

Dobór podzespołów gruntowej pompy ciepła

Mariusz Szreder

Politechnika Warszawska, Wydział Budownictwa, Mechaniki i Petrochemii,
Instytut Inżynierii Mechanicznej, Zakład Inżynierii Systemów Mechanicznych i Automatykacji,
Al. Jachowicza 2/4, 09-402 Płock, e-mail: szreder@pw.plock.pl

Streszczenie. W pracy zostały zaprezentowane wybrane zagadnienia dotyczące projektowania gruntowej pompy ciepła na podstawie publikowanych wyników badań. W celu weryfikacji przyjętej metodyki doboru poszczególnych podzespołów pompy ciepła zostały przeprowadzone badania eksperymentalne na stanowisku badawczym wyposażonym w gruntową pompę ciepła z kolektorami pionowymi.

Słowa kluczowe: gruntowa pompa ciepła, kolektor pionowy, sprężarka spiralna, parownik, skraplacz, źródło dolne, współczynnik efektywności energetycznej.

1. WPROWADZENIE

Pompy ciepła są praktycznie stosowane w Europie od 25 lat, ale w ostatnich latach obserwuje się gwałtowny wzrost skali ich sprzedaży. Wynika to między innymi z wymogów Dyrektyw Unijnych, których głównym celem jest doprowadzenie do wzrostu wykorzystania OZE w finalnym zużyciu energii do 15% w 2020 r.

Niemal co drugi dom budowany w Niemczech, Szwecji, Szwajcarii i Austrii jest wyposażony w pompę ciepła. To właśnie te kraje mają najkorzystniejsze współczynniki w dziedzinie oszczędności energii i ekologii w budownictwie. Jest to wynik skutecznego promowania technologii pomp ciepła poprzez stosowanie specjalnych taryf energetycznych dedykowanych dla tych urządzeń, a także różnego rodzaju form dotacji, czy ulg podatkowych.

Gdyby w Polsce udało się uruchomić dobry mechanizm wsparcia inwestycji z pompami ciepła, korzystając z doświadczenia krajów Europy Zachodniej, w ciągu kilku lat, liczba inwestycji w pompy ciepła mogłaby wzrosnąć nawet 10-krotnie [5,15].

Technologia geotermii, znana i rozwijana na świecie już od ponad 50 lat, również w Polsce cieszy się coraz większym zainteresowaniem. Niestety nadal wynika to wyłącznie z wysiłków producentów i hobbystów, starających się po-

kazać jej wielkie zalety mimo relatywnie wysokich początkowych kosztów inwestycyjnych oraz poszerzającemu się gronu zadowolonych użytkowników pomp ciepła.

Spośród wszystkich instalowanych pomp ciepła główny udział przypada gruntowym pompom ciepła, które ze względu na chłodny klimat są preferowane przez mieszkańców naszego kraju. W Polsce, w segmencie gruntowych pomp ciepła najczęściej (41-43% w latach 2008-2009) instalowane są pompy o mocy do 10 kW, są one montowane w nowych domach jednorodzinnych o powierzchni użytkowej 150÷200 m², które stanowią 80% wszystkich nowo budowanych domów jednorodzinnych. W ostatnich latach zanotowano także wzrost popytu na pompy ciepła o dużej mocy grzewczej na potrzeby ogrzewania budynków wielorodzinnych, biurowo-usługowych, turystyczno-rekreacyjnych oraz obiektów poddawanych termomodernizacji.

2. DOBÓR PODZESPOŁÓW GRUNTOWEJ POMPY CIEPŁA

CHARAKTERYSTYKA OBIEKTU BADAWCZEGO

Instalacja ogrzewania z pompą ciepła typu solanka/woda została wykonana w domku jednorodzinny z poddaszem użytkowym o łącznej powierzchni użytkowej 156 m². Z myślą o ogrzewaniu pompą ciepła zastosowano niskotemperaturowe ogrzewanie podłogowe na parterze i poddaszu użytkowym, jedynie w łazienkach zastosowano dodatkowo grzejniki drabinkowe. W poszczególnych pomieszczeniach ułożono ogrzewanie podłogowe z rozstawem rurek co 15 cm, jedynie w łazienkach zastosowano rozstaw co 10 cm. Średnia długość poszczególnych obwodów wynosiła średnio 60-65 m, co zapewniło równomierny rozkład oporów przepływu. Do zasilania obwodów grzewczych na parterze i poddaszu zastosowano oddzielne rozdzielacze zasilane niezależnie sterowanymi pompami obiegowymi,

co pozwala w łatwy sposób sterować dostarczaniem mocy grzewczej do pomieszczeń na parterze i poddaszu.

W dokumentacji projektowej budynku podane jest roczne zapotrzebowanie na energię użytkową $E=16400$ kWh/rok. Zakładając średnioroczny czas pracy pompy ciepła na poziomie **1800 h** otrzymujemy przybliżone obciążenie cieplne budynku na poziomie **9,1 kW** [13, 23].

Z drugiej strony według dostępnych danych w literaturze zapotrzebowanie na energię cieplną dla budynków nowych z dobrze wykonaną izolacją cieplną wynosi na poziomie **50÷65 W/m²**. Przyjmując jednostkowe obciążenie cieplne na poziomie **55 W/m²** i powierzchni użytkowej budynku wynoszącej **140 m²** otrzymujemy orientacyjne przybliżone obciążenie cieplne budynku **7,7 kW**. Jeśli ta sama pompa ciepła nie tylko ogrzewa dom, ale również grzeje c.w.u., to zakłada się przy tym, że jedna osoba zużywa na dobę ok. **50l** wody o temperaturze **45°C**, do czego potrzebna jest moc grzewcza **0,25 kW**. Zatem dla rodziny 4-osobowej mamy dodatkowy **1kW**. Ostatecznie, dla domu o powierzchni **140 m²** otrzymujemy moc pompy ciepła **8,7 kW** [8, 24].

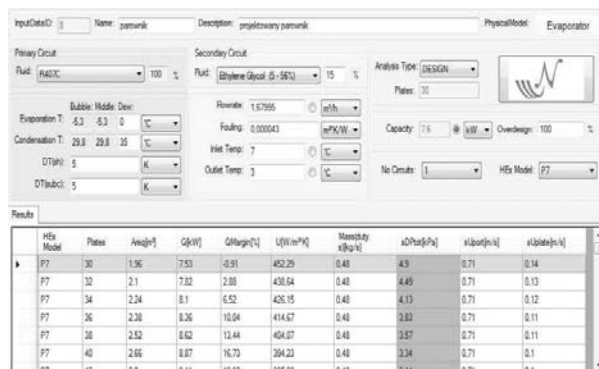
Zatem należy przyjąć do dalszych obliczeń wymaganą moc grzewczą pompy ciepła na poziomie **9 kW**.

DOBÓR PODSTAWOWYCH PODZESPOŁÓW POMPY CIEPŁA

Zastosowany czynnik chłodniczy **R407C** jest mieszaniną trójskładnikową. Każdy z tych składników ma inną temperaturę parowania, aby zagwarantować stuprocentowe odparowanie każdego składnika zastosowano przegrzewacz gazu zasysanego. Dzięki temu eliminuje się zasysanie cieczy do sprężarki i poprawia się współczynnik efektywności obiegu termodynamicznego. Sposób ten polega na przekazaniu części ciepła posiadanego jeszcze przez czynnik roboczy za skraplaczem poprzez dodatkowy wymiennik ciepła na stronę par czynnika (przed sprężarką). W ten sposób czynnik roboczy zostaje całkowicie odparowany. Takie przekazanie ciepła powoduje po stronie zimnej wzrost, a po stronie gorącej spadek ciśnienia. Zmniejszenie różnicy ciśnień między stronami powoduje zmniejszenie pracy, jaką musi wykonać sprężarka. Spada więc zużycie prądu, a współczynnik efektywności pompy ciepła wzrasta nawet o 5% [4, 12].

Do doboru wymienników płytowych wykorzystano dedykowane oprogramowanie Avogadro2 ver. 2.0.0.1 oferowane przez dostawcę firmę WTK. Standardowe parametry pracy solankowej pompy ciepła to **B0/W35**, co oznacza temperaturę parowania czynnika chłodniczego **0°C** i temperaturę skraplania czynnika równą **35°C**. Zakładając oczekiwaną różnicę temperatury w obiegu glikolowym $\Delta T=4K$ oraz przegrzanie i przechłodzenie czynnika chłodniczego **5K** otrzymujemy dedykowany dla instalacji w domkach jednorodzinnych wymiennik **P7 30-płytowy** (rys. 1).

W obwodzie skraplacza dla oczekiwanej różnicy temperatur na wlocie i wylocie z ogrzewania podłogowego i założonego przepływu **1,2 m³/h** otrzymujemy dedykowany wymiennik **P7 16-płytowy**, którego parametry eksploatacyjne są wyższe od założonych, ale celowe przewymiarowanie skraplacza jest ekonomicznie uzasadnione (rys. 2).



Rys. 1. Dobór wymiennika płytowego dla obwodu parownika
Fig. 1. The selection of plate exchanger for evaporation circuit



Rys. 2. Dobór wymiennika płytowego dla obwodu skraplacza
Fig. 2. The selection of plate exchanger for condenser circuit

Z uwagi na równomierne obciążenie poszczególnych faz instalacji elektrycznej zastosowano sprężarkę z zasilaniem trójfazowym. Z katalogu dobrano najmniejszą z dostępnych sprężarek z zasilaniem trójfazowym o mocy grzewczej **9 kW**, która dla założonych parametrów pracy **B0/W35** uzyskuje współczynnik efektywności **COP=4,4**, oznaczenie katalogowe C-SBN263H8A.

Tabela 1. Fragment danych katalogowych dla sprężarki C-SBN-263H8A

Table 1. Fragment of catalog data for the compressor C-SBN-263H8A

C-SBN263H8A		400V/3f/50Hz / 400B/3f/50Hz		R407C		
Temperatura skraplania / Condensing temperature / Температура конденсации [°C]	Temperatura odparowania / Evaporating temperature / Температура кипения [°C]	-10	-5	0	+5	+10
30	Wydajność / Capacity / Производитель, [W] [Bt]	6638	8081	9846	12005	-
	Moc / Power consumption / Потр.мощн. [W] [Bt]	1889	1890	1885	1873	-
	Pobór prądu / Rated current / Потр. ток, [A]	3,7	3,8	3,8	3,8	-
35	Wydajność / Capacity / Производитель, [W] [Bt]	6127	7473	9123	11146	13614
	Moc / Power consumption / Потр.мощн. [W] [Bt]	2079	2080	2076	2064	2044
	Pobór prądu / Rated current / Потр. ток, [A]	4,0	4,1	4,2	4,2	4,2
40	Wydajność / Capacity / Производитель, [W] [Bt]	5645	6901	8442	10338	12660
	Moc / Power consumption / Потр.мощн. [W] [Bt]	2310	2313	2309	2298	2279
	Pobór prądu / Rated current / Потр. ток, [A]	4,5	4,5	4,6	4,6	4,5
45	Wydajność / Capacity / Производитель, [W] [Bt]	5192	6365	7805	9580	11762
	Moc / Power consumption / Потр.мощн. [W] [Bt]	2583	2587	2584	2574	2556
	Pobór prądu / Rated current / Потр. ток, [A]	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Współczynnik efektywności / COP / КПД		2,01	2,46	3,02	3,72	4,60

Z przedstawionych danych katalogowych wynika, że w zakresie temperatur odparowania ($-15^{\circ}\text{C} \div +10^{\circ}\text{C}$) pobór prądu jest na tym samym poziomie, natomiast wydajność sprężarki wzrasta ze wzrostem temperatury, zatem współczynnik efektywności COP również proporcjonalnie jest większy dla wyższych temperatur. Z tego wynika, że należy dążyć do utrzymywania najwyższych możliwych wartości temperatury odparowania czynnika chłodniczego. Natomiast wzrost temperatury skraplania wywołuje znaczne spadki wartości współczynnika efektywności COP [6, 23].

DOBÓR ŹRÓDŁA DOLNEGO

Sprawność pompy ciepła jest tym wyższa im mniejsza jest różnica temperatur źródła górnego i dolnego. Najefektywniejszym dolnym źródłem ciepła jest woda gruntowa, której temperatura, niezależnie od głębokości i pory roku, wynosi ok. 10°C . Jest to również rozwiązanie niedrogi inwestycyjnie, o ile lustro wody jest na poziomie nie głębszym niż 7 m, a studnie (czerpalna i zrzutowa) wiercone są na głębokość nie większą niż 15 m.

Najprostszym i najtańszym inwestycyjnie źródłem dolnym jest powietrze zasysane do pompy ciepła. Jednak w naszym klimacie zastosowanie powietrza zewnętrznego jako źródła ciepła do ogrzewania domu jest mało efektywne. W zimie sprawność takiego systemu, przy ujemnych temperaturach na zewnątrz, spada do wartości 2-3, jednocześnie maleje też moc grzewcza i pomieszczenia mogą być niedogrzone.

Ostatecznie pozostaje do wyboru **kolektor pionowy** lub **poziomowy** (płaski lub spiralny). Ten drugi jest tańszy, ale absorbuje dużą powierzchnię działki, dwa do czterech razy większą niż powierzchnia użytkowa domu.

Z uwagi na ograniczone możliwości zagospodarowania działki oraz niekorzystne warunki gruntowe (na głębokości $1 \div 2$ m znajduje się piasek) zrezygnowano z wykonania dolnego źródła ciepła, jako kolektora poziomego. Z uwagi na wysokie koszty dodatkowe związane z określeniem wydajności ciepłej gruntu zrezygnowano z badania zdolności przekazywania ciepła przez sondy geotermalne.

Do doboru kolektora pionowego wykorzystano oprogramowanie **Energeo** dedykowane przez dostawcę sond wymiennika pionowego firmę Aspol.

Po wprowadzeniu parametrów pompy ciepła do programu doborowego źródła dolnego Energeo dla założonego współczynnika mocy ciepłej gruntu na poziomie **38 W/m** uzyskano wymaganą łączną długość wymiennika pionowego **186 m** przy zastosowaniu sond 2-rurowych wypełnionych 20% roztworem glikolu etylenowego. Zastosowano 3 sondy, po **62 m** podłączone do rozdzielacza ściennego umieszczonego w kotłowni, równoważonego hydraulicznie zaworami kulowymi [9,12].

3. PRZYKŁADOWE WYNIKI BADAŃ TESTOWYCH

W celu sprawdzenia poprawności doboru poszczególnych podzespołów pompy ciepła przeprowadzono szereg badań eksperymentalnych.

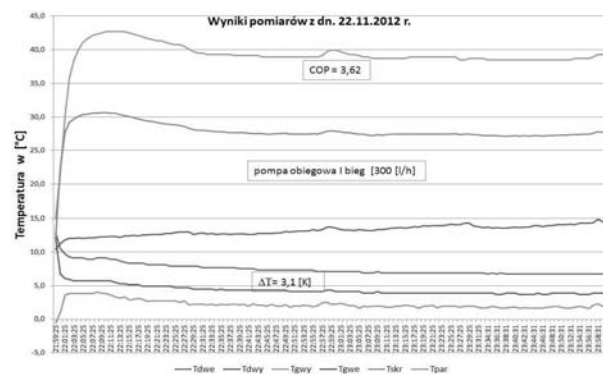
Po zmontowaniu stanowiska badawczego, napełniono obwód źródła dolnego roztworem glikolu etylenowego o stężeniu 20% z wykorzystaniem gotowego płynu o oznaczeniu Henock 20E15. Obwód źródła górnego został napełniony wodą. Po odpowietrzeniu poszczególnych obwodów, uruchomiono na czas 2 godzin pompy obiegowe źródła dolnego w celu uzyskania jednakowego stężenia płynu w całym obwodzie [13, 17].

Badania przeprowadzono w listopadzie i grudniu w sezonie grzewczym 2012/2013. Ze względów ekonomicznych badania eksperymentalne przeprowadzono w godzinach obowiązywania grupy taryfowej G12 tzw. taryfy nocnej.

W czasie badań dokonywano rejestracji podstawowych parametrów eksploatacyjnych, istotnych dla wyznaczenia bilansu energetycznego pompy ciepła.

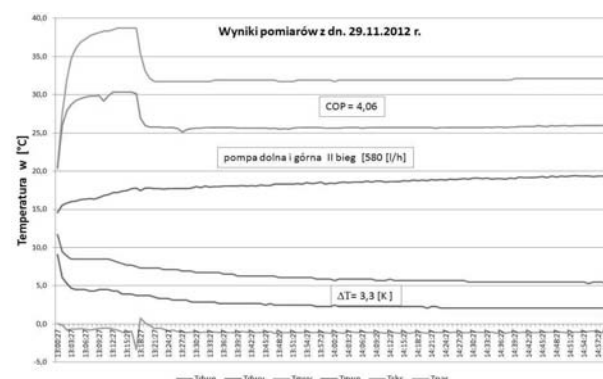
Symbolika przyjętych oznaczeń na wykresach:

- Tdwe – temperatura glikolu na wejściu ze źródła dolnego,
- Tdwy – temperatura glikolu na wyjściu z parownika,
- Tgwe – temperatura wody powrotnej z obiegu grzewczego,
- Tgwy – temperatura wody zasilającej obieg grzewczy,
- Tskr – temperatura skraplania czynnika chłodniczego,
- Tpar – temperatura parowania czynnika chłodniczego.



Rys. 3. Wykres zmian temperatur w obiegu podłogowym dla temperatury parowania na poziomie 2°C

Fig. 3. Changes in the temperatures in the floor circuit for the evaporation temperature of 2°C



Rys. 4. Wykres zmian temperatur w obiegu podłogowym dla temperatury parowania na poziomie -1°C

Fig. 4. Changes in the temperatures in the floor circuit for the evaporation temperature of -1°C

Z przedstawionych wykresów (rys. 3 i rys. 4) wynika, że dla stałej różnicy temperatur w obiegu glikolowym dolnego źródła ciepła dla ustawionej wyższej temperatury parowania spada zdolność odbioru mocy chłodniczej przez pompę ciepła.

Dodatkowo utrzymywanie wyższej wartości temperatury zasilania górnego źródła ciepła, spowodowało uzyskanie znacznie niższej wartości wskaźnika efektywności energetycznej.

Uzyskane dane pomiarowe dla rzeczywistego obiektu badań znacznie odbiegają od danych katalogowych podanych w tab. 1 dla zastosowanej sprężarki Sanyo.

4. PODSUMOWANIE

Badania przeprowadzono w domku jednorodinnym, który nie jest jeszcze użytkowany. Ze względów czysto ekonomicznych w pomieszczeniach utrzymywano temperaturę na poziomie 16°C, wykorzystując do zasilania pompy ciepła wyłącznie taryfę nocną. W efekcie czego pompa ciepła w całym dotychczasowym zakresie badań nie pracowała w optymalnych warunkach pracy. Mimo to z przeprowadzonego wstępnego etapu badań, można wywnioskować, które parametry eksploatacyjne mają istotny wpływ na sprawność energetyczną pompy ciepła.

Wyznaczenie podstawowych zależności wpływu parametrów eksploatacyjnych pompy ciepła na wskaźnik efektywności energetycznej będzie możliwe po przeprowadzeniu badań w całym zakresie zmian parametrów eksploatacyjnych. Szczegółowa analiza uzyskanych wyników badań, pozwoli określić, który z podzespołów pompy ciepła znacząco ogranicza możliwość uzyskania wyższego współczynnika efektywności energetycznej. W efekcie czego możliwe będzie zweryfikowanie poprawności metodyki doboru poszczególnych podzespołów pompy ciepła.

LITERATURA

1. **Chochowski A., Czekalski D. 2005:** Badania eksploatacyjne hybrydowego systemu zasilania energią z wykorzystaniem układu archiwizacji, transmisji i przetwarzania danych. *Inżynieria Rolnicza*, Nr 14, Kraków, 45-53.
2. **Ciesielczyk W., Skoneczna J. 2009:** Analiza pracy pompy ciepła z czynnikiem roboczym R407C. *Wyd. Politechniki Krakowskiej, Zeszyt nr 4* 128-139.
3. **Jasiński B., Szreder M. 2008:** *Inżynieria mikroprocesorowych systemów monitorowania maszyn rolniczych. Wybrane zagadnienia mechaniki w budowie urządzeń technicznych.* Płock, 153-194.
4. **Horyński M. 2008:** Heating system control in an intelligent building. *TEKA Kom. Mot. Energ. Roln. – OL PAN*, 8, 83-88.
5. **Kapuściński J., Rodzoch A. 2010:** Geotermia niskotemperaturowa w Polsce i na świecie – stan aktualny i perspektywy rozwoju. *Wyd. Borgis, Warszawa.*
6. **Knaga J. 2007:** Changeability of heat output of heat pump with scroll type compressor. *TEKA Kom. Mot. Energ. Roln. – OL PAN*, 7A, 41-45.
7. **Knaga J. 2008:** Energy efficiency of small compressor assisted air-water type heat pumps. *TEKA Kom. Mot. Energ. Roln. – OL PAN*, 8, 99-105.
8. **Kurpaska S. Latała H. 2006:** Analiza wydajności cieplnej gruntowego wymiennika ciepła w instalacjach wykorzystujących pompy ciepła. *Inżynieria Rolnicza*, Nr 6, Kraków, 251-259.
9. **Kurpaska S. Latała H. 2008:** Efektywność pracy pompy ciepła współpracującej z wymiennikami gruntowymi. *Inżynieria Rolnicza*, Nr 6, Kraków, 105-111.
10. **Kwaśniewski J. 2008:** Sterowniki PLC w praktyce inżynierskiej. *Wydawnictwo BTC.*
11. **Miara M. 2008:** Wyniki badań dolnych źródeł ciepła w pompach ciepła typu solanka/woda. *InstalReporter nr 6*, 11-14.
12. **Miara M. 2011:** Sprawność pomp ciepła w realnych warunkach użytkowania. *InstalReporter nr 2*, 12-16.
13. **Rubik M. 2006:** Pompy ciepła – poradnik. *Wyd. Ośr. Informacji „Technika Instalacyjna w budownictwie”*, Warszawa.
14. **Salat R., Korpysz K., Obstawski P. 2010:** Wstęp do programowania sterowników PLC. *Wydawnictwo WKiŁ.*
15. **Smuczyńska M. 2012:** Rynek pomp ciepła w Polsce. *Magazyn instalatora nr 11*, 31-33.
16. **Szreder M., Krzywosiński S. 2004:** Implementation of PID controller in the GE FANUC PLC. *V International Scientific Conference on „Microprocessor systems in agriculture”*. Płock, 201-205.
17. **Szreder M. 2012:** Hardware configuration of the Unifronics M90 controllers. *TEKA Kom. Mot. Energ. Roln. – OL PAN*, 12, 289-292.
18. **Zbrodowicz K., Dyakowski T. 1990:** *Pompy ciepła.* PWN, Warszawa.
19. www.viessman.pl. Pompy ciepła, Zeszyty fachowe.
20. www.pompyciepła.danfoss.pl. Poradnik pomp ciepła Danfoss.

THE SELECTION OF SUBASSEMBLIES FOR A GROUND SOURCE HEAT PUMP

Summary. The paper presents selected issues related to the design of a ground source heat pump based on published research results. In order to verify the adopted methodology of selection of the heat pump individual subassemblies experimental investigations were carried out on a test stand equipped with a ground source heat pump fitted with vertical collectors.

Key words: ground source heat pump, vertical collector, scroll compressor, evaporator, condenser, lower heat source, coefficient of performance.