

Vyacheslav PISAREV
Magdalena BIELANICZ
Politechnika Rzeszowska

PORÓWNANIE SYSTEMÓW PRZYGOTOWANIA CIEPŁEJ WODY UŻYTKOWEJ DOMU JEDNORODZINNEGO Z ZASTOSOWANIEM POMP CIEPŁA

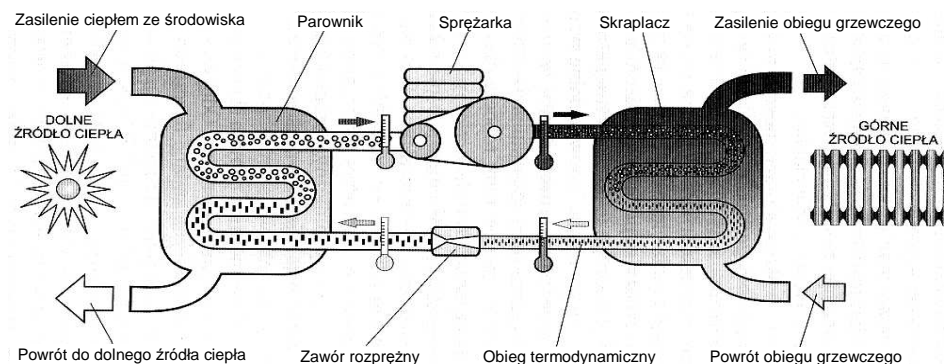
W artykule przedstawiono przykładowe wstępne projektowanie i porównanie ekonomiczne systemów przygotowania ciepłej wody użytkowej dla budynku jednorodzinnego z zastosowaniem pomp ciepła. Jako warianty głównych elementów tych systemów zastosowano pompy ciepła typów: powietrze/woda, solanka/woda, współpracujące z pionowym wymiennikiem gruntowym, oraz, pompę solanka/woda odbierającą ciepło od ścieków.

1. Wstęp

Pompy ciepła są urządzeniami, w których następuje transformacja energii cieplnej z niższego poziomu temperaturowego na wyższy [11]. Pompa ciepła jest urządzeniem, które wykorzystuje rozmaite zjawiska fizyczne w celu przeniesienia ciepła z ciała o niższej temperaturze do ciała o temperaturze wyższej. Samoczynny przepływ ciepła od ciała zimniejszego do cieplejszego nie jest możliwy, dlatego do pompy ciepła trzeba dostarczyć energię napędową.

W dużym uproszczeniu pompa ciepła składa się z dwóch wymienników ciepła (parownika i skraplacza), sprężarki i zaworu rozprężnego. Pompa ciepła jest wyposażona w szereg urządzeń dodatkowych, takich jak presostaty, zawory termostatyczne, układy elektryczne zabezpieczające sprężarkę. W pompie ciepła zachodzi proces podnoszenia potencjału cieplnego, tj. proces pobierania ciepła ze źródła o temperaturze niższej (dolnego źródła ciepła) i przekazywania tego ciepła do źródła o temperaturze wyższej (górnego źródła ciepła).

System grzewczy, wykorzystujący sprężarkową pompę ciepła ma trzy obiegi: obieg dolnego źródła ciepła, obieg górnego źródła ciepła i obieg termodynamiczny. Obieg termodynamiczny jest połączony z obiegiem dolnego źródła ciepła za pomocą parownika, a z obiegiem górnego źródła ciepła za pomocą skraplacza [12]. Rysunek 1. przedstawia typowy schemat działania pompy ciepła z uwzględnieniem trzech obiegów.



Rys. 1. Obieg termodynamiczny w sprężarkowej pompie ciepła

Opracowano na podstawie pracy [2].

Celem pracy było porównanie systemów wykorzystania alternatywnych źródeł energii za pomocą pompy ciepła do zaopatrzenia budynku jednorodzinnego w ciepłą wodę użytkową, z którymi można się spotkać w rzeczywistości. Artykuł został opracowany na podstawie katalogów produkcji firmy Viessmann. Instalację dla domu jednorodzinnego przeanalizowano dla trzech wariantów: z pompą ciepła typu powietrze/woda, solanka/woda z pionowym wymiennikiem ciepła oraz solanka/woda z wymiennikiem ściekowym. W wyborze rodzajów pomp ciepła kierowano się różnymi wariantami dolnego źródła ciepła.

Dane wyjściowe:

- liczba mieszkańców domu jednorodzinnego, $n = 4$ osoby,
- parametry instalacji ciepłej wody użytkowej zgodnie z normą PN-92/B-01706: temperatura zimnej wody $T_{wz} = 5^{\circ}\text{C}$ [9], temperatura wody ciepłej $T_{wc} = 50^{\circ}\text{C}$,
- warianty dolnych źródeł ciepła: powietrze o temperaturze $T = 6^{\circ}\text{C}$ (dolna granica wykorzystania powietrza) [11], grunt o temperaturze $T = 10^{\circ}\text{C}$ (stała temperatura gruntu) [11], ścieki o temperaturze $T = 14^{\circ}\text{C}$ (średnia temperatura ścieków) [11],
- źródło górne – element instalacji ciepłej wody użytkowej w postaci pojemnościowego zasobnika wody.

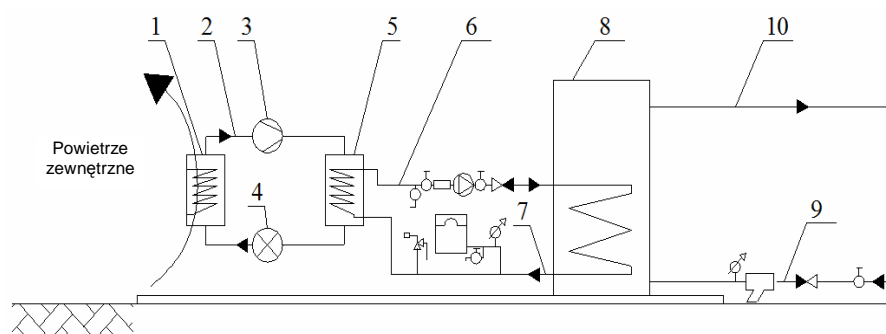
2. Opis rozwiązania instalacji z uwzględnieniem trzech typów pomp ciepła pracujących na potrzeby ciepłej wody użytkowej

Pompa ciepła typu powietrze/woda (rys. 2.)

Powietrze zewnętrzne zasysane jest kanałem, schładzane w parowniku pompy ciepła i ponownie odprowadzane na zewnątrz. W bardzo zimne dni woda grzewcza, podgrzana przez pompę ciepła musi być dogrzewana do ustawionej

temperatury zasilania przez wbudowaną w zasobnik buforowy wody grzewczej grzałkę elektryczną. Założono temperaturę powietrza zewnętrznego 6°C . Zastosowano pompę ciepła firmy Viessmann Vitocal 300 AW 106 powietrze–woda [6]. Znajduje się w piwnicy, w pomieszczeniu gospodarczym. Czynnikiem roboczym pompy ciepła jest czynnik chłodniczy R407C. Dostarczone czynnikowi robocznemu pompy ciepło inicjuje zmianę stanu skupienia czynnika chłodniczego z cieczy na gaz. W artykule parametry czynnika chłodniczego w obiegu pompy ciepła obliczono na zasadzie metody znajdującej się w publikacji [1].

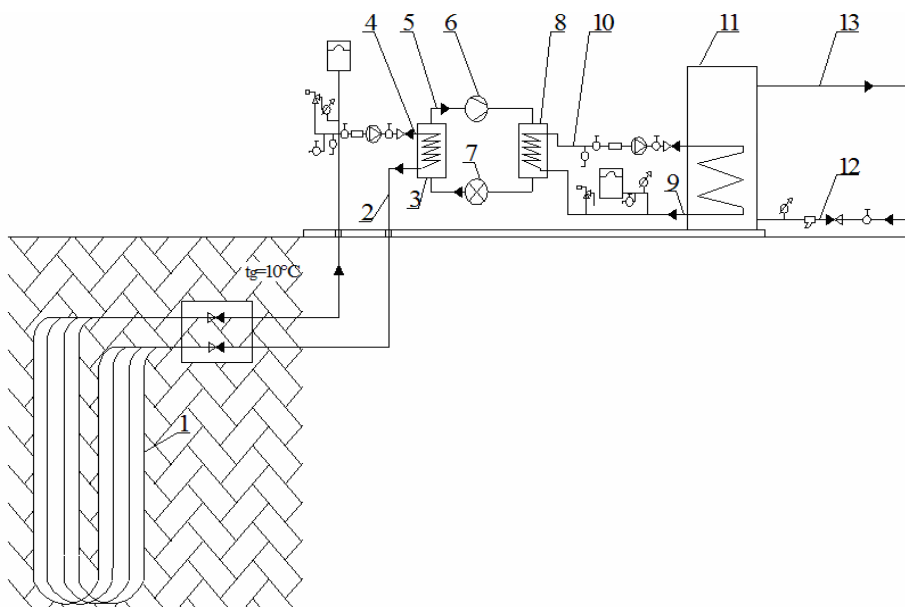
Po przejściu przez parowacz podnoszona jest również jego temperatura – do 2°C . Czynnik chłodniczy dochodzi do sprężarki, gdzie wzrasta jego ciśnienie i temperatura. Przed skraplaczem jest to gaz o temperaturze 53°C . W wymienniku tym oddaje ciepło w wyniku skroplenia, czyli z powrotem zmienia swój stan skupienia z gazu na ciecz. Ostatnim etapem jest rozprężanie w zaworze rozprężnym – ciśnienie zostaje zredukowane do poziomu wyjściowego i czynnik R407C w stanie ciekłym dochodzi od parowacza. Górne źródło pompy ciepła stanowi wymiennik zasobnikowy ciepłej wody użytkowej firmy Viessmann typu Vitocell – W-100 o pojemności 120 litrów, z grzałką elektryczną [6]. Grzałka elektryczna dogrzewa wodę w momencie zbyt dużego zapotrzebowania. Instalacja łącząca zasobnik i skraplacz pompy ciepła wykonana jest z rur miedzianych z otuliną ze spienionego polietylenu w celu ograniczenia strat ciepła. Uzyskana temperatura ciepłej wody użytkowej wynosi 50°C . Zabezpieczeniem instalacji górnego źródła ciepła jest naczynie wzbiorcze firmy REFLEX typu NG 8/3 [5] i zawór bezpieczeństwa.



Rys. 2. Schemat instalacji do przygotowania C.W.U. przy użyciu pompy ciepła typu powietrze–woda: 1 – parowacz, 2 – czynnik po opuszczeniu parowacza, 3 – sprężarka, 4 – zawór rozprężny, 5 – skraplacz, 6 – zasilanie zasobnika C.W.U., 7 – powrót wody z zasobnika C.W.U., 8 – zasobnik C.W.U., 9 – woda z sieci, 10 – C.W.U. kierowana do punktów czerpalnych

Pompa ciepła typu solanka/woda współpracująca z pionowym wymiennikiem gruntowym (rys. 3.)

Ciepło pobierane jest ze źródła dolnego – gruntu o temperaturze 10°C za pośrednictwem pionowego gruntowego wymiennika ciepła. Wykonany jest on z rur z tworzywa sztucznego (HDPE) o średnicy $D_z = 32 \text{ mm}$ i grubości ścianki wynoszącej $3,0 \text{ mm}$. Wymiennik ten stanowią sondy gruntowe w kształcie podwójnej U – rury. Całkowita długość rur (zasilanie oraz powrót) wynosi 224 m . Rury połączone są ze sobą na zgrzewanie. Dwie sondy umieszczone zostały w pionowych otworach o głębokości 56 m . Do przekazania ciepła z gruntu do parowacza służy niskokrzepnąca ciecz, roztwór na bazie glikolu etylenowego, jakim jest płyn Tyfocor. Obieg nośnika ciepła jest wymuszony działaniem pompy obiegowej firmy Grundfos typ TPD 32-100/4 A-F-A BAQE [7]. Zabezpieczeniem instalacji górnego źródła ciepła jest naczynie wzbiorcze firmy REFLEX typu NG 8/3 [5] i zawór bezpieczeństwa. Zastosowano pompę ciepła firmy Viessmann – Vitocal 300 typu BW 106 [6]. Górne źródło pompy ciepła stanowi wymiennik zasobnikowy ciepłej wody użytkowej firmy Viessmann typu Vitocell – W-100 o pojemności 120 litrów z grzałką elektryczną [4].

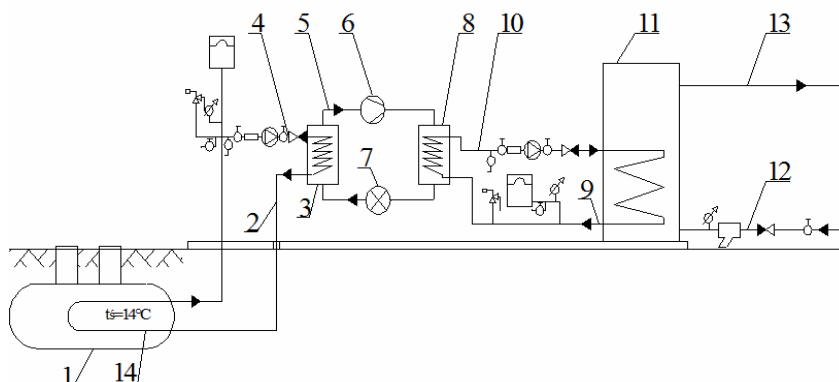


Rys. 3. Schemat instalacji do przygotowania C.W.U. przy użyciu pompy ciepła typu solanka/woda współpracującej z pionowym wymiennikiem gruntowym: 1 – wymiennik gruntowy, 2 – solanka po parowaczu, 3 – parowacz, 4 – solanka ogrzana przez grunt, 5 – czynnik po opuszczeniu parowacza, 6 – sprężarka, 7 – zawór rozprężny, 8 – skraplacz, 9 – powrót wody z zasobnika C.W.U., 10 – zasilanie zasobnika C.W.U., 11 – zasobnik C.W.U., 12 – woda z sieci, 13 – C.W.U. kierowana do punktów czerpalnych

Dostarczone czynnikowi robocznemu pompy ciepło inicjuje zmianę stanu skupienia czynnika chłodniczego z cieczy na gaz. Po przejściu przez parowacz podnoszona jest również jego temperatura do $9,5^{\circ}\text{C}$. Czynnik chłodniczy dochodzi do sprężarki, gdzie wzrasta jego ciśnienie i temperatura. Przed skraplaczem jest to gaz o temperaturze 53°C . W wymienniku tym oddaje ciepło w wyniku skroplenia, czyli z powrotem zmienia swój stan skupienia z gazu na ciecz. Ostatnim etapem jest rozprężanie w zaworze rozprężnym – ciśnienie zostaje zredukowane do poziomu wyjściowego i czynnik R407C w stanie ciekłym dochodzi od parowacza.

Pompa ciepła typu solanka/woda współpracująca ze ściekami (rys. 4.)

Ciepło pobierane jest ze źródła dolnego ścieków o temperaturze 14°C . Do przekazania ciepła ze ścieków do parowacza służy niskokrzepnąca ciecz, roztwór na bazie glikolu etylenowego, jakim jest płyn Tyfocor. Obieg nośnika ciepła jest wymuszony działaniem pompy obiegowej firmy Grundfos typu ALPHA Pro 15-40 130 [7]. Zabezpieczeniem instalacji górnego źródła ciepła jest naczynie wzbiorcze firmy REFLEX typu NG 8/3 [5] i zawór bezpieczeństwa. Zastosowano pompę ciepła firmy Viessmann Vitocal 300 typu BW-106 [6]. Górne źródło pompy ciepła stanowi wymiennik zasobnikowy ciepłej wody użytkowej firmy Viessmann typu Vitocell – W-100 o pojemności 120 litrów z grzałką elektryczną [6]. Dostarczone czynnikowi robocznemu pompy ciepło inicjuje zmianę stanu skupienia czynnika chłodniczego z cieczy na gaz. Po przejściu przez parowacz podnoszona jest również jego temperatura do $10,5^{\circ}\text{C}$. Czynnik chłodniczy dochodzi do sprężarki, gdzie wzrasta jego ciśnienie i temperatura. Przed skraplaczem jest to gaz o temperaturze 53°C . W wymienniku tym



Rys. 4. Schemat instalacji do przygotowania C.W.U. przy użyciu pompy ciepła i wymiennika ściekowego: 1 – ścieki, 2 – solanka po parowaczu, 3 – parowacz, 4 – solanka ogrzana przez ścieki, 5 – czynnik po opuszczeniu parowacza, 6 – sprężarka, 7 – zawór rozprężny, 8 – skraplacz, 9 – powrót wody z zasobnika C.W.U., 10 – zasilenie zasobnika C.W.U., 11 – zasobnik C.W.U., 12 – woda z sieci, 13 – C.W.U. kierowana do punktów czerpalnych, 14 – wymiennik

oddaje ciepło w wyniku skroplenia, czyli z powrotem zmienia swój stan skupienia z gazu na ciecz. Ostatnim etapem jest rozprężanie w zaworze rozprężnym – ciśnienie zostaje zredukowane do poziomu wyjściowego i czynnik R407C w stanie ciekłym dochodzi od parowacza.

3. Obliczenia zapotrzebowania na ciepłą wodę użytkową dla domu jednorodzinnego

Obliczenia zapotrzebowania na ciepłą wodę użytkową dla domu jednorodzinnego stanowią część wspólną dla trzech rozpatrywanych wariantów instalacji.

Średnie dobowe zapotrzebowanie na ciepłą wodę użytkową $q_{\text{śrd}}$ [2]

$$q_{\text{śrd}} = N \cdot q_i, \text{ dm}^3/\text{d} \quad (1)$$

gdzie: q_i – jednostkowe dobowe zapotrzebowanie na ciepłą wodę użytkową na jednego mieszkańca, zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Infrastruktury z dnia 14.01.2002 r. w sprawie przeciętnych norm zużycia wody [10] wynosi: $q_c = 110\text{--}130 \text{ dm}^3/\text{d} \cdot \text{os.}$; przyjęto $q_i = 120 \text{ dm}^3/\text{d} \cdot \text{os.}$

Ze wzoru (1):

$$q_{\text{śrd}} = 4 \cdot 120 = 480 \text{ dm}^3/\text{d}.$$

Średnie godzinowe zapotrzebowanie na ciepłą wodę użytkową $q_{\text{śrh}}$ [2]

$$q_{\text{śrh}} = q_{\text{śrd}}/t, \text{ dm}^3/\text{h} \quad (2)$$

gdzie: t – czas użytkowania instalacji, h/d; przyjęto $t = 18 \text{ h/d}$.

Ze wzoru (2):

$$q_{\text{śrh}} = 480/18 = 26,7 \text{ dm}^3/\text{h} = 0,0267 \text{ m}^3/\text{h}.$$

Średnia moc układu ciepłej wody użytkowej $Q_{\text{śrh}}$ [2]

$$Q_{\text{śrh}} = (q_{\text{śrh}}/3600) \cdot \rho \cdot c_w \cdot (T_{\text{wc}} - T_{\text{wz}}), \text{ kW} \quad (3)$$

gdzie: c_w – ciepło właściwe wody dla $T_{\text{śr}}$, $\text{kJ/kg} \cdot \text{K}$; $T_{\text{śr}} = 27,5^\circ\text{C} \rightarrow c_w = 4,176 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$ [12],

T_{wc} – temperatura wody ciepłej; $T_{\text{wc}} = 50^\circ\text{C}$,

T_{wz} – temperatura wody zimnej, zasilanie z sieci; $T_{\text{wz}} = 5^\circ\text{C}$ [6],

ρ – gęstość wody dla temperatury średniej $T_{\text{śr}}$ zasilania i powrotu, kg/m^3 .

Średnia temperatura zasilania i powrotu:

$$T_{\text{sr}} = (T_{\text{wc}} + T_{\text{wz}})/2, \text{ } ^\circ\text{C} \quad (4)$$

Ze wzoru (4):

$$T_{\text{sr}} = (50 + 5)/2 = 27,5^\circ\text{C}.$$

Obliczono gęstość wody w średniej temperaturze zasilania i powrotu $27,5^\circ\text{C}$:

$$\rho_{T_{\text{sr}}} = 1000 - 0,1675T_{\text{sr}} - 0,00285(T_{\text{sr}})^2 \quad (5)$$

gdzie: T_{sr} – średnia temperatura wody, $^\circ\text{C}$.

Ze wzoru (5):

$$\rho_{27,5^\circ\text{C}} = 1000 - 0,1675 \cdot 27,5 - 0,00285 \cdot 27,5^2 = 993,24 \text{ kg/m}^3.$$

Ze wzoru (3):

$$Q_{\text{srh}} = (0,0533/3600) \cdot 993,24 \cdot 4,176 \cdot (50 - 5) = 2,77 \text{ kW}.$$

Maksymalne godzinowe zapotrzebowanie na ciepłą wodę użytkową q_{maxh} [2]

$$q_{\text{maxh}} = q_{\text{srh}} \cdot N_{\text{h}}, \text{ dm}^3/\text{h} \quad (6)$$

gdzie: N_{h} – godzinowy współczynnik nierównomierności rozbioru ciepłej wody użytkowej;

$$N_{\text{h}} = 9,32 \cdot n^{-0,244} \quad (7)$$

n – liczba mieszkańców.

Ze wzoru (7):

$$N_{\text{h}} = 9,32 \cdot 4^{-0,244} = 6,65, -.$$

Ze wzoru (6):

$$q_{\text{maxh}} = 26,7 \cdot 6,65 = 177,56 \text{ dm}^3/\text{h} = 0,178 \text{ m}^3/\text{h}.$$

Maksymalna moc układu ciepłej wody użytkowej Q_{maxh} [2]

$$Q_{\text{maxh}} = (q_{\text{maxh}}/3600) \cdot \rho \cdot c_{\text{w}} \cdot (T_{\text{wc}} - T_{\text{wz}}), \text{ kW} \quad (8)$$

gdzie: c_{w} – ciepło właściwe wody dla T_{sr} , $\text{kJ/kg} \cdot \text{K}$; $T_{\text{sr}} = 27,5^\circ\text{C} \rightarrow c_{\text{w}} = 4,176 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$ [12],

T_{wc} – temperatura wody ciepłej; $T_{wc} = 50^{\circ}\text{C}$,

T_{wz} – temperatura wody zimnej, zasilanie z sieci; $T_{wz} = 5^{\circ}\text{C}$ [6],

ρ – gęstość wody dla temperatury średniej T_{sr} zasilania i powrotu, kg/m^3 .

Średnia temperatura zasilania i powrotu:

$$T_{\text{sr}} = (T_{wc} + T_{wz})/2, ^{\circ}\text{C}.$$

Ze wzoru (4):

$$T_{\text{sr}} = (50 + 5)/2 = 27,5^{\circ}\text{C}.$$

Obliczono gęstość wody w średniej temperaturze zasilania i powrotu $27,5^{\circ}\text{C}$:

$$\rho_{T_{\text{sr}}} = 1000 - 0,1675T_{\text{sr}} - 0,00285 (T_{\text{sr}})^2$$

gdzie: T_{sr} – średnia temperatura wody, $^{\circ}\text{C}$.

Ze wzoru (5):

$$\rho_{27,5^{\circ}\text{C}} = 1000 - 0,1675 \cdot 27,5 - 0,00285 \cdot 27,5^2 = 993,24 \text{ kg/m}^3.$$

Ze wzoru (8):

$$Q_{\text{maxh}} = (0,178/3600) 993,24 \cdot 4,176 \cdot (50 - 5) = 9,23 \text{ kW}.$$

Objętość zasobnika ciepłej wody użytkowej V_z [2]

Pojemność zasobnika ciepłej wody użytkowej V_z [2]:

$$V_z = 90\varphi \cdot n \log N_h, \text{ dm}^3 \quad (9)$$

gdzie: n – liczba mieszkańców,

φ – założony współczynnik akumulacji (0,15 – 0,35),

przyjęto $\varphi = 0,30$ [2].

Ze wzoru (9):

$$V_z = 90 \cdot 0,30 \cdot 4 \log 6,65 = 88,86 \text{ dm}^3.$$

Dobór zasobnika ciepłej wody użytkowej

Z katalogu firmy Viessmann [6] dobrano pojemnościowy podgrzewacz wody typu Vitocell – W-100 o pojemności 120 litrów z wężownicą wewnętrzną.

Współczynnik redukcji ψ [2]

$$\psi = \frac{1}{(N_h - 1) \cdot \varphi + 1}, - \quad (10)$$

gdzie: N_h – 6,65-godzinny współczynnik nierównomierności rozbioru ciepłej wody,

$\varphi = 0,30$ – założony współczynnik akumulacji.

Ze wzoru (10):

$$\psi = \frac{1}{[(6,65 - 1) \cdot 0,30] + 1} = 0,37, -$$

Zredukowana moc układu do przygotowania ciepłej wody Q_z [2]

$$Q_z = \frac{Q_{\max h} \cdot \psi}{\eta}, \text{ kW} \quad (11)$$

gdzie: $Q_{\max h} = 9,23 \text{ kW}$ – maksymalne zapotrzebowanie na moc cieplną potrzebną do przygotowania ciepłej wody użytkowej,

$\psi = 0,37, -$ – współczynnik redukcji,

η – sprawność układu C.W.U. [2].

Ze wzoru (11):

$$Q_z = \frac{9,23 \cdot 0,37}{0,89} = 3,84 \text{ kW}.$$

4. Dobór pompy ciepła typu powietrze/woda (wariant 1.)**Moc grzejna pompy ciepła Q_{pc} [11]**

$$Q_{PC} = \frac{24}{24 - t_z} \cdot Q_z, \text{ kW} \quad (12)$$

gdzie: Q_z – obliczeniowe zapotrzebowanie na moc cieplną do przygotowania C.W.U., kW,

t_z – czas wykorzystania zasobnika (postój pompy ciepła), godz.; przyjęto $t_z = 6$ godz. w celu doboru pompy ciepła powietrze/woda firmy Viessmann [6].

Ze wzoru (12):

$$Q_{PC} = \frac{24}{24-6} \cdot 3,84 = 5,12 \text{ kW.}$$

Pompę ciepła dobrano na moc grzewczą. Z katalogu firmy Viessmann [6] dobrano pompę Vitocal 300 typu AW 106 powietrze/woda.

5. Dobór pompy ciepła typu solanka/woda współpracującej z pionowym wymiennikiem gruntowym (wariant 2.)

Moc grzejna pompy ciepła Q_{pc} [11]

Ze wzoru (12):

$$Q_{PC} = \frac{24}{24-9} \cdot 3,84 = 6,14 \text{ kW.}$$

Główne kryterium doboru pompy ciepła stanowi obliczona moc pompy: $Q_{PC} = 6,14$. Na jej podstawie dobrano pompę ciepła firmy Viessmann Vitocal 300 typu BW-106 [6].

6. Dobór pompy ciepła typu solanka/woda współpracującej ze ściekami (wariant 3.)

Moc grzejna pompy ciepła Q_{pc} [11]

Ze wzoru (12):

$$Q_{PC} = \frac{24}{24-9} \cdot 3,84 = 6,14 \text{ kW.}$$

Główne kryterium doboru pompy ciepła stanowi obliczona moc pompy: $Q_{PC} = 6,14 \text{ kW}$. Na tej podstawie dobrano pompę ciepła firmy Viessmann [6].

7. Porównanie technologiczne i ekonomiczne instalacji dla domu jednorodzinnego, zaprojektowanej w trzech wariantach

W tabelach 1. oraz 2. przedstawiono porównanie technologiczne instalacji źródła dla domku jednorodzinnego. W tabelach umieszczone są zarówno wyniki obliczeń, jak i dane katalogowe. Porównanie technologiczne zostało opracowane na podstawie materiałów projektowych firmy Viessmann oraz danych katalogowych firmy Reflex oraz Grundfos.

Tabela 1. Porównanie technologiczne instalacji dla domu jednorodzinnego (wyniki obliczeń)

Porównanie technologiczne instalacji dla domu jednorodzinnego			
Rodzaj wariantu	wariant 1.	wariant 2.	wariant 3.
WYNIKI OBLICZEŃ			
Typ pompy ciepła	Viessmann Vitocal 300 typu AW-106 [6]	Viessmann Vitocal 300 typu BW-106 [6]	Viessmann Vitocal 300 typ BW-106 [6]
Rodzaj górnego nośnika	zasobnik Viessmann typu Vitocell – V-100 o pojemności 200 litrów z grzałką elektryczną [6]	zasobnik Viessmann typu Vitocell – V-100 o pojemności 200 litrów z grzałką elektryczną [6]	zasobnik Viessmann typu Vitocell – V-100 o pojemności 200 litrów z grzałką elektryczną [6]
Moc chłodnicza	3,7 kW	5,0 kW	5,0 kW
Moc grzewcza	5,40 kW	6,40 kW	6,40 kW
Pobór mocy	1,7 kW	1,4 kW	1,4 kW
Czynnik chłodniczy	R407C	R407C	R407C
Czas postoju pompy	6 h	9 h	9 h
Stopień efektywności**	2,88	3,5	4,0
Ilość ciepła źródła dolnego	3,34 kW	4,51 kW	4,60 kW
Temperatura na wyjściu z parowacza*	2°C	3°C	4°C
Temperatura odparowania czynnika*	8°C	0,5°C	1,5°C
Temperatura czynnika chłodniczego na ssaniu sprężarki (określona w sposób teoretyczny)*	2°C	9,5°C	10,5°C
Temperatura czynnika grzewczego na wejściu do skraplacza*	50°C	50°C	50°C
Temperatura skraplania czynnika chłodniczego (określona w sposób teoretyczny)*	53°C	53°C	53°C
Temperatura czynnika chłodniczego przed zaworem rozprężnym (określona w sposób teoretyczny)*	50°C	50°C	50°C
Instalacja źródła dolnego	brak	2 sondy gruntowe o długości 56 m każda	zbiornik o objętości 18,5 m ³ [3]

* Do obliczeń wykorzystano metodę z publikacji [1].

** Stopień efektywności obliczono na podstawie materiałów graficznych firmy Viessmann [6].

Tabela 2. Porównanie technologiczne instalacji dla domu jednorodzinnego (dane katalogowe)

Porównanie technologiczne instalacji dla domu jednorodzinnego			
Rodzaj wariantu	wariant 1.	wariant 2.	wariant 3.
DANE KATALOGOWE			
Typ pompy ciepła	Viessmann Vitocal 300 typu AW-106 [6]	Viessmann Vitocal 300 typu BW-106 [6]	Viessmann Vitocal 300 typu BW-106 [6]
Cena pompy ciepła	32 967,25 PLN [4]	23 262,54 PLN [4]	23 262,54 PLN [4]
Rodzaj nośnika	powietrze/woda	solanka/woda	solanka/woda
Rodzaj dolnego nośnika	powietrze	grunt	ścieki
Temperatura dolnego źródła ciepła	6°C	10°C	14°C
Typ pompy obiegowej źródła dolnego	Grundfos typu ALPHA Pro 15-40 [7]	Grundfos typu TPD 32-100/4 A-F-A BAQE [7]	Grundfos typu ALPHA Pro 15-40 130 [7]
Naczynie wzbiorcze	REFLEX typu NG 8/3 [5]	REFLEX typu NG 8/3 [5]	REFLEX typu NG 8/3 [5]
Pojemność wzbiorcza	8 dm ³	8 dm ³	8 dm ³

Pompa ciepła pod względem inwestycyjnym jest najdroższym elementem instalacji obok wymiennika niskotemperaturowego, z tego względu do dalszych obliczeń wzięto pod uwagę koszty zakupu wymiennika i pompy ciepła [8].

Całkowite nakłady inwestycyjne na instalację pompy ciepła – K_{inpc} – są sumą kosztów:

- pompy ciepłej – K_{ipc} ,
- wymiennika niskotemperaturowego – K_{iwym} ,
- instalacji ruchomej pompy ciepła (oprzyrządowanie, rurociągi, armatura, automatyka, wymiennik wysokotemperaturowy), montaż i uruchomienie – K_{ipz} ,
- zakupu gruntu pod wymiennik niskotemperaturowy – K_{igr} – jeśli zaistnieje taka konieczność.

A zatem

$$K_{inpc} = K_{ipc} + K_{iwym} + K_{ipz} + K_{igr}, \text{ PLN} \quad (13)$$

Gdy znany jest koszt pompy ciepła, ale brakuje danych o pozostałych składnikach nakładów inwestycyjnych, wówczas można posłużyć się obliczeniami szacunkowymi. Do tego celu wykorzystuje się oszacowanie udziałów poszczególnych składowych instalacji w nakładach inwestycyjnych. W przypadku wymiennika gruntowego pionowego można skorzystać z danych zawartych w tab. 3., w których jest oszacowany średni udział pompy ciepła w nakładach całkowitych – u_i [8]. Otrzymamy wtedy:

$$K_{\text{inpc}} = \frac{K_{\text{ipc}}}{u_i}, \text{ PLN} \quad (14)$$

gdzie u_i – szacowany udział pompy ciepła w nakładach inwestycyjnych.

Tabela 3. Uśrednienie wartości udziałów w nakładach inwestycyjnych poszczególnych elementów instalacji pompy ciepła w wymienniku gruntowym

Składniki instalacji grzewczej	Wysokość udziału poszczególnych elementów instalacji w nakładach inwestycyjnych – u_i %	
	wymiennik poziomy	wymiennik pionowy
Pompa ciepła	35	29
Wymiennik gruntowy	45	55
Pozostałe elementy instalacji: zbiornik C.W.U., rurociągi, armatura, układ automatyki oraz robocizna i uruchomienie instalacji	20	16

Opracowano na podstawie pracy [8].

Jeżeli rozpatruje się pompę ciepła typu powietrze/woda, to koszty inwestycyjne będą opierały się tylko na koszcie zakupu pompy ciepła. Zestawienie całkowitych kosztów inwestycyjnych dla trzech wariantów pomp ciepła przedstawiono w tab. 4.

Tabela 4. Porównanie ekonomiczne instalacji dla domu jednorodzinnego

Porównanie ekonomiczne instalacji dla domu jednorodzinnego			
Rodzaj wariantu	wariant 1.	wariant 2.	wariant 3.
Typ pompy ciepła	Viessmann Vitocal 300 typu AW-106 [4]	Viessmann Vitocal 300 typu BW-106 [4]	Viessmann Vitocal 300 typu BW-106 [4]
Rodzaj nośnika	powietrze/woda	solanka/woda	solanka/woda
Koszt pompy ciepła	32 967,25 PLN [10]	23 262,54 PLN [10]	23 262,54 PLN [10]
Całkowite koszty inwestycyjne *	32 967,25 PLN	80 215,66 PLN	63 175,1 PLN

* Całkowite koszty inwestycyjne obliczone na podstawie pracy [8].

Z analizy tab. 1-4 wynika, że najniższe całkowite koszty inwestycyjne uzyskała pompa powietrze/woda firmy Viessmann Vitocal 300 typu AW-106, natomiast najwyższe pompa typu solanka/woda współpracująca z pionowym wymiennikiem ciepła firmy Viessmann Vitocal 300 typu BW-106. W przypadku pompy ciepła typu solanka/woda współpracującej ze ściekami koszty inwestycyjne opierają się na cenie pompy ciepła, zbiornika na ścieki o pojemności 18,5 m³ [3] oraz wymiennika ciepła.

8. Podsumowanie

Pompy powietrze/woda są bardzo proste w montażu instalacji w odróżnieniu od innych typów pomp, których instalacje są o wiele bardziej skomplikowane. Koszty instalacji są tańsze, ponieważ pompa powietrze/woda nie posiada instalacji źródła dolnego, gdyż powietrze dostarczane jest bezpośrednio do pompy. Pompa ciepła powietrze/woda jest prosta w serwisie. Szacuje się, że koszt ciepła uzyskanego z wymienników powietrznych w stosunku do kosztów ciepła z wymienników gruntowych wynosi 1:3, co zalicza się do istotnych zalet wymienników powietrznych [8]. Pompa powietrze/woda jest mało efektywna w zimie, gdy temperatura powietrza jest niska. Pompa ciepła pobierająca ciepło z gruntu czy ze ścieków jest bardziej stabilna, ponieważ temperatura źródła dolnego (grunt, ścieki) jest stosunkowo stała w ciągu roku, tzn. w małym stopniu zależy od temperatury zewnętrznej.

Literatura

1. Adamczyk M., Sałaciński B., Pisarev V.: *Temperaturowy zakres pracy chłodziarki sprężarkowej*. Prace Kół Naukowych Politechniki Rzeszowskiej w r. ak. 2005/2006, Rzeszów 2007.
2. Danielewicz J., Sołecki K.: *Projektowanie kotłowni*. Katalog De Dietrich, 2006.
3. <http://www.avitech.lap.pl/zbiorniki>.
4. <http://www.ins-bud.com.pl> – *Cennik pomp ciepła*.
5. <http://www.reflex.pl> – *Katalog firmy Reflex*.
6. <http://www.viessmann.pl> – *Katalog firmy Viessmann*.
7. *Katalog firmy Grundfos do doboru pomp w formie elektronicznej Vin Caps 7.51*.
8. Kusto Z.: *Uwarunkowania ekonomicznej efektywności pomp ciepła*. Wydawnictwo IMP PAN, Gdańsk 2006.
9. PN-92/B-01706. *Instalacje wodociągowe – wymagania w projektowaniu*. Wydawn. Normalizacyjne, Warszawa 1992.
10. *Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 14.01.2002 r. w sprawie przeciętnych norm zużycia wody*. Dz. U. Nr 8 z 2002 r., poz. 70.
11. Rubik M.: *Pompy ciepła. Poradnik*. Ośrodek informacji „Technika instalacyjna w budownictwie”, wyd. III, Warszawa 1999.
12. Zawadzki M.: *Kolektory słoneczne, pompy ciepła – na tak*. Oficyna Wydawnicza firmy Polska Ekologia Sp. z o.o., Warszawa 2003.

THE COMPARISON OF PREPARATION SYSTEMS FOR HOT TAP WATER IN SINGLE-FAMILY HOME WITH THE APPLICATION OF HEAT PUMPS

S u m m a r y

In the article the author presents preliminary designing and economical comparison of preparation systems for hot tap water in single-family home with the application of heat pumps. As alternatives to the main elements of these systems, the following heat pump types were used: air/water, brine/water cooperating with vertical land exchanger and brine/water taking away the heat from sewage.

Złożono w Oficynie Wydawniczej w czerwcu 2009 r.