PN-EN 12831. W budynku zastosowano niskotemperaturowe ogrzewanie płaszczynowe w postaci ogrzewania podłogowego, którego rozmiary obliczono zgodnie z normą PN-EN 1264. Kierując się zapotrzebowaniem na ciepło budynku dobrano gruntową pompą ciepła o katalogowej nominalnej mocy grzewczej wynoszącej 13,9 kW, oraz powietrzną pompę ciepła o katalogowej mocy nominalnej wynoszącej 9,4 kW. Założono, że gruntowa pompa ciepła będzie eksploatowana w trybie monowalentnym, natomiast powietrzna pompa ciepła w trybie monoenergetycznym biwalentnym. Praca powietrznej pompy ciepła poniżej temperatury biwalentnej wspomagana będzie grzałką elektryczną o mocy nominalnej równej 6 kW umieszczonej w zasobniku buforowym. W obu przypadkach założono sterowanie instalacji w funkcji temperatury otoczenia (sterowanie pogodowe). Założono, że praca powietrzną pompy ciepła poniżej temperatury otoczenia  $<-7^{\circ}\text{C}$  (temperatury biwalentnej) wspomagać będzie grzałka elektryczna. Dokonano analiz: kosztów inwestycji, uzyskanych efektów energetycznych oraz kosztów eksploatacyjnych obu rozwiązań. Analizując koszty inwestycji obu rozwiązań, ze względu na koszt wymiennika gruntowego instalacja gruntowej pompy ciepła w porównaniu z powietrzną jest droższa. Zarówno gruntowa jak i powietrzna pompa ciepła wspomagana grzałką elektryczną załączana poniżej temperatury biwalentnej pokrywa zapotrzebowanie na ciepło budynku. Z dokonanych analiz wynika, że koszt eksploatacji gruntowej pompy ciepła jest niższy niż pompy powietrznej. Jednakże analizując koszty inwestycyjne i eksploatacji obu instalacji w okresie 20 lat okazuje się, że bardziej ekonomiczne jest zainstalowanie powietrznej pompy ciepła.

---

<sup>1</sup> Autor do korespondencji / corresponding author: Paweł Obstawski, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Zakład Gospodarki Energetycznej, ul. Nowoursynowska 164, 02-787 Warszawa; tel. 225934606; pawel\_obstawski@sggw.pl

<sup>2</sup> Michał Chaberski, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Zakład Gospodarki Energetycznej, ul. Nowoursynowska 164, 02-787 Warszawa; tel. 225934606; michal.chaberski@gmail.com

**Słowa kluczowe:** wymiennik gruntowy, centralne ogrzewanie, ciepła woda użytkowa

## 1. Wprowadzenie

Pozytywnym zjawiskiem jakie można zaobserwować w ostatnich latach w Unii Europejskiej i w Polsce jest stały wzrost liczby sprzedawanych i montowanych pomp ciepła [1]. Wiąże się to z coraz większą świadomością społeczną w zakresie zalet i korzyści stosowania pompy ciepła, a także spadkiem cen urządzeń, co w rezultacie poprawia ich konkurencyjność w porównaniu z kondensacyjnymi kotłami gazowymi, olejowymi czy kotłami na paliwo stałe.

Analizując rynek pomp ciepła należy zauważyć, że do chwili obecnej największą popularnością cieszyły się gruntowe pompy ciepła [1], których zaletą jest stabilne dolne źródło ciepła co w rezultacie przekłada się na niskie koszty eksploatacyjne. Jednak w ostatnim czasie coraz większą popularnością cieszą się powietrzne pompy ciepła wykorzystujące jako dolne źródło energii powietrze atmosferyczne [2]. Wzrost popularności związany jest ze wzrostem sprawności tych urządzeń a także z niższymi kosztami inwestycyjnymi w porównaniu do pomp gruntowych.

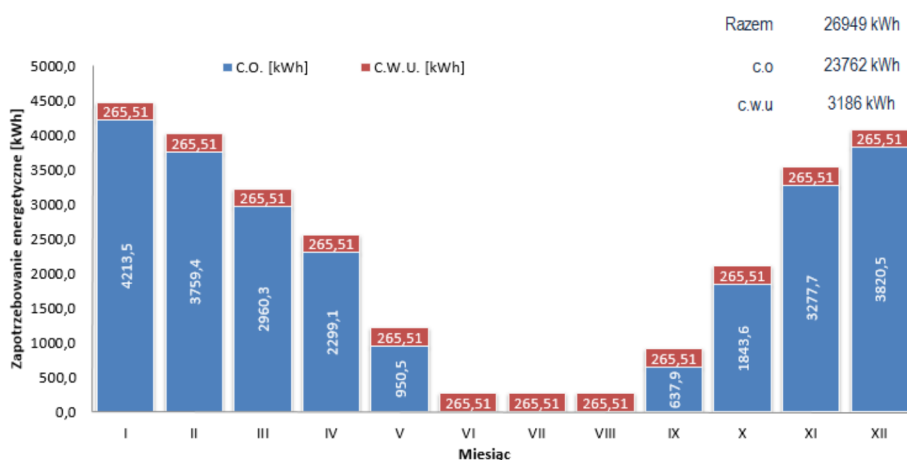
W artykule dokonano analizy dwóch koncepcji pokrycia zapotrzebowania na ciepło budynku jednorodzinnego. Pierwsza bazuje na zastosowaniu gruntowej pompy ciepła, dla której dolne źródło energii stanowi pionowy wymiennik gruntowy. Druga zaś bazuje na pompie ciepła powietrze-woda typu monoblok pracującej w monoenergetycznym biwalentnym równoległym trybie eksploatacyjnym.

## 2. Opis techniczny obiektu badań

Do analizy wybrano budynek jednorodzinny o powierzchni użytkowej 139,51 m<sup>2</sup>. Obiekt będzie użytkowany przez czteroosobową rodzinę. Obiekt zlokalizowany jest w Grodzisku Mazowieckim, znajdującym się w III strefie klimatycznej, dla której projektowa temperatura zewnętrzna wynosi -20°C. Zapotrzebowanie na ciepło budynku związane ze stratami ciepła przez przegrody zewnętrzne oraz wentylację grawitacyjną obliczono według normy PN-EN 12831 [3]. Założono, że dzienne zużycie ciepłej wody użytkowej (C.W.U.) o temperaturze 40°C wynosi 250 litrów co przekłada się na 265,51 kWh ciepła w miesiącu. W budynku zastosowano niskotemperaturowe ogrzewanie płaszczyznowe w postaci ogrzewania podłogowego, którego rozmiary obliczono zgodnie z normą PN-EN 1264 [4]. Zastosowanie ogrzewania podłogowego jako odbiornika ciepła współpracującego z pompą ciepła jest korzystne z uwagi na uzyskiwaną wyższą wydajność pompy. Praca na niższym parametrze temperaturowym (projektowo 35°C na zasilaniu układu przy temperaturze otoczenia -20°C) pozwala ograniczyć koszty eksploatacyjne, a także skraca czas pracy sprężarki w sezonie grzewczym co przekłada się na wydłużenie jej żywotności.

## 2.1. Analiza energetycznego zapotrzebowania budynku

Na rysunku 1 przedstawiono roczne zapotrzebowanie energetyczne budynku. Największe zapotrzebowanie energetyczne występuje w okresie zimowym (grudzień – luty), w którym zapotrzebowanie na ciepło budynku oscyluje w przedziale od 3760 kWh do 4220 kWh. W okresie od czerwca do końca sierpnia pompa ciepła pracuje tylko w celu przygotowania C.W.U. Tryb letni przewidywano przy temperaturze otoczenia wyższej od 16°C.



Rys. 1. Rozkład zapotrzebowania energetycznego budynku w poszczególnych miesiącach

Fig. 1. Schedule of energy demand of building in several month

## 3. Dobór pomp ciepła

Analizy przeprowadzone zostaną na bazie pomp ciepła oferowanych przez firmę Dimplex.

### 3.1. Dobór gruntowej pompy ciepła i długości wymiennika gruntowego

Kierując się zapotrzebowaniem na ciepło budynku z oferty firmy Dimplex wybrano pompę ciepła SI 14TU firmy Dimplex o nominalnej mocy grzewczej 13,9 kW. Katalogowa wartość współczynnika COP dla parametrów B0/W35 wynosi 5,0. Pompa może współpracować z dolnym źródłem którego temperatura zawiera się w granicach -5°C ÷ 25°C. W danej lokalizacji podłoże w gruncie stanowią skały i warstwy wodonośne z tego też względu jednostkową moc cieplną gruntu przyjęto na poziomie 35 W/mb, przy przewodności cieplnej gruntu równej 2 W/(mK). Uwzględniając moc chłodniczą pompy obliczono, że długość odwiertów wymiennika powinna wynosić 265,5 metrów. W obliczeniach założono 3 odwierty o długości 88,5 metra każdy wykonane z wypełnieniem w celu usunięcia płuczki z odwiertu i zabezpieczeniem przed mieszaniem się warstw wodonośnych.

### 3.2. Dobór powietrznej pompy ciepła

Biorąc pod uwagę obciążenie cieplne budynku oraz monoenergetyczny biwalentny równoległy tryb eksploatacji pompy ciepła z katalogu firmy Dimplex wybrano pompę ciepła LA 12S-TU o nominalnej mocy grzewczej 9,4 kW i katalogowej wartości współczynnika COP równym 4,0 dla parametrów A2/W35. Pompa pracuje przy zakresie temperatur powietrza od  $-22^{\circ}\text{C}$  do  $35^{\circ}\text{C}$ . W trybie biwalentnym (temperatura powietrza  $<-7^{\circ}\text{C}$ ) pompa ciepła wspomagana będzie przez grzałkę zanurzeniową o mocy nominalnej 6,0 kW zamontowanej w buforze grzewczym.

### 3.3. Algorytm obliczania temperatury zasilania układu grzewczego

Obliczanie temperatury na zasilaniu układu grzewczego odbywa się na podstawie krzywej grzewczej wiążącej temperaturę zasilania z temperaturą otoczenia. Spadek temperatury otoczenia powoduje wzrost temperatury wody na zasilaniu układu. Początek krzywej grzewczej ustalono dla temperatury zewnętrznej  $-20^{\circ}\text{C}$ , dla której temperatura zasilania równa jest  $35^{\circ}\text{C}$ . Koniec krzywej grzewczej ustalono na wartość temperatury otoczenia równej  $16^{\circ}\text{C}$ , dla której pompa ciepła przechodzi w letni tryb pracy (pokrywa zapotrzebowanie jedynie na C.W.U.).

## 4. Analiza uzyskanych efektów energetycznych

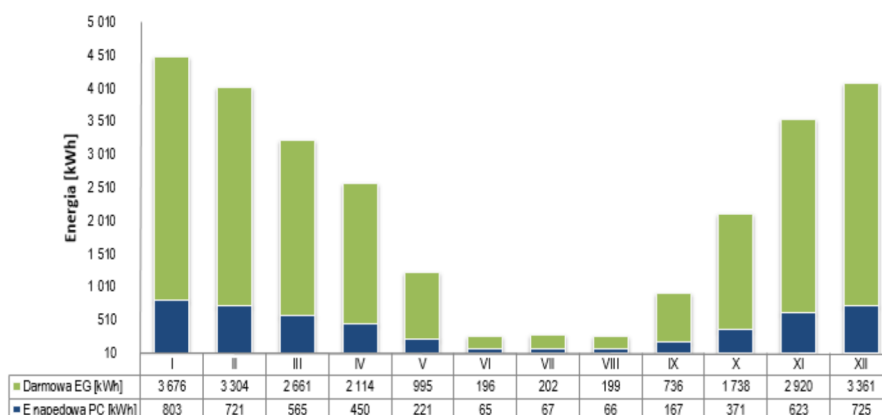
Obliczeń dokonano za pomocą programu do analizy zapotrzebowania energetycznego budynku i doboru pomp ciepła firmy Dimplex [5]. Szczegółowe analizy cząstkowe zawarte są w [6].

### 4.1. Analiza efektów energetycznych rocznej pracy gruntowej pompy ciepła

Na rysunku 2 pokazano rozkład produkcji energii na poszczególne miesiące. Zestawianie zawiera ilość energii elektrycznej zużytej do napędu sprężarki pompy ciepła ( $E_{\text{napędowa PC}}$ ) oraz energię otrzymaną w wyniku działania pompy ciepła ( $E_{\text{Darmowa EG}}$ ). Całkowita ilość energii elektrycznej niezbędnej do napędu sprężarki pompy ciepła wynosi 4844 kWh, zaś ciepło wytworzone przez pompę ciepła wynosi 21772 kWh.

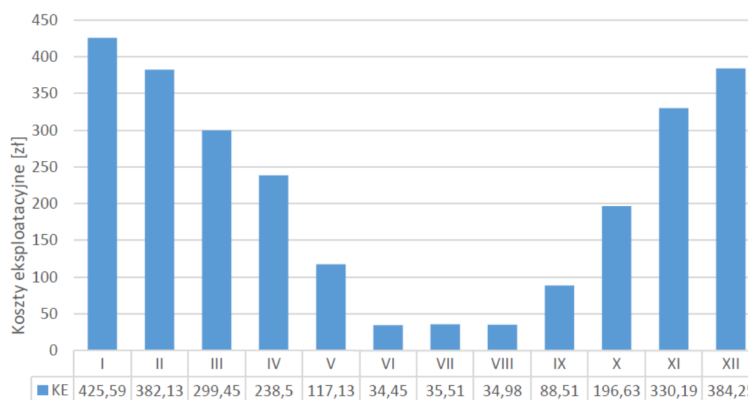
Porównując zapotrzebowanie energetyczne budynku (rys. 2) z wytworzoną energią (rys. 2) pompa ciepła w monoenergetycznym trybie eksploatacyjnym pokrywa całkowicie zapotrzebowanie budynku na ciepło. Przyjmując, że koszt 1kWh energii elektrycznej zużytej do napędu sprężarki pompy ciepła wynosi 0,53 zł/kWh oraz uwzględniając koszt przesyłu i dystrybucji energii można oszacować roczne koszty eksploatacji (KE) pompy ciepła. Najwyższe koszty eksploatacyjne ponoszone są w sezonie grzewczym i wynoszą maksymalnie 425,59 zł dla stycznia (rys. 3). Najniższe koszty ponoszone są latem, gdy pompa

ciepła przygotowuje jedynie C.W.U - 35 zł miesięcznie. Rocznie za energię elektryczną zużytą do napędu sprężarki pompy ciepła należy zapłacić 2567,32 zł. Do kosztów eksploatacyjnych należy doliczyć również koszty serwisowe, które w przypadku pompy ciepła wynoszą około 500 zł. Zatem całkowity sezonowy koszt eksploatacyjny gruntowej pompy ciepła wynosi 3067,32 zł.



Rys. 2. Rozkład produkcji ciepła w poszczególnych miesiącach

Fig. 2. Schedule production of heat in individual months

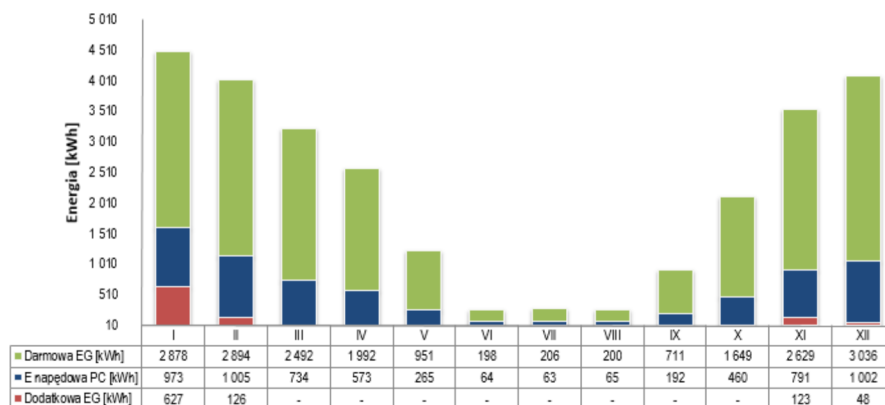


Rys. 3. Zestawienie miesięcznych kosztów za zużytą energię elektryczną do napędu sprężarki gruntowej pompy ciepła

Fig. 3. Statement monthly of cost electrical energy consumed to work of compressor of heat pump

#### 4.2. Analiza efektów energetycznych rocznej pracy powietrznej pompy ciepła

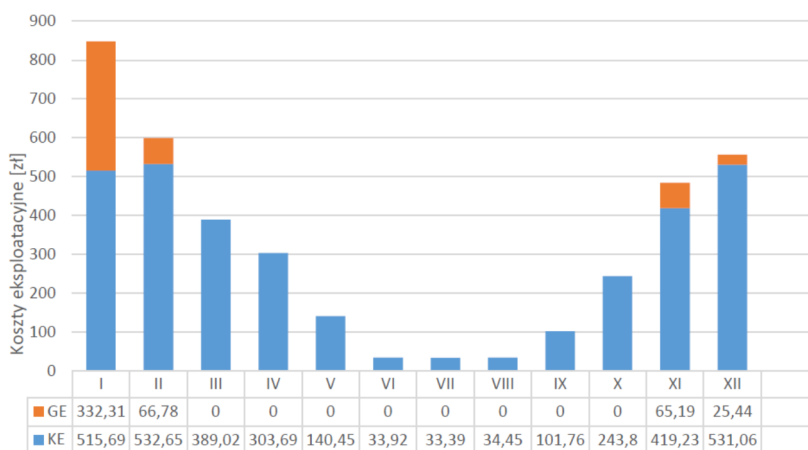
Na rysunku 4 przedstawiono roczne zestawienie energetyczne pracy sprężarkowej pompy ciepła w układzie powietrze woda. Zestawianie uwzględnia ilość energii elektrycznej niezbędnej do napędu pompy ciepła (E napędowa PC),



Rys. 4. Zestawienie energetyczne pracy układu grzewczego opartego na powietrznej pompie ciepła  
 Fig. 4. Energetic statement of work of heating system based on air-water heating pump

ciepło otrzymane w wyniku działania pompy ciepła (Darmowa EG) oraz ciepło wytworzone przez grzałkę (Dodatkowa EG). Sezonowa ilość energii elektrycznej zużytej do napędu sprężarki pompy ciepła wynosi 6187 kWh, zaś ciepło wytworzone przez pompę ciepła wynosi 26023 kWh. Grzałka wspomagająca pracę pompy ciepła dostarczyła 924 kWh energii, z czego prawie dwie trzecie z tej energii zostało wyprodukowane w styczniu, w którym warunki pracy pompy są najmniej korzystne.

Roczne koszty eksploatacyjne analizowanej pompy ciepła wynoszą 4268,83 zł. Na tę kwotę składa się koszt zużytej energii elektrycznej niezbędnej do napędu sprężarki pompy ciepła (KE) (rys. 5), koszt energii elektrycznej zużytej przez



Rys. 5. Sezonowy koszt eksploatacji powietrznej pompy ciepła

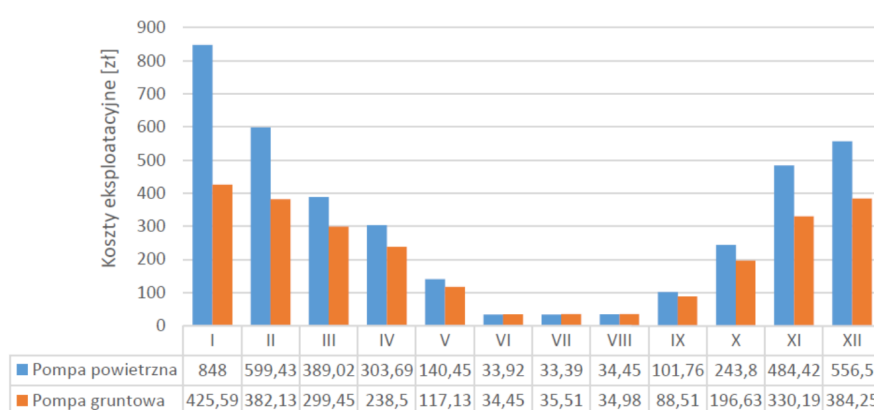
Fig. 5. Seasonal exploitation cost of air-water heat pump

grzałkę (GE) (rys. 5) oraz koszty serwisowe ok. 500. Podobnie jak w przypadku pompy gruntowej najwyższe koszty eksploatacyjne są w okresie zimowym i np. w styczniu koszt ogrzewania obiektu przy pomocy pompy ciepła i wspomagającej ją grzałki zanurzeniowej wynosi 848 zł. Najniższe koszty eksploatacyjne występują latem i wynoszą około 34 zł w skali miesiąca – przygotowanie C.W.U.

### 5. Analiza porównawcza kosztów i okresu zwrotu inwestycji

Koszt inwestycyjny systemu bazującego na pompie ciepła pracującej w układzie powietrze-woda-jest niższy od kosztów jakie należy ponieść instalując gruntową pompę ciepła. W przypadku pompy gruntowej koszt wykonania maszynowni wynosi około 50 000 zł i jest niższy od kosztu wykonania maszynowni pompy ciepła pracującej w układzie powietrze-woda wynoszącego około 53 700 zł. Jednak w przypadku gruntowej pompy ciepła należy uwzględnić jeszcze koszt wykonania dolnego źródła ciepła, które w analizowanym przypadku oszacowano na kwotę 30 500 zł. Zatem sumaryczny koszt inwestycyjny gruntowej pompy ciepła wynosi 80 500 zł. Różnica pomiędzy kosztem instalacji gruntowej a powietrznej pompy ciepła wynosi 26 800 zł.

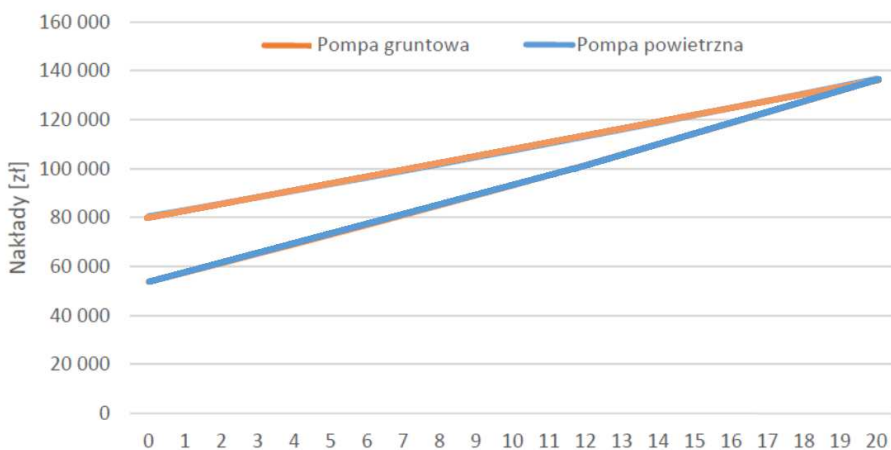
Na rysunku 6 przedstawiono zestawienie porównawcze miesięcznych kosztów eksploatacyjnych gruntowej i powietrznej pompy ciepła. Z rysunku wynika, że eksploatacja systemu bazującego na gruntowej pompie ciepła jest zdecydowanie tańsza od systemu bazującego na pompie ciepła pracującego w układzie powietrze-woda. Największa różnica w kosztach eksploatacji występuje w miesiącach zimowych, w których ze względu na niską temperaturę powietrza pompa ciepła pracująca w układzie powietrze-woda wspomagana jest grzałką elektryczną. W miesiącach letnich koszty eksploatacji obu systemów są porównywalne. Roczne koszty eksploatacyjne gruntowej pompy ciepła wynoszą 2567,32 zł, natomiast roczne koszty eksploatacyjne powietrznej pompy ciepła są wyższe i wynoszą 3768,83 zł. Różnica w kosztach eksploatacyjnych jest znaczna i wynosi 1201,51 zł.



Rys. 6. Porównanie sezonowego kosztu eksploatacji gruntowej i powietrznej pompy ciepła

Fig. 6. Seasonal comparison cost of work groundwater heat pump and air-water heat pump

Na rysunku 7 przedstawiono sumę kosztów inwestycyjnych i eksploatacyjnych poszczególnych rozwiązań w okresie 20 lat (maksymalny przyjęty okres eksploatacji sprężarki) z uwzględnieniem wzrostu opłat za energię elektryczną wynoszącą 1% w skali roku.



Rys. 7. Porównanie nakładów inwestycyjnych i eksploatacyjnych analizowanych koncepcji

Fig. 7. Comparison of investment and operating costs of the analyzed concept

Z analizy wynika, że po 20 letnim okresie eksploatacji obu instalacji poniesione koszty inwestycyjne i eksploatacyjne się wyrównują. Dwudziestoletni okres eksploatacji jest okresem stosunkowo długim, w którym urządzenie zostałoby w pełni zamortyzowane i wyeksploatowane. Należy zaznaczyć, że nie uwzględniono w tych obliczeniach różnicy w kosztach inwestycyjnych obu koncepcji. Kwota ta mogłaby być inwestowana i spożytkowana w innych celach przez inwestora.

## 6. Wnioski

Z przedstawionej analizy wynika, że pomimo wyższych kosztów eksploatacyjnych w analizowanym przypadku bardziej opłacalne jest zastosowanie pompy ciepła pracującej w układzie powietrze – woda niż gruntowej pompy ciepła. Wynika to z wyraźnie niższych kosztów inwestycyjnych.

## Literatura

- [1] Pompy ciepła - Biuletyn OZE. Biuletyn pomp ciepła – Euroserv'er – 2015.
- [2] Sobieraj M.: Sprężarkowa pompa ciepła systemu powietrze/woda. Konstrukcja i badania. Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja, 7/2015 str. 269-276.
- [3] PN-EN 12831:2006 Instalacje grzewcze w budynkach. Metoda obliczania projektowego obciążenia cieplnego.



- [4] PN-EN 1264 - Wbudowane płaszczyznowe wodne systemy ogrzewania i chłodzenia - Część 2: Ogrzewanie podłogowe: Obliczeniowa i badawcza metoda określania mocy cieplnej.
- [5] Dimplex Heat\_Pump ver\_1.110815: Program do analizy zapotrzebowania energetycznego budynku i doboru pomp ciepła.
- [6] Chaberski M.: Pompa ciepła powietrzna czy gruntowa? Analiza techniczno-ekonomiczna dla wybranego obiektu. Praca inżynierska SGGW, Warszawa 2016.

## TECHNICAL AND ECONOMIC ANALYSIS USING GROUND AND AIR HEAT PUMP IN RESIDENTIAL BUILDING - CASE ANALYSIS

### Summary

In paper was presented technical and economic analysis used ground heat pump and air-water heat pump covering the heat demand of residential building. Heat demand of residential building with included heat losses by wall and ventilation was calculated according to norm PN-EN 12831. In the analyzed building uses underfloor heating. In the analyzed building uses underfloor heating with size calculated according norm PN-EN 1264. knowing heat demand of residential building selected model of ground heat pump which nominal heating power is 13,9 kW, and air heat pump which nominal power heating is 9,4 kW. Assume that the ground heat pump will be exploitation in the mono energetic mode while the air heat pump will be exploitation in mono energetic bivalent mode. Air heat pump below bivalent ambient temperature will assisted by electrical heater about nominal power 6 kW. Electrical heater was installed in buffer tank. in both cases assumed that control of work of installation will be realized in function of ambient temperature. Assumed that work of air heat pump below ambient temperature  $<-7^{\circ}\text{C}$  (bivalent temperature) will assisted by electrical heater. Analysis of investment cost, energetic effects and exploitation cost has been made. Analysing of investments cost of both conceptions because of the cost of ground heat exchanger, installation of ground heat pump is more expensive than air heat pump. Heat demand of residential building is covered by a ground heat pump and air heat pump assisted by electric heater which is working below bivalent ambient temperature too. Result of economic analysis is that exploitation cost of ground heat pump is lower than air heat pump, but analysing investments cost and exploitation cost of both systems in twenty years, more economical is installation air heat pump than ground heat pump.

**Keywords:** ground heat exchanger, central heating, hot domestic water

DOI:10.7862/rb.2016.280

*Przesłano do redakcji: 30.06.2016 r.*

*Przyjęto do druku: 20.12.2016 r.*

