



OGRANICZENIA I EFEKTYWNOŚĆ WYKORZYSTANIA SPRĘŻARKOWYCH POMP CIEPŁA W POLSKICH CIEPŁOWNIACH GEOTERMALNYCH

RESTRICTIONS ON USE AND EFFECTIVENESS OF COMPRESSOR HEAT PUMPS IN GEOTHERMAL HEATING PLANTS IN POLAND

LESZEK PAJĄK¹, GRAŻYNA HOŁOJUCH¹

Abstrakt. W artykule zaprezentowano uwarunkowania techniczne i ekonomiczne, jakim muszą sprostać sprężarkowe pompy ciepła w polskich instalacjach grzewczych wykorzystujących wody geotermalne. W rozważaniach uwzględniono wymagane parametry pracy instalacji geotermalnych oraz strukturę zużycia nośników energii wykorzystywanych do produkcji energii elektrycznej napędzającej pompy ciepła.

Mając na uwadze istniejące ograniczenia, określono warunki energetycznej i ekonomicznej opłacalności stosowania sprężarkowych pomp ciepła. Stwierdzono, że najmniej wymagającym kryterium opłacalności stosowania sprężarkowych pomp ciepła w polskich warunkach jest kryterium opłacalności energetycznej – aby było ono spełnione, przyjmując węgiel kamienny za paliwo odniesienia, konieczne jest uzyskanie średniorocznej wartości COP (współczynnik wydajności grzejnej pomp ciepła) powyżej 2,2, co jest w pełni osiągalne. Zdecydowanie ostrzejsze jest kryterium opłacalności ekonomicznej. Ustalono, że w odniesieniu do najpowszechniej stosowanych paliw konwencjonalnych średnioroczne wartości COP muszą zawierać się w przedziale: 5,0–7,7 dla węgla kamiennego; 3,3–5,6 dla sieciowego wysokometanowego gazu ziemnego; 1,7–2,0 dla lekkiego oleju opałowego i 1,0–1,4 dla sieciowej energii elektrycznej. Na tej podstawie stwierdzono, że osiągnięcie ekonomicznej opłacalności stosowania sprężarkowych pomp ciepła w odniesieniu do węgla kamiennego jest praktycznie nieosiągalne.

Słowa kluczowe: sprężarkowe pompy ciepła, efektywność pomp ciepła, ciepłownictwo, geotermia.

Abstract. The paper presents the technical and economic conditions that compressor heat pumps have to cope with in the Polish heating systems utilizing geothermal water. Required operating parameters of geothermal installations and the structure of energy consumption used for production of electricity driven heat pumps were taken into consideration.

Given the existing restrictions, the terms of energy and economic viability of compressor heat pumps were determined. It was found that the least demanding criterion of effectiveness for compressor heat pumps utilization in Poland is the criterion of primary energy saving effectiveness (taking coal as the reference fuel it is necessary to obtain the annual average COP value above 2.2 – which is fully achievable). A definitely more stringent criterion is the economic viability. It was found that, for the most commonly used conventional fuels, the average COP value must be 5.0–7.7 for coal, 3.3–5.6 for network natural gas with a high methane content, 1.7–2.0 for light heating oil and 1.0–1.4 for network electricity. On this basis, the economic viability of compressor heat pumps for coal is practically unattainable.

Key words: compressor heat pumps, heat pumps efficiency, district heating, geothermy.

¹ Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk, Zakład Energii Odnawialnej, ul. Wybickiego 7, 31-261 Kraków; e-mail: pajak@meeri.pl, grazia@meeri.pl

WPROWADZENIE

Na głębokościach, przy których pozyskanie i efektywne wykorzystanie energii geotermalnej może być obecnie opłacalne (1–4 km), na terenie Polski dominują zasoby niskotemperaturowej energii geotermalnej, zawierające się w przedziale 30–130°C (Kepińska, 2005; Barbacki i in., 2006; Górecki i in., 2006a, b). Duże głębokości zalegania zasobów energii geotermalnej wiążą się z wysokimi nakładami inwestycyjnymi ponoszonymi dla ich udostępnienia (dominującym składnikiem nakładów inwestycyjnych dla ciepłowni geotermalnych są koszty wykonania odwiertów udostępniających złoża). Wysokie nakłady inwestycyjne generują wysokie koszty stałe wytwarzania energii. Produkcja energii przy wykorzystaniu wód termalnych nie wiąże się już ze znacznymi kosztami eksploatacyjnymi. Efektem tego są relatywnie niskie, w porównaniu do źródeł konwencjonalnych, koszty zmienne produkcji energii. Wynika stąd warunek, jaki musi być spełniony, aby energia geotermalna była energią możliwie tania: ciepłownia geotermalna musi współpracować z odbiorcą charakteryzującym się odpowiednio wysokim współczynnikiem średniorocznego wykorzystania geotermalnej mocy zainstalowanej. Relatywnie wysokie koszty stałe nie zdominowały struktury kosztów wytwarzania energii.

Innym ważnym dla efektywności wykorzystania energii geotermalnej i pomp ciepła parametrem cechującym odbiorcę energii jest wymagana maksymalna temperatura zasilania. Decyduje ona o czasie pracy źródła energii oraz pozyskiwanej z niego mocy chwilowej. Wykorzystanie zarówno pomp ciepła, jak i energii geotermalnej jest limitowane przez możliwe do osiągnięcia temperatury maksymalne. Obowiązuje zależność, że im niższej temperatury wymaga odbiorca energii, tym efektywniej pracuje instalacja geotermalna i pompa ciepła.

Do głównych technicznych ograniczeń związanych z wykorzystaniem pomp ciepła, a w szczególności pomp sprężarkowych, należą ograniczenia temperaturowe (związane z termodynamicznymi właściwościami czynnika roboczego) i konstrukcyjne ograniczenia sprężarek. Skutkują one limitowaniem maksymalnej temperatury czynnika kierowanego na parownik pompy ciepła i maksymalnej temperatury medium ogrzewanego poprzez pompę ciepła (na wyjściu ze skraplacza). Dla obecnie standardowo stosowanych w sprężarkowych pompach ciepła czynników roboczych maksymalna możliwa do uzyskania temperatura rzadko przekracza 80°C (sprężarki dwustopniowe), a standardem jest 52–60°C (sprężarki jednostopniowe w urządzeniach o małych mocach). Maksymalna tem-

peratura nośnika kierowanego na parownik pompy ciepła (np. wody termalnej) najczęściej nie może przekraczać 25–28°C.

W 1999 roku Polska przyjęła europejskie normy EN 442, ustalające maksymalną projektowaną temperaturę zasilania instalacji grzejnikowych na 75°C, a temperaturę wody powracającej z grzejników na 65°C. Niestety wiele funkcjonujących instalacji grzejnikowych zaprojektowano i wykonano wcześniej, przeważnie dla parametrów 90/70°C lub 95/70°C. Główne miejskie magistrale ciepłownicze często zaprojektowane są na temperaturę zasilania 130°C, a nawet 150°C. Ogranicza to lub uniemożliwia współpracę z nimi instalacji geotermalnych, nawet przy wykorzystaniu pomp ciepła. Jeżeli w pewnym zakresie temperatur zewnętrznych współpraca ta jest możliwa, to wymagania dotyczące osiągnięcia wysokich temperatur wody sieciowej obniżają efektywność wykorzystania geotermii i pomp ciepła.

Wysokie wymagania odnośnie temperatury zasilania miejskich sieci ciepłowniczych nie są jedyną przeszkodą limitującą powszechne wykorzystanie sprężarkowych pomp ciepła we współpracy z instalacjami geotermalnymi. Dodatkowym parametrem różniącym Polskę od innych państw europejskich, w których obserwuje się dynamiczny rozwój rynku pomp ciepła, jest struktura produkcji elektrycznej energii napędzającej sprężarki pomp. Na podstawie danych z 2005 r. udział węgla kamiennego i brunatnego w ogólnym bilansie zużycia nośników energii używanych do produkcji energii elektrycznej w Polsce można oszacować na około 95% (URE, 2009). Według tych samych danych udział elektrowni wodnych i odnawialnych źródeł energii w ogólnym bilansie produkcji energii elektrycznej nie przekracza 3%. Taka struktura zużycia nośników energii pierwotnej zużywanych do produkcji energii elektrycznej powoduje znaczące różnice w efektywności stosowania pomp ciepła między Polską a innymi krajami. Fakt ten musi być brany pod uwagę w przypadku wykorzystywania zagranicznych doświadczeń dotyczących oceny efektywności stosowania pomp ciepła.

Opisane czynniki wpływają bezpośrednio na umiarkowane rozpowszechnienie pomp ciepła w warunkach polskich. Z jednej strony niskie temperatury nośników energii geotermalnej zachęcają do wykorzystania pomp ciepła, z drugiej wysoki poziom niezbędnych nakładów inwestycyjnych, wymagane wysokie temperatury pracy instalacji grzejnikowych u odbiorców i dominujący udział energii elektrycznej wytwarzanej w elektrowniach węglowych nakazują dużą ostrożność przy ocenie efektywności planowanych rozwiązań.

OKREŚLANIE ENERGETYCZNEJ I EKONOMICZNEJ OPŁACALNOŚCI PRACY POMP CIEPŁA W SYSTEMACH CIEPŁOWNICZYCH

Warunek opłacalności energetycznej i ekologicznej stosowania sprężarkowych pomp ciepła powinien uwzględniać strukturę produkcji napędowej energii elektrycznej.

W związku z tym, że energia ta powstaje przede wszystkim z węgla, można sobie postawić pytanie: jakie warunki muszą być spełnione, aby w skali globalnej ograniczyć zużycie pa-

liwa (węgiel)? Przyjmując za kryterium opłacalności redukcję zużycia energii pierwotnej, której nośnikiem są paliwa konwencjonalne, warunek energetycznej opłacalności stosowania pomp ciepła można zapisać w postaci:

$$\text{COP} > n_0 / n_{el} \quad [1]$$

gdzie:

COP – współczynnik wydajności grzewczej pomp ciepła (definiowany jako stosunek energii odebranej na skraplaczu do energii napędowej zużytej przez pompę w tym samym czasie);

n_0 – sprawność konwersji energii pierwotnej zawartej w paliwie w energię cieplną dla technologii porównywanej z pompą ciepła;

n_{el} – sprawność konwersji energii chemicznej zawartej w węglu w energię elektryczną przy uwzględnieniu sprawności przesyłu energii elektrycznej.

Zakładając typowe w warunkach polskich dla węgla kamiennego wartości sprawności $n_0 = 0,7$ i $n_{el} = 0,32$ (Szargut, 1998) można ustalić graniczną wartość COP gwarantującą opłacalność energetyczną stosowania sprężarkowych pomp ciepła. Dla węgla kamiennego wartość ta wynosi ok. 2,2 i jest łatwa do osiągnięcia w praktyce. Zdecydowanie trudniejszy do spełnienia jest warunek ekonomicznej opłacalności stosowania sprężarkowych pomp ciepła. Wstępnym kryterium oceny ekonomicznej opłacalności stosowania pomp ciepła może być porównanie całkowitych kosztów eksploatacji tych urządzeń w odniesieniu do technologii wykorzystującej konwencjonalne nośniki energii. Przy czym koszty całkowite powinny obejmować: zakup nośników energii, obsługę instalacji, remontów i konserwacji, amortyzację środków trwałych, obsługę kredytu i inne (np. opłaty za gospodarcze korzystanie ze środowiska).

Żeby można było mówić o opłacalności ekonomicznej stosowania pomp ciepła, całkowite koszty powinny być niższe niż w przypadku technologii porównawczej. W polskich warunkach wartości COP, dające podstawę do stwierdzenia ekonomicznej opłacalności stosowania pomp ciepła według omawianego kryterium, w małych instalacjach indywidualnych (wielkości domu jednorodzinnego) wynoszą w odniesieniu do: węgla kamiennego – 7,7; sieciowego wysokometanowego gazu ziemnego – 5,6; lekkiego oleju opałowego – 2,0 i sieciowej energii elektrycznej – 1,4. Wartości te ustalono dla ceny wytworzenia energii cieplnej pochodzącej z wymienionych nośników dla odbiorców indywidualnych,

przy uwzględnieniu kosztów netto produkcji energii z poszczególnych paliw: węgiel kamienny 28 zł/GJ, sieciowy wysokometanowy gaz ziemny 41 zł/GJ, lekki olej opałowy 65 zł/GJ, skroplony techniczny propan–butan 80 zł/GJ, energia elektryczna 137 zł/GJ. Do kosztów zakupu paliw dodano wskaźnikowo (w sposób uproszczony, ale typowy dla poszczególnych rodzajów paliwa) koszty obsługi instalacji, remontów i konserwacji oraz amortyzację środków trwałych. W przypadku instalacji o dużej mocy, dla odpowiednio dobranej mocy pomp ciepła można się spodziewać, że powyższe wartości COP ulegną obniżeniu. Nie będą one jednak niższe niż wartości graniczne COP, wyznaczone w przypadku ujęcia jedynie kosztów zakupu nośników energii napędowej. Osiągnięcie niższych kosztów wytworzenia energii cieplnej, przy uwzględnieniu jedynie kosztów zakupu nośników energii napędowej, wymaga spełnienia zależności:

$$\text{COP} > p_{el} n_0 Q_{w0} / p_0 \quad [2]$$

gdzie:

p_{el} – jednostkowe koszt zakupu energii elektrycznej [zł/GJ];

p_0 – jednostkowe koszt zakupu porównawczego nośnika energii [zł/kg lub zł/m³];

Q_{w0} – wartość opałowa nośnika porównywanego z pompą ciepła [GJ/kg lub GJ/m³].

Wyznaczone według zależności [2] graniczne wartości COP wynoszą dla: węgla kamiennego – 5,0; sieciowego wysokometanowego gazu ziemnego – 3,3; lekkiego oleju opałowego – 1,7 i sieciowej energii elektrycznej – 1,0.

Zestawienie obu kryteriów ekonomicznych pozwala na ustalenie przedziałów wartości granicznych średniorocznych wartości COP gwarantujących opłacalność ekonomiczną stosowania sprężarkowych pomp ciepła zasilanych siecią energią elektryczną. Przedziały te wynoszą, w odniesieniu do poszczególnych paliw porównawczych: dla węgla kamiennego – 5,0–7,7; dla sieciowego wysokometanowego gazu ziemnego – 3,3–5,6; dla lekkiego oleju opałowego – 1,7–2,0; dla sieciowej energii elektrycznej – 1,0–1,4.

Powyższe kalkulacje świadczą o pełnej konkurencyjności pomp ciepła w odniesieniu do energii elektrycznej wykorzystywanej w sposób bezpośredni i oleju opałowego. Konkurencyjność w odniesieniu do sieciowego gazu ziemnego jest w pewnych przypadkach możliwa, nie jest jednak oczywista i powinna być każdorazowo sprawdzana. Konkurencyjność w odniesieniu do węgla kamiennego jest w zasadzie nieosiągalna.

PODSUMOWANIE

Dzięki wzrostowi udziału energii elektrycznej produkowanej ze źródeł odnawialnych oraz stopniowemu obniżaniu temperatur roboczych instalacji ciepłowniczych (zgodnie z wymaganiami normy EN 442), można mieć nadzieję na wzrost ekonomicznej efektywności stosowania pomp ciepła wykorzystujących energię geotermalną. Dodatkowym bodź-

cem sprzyjającym rozwojowi rynku pomp ciepła w Polsce będzie prawdopodobny rozwój konkurencji na rynku urządzeń, co może sprzyjać obniżeniu ich cen. Niestety bardzo prawdopodobny jest równoczesny stały wzrost cen konwencjonalnych nośników energii, w tym energii elektrycznej używanej przez pompy sprężarkowe. Niewątpliwie

wpływ na powszechność wykorzystania pomp ciepła będzie miało wprowadzenie limitów emisji CO₂. Obecnie polski sektor produkcji energii elektrycznej jest oparty przede wszystkim na węglu kamiennym, co może powodować znaczący wzrost kosztów produkcji energii elektrycznej, a tym samym spadek opłacalności stosowania pomp ciepła. Przy obecnej strukturze produkcji energii elektrycznej osiągnięcie energetycznej opłacalności stosowania pomp ciepła nie jest kłopotliwe. Zdecydowanie ostrzejsze kryterium oceny opłacalności stosowania sprężarkowych pomp ciepła stanowi kryterium ekonomiczne. Przy obecnej struk-

turze kosztów zakupu nośników energii i poziomie wymaganych nakładów inwestycyjnych można uznać, że pompy ciepła mogą z powodzeniem konkurować z sieciową energią elektryczną i lekkim olejem opałowym. Konkurencyjność w odniesieniu do sieciowego gazu ziemnego wymaga każdorazowo indywidualnej oceny. Konkurencyjność ekonomiczna instalacji pomp ciepła wobec węgla kamiennego jest praktycznie nieosiągalna – wymaga średniorocznej wartości COP powyżej 5, co jest bardzo trudne do praktycznego osiągnięcia.

LITERATURA

- BARBACKI A.P., BUJAKOWSKI W., PAJĄK L., 2006 — Atlas zbiorników wód geotermalnych Małopolski. IGSMiE PAN, Kraków.
- GÓRECKI W. (red.), 2006a — Atlas zasobów geotermalnych formacji mezozoicznej na Niżu Polskim. AGH, Kraków.
- GÓRECKI W. (red.), 2006 b — Atlas zasobów geotermalnych formacji paleozoicznej na Niżu Polskim. AGH, Kraków.
- KĘPIŃSKA B., 2005 — Geothermal energy country update from Poland, 2000–2004. Proceedings World Geothermal Congress. Turkey.
- SZARGUT J., 1998 — Termodynamika techniczna. Wyd. Nauk PŚL., Gliwice.
- URE, 2009 — Strukturalna charakterystyka rynku (2005 rok). Oficjalny serwis internetowy URE: http://www.ure.gov.pl/portal/pl/16/1813/Strukturalna_charakterystyka_ryнку_2005_rok.html, data dostępu 2009.01.14.